

Université du Québec en Outaouais

**Les différences individuelles en identification de visages corrélient avec l'habileté de
détection de visages**

Essai doctoral

Présenté au

Département de psychoéducation et de psychologie

Comme exigence partielle du doctorat en psychologie
Profil neuropsychologie clinique (D.Psy.)

Par

© Virginie BURNS

Mars 2019

Composition du jury

Les différences individuelles en identification de visages corrèlent avec l'habileté de détection de visages

Par
Virginie Burns

Cet essai doctoral a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Daniel Fiset, Ph.D., directeur de recherche, Département de psychoéducation et de psychologie,
Université du Québec en Outaouais.

Caroline Blais, Ph.D., co-directrice de recherche, Département de psychoéducation et de
psychologie, Université du Québec en Outaouais.

Geneviève Forest, Ph.D., examinatrice interne et présidente du jury, Département de
psychoéducation et de psychologie, Université du Québec en Outaouais.

Hélène Forget, Ph.D., examinatrice interne, Département de psychoéducation et de psychologie,
Université du Québec en Outaouais.

Charles Collin, Ph.D., examinateur externe, Département de Psychologie, Université
d'Ottawa.

REMERCIEMENTS

J'aimerais profiter de l'occasion pour remercier mes directeurs, Daniel et Caroline, sans qui cet essai n'aurait jamais vu le jour. Merci de votre implication et de votre enthousiasme pour la recherche. Je garderai toujours de bons souvenirs des *journal clubs* et de nos soirées de laboratoire, lors desquels nous pouvions tous constater à quel point vous êtes des directeurs engagés, encourageants et passionnés. Vous faites une belle équipe et je me compte chanceuse de vous avoir eu comme directeurs. Vous côtoyer prouve que l'assiduité et le travail acharné mènent à des données significatives. Après mûre réflexion, si c'était à recommencer, vous seriez encore et toujours mon premier choix.

Daniel, j'aimerais particulièrement te remercier pour ta confiance. Je n'aurais jamais accompli ce doctorat sans tes encouragements et ton support. Merci de ta disponibilité, de ton écoute, de tes valeurs féministes, et surtout, merci de ton sens de l'humour qui m'a aidée à surmonter les défis quasi-permanents de la recherche.

#SupermanDeLaSuperSupervision

Caroline, j'aimerais te remercier pour ta force tranquille ainsi que tes multiples conseils sur l'enseignement et cet essai doctoral. Merci pour tes réflexions approfondies et ta qualité de pédagogue. Ce dont je suis la plus reconnaissante, ce sont sans contredit les cours personnalisés en programmation que tu m'as offerts. C'est réellement grâce à toi, ta patience et ta disponibilité si j'ai appris à programmer et à apprivoiser Matlab!
disp('merci Caroline')

J'ai également une pensée pour mes collègues de laboratoire, mais surtout pour ma coéquipière, maintenant amie et même support moral, Stéphanie Bouchard, qui m'a aidée dans l'aboutissement de ce projet de recherche et de l'écriture de cet essai.

Merci aux membres de mon comité, soit Geneviève Forest, Hélène Forget et Charles Collin qui m'ont aidée à perfectionner cet essai.

Sur une note plus personnelle, merci à ma famille et mes amis qui m'ont supportée et encouragée dans cette aventure. Spécialement, merci à mon frère Jonathan pour les relectures et les diverses discussions sur les transformées de Fourier. Puis finalement, merci à Geneviève, ma meilleure amie avec qui les principes de base – *courage, sérénité et sagesse* – prennent tout leur sens.

RÉSUMÉ

La capacité à détecter un visage est cruciale aux interactions sociales, et ce, dès nos premières interactions avec notre environnement. Or, malgré son importance, très peu de recherches s'y sont intéressées. La littérature actuelle propose que la détection des visages soit un processus précoce probablement pris en charge par des aires visuelles de bas niveau. La majorité des auteurs assume implicitement que cette capacité est relativement homogène chez les humains et serait préservée chez les patients prosopagnosiques, c'est-à-dire des personnes ayant un déficit sévère à identifier les visages après une lésion cérébrale. Ces propositions semblent a priori raisonnables puisque les lésions menant à la prosopagnosie touchent généralement des aires visuelles plus antérieures, préservant les régions nécessaires à la détection. Une récente étude de Xu et Biederman (2014) est toutefois venue ébranler cette idée en présentant un patient souffrant de prosopagnosie et éprouvant des difficultés spécifiques à détecter les visages. Malgré l'intérêt de ce résultat, il va sans dire qu'il a été obtenu avec un cas unique ayant des lésions cérébrales extensives, ce qui limite sa portée théorique. Dans le présent projet, nous avons utilisé un paradigme de différences individuelles pour tenter de révéler un portrait similaire chez des sujets sains, sans lésion cérébrale. Les différences individuelles en identification de visages constituent un bon point de départ puisque les données d'imagerie suggèrent qu'elles seraient associées à l'amplitude de la réponse dans le gyrus fusiforme de l'hémisphère droit, une aire spécialisée pour le traitement des visages. Pour vérifier le lien entre les habiletés de détection et d'identification de visages, nous avons mesuré ces deux fonctions chez 45 participants. L'habileté de détection de visages a été mesurée grâce au paradigme développé par Xu et Biederman (2014), alors que l'identification a été mesurée grâce à trois tâches classiques, soit le Cambridge Face Memory Test, le Cambridge Face Perception Test et le Glasgow Face Matching Test, et ce, afin d'obtenir un score global d'habileté. De façon importante pour appuyer l'hypothèse mise de l'avant par Xu et Biederman, une corrélation négative significative a été obtenue entre le score global d'identification et le seuil de détection pour les visages ($r_{Spearman} = -.41$ $p < .01$; $r_{Partielle} = -.35$, $p < .05$). Ces données démontrent donc que la capacité à détecter un visage varie dans la population générale, et que les capacités d'identification et de détection partagent des mécanismes perceptifs communs. Les bases neuronales et perceptives communes à ces deux mécanismes demeurent toutefois à examiner.

Mots-clés : Détection de visages, Différences individuelles, Identification, Perception visuelle, Psychophysique.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	ix
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS	x
CHAPITRE I – INTRODUCTION.....	1
1.1 Préambule.....	1
1.2 Perception des visages.....	3
1.3 Détection des visages	5
1.4 Identification des visages	9
1.5 Relations entre la détection et l’identification des visages	12
1.5.1 Modèles théoriques sur le traitement des visages.	12
1.5.2 Données sur la relation entre la détection et l’identification.....	16
1.6 Objectifs de l’étude et hypothèses.....	19
CHAPITRE II – MÉTHODOLOGIE	21
2.1 Participants et recrutement.....	21
2.2 Procédure et mesures.....	22
2.2.1 Questionnaires et échelles visuelles.	22
2.2.1.1 Questionnaire sociodémographique.	22
2.2.1.2 Échelle d’acuité de Snellen.	22
2.2.1.3 Charte de sensibilité au contraste.	23
2.2.2 Tâches d’habileté en traitement de visages.	23
2.2.2.1 Cambridge Face Memory Test + (CFMT+).....	23
2.2.2.2 Cambridge Face Perception Test (CFPT).	24
2.2.2.3 Glasgow Face Matching Task (GFMT).	25
2.2.3 Tâche d’habileté en traitement d’objets.	26
2.2.3.1 Cambridge Car Memory Test (CCMT).....	26
2.2.4 Tâche de détection.....	27
2.2.4.1 Conditions expérimentales.	27
2.2.4.2 Présentation.	28
2.2.4.3 Stimuli.	29
2.2.4.4 Manipulations expérimentales.....	30
CHAPITRE III – RÉSULTATS	34

3.1	Habilité de détection.....	34
3.2	Habilité en traitement de l'identité et d'objets	34
3.3	Habilité de détection selon l'habileté d'identification.....	36
CHAPITRE IV – DISCUSSION		38
4.1	Retour sur les résultats	38
4.2	Liens neuroanatomiques.....	40
4.3	Mécanismes perceptifs	43
4.3.1	Orientations horizontales.....	43
4.3.2	Région des yeux.	45
4.4.	Sous-types de la prosopagnosie.....	47
4.5	Limites.....	50
4.6	Pistes futures	51
4.6.1	Processus de détection.....	51
4.6.2	Populations d'intérêt.	52
CHAPITRE V – CONCLUSION		53
RÉFÉRENCES.....		54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. <i>Corrélations de Pearson entre les mesures d'habiletés</i>	36
---	----

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1. Exemple d'image pouvant mener à la paréidolie (image tirée de Relatively Interesting). <i>b.</i> Exemple de publicité et d'identification d'expression faciale à un objet (image tirée de (TVA, s.d.). <i>c.</i> Apparition présumée de la Vierge Marie image tirée : NBC News (2014).....	2
2. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) du cerveau de MJH tirée de l'article de Xu et Biederman (2014).....	3
3. Stimulus représentant le visage dans l'étude de Reid et al. (2017). En A, on peut voir le stimulus projeté, alors qu'en B, c'est le stimulus perçu au travers de l'utérus.....	4
4. Modalité de la transformée de Fourier. Image tirée de Dollet & Barre, (1999)	7
5. Modification d'une photo de mon visage selon le domaine de Fourier. Notons que cette image n'est qu'à titre d'exemple et n'était pas incluse dans les stimuli. <i>a.</i> Image originale en noir et blanc. <i>b.</i> Modification de l'image où le spectre de la phase est intact alors que la densité spectrale de l'énergie est uniforme pour l'ensemble des fréquences. <i>c.</i> Modification de l'image où le spectre de l'énergie est intact alors que le spectre de la phase est uniforme.....	8
6. Modèle modulaire de Bruce et Young (1986) image tirée de Vinette (2003).....	13
7. Modèle de Haxby et al. (2000) image tirée de Baudouin (2001).....	14
8. Schéma du modèle du « core system » de Rossion (2008) (image tirée de Barragan-Jason, 2013). Ce schéma illustre la détection et la catégorisation initiale dans les aires visuelles primaires V1, V2 et V4, se projetant ensuite vers la boucle formée de l'OFA et du FFA pour l'individualisation et la familiarité des traits, pour mener à l'identification dans le MTL (Lobe temporal médian).....	15
9. Exemple de stimuli dans l'expérience 3 de Robertson et al. (2017). Le participant doit indiquer s'il y avait un visage ou non dans l'image présentée.....	19
10. Exemple de stimuli du CFMT+ et des différentes conditions (Russell et al., 2009).....	24

11.	Exemple de stimuli du CFPT (Duchaine et al., 2007).....	25
12.	Exemple de stimuli du GFMT (Burton et al., 2010). À la paire A, les deux visages présentés ne sont pas de la même identité alors que les deux photos à la paire B sont de la même personne.....	26
13.	Exemple de stimuli du CCMT (Dennett et al., 2012).....	27
14.	Illustration d'un essai dans la tâche de détection de visages. À chaque essai, le participant devait indiquer si le stimulus était présenté à gauche ou à droite.....	29
15.	À gauche, voici une image randomisée à 50% par la méthode de Rainer et al. (2001). À droite, voici la même image, toutefois randomisée par la méthode de Dakin et al. (2002).....	31
16.	Schéma de la méthode de la randomisation pondérée du spectre de la phase. À gauche, le spectre d'énergie est celui du stimulus. Une proportion de la phase randomisée est introduite au spectre de la phase final. Dans le cadre de cet exemple w équivaut à 50% de signal.....	32
17.	Exemples de stimuli avec différents pourcentages de randomisation de phase (i.e. différentes valeurs de $1-w$).....	33
18.	Diagramme de dispersion illustrant le lien entre le score d'habileté en traitement de visages et le seuil de détection des visages.....	37
19.	Images provenant de l'article de Dakin et Watt (2009) qui démontrent les différentes orientations spatiales. a) Photographie originale de Chris Martin le chanteur de Coldplay. En b) photographie filtrée pour représenter uniquement les orientations horizontales. c) photographie filtrée pour représenter uniquement les orientations verticales.....	44
20.	Représentation interne d'un visage pour deux participantes (EC et EA). La colonne à droite représente les zones de luminance significative, en bleu les zones sombres versus en jaune pour les zones lumineuses (Nestor et al., 2013).....	46
21.	Adaptation du modèle modulaire de traitement des visages par Corrow et al. (2016).....	48

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AFC	Alternative forced choice (Choix forcé alternatif)
CCMT	Cambridge Car Memory Test
CFMT +	Cambridge Face Memory Test +
CFPT	Cambridge Face Perception Test
EEG	Électroencéphalogramme
ERP	Event-related potential (Potentiel évoqué)
É-T	Écart-Type
FFA	<i>Fusiform face area</i>
GFMT	Glasglow Face Matching Task
IRM	Imagerie par résonance magnétique
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
LPVS	Laboratoire de perception visuelle et sociale
M	Moyenne
ms	millisecondes
MTL	Median temporal lobe
<i>ns</i>	non-significatif
OFA	<i>Occipital face area</i>
ORE	Other-race effect (effet de l'autre ethnique)
UQO	Université du Québec en Outaouais
US	United States (États-Unis)

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

°	Degré
=	Égale
φ	Phase d'une sinusoïdale
w	Proportion de la phase originale
%	Pourcentage
ρ	Coefficient de Spearman-Brown

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 Préambule

Imaginez que vous vous promenez, pendant une belle journée d'été ensoleillée, en contemplant le paysage qui vous entoure. Votre regard vagabonde et s'attarde sur le ciel ponctué de divers nuages joufflus. Tout à coup, un des nuages attire votre attention. Vous l'examinez rapidement et constatez qu'il vous rappelle étrangement quelque chose de familier. En effet, vous trouvez qu'il a la forme d'un visage (voir Figure 1a). Cette capacité à détecter la forme d'un visage dans un objet inanimé est nommée la paréidolie. Elle se définit comme étant une illusion perceptive, puisque l'entrant perceptif correspond erronément à notre représentation interne d'un visage (Liu et al., 2014; voir Gosselin & Schyns, 2003). Cette faculté perceptive est commune dans la population et se développe tôt, soit vers l'âge de huit à dix mois (Kato & Mugitani, 2015).

De façon intéressante, la publicité fait parfois usage de la paréidolie pour faire la promotion d'un produit, comme par exemple les publicités d'Hydro-Québec (voir Figure 1b), une société qui gère les ressources électriques québécoises. En plus d'y détecter la représentation d'un visage, il est également possible d'y reconnaître des expressions faciales. Il existe même des exemples de paréidolie permettant de reconnaître une identité particulière. C'est le cas d'un sandwich de fromage grillé (*grilled cheese*) qui aurait été popularisé en 2004 aux États-Unis, puisque les marques sur celui-ci ressemblaient étrangement au visage de la Vierge Marie (voir Figure 1c), figure importante de la religion chrétienne. En raison de ce phénomène, la mise aux enchères sur eBay de ce sandwich s'est soldée à 28 000 \$ US (NBC News, 2004).

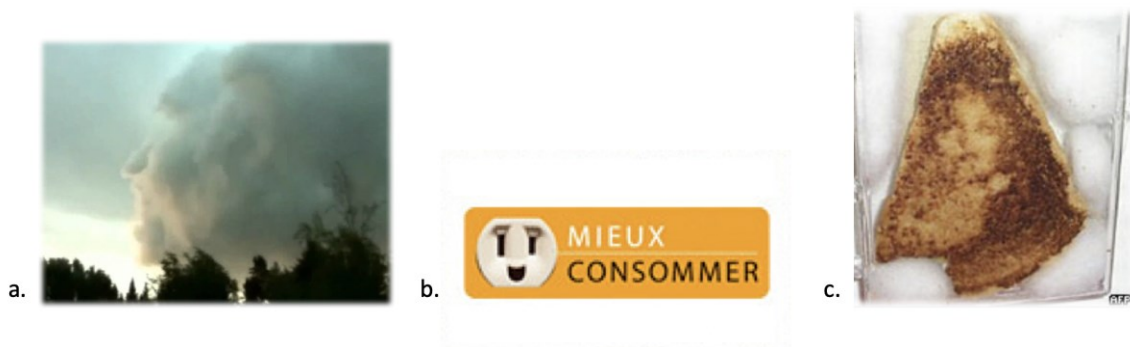


Figure 1. a. Exemple d’image pouvant mener à la paréidolie (image tirée de Relatively Interesting, s.d.). *b.* Exemple de publicité et d’identification d’expression faciale à un objet (image tirée de (TVA, s.d.)). *c.* Apparition présumée de la Vierge Marie image tirée : NBC News (2014).

Le phénomène de la paréidolie suggère fortement que l’esprit humain est spécialisé dans la détection de visages, réels et figurés. Or, très peu de recherches se sont attardées aux mécanismes visuels et cognitifs impliqués dans la détection des visages (voir toutefois Bindemann & Lewis, 2013; Garrido, Duchaine, & Nakayama, 2008; Robertson, Jenkins, & Burton, 2017), et les revues de la littérature sur le traitement des visages font peu état du processus de détection (Bindemann & Lewis, 2013, mais voir Calder, Rhodes, Johnson, & Haxby, 2011; Hole & Bourne, 2010).

Malgré l’état des connaissances somme toute restreint sur la détection des visages, la littérature conçoit la détection et l’identification des visages comme impliquant des mécanismes perceptifs distincts (Fysh, 2018; Liu, Harris, & Kanwisher, 2002; Robertson et al., 2017; Tsao & Livingstone, 2008). Or, une récente étude effectuée par Xu et Biederman (2014) relance le débat sur la dissociation entre les habiletés de détection et d’identification. Effectivement, l’étude présente un cas de prosopagnosie acquise (MJH) à la suite d’un accident à l’âge de cinq ans ayant résulté en des lésions bilatérales extensives des régions temporo-occipitales (voir Figure 2). En plus des déficits majeurs en reconnaissance de visages, les auteurs ont mis en lumière la présence de difficultés de détection de visages chez ce dernier comparativement à la détection d’une autre catégorie (c.-à-d. les voitures). Ces résultats suggèrent donc la possibilité que l’identification et la détection de visages reposent sur des mécanismes communs. Toutefois, nous

ne pouvons exclure l'hypothèse que les deux mécanismes soient dissociés, mais tous deux déficitaires de par la présence de lésions cérébrales extensives chez MJH (voir Figure 2).

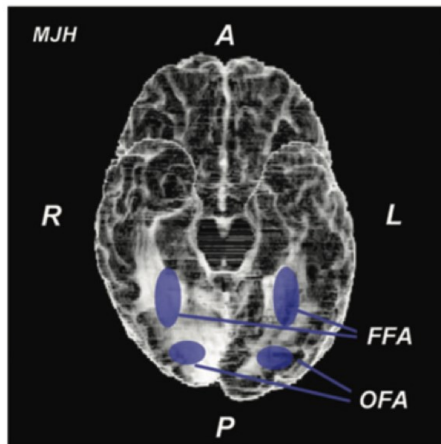


Figure 2. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) du cerveau de MJH tirée de l'article de Xu et Biederman (2014).

En raison des résultats de Xu et Biederman (2014), il nous semble primordial d'explorer plus en profondeur l'existence ou non d'une relation entre ces deux mécanismes. Par conséquent, l'objectif du présent essai doctoral est spécifiquement d'investiguer si ces deux tâches cognitives, soit la détection de visages et l'identification, impliquent au moins partiellement des processus similaires. L'étude de l'habileté de détection en lien avec l'habileté d'identification de visages auprès d'une population normale est tout indiquée pour dévoiler la présence d'une correspondance quelconque entre ces processus. Néanmoins, avant de se lancer dans le vif du sujet, nous allons débiter en faisant un tour d'horizon des connaissances scientifiques sur ces deux processus ainsi que sur les modèles théoriques dédiés au traitement des visages.

1.2 Perception des visages

Le visage humain représente un des stimuli les plus fréquemment rencontrés dans l'environnement visuel humain. En fait, la fréquence d'exposition est telle qu'une majorité de chercheurs propose que des mécanismes experts sous-tendent le traitement des visages (Gauthier et al., 2000; Sunday & Gauthier, 2018; Tarr & Gauthier, 2000). D'un point de vue social, ce stimulus est aussi très riche d'informations : il permet entre autres d'estimer l'âge, l'ethnie, le genre, la beauté et l'expression faciale des individus. Ainsi, de par l'importance que représente le traitement des visages, diverses hypothèses quant à son origine et son développement ont été élaborées. À cet effet, la théorie la plus connue est probablement celle du double processus de la reconnaissance des visages, proposée par Morton et Johnson (1991). Cette théorie implique comme premier processus (appelé *CONSPEX*) une tendance innée à s'orienter vers les stimuli faciaux plutôt que vers d'autres catégories de stimuli (Johnson, 2011; Morton & Johnson, 1991). D'ailleurs, le caractère inné de ce processus a récemment été supporté par une étude utilisant une méthode de projection lumineuse in-utero (Reid et al., 2017). Les résultats de cette étude ont permis de révéler que déjà chez les fœtus d'environ 33 à 36 semaines, on peut observer une tendance à orienter davantage la tête vers trois points lumineux (voir Figure 3) représentant la morphologie d'un visage (c.-à-d. rappelant les deux yeux au-dessus d'une bouche), plutôt que vers trois points orientés dans le sens contraire.

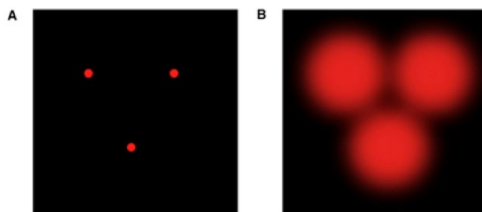


Figure 3. Stimulus représentant le visage dans l'étude de Reid et al. (2017). En A, on peut voir le stimulus projeté, alors qu'en B, c'est le stimulus perçu au travers de l'utérus.

Ce premier processus (*CONSPEC*) serait régi par une voie de traitement sous-corticale innée, rapide et dédiée à la détection de visages (Johnson, 2005). Cette théorie est l'une des rares dans la littérature scientifique à aborder clairement le processus de détection. De plus, elle soulève que *CONSPEC* influence le développement d'une voie de spécialisation corticale (appelée *CONLEARN*) dédiée au traitement des visages et à l'identification (Johnson, 2005; Morton & Johnson, 1991). Ce modèle est le seul à évoquer théoriquement une interaction entre les processus de détection et d'identification de visages, mais encore peu d'informations subsistent sur cette interaction. De façon à bien saisir la possibilité d'une relation quelconque entre ces deux processus, il semble à propos d'explorer la littérature scientifique concernant ceux-ci. Tout d'abord, débutons par le processus au cœur de cet essai, soit la détection de visages.

1.3 Détection des visages

La détection de visages se définit simplement par la capacité à distinguer la présence d'un visage dans notre environnement (Garrido et al., 2008). La littérature scientifique suggère que la détection d'un visage au sein d'une scène est associée à un phénomène de « pop-out ». En effet, un visage perçu dans une scène capte l'attention (Cerf, Harel, Einhäuser, & Koch, 2008; Langton, Law, Burton, & Schweinberger, 2008; Lewis & Edmonds, 2005; Theeuwes & Van der Stigchel, 2006) et le temps de réaction pour le détecter semble indépendant du nombre d'éléments visuels présentés simultanément (Lewis & Edmonds, 2005; Treisman & Gelade, 1980). Ces résultats suggèrent que la détection semble biaisée pour ce stimulus en comparaison aux autres catégories de stimuli, par exemple des voitures ou des papillons (Crouzet, Kirchner, & Thorpe, 2010; Crouzet & Thorpe, 2011; Crouzet, Thorpe, & Kirchner, 2007; Fletcher-Watson, Findlay, Leekam, & Benson, 2008; Honey, Kirchner, & VanRullen, 2008; VanRullen, 2006). La

simple présence d'un visage peut nuire à la recherche des autres catégories, même si celui-ci n'est pas pertinent dans le contexte de la recherche (Langton et al., 2008). Il est à mentionner que certaines études ne retrouvent pas d'avantage spécifique pour la catégorie des visages en recherche visuelle (Rousselet, Macé, & Fabre-Thorpe, 2003). Toutefois, ces mêmes auteurs retrouvent un léger effet d'inversion (Yin, 1969) non spécifique, soit une légère augmentation du temps de réaction lorsque le visage est présenté de façon inversée (Rousselet et al., 2003), ce qui est également soutenu par d'autres recherches (Lewis & Edmonds, 2003, 2005; Rousselet et al., 2003; VanRullen, 2006). Cet effet d'inversion des visages suggère l'implication de mécanismes perceptifs experts lors de la détection de visages tel qu'observé pour le processus d'identification de visages (Farah, Tanaka, & Drain, 1995; Rossion, 2009; Sekuler, Gaspar, Gold, & Bennett, 2004; Tanaka & Farah, 1993; Valentine, 1988).

D'autre part, le processus de détection de visages est un mécanisme extrêmement rapide. Cette rapidité de détection a été mesurée tant au niveau des temps de réaction (Rousselet et al., 2003; Rousselet, Pernet, Bennett, & Sekuler, 2008), qu'à l'initiation d'une activité cérébrale associée à ce processus (Ales, Farzin, Rossion, & Norcia, 2012; Liu et al., 2002; Rossion & Caharel, 2011; Quek, Liu-Shuang, Goffaux, & Rossion, 2018). L'ensemble des résultats obtenus à l'aide de différentes méthodologies suggère une vitesse de détection sous la barre des 150 ms. La méthode des saccades oculaires est celle ayant démontré le temps de réaction le plus court. Les résultats indiquent en effet un temps d'initiation d'à peine 100 ms pour que l'œil effectue une saccade en direction d'un visage que ce soit en présentation simultanée avec une autre catégorie visuelle (voitures : Crouzet et al., 2010) ou à la présentation de scènes visuelles naturelles (Fletcher-Watson et al., 2008). Puisque le temps d'activation oculomotrice serait d'environ 20 ms, les mécanismes perceptifs dédiés à la détection seraient donc réalisés en près de

80 ms (Crouzet et al., 2011; Retter, Jiang, & Rossion, 2018). Les études chez les primates corroborent cette conclusion, puisqu'une stimulation neuronale aux régions occipitotemporales survenant de 50 à 100 ms après la présentation d'un stimulus augmente la propension d'un primate à classer ce stimulus comme étant un visage (Afraz, Kiani, & Esteky, 2006).

Plusieurs hypothèses sont émises afin d'expliquer et de justifier un traitement perceptif aussi rapide. La première étant que la détection est basée sur les éléments configuratifs des visages (Hershler & Hochstein, 2005, 2006). Toutefois, certains auteurs suggèrent plutôt qu'elle soit expliquée par une analyse perceptive grossière des informations de bas niveau, comme la couleur du visage (Bindemann & Burton, 2009; Bindemann & Lewis, 2013; Cerf et al., 2008), les contrastes (Cerf et al., 2008) ou les informations contenues dans le domaine de Fourier (Ales et al., 2012; Crouzet & Thorpe, 2011; Honey et al., 2008; Rossion & Caharel, 2011; Rousselet et al., 2008; Quek et al., 2018). Le domaine de Fourier est l'application d'une formule mathématique, la transformée de Fourier, permettant de décomposer un signal en ses différentes fréquences afin d'identifier le spectre de la phase (c.-à-d. l'endroit) et celui de l'énergie (c.-à-d. l'amplitude ou l'intensité) des dites fréquences.

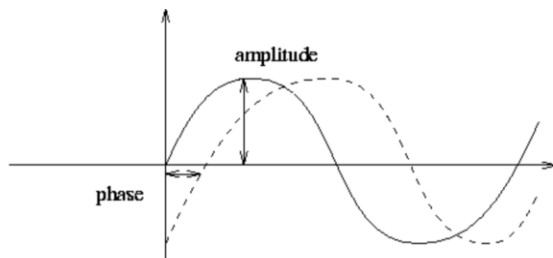


Figure 4. Modalité de la transformée de Fourier. Image tirée de Dollet & Barre, (1999).

En ce qui concerne la vision, afin de bien saisir l'application d'une transformée de Fourier, prenons l'exemple d'une image en noir et blanc (voir Figure 5a). Chaque pixel a une

valeur entre 0 et 255 pour représenter leur niveau de luminance. En d'autres mots, une image est une répartition de changements d'intensité lumineuse sur un plan en deux dimensions (Dollet & Barre, 1999; Thomas, 2017). Lorsque nous décomposons l'image par la transformée de Fourier, nous obtenons donc le spectre de la phase qui représente les contours et la forme (voir Figure 5b) et celui de l'amplitude qui représente l'intensité des fréquences (voir Figure 5c). Certains auteurs argumentent que le spectre de la phase dans le domaine de Fourier, et non celui de l'amplitude, contiendrait les informations perceptives permettant de détecter rapidement les visages (Oppenheim & Lim, 1981; Rousselet et al., 2008; Piotrowski & Campbell, 1982; Ales et al., 2012). Notons que c'est d'ailleurs cette information qui fût manipulée par Xu et Biederman (2014) afin de démontrer les déficits de détection chez MJH. D'autres auteurs soulèvent plutôt l'importance du spectre de l'amplitude pour ce processus (Honey et al., 2008).



Figure 5. Modification d'une photo de mon visage selon le domaine de Fourier. Notons que cette image n'est qu'à titre d'exemple et n'était pas incluse dans les stimuli. *a.* Image originale en noir et blanc. *b.* Modification de l'image où le spectre de la phase est intact alors que la densité spectrale de l'énergie est uniforme pour l'ensemble des fréquences. *c.* Modification de l'image où le spectre de l'énergie est intact alors que le spectre de la phase est uniforme.

À notre connaissance, un seul modèle théorique de la détection des visages a été proposé (Lewis et Ellis, 2003). Selon ces auteurs, la détection d'un visage nécessite trois stades cognitifs et perceptifs. Le premier stade correspond au balayage visuel préattentif d'une scène, pendant lequel différents indices contextuels et perceptifs associés aux visages sont analysés afin

d'identifier les endroits susceptibles de représenter un visage. L'attention est alors dirigée vers l'endroit le plus probable de correspondre à un visage. Par la suite, le deuxième stade consiste à l'ajustement de notre représentation interne d'un visage de façon à la superposer afin qu'elle corresponde le plus possible au percept localisé à l'étape précédente (Lewis & Ellis, 2003). La dernière étape consiste à comparer les patrons de luminance entre la région d'intérêt et notre représentation ajustée. Plus les représentations externe et interne seront similaires, plus rapidement la détection sera effectuée (Lewis & Ellis, 2003). De l'avis même des auteurs de ce modèle, celui-ci était plutôt une ébauche théorique nécessitant des appuis empiriques dans l'avenir puisque la littérature demeurait éparse (Lewis & Ellis, 2003). Nous pouvons donc constater que très peu d'études portent sur le processus de détection alors qu'une riche littérature porte sur le celui de l'identification de visages. Puisque l'étude de Xu et Biederman (2014) suggère la possibilité que ces processus puissent partager des mécanismes communs, il nous semble opportun de construire sur cette observation pour mieux vérifier le lien entre détection et identification.

1.4 Identification des visages

L'identification d'un visage est une habileté particulière qui se définit par la capacité d'accéder aux informations sémantiques, épisodiques et affectives relatives à l'identité d'une personne familière par la simple perception de son visage. Un exemple classique serait de croiser un collègue de travail dans un endroit inhabituel, comme à l'épicerie, et de le reconnaître simplement par son visage afin d'être en mesure d'effectuer une action adaptée, soit le saluer. Malgré que le processus d'identification puisse nous sembler banal puisque nous l'exerçons quotidiennement, il relève d'une implication majeure des systèmes perceptifs et d'une analyse d'un stimulus complexe qu'est un visage (pour les revues de littérature voir Hole & Bourne,

2010; Maurer, Le Grand, & Mondloch, 2002). Un débat actuel dans la littérature scientifique réside dans le type d'analyse perceptive effectuée pour l'identification. Une division existe entre les chercheurs, certains soutenant que le visage est analysé de manière holistique, c.-à-d. par le traitement de l'ensemble du visage comme un tout (Tanaka & Farah, 1993; Farah, Tanaka, & Drain, 1995, mais voir McKone et al., 2007; Van Belle, De Graef, Verfaillie, Busigny, & Rossion, 2010), et d'autres soutenant que le visage est analysé "par parties", c.-à-d. par le traitement des traits faciaux de manière indépendante les uns des autres (Gold, Mundy, & Tjan, 2012; Royer, Blais, Gosselin, Duncan, & Fiset, 2015; Sekuler et al., 2004).

Outre les mécanismes mis en oeuvre afin de parvenir à identifier un visage, nous savons que cette habileté n'est pas identique chez tous. En effet, il existe chez certaines personnes un déficit majeur en reconnaissance de visages qui se nomme la prosopagnosie, se caractérisant par une incapacité à reconnaître l'identité de quelqu'un par son visage (Corrow, Dalrymple, & Barton, 2016; Duchaine & Nakayama, 2006a; Fox, Iaria, & Barton, 2008). Ce trouble a évidemment des conséquences sociales importantes et limitantes puisque les individus qui en souffrent ne peuvent pas reconnaître, par exemple, leur conjoint dans une foule ou, dans les cas les plus graves, leur propre visage. La prosopagnosie est connue comme ayant une forme développementale (Susilo & Duchaine, 2013; Duchaine & Nakayama, 2006b), présente dès l'enfance, ainsi qu'une forme acquise assez rare due à des atteintes neurologiques touchant certaines zones cérébrales particulières, généralement des lésions occipito-temporales bilatérales ou même des lésions touchant spécifiquement le gyrus fusiforme latéral droit nommé le *Fusiform Face Area* (FFA; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; voir toutefois Barton, Press, Keenan, & O'Connor, 2002; Damasio, Tranel, & Damasio, 1990; McKone, Kanwisher, & Duchaine, 2007).

À l'autre extrême du continuum d'habiletés avec les visages, des chercheurs ont révélé l'existence des super-reconnaisseurs, soit des gens ayant des capacités exceptionnelles d'identification de visages. Ceux-ci peuvent par exemple reconnaître, une fois à l'âge adulte, des camarades qu'ils n'ont connus qu'à la garderie, mais jamais revus depuis, ou même des gens qu'ils n'ont croisés qu'une seule fois dans leur vie (Bobak, Hancock, & Bate, 2016; Russell, Duchaine, & Nakayama, 2009). Entre ces deux extrêmes de performance, il existe un continuum en ce qui a trait à cette habileté (Bate, Parris, Haslam, & Kay, 2010; Royer et al., 2015, 2016, 2018; Wilmer et al., 2010) qui serait hautement héréditaire (Shakeshaft & Plomin, 2015; Wilmer et al., 2010), allant jusqu'à des corrélations de .70 pour les jumeaux homozygotes (Wilmer et al., 2010).

Ces différences individuelles sont également corrélées positivement avec l'activation de la région du FFA, puisque les meilleurs ont une activation plus importante du FFA versus les individus moins doués et les individus prosopagnosiques (Furl, Garrido, Dolan, Driver, & Duchaine, 2011). En plus des corrélats neurocognitifs, les différences individuelles semblent impliquer de meilleures stratégies perceptives dans l'extraction de l'information visuelle (Royer et al., 2015). En effet, un lien a été trouvé entre les habiletés à identifier les visages chez des sujets normaux et la propension à utiliser la région des yeux pour reconnaître les visages (Royer et al., 2018). Une seconde étude complémentaire a par ailleurs démontré que les variations de performance dans le continuum allant des prosopagnosiques jusqu'aux super-reconnaisseurs s'expliquent par des différences quantitatives quant au traitement de la région des yeux (Tardif et al., 2019). La présence de différences individuelles est extrêmement intéressante puisqu'elle suggère des nuances en ce qui a trait au traitement perceptif d'un visage. Sachant que les modèles cognitifs suggèrent implicitement que l'étape de détection est le préalable de celle de

l'identification (Barragan-Jason, 2013), il est tout à fait à propos de s'interroger sur la relation entre ces deux mécanismes ainsi que l'impact de la détection d'un visage sur le traitement de son identité.

1.5 Relations entre la détection et l'identification des visages

1.5.1 Modèles théoriques sur le traitement des visages.

L'analyse de ces différents modèles cognitifs sur le traitement des visages expose clairement que l'étape de détection est peu abordée, mais qu'elle s'inscrit néanmoins dans une cascade séquentielle ayant comme finalité la reconnaissance de l'identité du visage. Ceci indique donc théoriquement la possibilité d'une certaine relation entre les deux processus.

Nous pouvons recenser différents modèles théoriques quant au traitement d'un visage, impliquant la perception d'un visage jusqu'à l'étape de son identification. Prenons le modèle le plus connu sur le traitement des visages, mis de l'avant par Bruce et Young (1986), qui propose que le traitement des visages s'effectue de façon séquentielle et modulaire (voir Figure 6). Selon cette hiérarchie modulaire, sans explicitement l'aborder, la détection du visage est la prémisse précédant la cascade d'étapes pour parvenir à l'identification d'un visage (Barragan-Jason, 2013). Une fois un visage détecté, le système perceptivocognitif extrait les informations perceptives dépendantes du point de vue de l'observateur ainsi que les traits invariants et les propriétés structurales du visage. Cette extraction visuelle permettant la comparaison de ces informations avec les différentes représentations mentales des visages familiers mémorisés afin d'activer une représentation interne particulière et de récupérer les informations sémantiques encodées sur la personne, ainsi que de générer son prénom (Bruce & Young, 1986; Lewis & Edmonds, 2005).

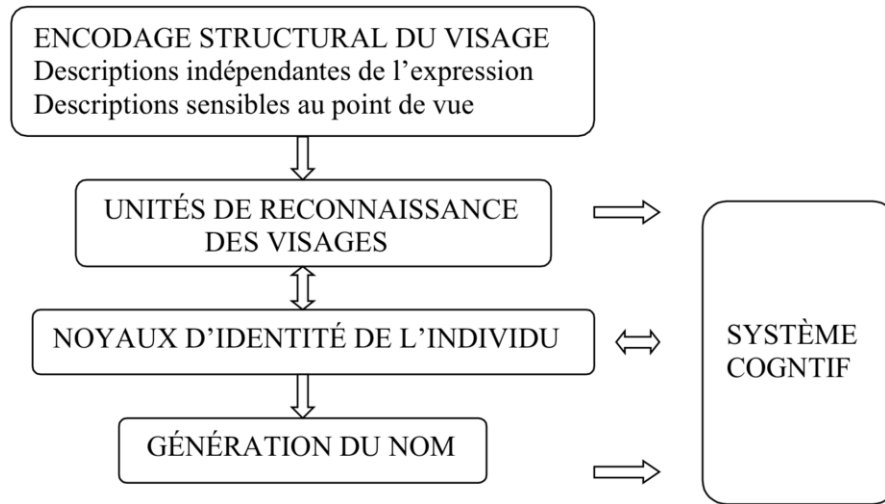


Figure 6. Modèle modulaire de Bruce et Young (1986) image tirée de Vinette (2003).

Un autre modèle du traitement des visages ayant eu un impact significatif dans le domaine est le modèle neuroanatomique de Haxby (Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000). Ce dernier (voir Figure 7) intègre l'organisation neurotopographique du traitement des visages en parallèle aux étapes cognitives du modèle de Bruce et Young (1986). Il soulève trois régions fondamentalement dédiées au traitement visuel des visages, soit le gyrus occipital inférieur (Hoffman & Haxby, 2000), la scissure temporale supérieure (Hoffman & Haxby, 2000; Puce, Allison, Bentin, Gore, & McCarthy, 1998) et le gyrus fusiforme latéral (Hoffman & Haxby, 2000; Sergent, Ohta, & MacDonald, 1992), ainsi que des régions secondaires impliquées dans le traitement des visages, mais de façon non exclusive (Haxby et al., 2000). Le rôle exact de ces trois régions en ce qui concerne le traitement d'un visage demeure sujet à débats. Néanmoins, un certain consensus scientifique commence à s'établir pour certaines fonctions de ces régions.

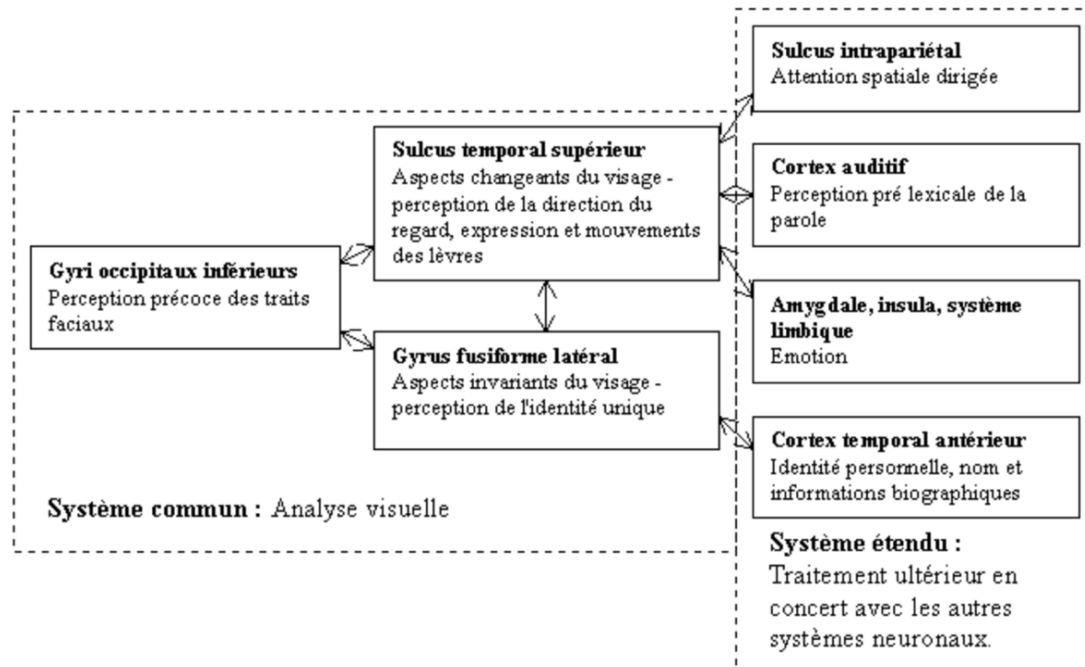


Figure 7. Modèle de Haxby et al. (2000) image tirée de Baudouin (2001).

Prenons, par exemple, la scissure temporale supérieure qui a certainement un rôle à jouer dans l'analyse des expressions faciales et de la direction du regard (Haxby et al., 2000; Kanwisher & Barton, 2011; Thompson, Hardee, Panayiotou, Crewther, & Puce, 2007). La deuxième région, le gyrus occipital inférieur droit ayant été nommé l'*Occipital Face Area* (OFA; Gauthier et al., 2000), est considérée comme intervenant aux premiers stades perceptifs, notamment dans l'analyse des traits du visage (Kanwisher & Barton, 2011; Pitcher, Walsh, Yovel, & Duchaine, 2007) et plus spécifiquement de la région des yeux (Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017). Certains pointent cette région comme étant responsable du processus de détection (Gauthier et al., 2000). Cette région relayant la poursuite du traitement, soit l'analyse de l'identité, à la dernière région du modèle, le FFA (FFA; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; voir toutefois McKone, Kanwisher, & Duchaine, 2007). Cette dernière région s'avère active systématiquement lors de la perception d'un visage (Kanwisher et al., 1997; Kanwisher &

Yovel, 2006) et certains auteurs suggèrent plutôt qu'elle serait la région responsable du processus de détection (Avidan, Hasson, Malach, & Behrmann, 2005; Grill-Spector et al., 2004; Kanwisher, & Yovel, 2006; Loffler, Yourganov, Wilkinson, & Wilson, 2005; Tong, Nakayama, Moscovitch, Weinrib, & Kanwisher, 2000). En somme, nous pouvons retenir que certaines études proposent que la détection de visages soit attribuable à certaines régions fondamentales du modèle (c.-à-d. OFA vs FFA), qui relaièrent ensuite le traitement pour l'identification (FFA).

De façon intéressante, un récent modèle a émergé dans la littérature scientifique, celui du *Core System*, proposé par Rossion (2008) qui intègre explicitement le processus de la détection de visages localisé au niveau des régions visuelles primaires. Ce modèle consiste en une adaptation du modèle de Haxby et al. (2000) en intégrant les dernières connaissances neuroanatomiques, perceptives et cognitives de ce domaine et celles des modèles antérieurs (voir Figure 8).

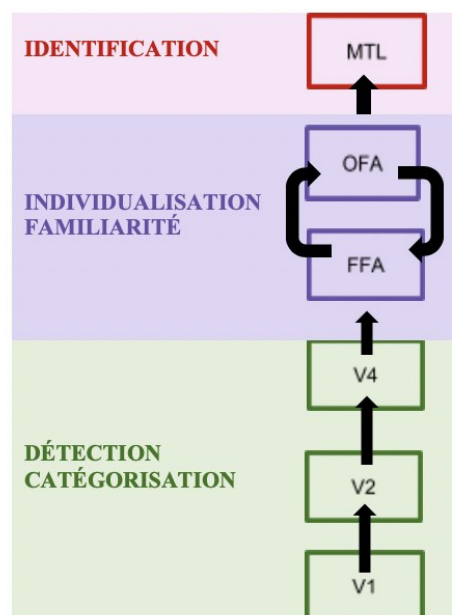


Figure 8. Schéma du modèle du « core system » de Rossion (2008) (image tirée de Barragan-Jason, 2013). Ce schéma illustre la détection et la catégorisation initiale dans les aires visuelles primaires V1, V2 et V4, se projetant ensuite vers la boucle formée de l'OFA et du FFA pour l'individualisation et la familiarité des traits, pour mener à l'identification dans le MTL (Lobe temporal médian).

En considérant les différentes théories précédemment présentées, nous pouvons constater que l'étape de la détection est grandement négligée en comparaison à celle de l'identification. Le dernier modèle proposé, malgré qu'il évoque explicitement cette étape, n'éclaire en rien sur les tenants cognitifs et perceptifs pour y parvenir. Notons, néanmoins, que le mécanisme de détection est la prémisse pour les étapes subséquentes dans traitement de l'identité d'un visage. Ainsi, ce modèle fait la prédiction qu'un déficit de la détection devrait nécessairement impliquer un déficit de l'identification d'un visage. Conséquemment, nous pouvons entrevoir le possible chevauchement de mécanismes entre la détection et l'identification d'un visage.

1.5.2 Données sur la relation entre la détection et l'identification

Comme il a été vu dans la section sur les modèles du traitement des visages, l'étape de la détection est considérée comme se produisant préalablement aux stades subséquents comme l'identification. Toutefois, certains auteurs évoquent une dissociation entre ces deux processus (Liu et al., 2002; Tsao & Livingstone, 2008). Pour prouver l'existence d'une dissociation catégorique entre deux fonctions cérébrales, il est fréquent de recourir à l'étude de cas de patients ayant des troubles neurocognitifs. Quelques études se sont donc intéressées à l'habileté de détection de visages chez les personnes prosopagnosiques et ont conclu que ce trouble ne semble pas lié à des difficultés de cet ordre (Duchaine, Yovel, Butterworth, & Nakayama, 2006; Le Grand et al., 2006; Rossion et al., 2003; Schiltz et al., 2006). En effet, les gens souffrant de prosopagnosie, tant de forme développementale que de forme acquise, demeurent aptes à percevoir un visage et à bien le catégoriser comme étant un visage, et ce, à deux exceptions cliniques près (de Gelder & Rouw, 2000; Xu & Biederman, 2014). Ces conclusions soutiennent alors la dissociation théorique impliquant que la détection d'un visage est un processus distinct de l'identification en soi. D'autres arguments semblent toutefois supporter cette dissociation.

À titre d'exemple, il semble que l'effet d'inversion soit moins prononcé pour le processus de détection de visages que celui pour celui d'identification justifiant, selon certains, la proposition d'une dissociation des mécanismes (Lewis & Edmonds, 2003, 2005). Il est toutefois important de noter qu'une étude (Garrido et al., 2008) a identifié un effet notable d'inversion des visages lors d'épreuves de détection, tant chez les sujets contrôles que chez les prosopagnosiques, nuanciant ainsi le léger effet d'inversion observé par d'autres chercheurs (Lewis & Edmonds, 2003, 2005; Rousselet et al., 2003; VanRullen, 2006). Fait notable, les auteurs identifient également des performances inégales dans le groupe des prosopagnosiques vis-à-vis de la détection de visages parmi des distracteurs, et ce, nonobstant l'effet d'inversion démontré (Garrido et al., 2008). En effet, certains sujets prosopagnosiques ont performé de façon similaire au groupe contrôle, alors que d'autres avaient significativement plus de difficultés à détecter des visages à l'endroit (Garrido et al., 2008). Une seconde étude, cette fois avec des enfants prosopagnosiques, illustre le même type de discordance entre les performances (Dalrymple & Duchaine, 2016). Le type de prosopagnosie aperceptive (Corrow et al., 2016; Dalrymple, Garrido, & Duchaine, 2014; De Renzi, Faglioni, Grossi, & Nichelli, 1991) pourrait expliquer ces récentes observations.

Rappelons que récemment Xu et Biederman (2014) ont présenté un cas de prosopagnosie acquise qui a également des déficits en détection de visages. Dans l'étude, MJH a un seuil de détection de visages significativement plus élevé que celui d'un groupe contrôle, déficit qui n'est pas présent en détection de voitures. Ces résultats démontrent, à l'aide d'une méthode précise et sophistiquée, que ce patient nécessite significativement plus de signal visuel pour détecter des visages, soulevant de ce fait des difficultés perceptives en détection de visages. Malgré que les conclusions préalablement exposées soient intéressantes et prometteuses, elles ne peuvent être

appliquées aux théories du processus de traitement des visages au sein de la population générale. Effectivement, les conclusions de Xu et Biederman (2014) à propos de MJH pourraient simplement résulter d'une association fortuite entre des déficits due à des lésions cérébrales extensives. Notamment, deux récentes études (Robertson et al., 2017) n'ont identifié aucune corrélation en comparant les performances de participants neurotypiques à des tâches de paréidolie et de détection de visages avec des tâches de reconnaissance de visages. Les auteurs ont donc conclu que la détection de visages est dissociée de l'habileté d'identification dans la population normale. Cependant, l'utilisation de tâches de paréidolie pour leurs deux premières conditions est prématurée considérant qu'il n'existe pas de démonstration empirique à ce jour d'une équivalence entre de la détection d'un visage réel ou figuré. En ce qui a trait à la troisième condition de Robertson et al. (2017), celle-ci consistait à détecter des visages réels dans des scènes complexes (voir Figure 9) en 200 millisecondes : l'ennui avec ces stimuli est l'absence d'un contrôle quant aux propriétés visuelles présentées. De plus, les auteurs ne contrôlent pas pour les habiletés individuelles en recherche visuelle qui pourraient être associées à la recherche visuelle de visages, mais aucunement avec les habiletés d'identification. Puis, aucune mesure de fidélité ou de cohérence interne n'est indiquée par rapport à la tâche de détection, ce qui nuit à l'interprétation des qualités psychométriques de celle-ci. Une étude a d'ailleurs répliqué les conclusions de Robertson et al. (2017) voulant que la détection et l'identification soient non corrélées en utilisant la même tâche de recherche visuelle (Fysh, 2018). L'absence de variabilité à la tâche de détection (i.e. réussite moyenne de 95% et 98%) est problématique dans le contexte de recherche en différences individuelles.



Figure 9. Exemple de stimuli dans l'expérience 3 de Robertson et al. (2017). Le participant doit indiquer s'il y avait un visage ou non dans l'image présentée.

Il nous semble donc nécessaire de vérifier si une relation existe entre les tâches classiques de traitement de l'identité des visages et une tâche beaucoup plus sensible et précise de détection de visages, telle que celle développée par Xu et Biederman (2014), auprès d'une population neurotypique. Enfin, il est selon nous primordial de contrôler pour les habiletés individuelles à détecter et reconnaître une autre catégorie d'objets non faciaux.

1.6 Objectifs de l'étude et hypothèses

L'état des connaissances quant au processus de détection est très peu étoffé aux plans théorique et clinique. La récente étude de Xu et Biederman (2014) met en lumière une correspondance entre le processus de détection d'un visage et de son identification, mais celle-ci

pourrait s'expliquer par une association fortuite entre des régions touchées par les lésions chez ce patient. L'objectif de cet essai doctoral est de vérifier le possible chevauchement entre les mécanismes impliqués en détection et en identification de visages. Pour vérifier cette hypothèse, nous allons mesurer la quantité de signal nécessaire à la détection d'un visage (versus de voitures) en utilisant la méthode proposée par Xu et Biederman (2014). Par la suite, nous allons dans le cadre d'un protocole de différences individuelles, corrélérer ce score de détection avec un score global d'identification de visages (voir également Duncan et al., soumis, Royer et al., 2016; 2018; Tardif et al., 2019). Nous posons l'hypothèse que le seuil de détection des visages sera corrélé à l'habileté à identifier les visages. Un tel patron de résultat supporterait l'idée qu'il existe un chevauchement entre les processus de détection et d'identification de visages.

CHAPITRE II MÉTHODOLOGIE

Afin de vérifier l'hypothèse d'un chevauchement entre les mécanismes impliqués dans la détection et l'identification des visages, nous proposons de mesurer chez chacun de nos participants les habiletés de traitement de visage grâce à trois tests classiques, soit le Cambridge Face Memory Test forme longue (CFMT+ : Russell, Duchaine, & Nakayama, 2009), le Cambridge Face Perception Test (CFPT : Duchaine, Germine, & Nakayama, 2007) et le Glasgow Face Matching Test (GFMT: Burton et al., 2010), de même que les habiletés à détecter un visage à l'aide du paradigme développé par Xu et Biederman (2014).

2.1 Participants et recrutement

Quarante-cinq participants (24 femmes) d'ethnie blanche, âgés de 18 à 35 ans ($M = 22.64$ ans et $\acute{E}.-T. = 4.43$ ans), ont participé à cette étude. Tel que calculé avec G-Power (Faul, Erdfelder, Buchner, & Lang, 2009), ce nombre de participants est suffisant pour assurer une puissance statistique de .8 en assumant un effet de taille modérée de $\rho = 0.35$ pour le test principal qui sera mené, soit une corrélation de Pearson.

Les participants devaient avoir une vision normale ou corrigée pour participer à l'étude ainsi qu'être exempts de troubles neuropsychologiques, psychiatriques et neurologiques, tels que, par exemple, la schizophrénie ou l'épilepsie. L'exception à cette condition étant le trouble déficitaire de l'attention si une médication compensatoire y était apportée. Ils ne devaient pas avoir consommé de tétrahydrocannabinol depuis au moins un mois. Les participants ont été recrutés via la banque de participants du Laboratoire de Perception Visuelle et Sociale de l'Université du Québec en Outaouais (LPVS-UQO) qui avaient été préalablement recrutés à l'UQO ou au Cégep de l'Outaouais. Ce projet de recherche a reçu l'approbation du Comité

d'éthique de la recherche de l'Université du Québec en Outaouais et en concordance avec le certificat éthique émis, les participants étaient compensés pour leur participation au projet selon un taux horaire de 12 dollars.

2.2 Procédure et mesures

Lorsqu'un participant potentiel manifestait son intérêt pour participer au projet de recherche, une discussion téléphonique était effectuée afin de s'assurer de l'absence des critères d'exclusion. Si la personne ne présentait aucun critère d'exclusion, une rencontre d'évaluation était alors fixée selon ses disponibilités.

L'étude se déroulait dans les locaux de recherche du LPVS-UQO pour un total d'environ trois heures par participant. À la suite de la signature du formulaire de consentement à participer à l'étude, les participants remplissaient un questionnaire sociodémographique et effectuaient des chartes d'évaluation de la vision et enfin les tâches informatisées.

2.2.1 Questionnaires et échelles visuelles.

2.2.1.1 Questionnaire sociodémographique. Les participants ont rempli un questionnaire sociodémographique où des informations personnelles sont collectées comme leur âge, leur scolarité et leurs antécédents médicaux.

2.2.1.2 Échelle d'acuité de Snellen. Un critère d'inclusion important à ce projet est la qualité de l'acuité visuelle des participants, afin de s'assurer que leur perception visuelle soit normale ou adéquatement corrigée. Afin de vérifier cet élément, ces derniers devaient compléter la charte de Snellen (Harvard Health Publications, 2017). Cette charte consiste en différentes lettres de l'alphabet sous différentes tailles dans le but de quantifier l'acuité visuelle des participants. Pour être éligibles à l'étude, les participants devaient tous avoir une acuité visuelle normale ou corrigée.

2.2.1.3 Charte de sensibilité au contraste. Ce test contient des lettres de différents niveaux de contraste. Il nous a permis de nous assurer que les capacités visuelles de bas niveau des participants se situaient dans les limites de la norme. Tous les participants ont réussi le niveau de contraste critique minimal fixé à 13 à la charte de Pelli-Robson (Pelli, Robson, & Wilkins, 1988).

2.2.2 Tâches d’habileté en traitement de visages.

Afin de déterminer le niveau d’habileté en identification, chaque participant a effectué trois tâches de traitement de visages. Ces tâches sont reconnues au sein de la littérature scientifique comme permettant de quantifier le degré d’expertise en reconnaissance de visages selon différents paradigmes qui seront explicités durant les prochaines sections.

2.2.2.1 Cambridge Face Memory Test + (CFMT+). La première épreuve afin de mesurer l’habileté d’identification était celle du CFMT+ (Russell et al., 2009). Durant cette tâche, le participant est invité à mémoriser six visages non familiers d’identité masculine, selon trois types de présentation, soit de face et de profil $\frac{3}{4}$ vers la gauche et vers la droite, et ce, lors d’une brève exposition (voir Figure 10). Par la suite, il doit dire laquelle de trois photos de visages correspond à l’une des six identités apprises (Duchaine & Nakayama, 2006; Russell et al., 2009). Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé la version longue (Russell et al., 2009) qui contient 30 essais de plus que la version originale, et ce, afin d’éviter un effet plafond dans les performances des participants qui sont excellents en reconnaissance de visages. Cette méthode de choix forcé à trois alternatives contient quatre phases évoluant de manière à devenir de plus en plus difficiles en raison d’une dégradation visuelle des stimuli par l’ajout de bruit visuel (voir Conditions 3 et 4 à la Figure 10). Ce test permet d’indiquer la facilité ou la difficulté que le

participant éprouve pour la reconnaissance des visages récemment appris. Par ailleurs, cette méthodologie évalue également la mémoire des visages.

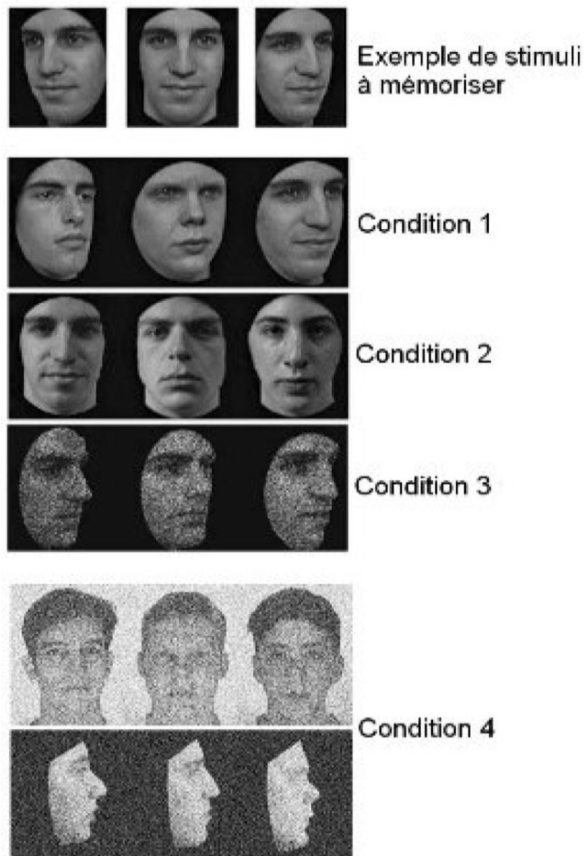


Figure 10. Exemple de stimuli du CFMT+ et des différentes conditions (Russell et al., 2009).

2.2.2.2 Cambridge Face Perception Test (CFPT). La seconde tâche utilisée afin de déterminer l'habileté d'identification était celle du CFPT (Duchaine et al., 2007). Celle-ci consiste à classer par ordre de ressemblance six stimuli selon un visage cible présenté à l'écran (voir Figure 11). Ces six stimuli sont en réalité des morphs, c'est-à-dire l'amalgame du visage cible et d'un visage inconnu selon différents pourcentages (88 – 76 – 64 – 52 – 40 – 28 %). Les participants doivent les classer en ordre de ressemblance, ce qui logiquement correspond au

pourcentage de morphing du visage cible. Cette tâche ne nécessite pas de processus mnésiques, puisque le stimulus cible est présent tout au long de l'essai. Néanmoins, afin que la tâche soit davantage complexe, un temps limité à minute est fixé pour l'exécution des essais. La tâche est composée de huit essais où le visage est présenté à l'endroit et huit essais où il est présenté de façon inversée dans le plan de l'image. Dans le cadre de ce projet, seul le score obtenu pour les visages présentés à l'endroit fut conservé. Le score représente à la base le nombre d'erreurs commises dans le classement des stimuli, les meilleurs ayant donc le score le plus faible. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, les scores ont donc été inversés, de manière à ce qu'un score élevé corresponde à une habileté élevée. Notons que ce test corrèle bien avec le CFMT (.60 dans Bowles et al., 2009 pour la version courte du CFMT et de .47 dans Royer et al., 2015 pour la version longue du CFMT).

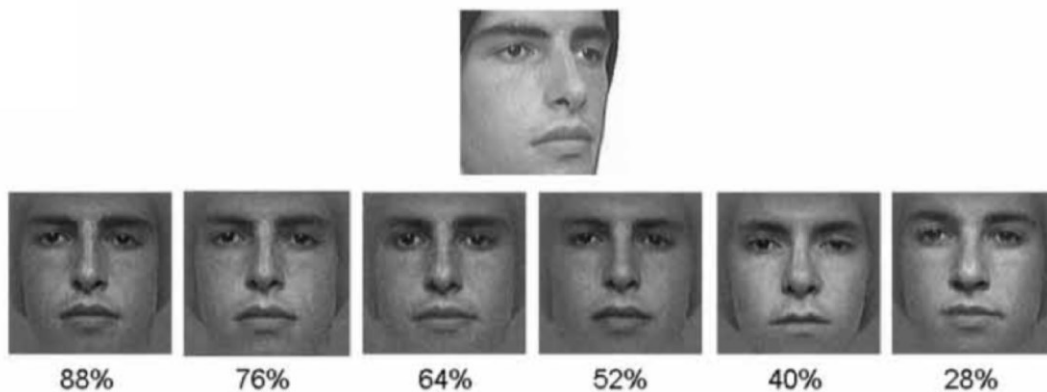


Figure 11. Exemple de stimuli du CFPT (Duchaine et al., 2007).

2.2.2.3 Glasgow Face Matching Task (GFMT). Cette tâche consiste à indiquer si deux stimuli présentés à l'écran simultanément représente le visage de la même personne ou non (Burton et al., 2010; voir Figure 12). Les stimuli ont été posés sous différentes conditions (i.e. luminosité, distance, angle, etc.) et les visages provenant d'identités différentes ont été

jumelés sur la base de leur ressemblance, rendant ainsi le jugement identitaire davantage subtil et complexe. Encore une fois, l'aspect mnésique du processus d'identification n'est pas évalué par cette tâche. Nous avons utilisé la version courte, comprenant 40 essais, ces items ayant été sélectionnés par les auteurs du test puisqu'ils corrèlent fortement ($r = .91$) avec les scores obtenus à la passation de la version longue du même test. Cette tâche a également de bonnes corrélations avec le CFMT (corrélation de .47 : Robertson et al., 2017; corrélation de .48 : Verhallen et al., 2017) ainsi qu'avec le CFMT+ (corrélation de .36 : Royer et al., 2015).



Figure 12. Exemple de stimuli du GFMT (Burton et al., 2010). À la paire A, les deux visages présentés ne sont pas de la même identité alors que les deux photos à la paire B sont de la même personne.

2.2.3 Tâche d'habileté en traitement d'objets.

2.2.3.1 Cambridge Car Memory Test (CCMT). Puis, les participants ont effectué une tâche de mémorisation d'objets, soit le Cambridge Car Memory Test (CCMT; Dennett et al., 2012). Cette tâche consiste à mémoriser des modèles de voitures puis de les reconnaître par la suite parmi des distracteurs (voir Figure 13 pour un exemple de stimuli). Cette tâche utilise le même protocole que le CFMT (Duchaine & Nakayama, 2006; se référer à la section 2.2.2.1).



Figure 13. Exemple de stimuli du CCMT (Dennett et al., 2012).

2.2.4 Tâche de détection.

Étant donné l'objectif du présent projet, nous avons reproduit la méthode de détection développée dans l'étude de Xu et Biederman (2014; voir expérience 2). Cette méthode est décrite en détails ci-dessous. En variant la quantité de signal visuel présenté selon la performance du participant, nous sommes en mesure de mesurer le seuil de détection individuel pour chacune des catégories de stimuli utilisées.

2.2.4.1 Conditions expérimentales. Toutes les tâches informatisées ont été effectuées sur des ordinateurs de type Apple et programmées sur le logiciel Matlab. Les écrans utilisés étaient de type DCL 120Hz de 22 pouces, avec une résolution définie à 1680×1050 pixels. Ils ont été calibrés en fixant la luminosité de l'écran au critère $\gamma = 1$, signifiant que la courbe de luminosité des pixels était proportionnelle et linéaire. La salle d'expérimentation était plongée dans l'obscurité afin de limiter toute autre source lumineuse que celle provenant des écrans. Des mentonnières ont été utilisées afin d'assurer un contrôle de la distance entre les yeux des participants et l'écran d'ordinateur.

2.2.4.2 Présentation. De façon similaire à l'article de Xu & Biederman (2014), les participants prenaient part à deux conditions expérimentales, soit une condition de détection de visages et une seconde de détection de voitures. Chaque condition comprenait 100 essais divisés en deux blocs d'expérimentation de 50 essais chacun. Les participants pouvaient prendre des pauses entre chaque bloc.

La méthode de présentation était un choix forcé à deux alternatives (2-AFC), les participants devant simplement indiquer si le stimulus cible (visage ou voiture) était présenté à gauche ou à droite du centre de l'écran (voir Figure 14). Les participants devaient fixer le centre de l'écran tout au long de l'expérience. Chaque essai débutait par une croix de fixation centrée d'une durée de 500 ms, suivie par un écran gris moyen d'une durée de 500 ms. Par la suite, le stimulus et la plage de bruit étaient simultanément présentés, de part et d'autre du centre de l'écran, pour une durée de 100 millisecondes. À cela suivait immédiatement une plage de bruit blanc dynamique, présentée durant 50 ms et agissant à titre de masque visuel. L'objectif de ce masque était d'éviter une rémanence visuelle (Gerling & Spillmann, 1987). Finalement, un écran gris moyen avec une croix était présenté dans l'attente de la réponse du participant. Les participants devaient indiquer leur réponse en appuyant sur la clé de réponse associée.

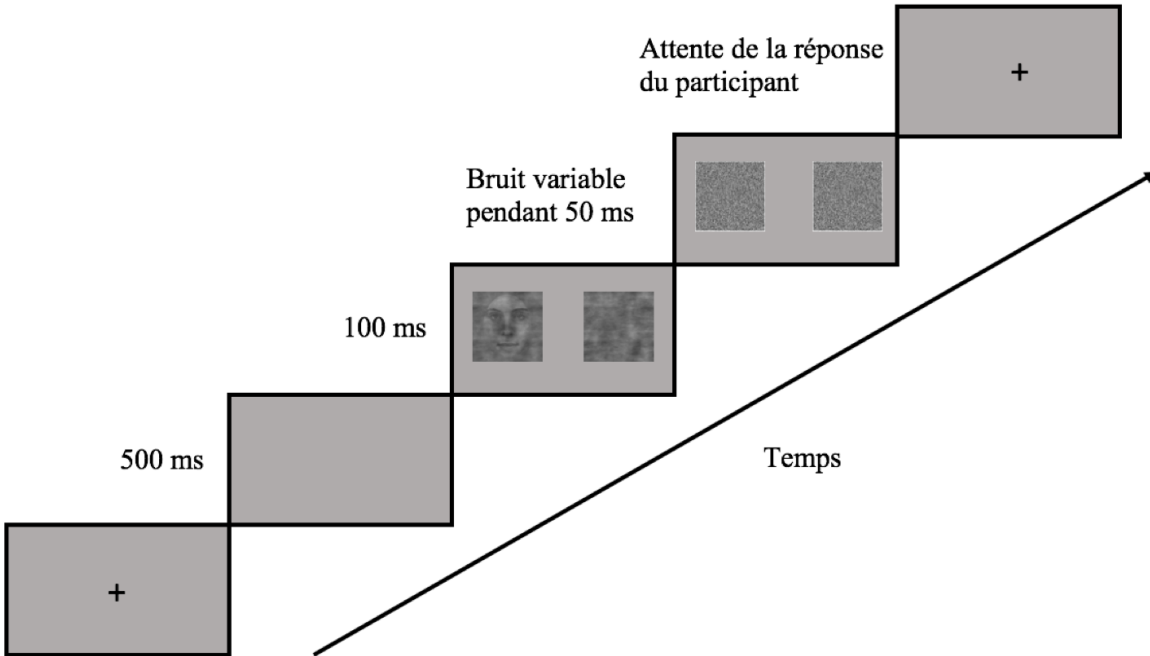


Figure 14. Illustration d'un essai dans la tâche de détection de visages. À chaque essai, le participant devait indiquer si le stimulus était présenté à gauche ou à droite.

2.2.4.3 Stimuli. Vingt photographies de visages provenant de la banque de visages de Karolinska (Lundqvist, Flykt, & Öhman, 1998) et vingt images de voitures (Goffaux, Gauthier, & Rossion, 2003) ont été sélectionnées dans le cadre de cette étude. Les images ont été modifiées afin d'égaliser leur luminance ainsi que leurs spectres de fréquences spatiales grâce à l'outil SHINE (Willenbockel et al., 2010b). Les photographies de visages ont été préalablement alignées sur la position moyenne de chacun des principaux traits de visage (c.-à-d. yeux, nez, bouche). Un ovale a été apposé sur les images de visages afin d'exclure les traits physiques externes, par exemple les cheveux et les oreilles. Toutes les images ainsi que les plages de bruit, qui rappelons-le étaient présentées simultanément à l'écran, avaient une dimension de 256 par 256 pixels. À l'écran, le stimulus et la plage de bruit étaient séparés par une distance de 100

pixels et centrés par rapport à l'écran. Les stimuli étaient présentés à une distance équivalente à 6,5° d'angle visuel. Notons que l'ensemble de la présentation visuelle, soit la mesure du stimulus au distracteur, correspondait à un total de 19° d'angle visuel.

2.2.4.4 Manipulations expérimentales. Pour créer les stimuli (voir Figure 16), une transformée de Fourier était appliquée aux images de visages ou de voitures afin de dissocier, dans le domaine des fréquences, le spectre de la phase (l'endroit de leurs fréquences) et celui de l'énergie (l'amplitude de leurs fréquences). Une fois le spectre de la phase obtenu, celui-ci était par la suite randomisé selon la méthode de Dakin et al. (2002). Les formules suivantes, qui sont l'adaptation de la méthode de Dakin et al. (2002), furent utilisées où la variable ϕ représente la valeur de la phase pixel par pixel (Rousselet et al., 2008).

$$\phi_{finale} = \begin{cases} \tan^{-1}(S_{\phi}/C_{\phi}) & C_{\phi} > 0 \\ \tan^{-1}(S_{\phi}/C_{\phi}) + \pi & C_{\phi} < 0 \text{ \& } S_{\phi} > 0 \\ \tan^{-1}(S_{\phi}/C_{\phi}) + 2\pi & C_{\phi} < 0 \text{ \& } S_{\phi} < 0 \end{cases}$$

Où:

$$\begin{aligned} S_{\phi} &= w \sin(\phi_{image}) + (1 - w) \sin(\phi_{noise}) \\ C_{\phi} &= w \cos(\phi_{image}) + (1 - w) \cos(\phi_{noise}) \end{aligned} \quad w[0,1]$$

L'avantage de la méthode de Dakin et al. (2002) est qu'elle assure une randomisation pondérée et équilibrée sur l'ensemble de l'image. En effet, elle évite une surreprésentation des phases près de 0° comparativement à la méthode de Rainer (Rainer, Augath, Trinath, & Logothetis, 2001). Visuellement parlant, cette méthode évite donc une sous-représentation des coins des images (Dakin et al., 2002; voir Figure 15).

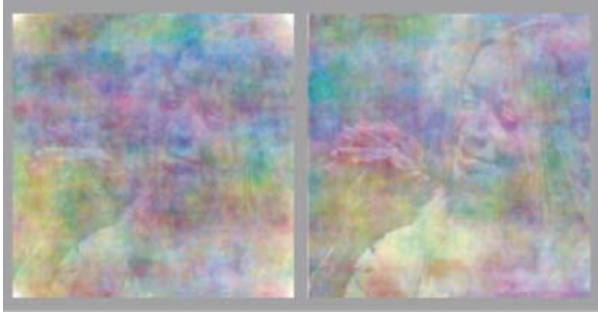


Figure 15. À gauche, voici une image randomisée à 50% par la méthode de Rainer et al. (2001). À droite, voici la même image, toutefois randomisée par la méthode de Dakin et al. (2002).

Donc, une fois la randomisation de phase effectuée, le spectre de la phase final du stimulus était déterminé en combinant un pourcentage (w) de la phase originale de l'image (signal) et de la phase randomisée pondérée (bruit). À titre d'exemple, lorsque la valeur de w équivaut à un, cela signifie que la phase originale du stimulus est présentée à 100% et donc que l'image est normale. À l'inverse, une valeur de zéro indique qu'il n'y a aucun pourcentage de la phase originale et que le stimulus est complètement bruité.

Dans le cadre de notre expérience, la valeur de w était réglée selon la performance du participant par l'algorithme QUEST (Watson & Pelli, 1983), qui était ajusté visant une performance à mi-chemin entre la performance parfaite (100%) et le hasard (50%), soit dans le cadre de cette étude à 75%. En d'autres mots, meilleur était le participant pour détecter les visages ou les voitures, plus les stimuli présentés étaient randomisés et vice-versa (voir Figure 17). Le spectre d'énergie était quant à lui maintenu constant, à une valeur correspondant à la moyenne des spectres d'énergie de tous les stimuli, visages et voitures confondus. Le stimulus final était créé par l'application d'une transformée de Fourier inverse sur le spectre de la phase final (original et randomisé proportionné) et la moyenne des spectres d'énergie. Le distracteur

présenté consistait plutôt à l'application d'une transformée de Fourier inverse sur la phase randomisée (bruit complet; $w = 0$) et de la moyenne des spectres d'énergie.

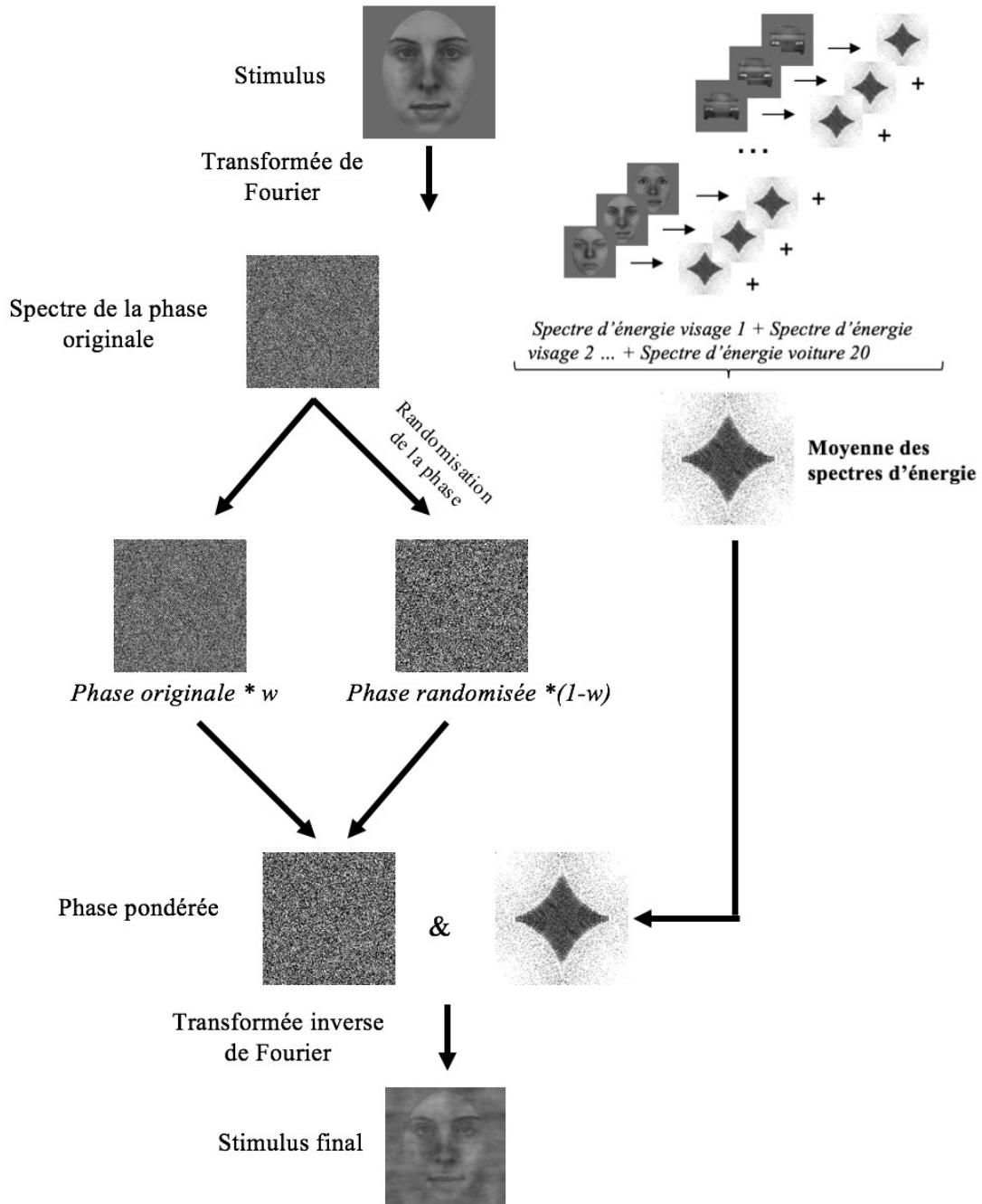


Figure 16. Schéma de la méthode de la randomisation pondérée du spectre de la phase. À gauche, le spectre d'énergie est celui du stimulus. Une proportion de la phase randomisée est introduite au spectre de la phase final. Dans le cadre de cet exemple, w équivaut à 50% de signal.

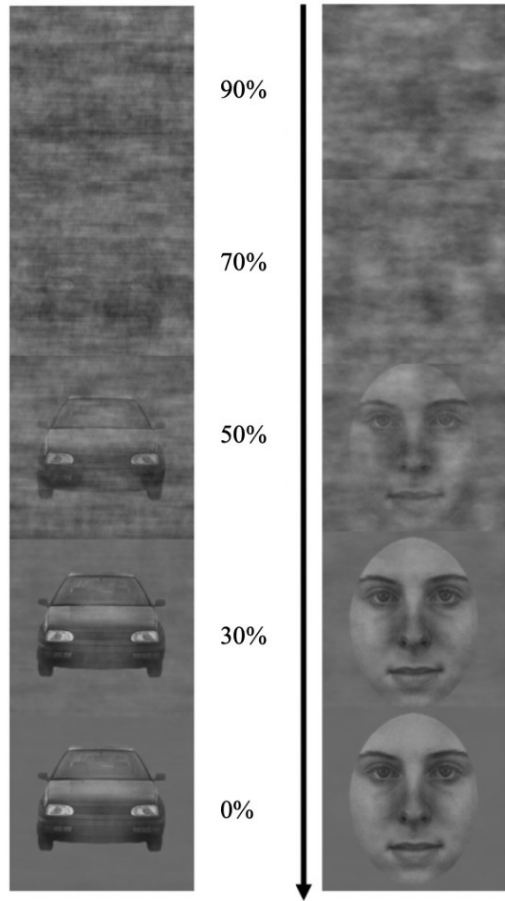


Figure 17. Exemples de stimuli avec différents pourcentages de randomisation de phase (i.e. différentes valeurs de $1-w$).

CHAPITRE III RÉSULTATS

3.1 Habileté de détection

Avant de s'attarder à l'objectif de cet essai, nous avons vérifié la présence d'un biais positif envers la catégorie des visages. Pour ce faire, nous avons comparé la valeur moyenne de w , soit la quantité de signal présenté, pour la catégorie des visages à celle des voitures. La quantité de signal nécessaire pour un participant correspondait à la valeur de w au dernier essai effectué avec chacune des deux catégories. Puisque l'algorithme QUEST s'ajustait à la performance du participant tout au long des essais, le dernier essai correspond à la meilleure estimation de la quantité de signal nécessaire pour que le participant maintienne la performance visée. La fiabilité interne des tâches de détection a été mesurée à l'aide de l'analyse de split-half Spearman-Brown ($\rho_{\text{visages}50\text{visages}100} = .66$; $\rho_{\text{voitures}50\text{voitures}100} = .65$). Un test-t païré révèle, qu'en moyenne, les participants avaient un seuil moindre, donc étaient plus sensibles, avec les visages ($M = .31$, $\acute{E}.T. = .03$) qu'avec les voitures ($M = .36$, $\acute{E}.T. = .04$), $t(44) = -8.86$, $p < .001$, $r = .64$, BCa 95% CI [-.06, -.04].

3.2 Habileté en traitement de l'identité et d'objets

De manière à vérifier la présence d'une homogénéité dans les performances individuelles aux tâches de reconnaissance d'identité, nous avons effectué des corrélations entre les trois scores des participants. Nous pouvons constater que nous avons obtenu des corrélations significatives (voir le Tableau 1) entre les tâches d'habileté en identification de visages, CFMT+ ($M = 70.59$, $\acute{E}.T. = 9.93$), CFPT ($M = 28.31$, $\acute{E}.T. = 10.07$; notons que la corrélation est négative, puisque le score représente le nombre d'erreurs commises) et GFMT ($M = 85.61$, $\acute{E}.T. = 9.95$). De façon intéressante, les corrélations observées sont similaires à celles observées dans

Royer et al. (2015), ce qui suggère une cohérence dans les données obtenues. En ce qui a trait aux scores à la tâche d'habileté en mémorisation de voitures, CCMT ($M = 74.87$, $É.-T. = 10.75$), aucune corrélation significative n'est observée avec les tâches d'habileté en traitement de l'identité.

Pour l'objectif de cet essai, nous avons déterminé un score individuel global pour l'habileté en identification de visages. Ceci nous permet de conclure à une mesure d'habileté davantage représentative puisqu'elle inclut différents processus en lien avec l'identification d'un visage, comme la discrimination perceptive et l'aspect mnésique. Cette mesure est également plus stable puisqu'elle diminue l'effet d'une performance attribuable au hasard, par exemple un participant ayant moins bien performé dans une tâche donnée. De plus, la présence de corrélations significatives entre les performances aux tâches d'habiletés assure également une cohérence dans les résultats obtenus justifiant l'intégration des résultats en un score global de performance. Nous avons donc calculé ce score global à partir de la moyenne des Z scores des trois tâches (CFPT : le Z score a été inversé au préalable), et ce, pour chaque participant. Une variété de performances a été obtenue et est similaire à celle observée dans le cadre de recherches effectuées dans notre laboratoire de recherche (Royer et al., 2015; Royer et al., 2018). Nous avons également déterminé un score individuel en traitement d'objets, le Z score du CCMT, dans le but de s'assurer que les observations étaient seulement applicables à la condition des visages.

Tableau 1.

Tâche	CFMT+	CFPT	GFMT	CCMT
CFMT+	-	-.43**	.35*	.18
CFPT	-.43**	-	-.58**	.18
GFMT	.35*	-.58**	-	.24
CCMT	.18	.18	.24	-

Note. * $p < .05$, bilatéral. ** $p < .001$, bilatéral.

Corrélations de Pearson entre les mesures d'habiletés

3.3 Habileté de détection selon l'habileté d'identification.

Afin de vérifier notre hypothèse, soit l'existence d'une relation entre la détection et l'identification de visages, le seuil de détection de chaque participant a d'abord été calculé pour chaque condition, avec la procédure décrite à la section 3.1. Ces seuils de détection ont ensuite été ordonnés puis transformés en scores Z, en utilisant le seuil moyen et l'écart-type des seuils de détection des participants inclus dans la présente étude. Finalement, une analyse de corrélations entre les seuils de détection et le score global d'habileté en identification de visages (calculé selon la procédure décrite à la section 3.2) a été menée. Les résultats indiquent une corrélation négative significative entre le score d'habileté en identification de visages et le seuil de détection pour les visages ($r_{Spearman} = -.41, p < .01$) (voir Figure 18). La corrélation entre le seuil de détection de voitures et l'habileté en traitement des visages n'est toutefois pas significative ($r_{Spearman} = -.27, p = .07$). Tout comme, les corrélations entre l'habileté en traitement d'objets et le seuil de détection des visages ($r_{Spearman} = -.18, p = .23$) de même que le seuil de détection de voitures ($r_{Spearman} = -.19, p = .20$) sont non-significatives.

De manière importante, la corrélation entre le score d'habileté d'identification des visages et le seuil de détection pour les visages demeure significative lorsque le seuil de détection pour les voitures et l'habileté à mémoriser et reconnaître des voitures sont contrôlés ($r_{partielle} = -.35, p < .05$). Au contraire, la corrélation entre le seuil de détection de voitures et l'habileté en traitement des visages n'est pas significative lorsque le seuil de détection pour les visages et l'habileté en traitement d'objets sont pris en compte ($r_{partielle} = -.12, p = .47$).

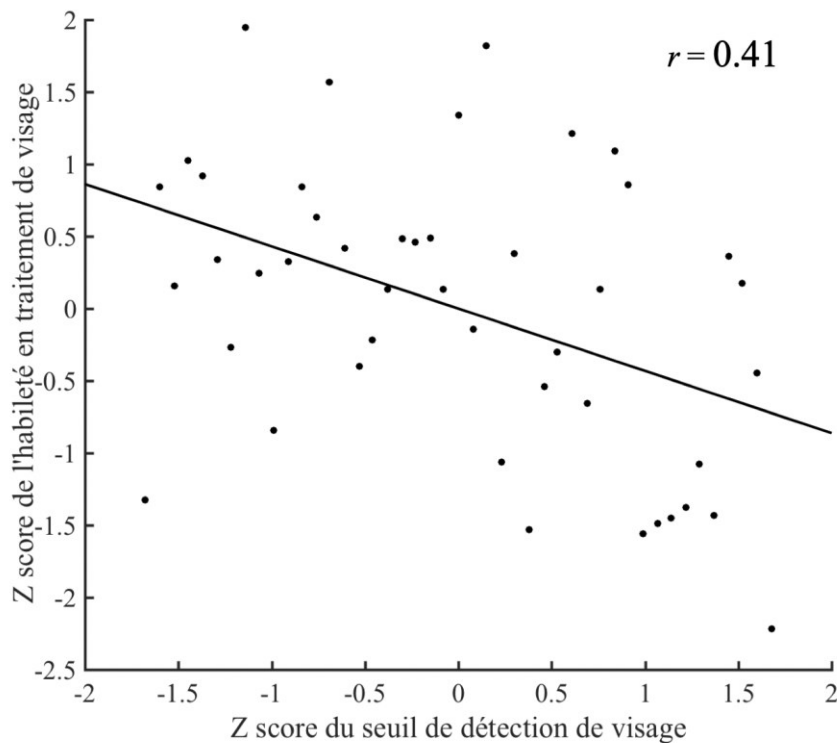


Figure 18. Diagramme de dispersion illustrant le lien entre le score d'habileté en traitement de visages et le seuil de détection des visages.

CHAPITRE IV DISCUSSION

4.1 Retour sur les résultats

En 2014, Xu et Biederman ont révélé un déficit spécifique à la détection des visages chez un patient prosopagnosique. Ce résultat suggère un lien, au moins partiel, entre les mécanismes liés à l'identification des visages et ceux impliqués dans leur détection. Il suggérait également que les régions cérébrales comme le OFA et le FFA, associées à l'identification des visages et lésées chez leur patient, soient également impliquées dans la détection des visages. Puisque les lésions cérébrales de ce patient étaient extrêmement étendues, ce résultat pouvait toutefois s'expliquer par le fait que les lésions du patient touchaient à la fois les aires responsables de l'identification des visages et celles responsables de leur détection. Afin de contourner cette possibilité et de vérifier les conclusions des auteurs, nous avons testé cette même idée chez des sujets neurotypiques, donc sans lésion cérébrale. Pour ce faire, nous avons utilisé un paradigme de différences individuelles où 45 participants ont dû compléter des tâches classiques d'identification de visages ainsi qu'une tâche de détection de ce même stimulus fortement inspirée de celle de Xu et Biederman (2014). Afin d'éliminer la possibilité que les différences individuelles observées soient également présentes avec d'autres types d'objets, ces mêmes participants ont également dû accomplir une tâche de détection et une tâche de mémorisation avec des voitures.

Les résultats de la présente étude confirment l'hypothèse principale en démontrant l'existence d'une relation, au moins partielle, entre l'habileté en identification de visages et en

détection de visages. À notre connaissance, la présente étude représente la première démonstration que d'une part, des différences individuelles peuvent être observées dans la capacité à détecter des visages; et que, d'autre part, cette variabilité est liée à l'habileté à identifier des visages.

Il est important de noter que les résultats du présent essai doctoral sont à contre-courant de récentes études qui n'ont pas révélé d'association entre ces deux mécanismes (Fysh, 2018; Robertson et al. 2017). Des différences méthodologiques importantes pourraient aisément expliquer pourquoi les résultats diffèrent. En premier lieu, en comparaison à l'étude de Robertson et al. (2017), notre étude utilise un score global en identification de visages plutôt que le score d'un seul test. Cela permet une mesure plus stable des habiletés individuelles en reconnaissance de visages. De plus, la mesure psychophysique précise et sophistiquée adaptée du paradigme de Xu et Biederman (2014) offre une métrique d'une fiabilité acceptable, mais sommes toute modérée ($\rho_{\text{visages50visages100}} = .66$) de l'habileté à détecter des visages. Il importe également de souligner que les résultats de la présente étude répliquent un autre effet rapporté auparavant dans les écrits scientifiques du domaine, soit l'observation d'une détection supérieure (i.e. mesuré ici par la quantité de signal requis pour atteindre une performance similaire) des visages comparativement aux autres classes d'objets (Crouzet et al., 2010; Crouzet et al., 2007; Crouzet & Thorpe, 2011; Fletcher-Watson et al., 2008; Honey et al., 2008; VanRullen, 2006). L'observation de cet effet réplique également les résultats obtenus par Xu et Biederman (2014) auprès de leur groupe contrôle. La réplification de cet effet dans la présente étude est rassurante en ce qui a trait à la qualité des données et permet d'être d'autant plus confiant dans l'interprétation de la corrélation retrouvée entre les habiletés en détection et en identification de visage.

Les prochaines sections seront donc destinées à mettre en contexte nos présents résultats avec les écrits scientifiques. Différentes perspectives seront abordées afin de mieux comprendre comment ces deux mécanismes, soit la détection de visages et l'identification, peuvent être associés. Pour ce faire, nous explorons la perspective neurobiologique, les mécanismes perceptifs ainsi que les données concernant la prosopagnosie afin d'interpréter nos résultats. Tout d'abord, les conclusions de Xu et Biederman (2014) suggèrent que des lésions à la région de l'OFA et du FFA, largement associées dans la littérature à des déficits en identification de visages (Barton et al., 2002; Caldara et al., 2005; Damasio et al., 1990; McKone et al., 2007), occasionnent également des déficits en détection de visages. Leurs résultats sont compatibles avec la littérature scientifique, toutefois ils ne permettent pas de trancher sur le débat qui subsiste au sujet de la région neuroanatomique responsable de la détection de visages.

4.2 Liens neuroanatomiques

Un débat subsiste dans la littérature sur la/les région(s) anatomique(s) impliquée(s) dans la détection des visages. Alors que certains suggèrent un rôle pour l'OFA (Gauthier et al., 2000), d'autres proposent plutôt le FFA (Avidan et al., 2005; Kanwisher, & Yovel, 2006; Loffler et al., 2005; Tong et al., 2000). Certaines études proposent quant à elles une activation conjointe de ces deux régions (Grill-Spector et al., 2004; Nestor, Vettel, & Tarr, 2008; Nestor, Vettel, & Tarr, 2013), sans toutefois trancher sur le rôle de chacune. Par exemple, l'étude de Grill-Spector et al. (2004) a mis en lumière l'activation du FFA lors de la détection de visages, mais de façon plus importante lors de l'identification de ceux-ci. Le même patron d'activations a été observé dans la région de l'OFA (Grill-Spector et al. 2004), indiquant alors le rôle de celle-ci pour les mécanismes de détection et d'identification. Différentes études ont démontré que la région du FFA serait cruciale pour représenter les informations nécessaires à l'identification des visages

(Hoffman & Haxby, 2000; Grill-Spector et al., 2004; Rotshtein et al., 2005; Kanwisher, & Yovel, 2006) alors que l'OFA serait considéré comme intervenant dans l'analyse des traits du visage (Kanwisher & Barton, 2011; Pitcher et al., 2007, 2011) et plus spécifiquement de la région des yeux (Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017). Des études en différences individuelles ont par ailleurs démontré que la sélectivité du FFA (Furl et al., 2011; Huang et al., 2014) et du OFA (Huang et al., 2014) pour la catégorie des visages est positivement associée à l'habileté d'identification. De manière générale, les différences individuelles dans la détection de visage, telles que révélées par notre étude, semblent consistantes avec l'idée que l'une ou des deux régions soit impliquée dans la détection, sans toutefois permettre de conclure sur leur importance relative. Il demeure important de mentionner la possibilité qu'une autre région cérébrale soit sensible aux différences individuelles dans ces deux tâches et que nos résultats ne proviennent pas de différences sur l'OFA et le FFA. Nous devons donc demeurer prudents dans l'interprétation de nos données, purement comportementales, pour le rôle de région anatomique dans le traitement des visages.

Des études en électroencéphalographie ont également mis en lumière des résultats consistants avec ceux de notre étude. En comparaison à la perception d'objets, la perception de visages provoque un pic d'activation (ERP; *event-related potential*) négatif et prononcé aux régions occipitotemporales approximativement 170 ms après la présentation du visage (N170 : Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996; pour des revues de littérature voir Eimer, 2011; Rossion & Caharel, 2011; Rossion & Jacques, 2008; Rousselet et al., 2008). Sachant que la sélectivité du FFA pour les visages est très fortement associée à la N170 (Horovitz, Rossion, Skudlarski, & Gore, 2004; Sadeh, Podlipsky, Zhdanov, & Yovel, 2010), ceci suggère que ces deux mesures représentent en fait le même corrélat neurofonctionnel (Sadeh et al., 2010; Yovel,

Wilmer, & Duchaine, 2014) qui aurait par conséquent un rôle dans la détection de visages. L'ensemble de la littérature en EEG suggère que la N170 est indépendante de la nature de la tâche (Caharel, Fiori, Bernard, Lalonde, & Rebai, 2006; Itier, Alain, Sedore, & McIntosh, 2007; Itier & Taylor, 2004; Letourneau & Mitchell, 2008). Cette mesure n'est donc pas sensible à la familiarité d'un visage (Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000; Herzmann, Schweinberger, Sommer, & Jentsch, 2004) ni à la présence d'expressions faciales (Eimer & Holmes, 2002, 2007). Les observations tendent donc à indiquer que la N170 serait plutôt liée au traitement perceptif des visages per se (Herzmann, Kunina, Sommer, & Wilhelm 2010; Kaltwasser, Hildebrandt, Recio, Wilhelm, & Sommer, 2014; Towler, Gosling, Duchaine, & Eimer, 2012) et même à leur détection (Zion-Golombic, & Bentin, 2006). Tout comme pour le FFA (Furl et al., 2011; Huang et al., 2014), des études ont démontré que la N170 est modulée par les différences individuelles en identification de visages (Herzmann et al., 2010; Kaltwasser et al. 2013; Turano, Marzi, & Viggiano, 2016). Puisque le FFA et la N170 représentent le même corrélât neurofonctionnel (Sadeh et al., 2010; Yovel, Wilmer, & Duchaine, 2014), en mettant en commun leur littérature respective, nous pouvons conclure qu'il existe des différences individuelles dans la réactivité du FFA au traitement perceptif des visages. Sachant que cette région cérébrale est également impliquée lors de la détection de visages (Avidan et al., 2005; Grill-Spector et al., 2004; Kanwisher, & Yovel, 2006; Loffler et al., 2005; Nestor et al., 2008; Nestor et al., 2013; Tong et al., 2000), ces résultats sont congruents avec notre observation qu'il existe des différences individuelles sur le plan de la détection de visages.

Il subsiste néanmoins un débat quant au type de traitement perceptif exercé par le FFA. Plusieurs chercheurs proposent que le FFA soit impliqué dans le traitement holistique des visages (Mazard, Schiltz, & Rossion, 2006; Schiltz, Dricot, Goebel, Rossion, 2010). Par contre,

il est loin d'être clair que le traitement holistique serait associé aux habiletés individuelles (seulement 16% de la variance expliquée dans Richler, Cheung, & Gauthier, 2011; 10% dans Wang, Li, Fang, Tian, & Liu, 2012 et voir Konar, Bennett, & Sekuler, 2010; Sunday, Richler, & Gauthier, 2017) ce qui, pour l'instant, limite grandement l'intérêt de la théorie holistique pour l'interprétation des données tant comportementales qu'anatomiques ou même physiologiques. Récemment, des chercheurs ont proposé que l'activation du FFA et la N170 soient associées à la sensibilité au traitement des orientations spatiales horizontales (N170 : Jacques, Schiltz, & Goffaux, 2014; FFA : Goffaux, Duecker, Hausfeld, Schiltz, & Goebel, 2016) dans le traitement des visages ou de façon générale au traitement des yeux (Itier et al., 2007; Schyns, Jentzsch, Johnson, Schweinberger & Gosselin, 2003; Smith, Gosselin, & Schyns, 2004). Il est donc possible que ces propriétés visuelles soient fondamentales à l'investigation du lien entre l'identification des visages et la détection de ce même stimulus.

4.3 Mécanismes perceptifs

4.3.1 Orientations horizontales

En 2009, Dakin et Watt montraient l'importance des orientations spatiales horizontales pour le traitement de l'identité d'un visage (voir Figure 19). Depuis, de nombreuses études attestent que les orientations spatiales horizontales sont cruciales à la reconnaissance de l'identité des visages (Dakin & Watt, 2009; Duncan et al., (soumis); Goffaux & Dakin, 2010; Goffaux et al., 2011; Pachai, Bennett & Sekuler, 2018; Pachai, Sekuler, & Bennett, 2013; Pachai, Sekuler, Bennett, Schyns & Ramon, 2017), des expressions faciales (Balas & Huynh, 2015; Duncan et al., 2017; Huynh & Balas, 2014) et même de la détection de ceux-ci (Balas, Schmidt, & Saville, 2015). Parallèlement, des différences individuelles en ce qui a trait à la sensibilité aux orientations horizontales sont également observées et corréllent avec l'habileté en identification

des visages (Duncan et al., (soumis); Pachai et al., 2013). Cette sélectivité aux orientations horizontales est d'ailleurs flexible, puisqu'elle s'accroît avec la familiarité d'un visage (Pachai et al., 2017). En somme, les orientations horizontales sont déterminantes pour le traitement des visages, détection (Balas et al., 2015) et identification comprises (Dakin & Watt, 2009; Duncan et al., (soumis); Goffaux & Dakin, 2010; Goffaux et al., 2011; Pachai et al., 2013; Pachai et al., 2018; Pachai et al., 2017), et intrinsèquement liées à la sélectivité des régions neuronales expertes en traitement des visages (FFA : Goffaux et al., 2016; N170 : Jacques et al., 2010). Il est donc tout à fait plausible que la détection des visages et l'identification partagent des mécanismes perceptifs communs.

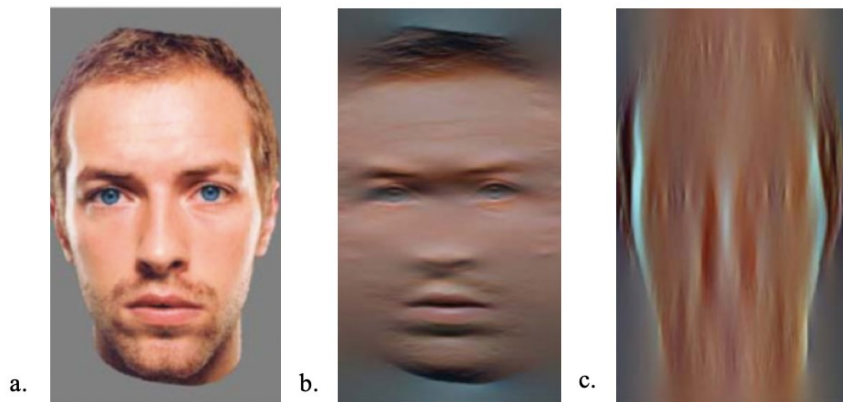


Figure 19. Images provenant de l'article de Dakin et Watt (2009) qui démontrent les différentes orientations spatiales. a) Photographie originale de Chris Martin le chanteur de Coldplay. En b) photographie filtrée pour représenter uniquement les orientations horizontales. c) photographie filtrée pour représenter uniquement les orientations verticales.

De façon intéressante, Duncan et ses collaborateurs (2017) ont poussé la réflexion en démontrant que le traitement sélectif de l'information horizontale corrèle fortement avec le traitement de la région des yeux (Duncan et al., 2017). Cette région qui est également connue pour influencer la N170, et ce, quelle que soit la tâche effectuée (Itier et al., 2007; Schyns et al.,

2003; Smith et al., 2004). Cette conclusion est donc en congruence avec la littérature, puisque la N170 est sensible aux orientations spatiales horizontales (Jacques et al., 2014) qui sont davantage présentées dans la région des yeux (Dakin & Watt, 2009; Keil, 2009).

4.3.2 Région des yeux.

Plusieurs études ont rapporté que la région des yeux est cruciale au traitement de l'identité d'un visage (Butler, Blais, Gosselin, Bub, & Fiset, 2010; Caldara et al., 2005; Gold, Mundy et Tjan, 2012; Gosselin et Schyns, 2001; Royer et al., 2018; Sadr, Jarudi, & Sinha, 2003; Sekuler et al., 2004; Sormaz, Andrews, & Young, 2013; Tardif et al., 2019; Vinette, Gosselin & Schyns, 2004). Les données démontrent aussi que cette région est davantage fixée (Schyns, Bonnar & Gosselin, 2002; Slessor, Riby & Finnerty, 2013). Notons que l'habileté en identification de visages est associée au nombre de fixations visuelles effectuées à la région des yeux (Sekiguchi, 2011, voir toutefois Bobak, Parris, Gregory, Bennetts, & Bate, 2017) ainsi qu'à l'utilisation de cette région (Royer et al., 2018; Tardif et al., 2019). Tardif et ses collaborateurs (2019) ont démontré que l'utilisation de l'information des yeux pour traiter l'identité d'un visage varie quantitativement au fil du continuum d'habileté, soit que les prosopagnosiques développementaux ne l'utilisent pas ou peu alors que les super-reconnaisseurs l'utilisent significativement. Ces conclusions répliquent les observations de Royer et al. (2018) qui montrent également une corrélation positive entre l'utilisation de cette région et l'habileté de reconnaissance de visages chez des sujets normaux. Pour ce qui est de la population prosopagnosique, plusieurs études suggèrent une sous-utilisation de la région des yeux (Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017; Fisher, Towler, & Eimer, 2016; Schmalzl, Palermo, Green, Brunsdon, & Coltheart, 2008; Schwarzer et al., 2007; Caldara et al., 2005; Van Belle, Ramon, Lefevre, & Rossion, 2010) occasionnant d'une part leur déficit en reconnaissance de visages.

Une raison pouvant expliquer la sensibilité aux orientations horizontales est que cette information est simplement très énergétique (Keil, 2009), et ce, plus particulièrement dans la région des yeux. Il est donc possible d'inférer que, tout comme le traitement de l'identité des visages, le processus de détection serait supporté par la sensibilité aux orientations spatiales horizontales contenues dans la région des yeux. Un paradigme de classification de plages de bruit en contexte de IRMf a d'ailleurs mis en lumière la représentation interne dédiée à la détection de visages (Nestor et al., 2013; voir Figure 20 pour les résultats). À l'ensemble des réponses des participantes, nous pouvons distinguer que la luminosité de la région des yeux (i.e. les yeux étant sombres et l'espace entre les sourcils étant lumineux) semble significativement liée à la détection d'un visage (Nestor et al., 2013).

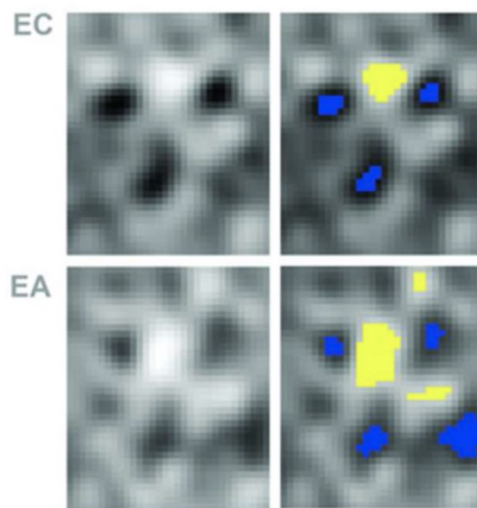


Figure 20. Représentation interne d'un visage pour deux participantes (EC et EA). La colonne à droite représente les zones de luminosité significative, en bleu les zones sombres versus en jaune pour les zones lumineuses (Nestor et al., 2013).

La littérature semble donc tout à fait consistante avec l'idée que des processus communs existent entre la détection et l'identification de visages. Néanmoins, en analysant plus profondément nos résultats, nous pouvons constater que l'habileté en traitement de l'identité

explique seulement 18% de la variance observée en ce qui a trait aux différences individuelles de détection. Nos données évoquent donc un chevauchement relativement modeste entre ces deux processus. Ceci s'explique par le fait que les différences individuelles en identification ne proviennent pas d'un seul mécanisme, mais de plusieurs ce qui rend les données plus complexes à interpréter. Davantage de recherches devront être effectuées afin de bien saisir les attributs de ce chevauchement partiel entre ces processus.

Or, la littérature actuelle propose que la détection et l'identification d'un visage soient des processus complètement dissociés en raison de nombreux écrits qui illustrent des capacités de détection intactes en présence de déficits majeurs en reconnaissance de visages chez les prosopagnosiques (Duchaine et al., 2006; Garrido et al., 2008; Le Grand et al., 2006; Rossion et al., 2003; Schiltz et al., 2006). Quelques études ont cependant identifié des déficits chez cette population (de Gelder & Rouw, 2000; Dalrymple & Duchaine, 2016; Garrido et al., 2008; Xu et Bidermann, 2014). D'autre part, la présence de variances au sein de mêmes études, donc de paradigmes méthodologiques identiques, indique que cette population, les adultes prosopagnosiques (Garrido et al., 2008) et les enfants prosopagnosiques (Dalrymple & Duchaine, 2016) sont en réalité un groupe hétérogène.

4.4. Sous-types de la prosopagnosie

Une hypothèse ancienne, mais récemment remise d'actualité est que la prosopagnosie pourrait être de deux sous-types distincts, c'est-à-dire la prosopagnosie aperceptive et la prosopagnosie associative (Corrow et al., 2016; Dalrymple, Garrido, & Duchaine, 2014; De Renzi, Faglioni, Grossi, & Nichelli, 1991). Dans ce cadre, la prosopagnosie aperceptive serait imputable à un déficit des mécanismes perceptifs causant des difficultés de traitement nuisant dans un second lieu à l'identification des visages (Corrow et al., 2016) alors que la

prosopagnosie associative s'expliquerait par un déficit mnésique lié à la capacité d'associer les connaissances sémantiques au percept afin d'identifier un visage (Anaki, Kaufman, Freedman, & Moscovitch, 2007; Corrow et al., 2016). La distinction entre ces deux types de prosopagnosie se conceptualise à l'aide du modèle modulaire de Bruce et Young (1986). À la figure 21, nous pouvons constater que la variante aperceptive se situe plus tôt dans le traitement des visages tandis que la variante associative se situe dans une étape subséquente.

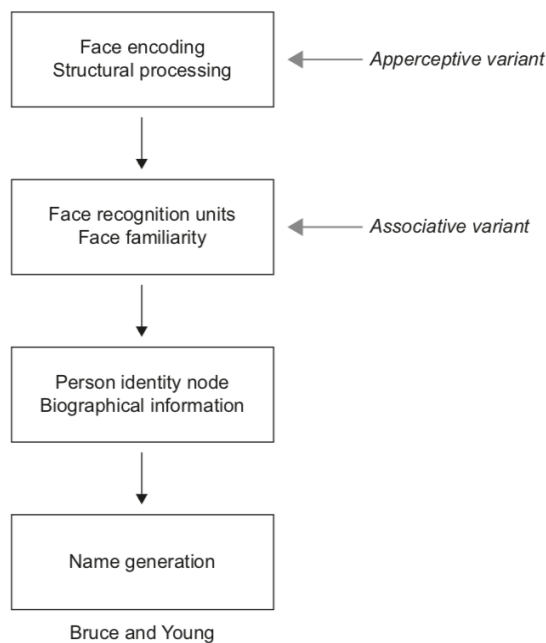


Figure 21. Adaptation du modèle modulaire de traitement des visages par Corrow et al. (2016).

Cette dissociation, déficit perceptif versus déficit mnésique chez les prosopagnosiques, pourrait expliquer la corrélation relativement faible obtenue dans la présente étude et même l'absence de corrélation obtenue par d'autres chercheurs (p.ex. Fysh, 2018; Robertson et al., 2016). Il est possible de supposer que le processus de détection de visages nécessite un traitement perceptif pour y parvenir sans toutefois être associé à la partie mnésique de

l'identification des visages. Selon cette proposition, afin de distinguer un visage par rapport à d'autres éléments visuels, il est primordial que les processus perceptifs soient intacts (traitement des orientations, fréquences spatiales, etc.). Il serait donc plausible que les prosopagnosiques de type aperceptif aient des difficultés de détection de visages en comparaison aux prosopagnosiques associatifs dont les difficultés résident uniquement à l'étape de l'identification en soi. À la lumière de cette dissociation, il nous semble donc cohérent de constater une hétérogénéité quant à leur habileté en détection de visages. Cette hypothèse nécessitera toutefois d'être validée à l'avenir.

Dans ce même ordre d'idées, il est plausible que les composantes perceptives et mnésiques de la reconnaissance des visages puissent avoir des impacts distincts sur les habiletés de reconnaissance des visages en général. La présence de variabilité quant à ces deux habiletés est possible considérant qu'elles se développent de façon distincte au cours du développement (Weigelt et al., 2014). À titre d'exemple, un participant pourrait être très bon en reconnaissance de visages tout en ayant des habiletés perceptives moyennes, mais des représentations mnésiques excellentes. À l'inverse, une autre personne pourrait avoir les mêmes habiletés, en raison de capacités perceptives exceptionnelles, mais des habiletés mnésiques moyennes. Même si certaines tâches utilisées ici faisaient moins intervenir la mémoire à long terme en comparaison au CFMT + (Russell et al., 2009), il est presque impossible d'éliminer l'impact de la mémoire à court terme, et ce, même quand les stimuli sont présentés simultanément. Par contre, alors que les habiletés perceptives devraient avoir un impact sur l'ensemble des tâches avec des visages (détection, identification, reconnaissance d'expressions faciales, etc.), les habiletés mnésiques devraient être davantage associées à l'identification. Il devrait donc être possible dans des études

subséquentes de dissocier ces composantes en utilisant de nombreuses tâches plus ou moins mnésiques.

4.5 Limites

Il est essentiel de soulever les limites de ce présent projet de recherche afin de proposer d'autres pistes de recherches futures. Une des premières limites de cet essai est le type de paradigme utilisé, soit le 2-AFC. La présentation visuelle des stimuli était en présentation périphérique, puisque le stimulus et le distracteur étaient simultanément présentés à l'écran. Cette méthode a été critiquée dans le domaine de la détection, puisque certains auteurs avancent qu'elle est moins écologique et représentative des capacités naturelles de détection de visages au sein d'une scène (Bindemann & Lewis, 2013). Ces auteurs distinguent donc les capacités de catégorisation, soit l'habileté de classifier le percept comme appartenant à une catégorie, versus les capacités de détection d'un percept au sein d'une scène visuelle (Bindemann & Lewis, 2013). Notons toutefois que d'autres chercheurs réfutent cette conclusion (Grill-Spector & Kanwisher, 2005). L'utilisation de différents paradigmes pour mesurer le processus de détection de visages nous semble donc nécessaire. Une seconde limite est la présence d'une fiabilité interne modérée ($\rho_{\text{visages50visages100}} = .66$) signifiant que la tâche de détection utilisée a une cohérence interne modeste. L'augmentation du nombre d'essais ou l'adoption de paramètres initiaux moins libéraux pourrait résoudre ceci, puisqu'il est possible que l'algorithme QUEST fût toujours en adaptation à la mi-tâche.

4.6 Pistes futures

4.6.1 Processus de détection.

Les présents résultats de cet essai doctoral sont les premiers à révéler que les mécanismes de détection et d'identification de visages partagent, du moins partiellement, des ressources cognitivoperceptives. Néanmoins, à l'analyse de nos résultats, la corrélation obtenue explique seulement 18% de la variance observée, suggérant alors la présence de différences entre les deux mécanismes. Un approfondissement des connaissances globales quant au mécanisme de détection nous semble donc indispensable afin de saisir l'ensemble des processus impliqués dans le traitement des visages, par exemple l'impact de la composante mnésique.

Un bon point de départ serait de déterminer s'il existe des informations diagnostiques pour la détection de visages. Une adaptation de la méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001) ainsi que la méthode des bulles d'orientation (Duncan et al., 2017) serait tout indiquée pour révéler la présence de régions faciales diagnostiques, par exemple pour révéler le rôle de la région des yeux en lien avec la sensibilité aux orientations spatiales.

D'autre part, il nous semble aussi important de généraliser la présence de différences individuelles en détection de visages avec l'utilisation de différents paradigmes de recherche, comme en contexte de recherche visuelle.

Puis, il nous semble pertinent d'évaluer l'impact des enjeux psychosociaux sur le processus de détection des visages, notamment celui de l'appartenance ethnique. L'Other-Race Effect (ORE : Meissner & Brigham 2001; Sporer, 2001) est un phénomène largement étudié qui reflète une difficulté à reconnaître et distinguer les visages d'une autre ethnie en comparaison à la sienne. Il serait intéressant de vérifier l'impact de l'appartenance ethnique sur le processus de détection de visages.

4.6.2 Populations d'intérêt.

Considérant les conclusions de cette étude, l'approfondissement des différences individuelles dans l'habileté de détection ainsi que sa relation avec l'habileté d'identification demeure nécessaire. Pour ce faire, davantage de recherches devront être effectuées auprès des populations neurotypiques, mais également auprès des populations ayant des déficits en identification de visages. Plus précisément, elles devraient s'attarder aux variances de performances observées en détection auprès de la clientèle prosopagnosique. Sachant qu'on répertorie différentes formes de prosopagnosie, c'est-à-dire la forme aperceptive et associative, (Corrow et al., 2016; Dalrymple et al., 2014; De Renzi et al., 1991) l'étude des habiletés de détection avec cette population devrait tester cette hypothèse voulant que la forme aperceptive puisse expliquer les troubles de détection.

Outre l'étude des prosopagnosiques aperceptifs, une seconde population particulière à étudier est les amblyopes, c'est-à-dire des personnes ayant des différences d'acuité visuelle importante entre les deux récepteurs visuels, à savoir les yeux (Campos, 1995). Une étude marquante de Le Grand, Mondloch, Maurer et Brent (2003) a mis en évidence des différences de performance en traitement des visages chez cette population. En effet, les enfants ayant eu une cataracte unilatérale congénitale à l'œil gauche, occasionnant alors une privation d'entrée sensorielle à l'hémisphère controlatéral ont un manque d'expertise dans le traitement des visages conséquent dans cet hémisphère (Le Grand et al., 2003). De plus, Lerner et al. (2003) ont identifié chez les amblyopes adultes un manque d'activation distinctif à la vue de visages des régions anatomiques controlatérales du gyrus fusiforme, connu comme le FFA. Cette population serait tout indiquée pour poursuivre et soutenir l'hypothèse soulevée par ce présent essai, c'est-à-dire que le processus de détection de visage est lié à l'habileté en identification de visages, ainsi

que l'impact d'une carence de stimulation visuelle sur le développement perceptif de l'habileté en traitement de visages.

CHAPITRE V CONCLUSION

À la lumière de nos résultats, la détection de visages, processus crucial au fonctionnement quotidien, se révèle être un mécanisme davantage complexe qu'initialement présumé. En somme, cet essai prouve un certain chevauchement perceptif entre les processus de détection et d'identification de visages tel que suggéré par l'étude de Xu et Biederman (2014). Quoique cette conclusion puisse sembler a priori banale, elle expose une découverte insolite, mais du moins considérable au sein de la littérature qui jusqu'ici considérait ces mécanismes comme étant distincts. Ceci soulève une multitude d'interrogations. Entre autres, quel est le rôle de la détection d'un visage dans son identification et à quelle étape de traitement les différences individuelles en reconnaissance de visages s'installent-elles vraiment? Davantage de recherches devront être réalisées pour soutenir la conclusion d'une association entre ces deux processus et pour mieux comprendre les mécanismes en jeu dans cette association. L'amélioration de nos connaissances quant à l'activation neurotemporelle et les processus cognitifs impliqués lors de la perception d'un visage permettra sans doute d'offrir des stratégies d'entraînements plus adaptées. En effet, considérant les différences individuelles en traitement de l'identité, certaines populations connues pour avoir des difficultés en reconnaissance des visages, tels que les

prosopagnosiques, pourraient bénéficier d'intervention spécialisée dès les premiers stades perceptifs. À l'autre extrême, les employés attitrés à des jugements d'identité, tels que les agents frontaliers ou les policiers, pourraient également bénéficier d'entraînements spécialisés pour augmenter leur efficacité, puisque l'expérience ne semble pas avoir d'effet sur l'habileté de traitement des visages (White, Kemp, Jenkins, Matheson, & Burton, 2014).

RÉFÉRENCES

- Afraz, S. R., Kiani, R., & Esteky, H. (2006). Microstimulation of inferotemporal cortex influences face categorization. *Nature*, *442*(7103), 692-695. doi :10.1038/nature04982
- Ales, J. M., Farzin, F., Rossion, B., & Norcia, A. M. (2012). An objective method for measuring face detection thresholds using the sweep steady-state visual evoked response. *J Vis*, *12*(10). doi:10.1167/12.10.18
- Anaki, D., Kaufman, Y., Freedman, M., & Moscovitch, M. (2007). Associative (prosop) agnosia without (apparent) perceptual deficits: a case-study. *Neuropsychologia*, *45*(8), 1658-1671. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2007.01.003
- Avidan, G., Hasson, U., Malach, R., & Behrmann, M. (2005). Detailed exploration of face-related processing in congenital prosopagnosia: 2. Functional neuroimaging findings. *Journal of cognitive neuroscience*, *17*(7), 1150-1167. doi : 10.1162/0898929054475145
- Balas, B., & Huynh, C. M. (2015). Face and body emotion recognition depend on different orientation sub-bands. *Visual Cognition*, *23*(6), 659-677. doi : 10.1080/13506285.2015.107791
- Balas, B. J., Schmidt, J., & Saville, A. (2015). A face detection bias for horizontal orientations develops in middle childhood. *Frontiers in psychology*, *6*, 772. doi : 10.3389/fpsyg.2015.00772
- Barragan-Jason, G. (2013). La dynamique du traitement des visages: du percept à la familiarité (Doctoral dissertation) p.188. Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- Barton, J. J., Press, D. Z., Keenan, J. P., & O'connor, M. (2002). Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurology*, *58*(1), 71-78. doi : 10.1212/WNL.58.1.71
- Bate, S., Parris, B., Haslam, C., & Kay, J. (2010). Socio-emotional functioning and face recognition ability in the normal population. *Personality and Individual Differences*, *48*(2), 239-242. doi : 10.1016/j.paid.2009.10.005.

- Baudouin, J. Y. (2001). *Reconnaissance du visage, expression et genre: la modularité à l'épreuve du visage* (Thèse de doctorat, Université de Lyon 2). Repéré au http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2001/ baudouin_jy#p=0&a=title
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of cognitive neuroscience*, 8(6), 551-565. doi : 10.1162/jocn.1996.8.6.551
- Bentin, S., & Deouell, L. Y. (2000). Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 35–54. doi : 10.1080/026432900380472
- Bindemann, M., & Burton, A. M. (2009). The role of color in human face detection. *Cognitive Science*, 33(6), 1144-1156. doi : 10.1111/j.1551-6709.2009.01035.x
- Bindemann, M., & Lewis, M. B. (2013). Face detection differs from categorization: evidence from visual search in natural scenes. *Psychon Bull Rev*, 20(6), 1140-1145. doi : 10.3758/s13423-013-0445-9
- Bobak, A. K., Hancock, P. J. B., & Bate, S. (2016). Super-recognisers in Action: Evidence from Face-matching and Face Memory Tasks. *Applied Cognitive Psychology*, 30(1), 81-91. doi : 10.1002/acp.3170
- Bobak, A. K., Parris, B. A., Gregory, N. J., Bennetts, R. J., & Bate, S. (2017). Eye-movement strategies in developmental prosopagnosia and “super” face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(2), 201-217. doi : 10.1080/17470218.2016.1161059
- Bruce, V., Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77(3), 305-327. doi : 10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.
- Burton, A. M., White, D., & McNeill, A. (2010). The Glasgow Face Matching Test. *Behav Res Methods*, 42(1), 286-291. doi : 10.3758/BRM.42.1.286
- Butler, S., Blais, C., Gosselin, F., Bub, D., & Fiset, D. (2010). Recognizing famous people. *Atten Percept Psychophys*, 72(6), 1444-1449. doi : 10.3758/APP.72.6.1444
- Caharel, S., Fiori, N., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2006). The effects of inversion and eye displacements of familiar and unknown faces on early and late-stage ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, 62(1), 141-151. doi : 10.1016/j.ijpsycho.2006.03.002
- Caldara, R., Schyns, P., Mayer, E., Smith, M. L., Gosselin, F., & Rossion, B. (2005). Does prosopagnosia take the eyes out of face representations? Evidence for a defect in representing diagnostic facial information following brain damage. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(10), 1652-1666. doi : 10.1162/089892905774597254
- Campos, E. (1995). Amblyopia. *Survey of ophthalmology*, 40(1), 23-39. doi : 10.1016/S0039-6257(95)80044-1

- Cerf, M., Harel, J., Einhäuser, W., & Koch, C. (2008). Predicting human gaze using low-level saliency combined with face detection. *In Advances in neural information processing systems* (pp. 241-248).
- Corrow, S. L., Dalrymple, K. A., & Barton, J. J. (2016). Prosopagnosia: current perspectives. *Eye Brain*, 8, 165-175. doi : 10.2147/EB.S92838
- Crouzet, S. M., & Thorpe, S. J. (2011). Low-level cues and ultra-fast face detection. *Frontiers in psychology*, 2, 342. doi : 10.3389/fpsyg.2011.00342
- Crouzet, S. M., Kirchner, H., & Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades toward faces: face detection in just 100 ms. *J Vis*, 10(4), 16 11-17. doi : 10.1167/10.4.16
- Crouzet, S., Thorpe, S. J., & Kirchner, H. (2007). Category-dependent variations in visual processing time. *Journal of Vision*, 7(9), 922-922. doi : 10.1167/7.9.922.
- Dakin, S. C., Hess, R. F., Ledgeway, T., & Achtman, R. L. (2002). What causes non-monotonic tuning of fMRI response to noisy images?. *Current Biology*, 12(14), R476-R477. doi : 10.1016/S0960-9822(02)00960-0
- Dakin, S. C., & Watt, R. J. (2009). Biological “bar codes” in human faces. *Journal of Vision*, 9(4), 2-2. doi : 10.1167/9.4.2
- Dalrymple, K. A., & Duchaine, B. (2016). Impaired face detection may explain some but not all cases of developmental prosopagnosia. *Dev Sci*, 19(3), 440-451. doi : 10.1111/desc.12311
- Damasio, A. R., Tranel, D., & Damasio, H. (1990). Face agnosia and the neural substrates of memory. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 89-109. doi : 10.1146/annurev.ne.13.030190.000513
- Dennett, H. W., McKone, E., Tavashmi, R., Hall, A., Pidcock, M., Edwards, M., & Duchaine, B. (2012). The Cambridge Car Memory Test: A task matched in format to the Cambridge Face Memory Test, with norms, reliability, sex differences, dissociations from face memory, and expertise effects. *Behavior Research Methods*, 44(2), 587-605. doi : 10.3758/s13428-011-0160-2
- De Renzi, E., Faglioni, P., Grossi, D., & Nichelli, P. (1991). Apperceptive and Associative Forms of Prosopagnosia. *Cortex*, 27(2), 213-221. doi : 10.1016/s0010-9452(13)80125-6.
- Dollet, L. & Barre, A. (1999). *Analyse de Fourier d'une texture*. Repéré à <http://www.tsi.enst.fr/pages/enseignement/ressources/mti/ondelettes-2g/francais/Fourier/TF2Dimage.htm>
- Duchaine, B., Germine, L., & Nakayama, K. (2007). Family resemblance: ten family members with prosopagnosia and within-class object agnosia. *Cogn Neuropsychol*, 24(4), 419-430. doi : 10.1080/02643290701380491

- Duchaine, B., & Nakayama, K. (2006a). The Cambridge Face Memory Test: Results for neurologically intact individuals and an investigation of its validity using inverted face stimuli and prosopagnosic participants. *Neuropsychologia*, *44*(4), 576-585. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.001.
- Duchaine, B. C., & Nakayama, K. (2006b). Developmental prosopagnosia: A window to content-specific face processing. *Current opinion in neurobiology*, *16*(2), 166-173. doi : 10.1016/j.conb.2006.03.003.
- Duchaine, B. C., Yovel, G., Butterworth, E. J., & Nakayama, K. (2006). Prosopagnosia as an impairment to face-specific mechanisms: Elimination of the alternative hypotheses in a developmental case. *Cogn Neuropsychol*, *23*(5), 714-747. doi : 10.1080/02643290500441296
- Duncan, J., Gosselin, F., Cobarro, C., Dugas, G., Blais, C., & Fiset, D. (2017). Orientations for the successful categorization of facial expressions and their link with facial features. *J Vis*, *17*(14), 7. doi : 10.1167/17.14.7
- Duncan, J., Royer, J., Dugas, G., Blais, C., & Fiset, D. (soumis). Individual differences in face processing ability are correlated with horizontal tuning.
- Eimer, M. (2000). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, *111*, 694–705. doi : 10.1016/S1388-2457(99)00285-0
- Eimer, M., & Holmes, A. (2002). An ERP study on the time course of emotional face processing. *Neuroreport*, *13*, 427–431.
- Eimer, M., & Holmes, A. (2007). Event-related brain potential correlates of emotional face processing. *Neuropsychologia*, *45*, 15–31. doi : /10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.022
- Eimer, M. (2011). The Face-Sensitive N170 Component of the Event-Related Brain Potential. Dans A. J. Calder, G. Rhodes, M. H. Johnson et J. V. Haxby (Dir.), *The Oxford Handbook of Face Perception* (p. 329-344). Oxford (Royaume-Uni): Oxford University Press.
- Farah, M. J., Tanaka, J. W., & Drain, H. M. (1995). What causes the face inversion effect? *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, *21*(3), 628.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*, *41*(4), 1149-1160. doi : 10.3758/BRM.41.4.1149
- Fisher, K., Towler, J., & Eimer, M. (2016). Reduced sensitivity to contrast signals from the eye region in developmental prosopagnosia. *cortex*, *81*, 64-78. doi : 10.1016/j.cortex.2016.04.005

- Fiset, D., Blais, C., Royer, J., Richoz, A.R., Dugas, G., & Caldara, R. (2017). Mapping the impairment in decoding static facial expression of emotions in prosopagnosia. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(8), 1334-1341. doi : 10.1093/scan/nsx068
- Fletcher-Watson, S., Findlay, J. M., Leekam, S. R., & Benson, V. (2008). Rapid detection of person information in a naturalistic scene. *Perception*, 37(4), 571-583. doi : 10.1068/p5705
- Fox, C. J., Iaria, G., & Barton, J. J. (2008). Disconnection in prosopagnosia and face processing. *Cortex*, 44(8), 996-1009. doi : 10.1016/j.cortex.2008.04.003
- Furl, N., Garrido, L., Dolan, R. J., Driver, J., & Duchaine, B. (2011). Fusiform gyrus face selectivity relates to individual differences in facial recognition ability. *J Cogn Neurosci*, 23(7), 1723-1740. doi : 10.1162/jocn.2010.21545
- Fysh, M. C. (2018). Individual differences in the detection, matching and memory of faces. *Cognitive research: principles and implications*, 3(1), 20. doi : 10.1186/s41235-018-0111-x
- Garrido, L., Duchaine, B., & Nakayama, K. (2008). Face detection in normal and prosopagnosic individuals. *Journal of Neuropsychology*, 2(1), 119-140. doi : 10.1348/174866407x246843
- Gaspar, C. M., & Rousselet, G. A. (2009). How do amplitude spectra influence rapid animal detection? *Vision Res*, 49(24), 3001-3012. doi : 10.1016/j.visres.2009.09.021
- Gaspar, C., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2008). Spatial frequency tuning of upright and inverted face identification. *Vision Research*, 48(28), 2817-2826. doi : 10.1016/j.visres.2008.09.015
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). The fusiform “face area” is part of a network that processes faces at the individual level. *Journal of cognitive neuroscience*, 12(3), 495-504. doi : 10.1162/089892900562165
- de Gelder, B., Frissen, I., Barton, J., & Hadjikhani, N. (2003). A modulatory role for facial expressions in prosopagnosia. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(22), 13105-13110. doi : 10.1073/pnas.1735530100
- de Gelder, B., & Rouw, R. (2000). Configural face processes in acquired and developmental prosopagnosia: evidence for two separate face systems? *Neuroreport*, 11(14), 3145-3150.
- Gerling, J., & Spillmann, L. (1987). Duration of visual afterimages on modulated backgrounds: postreceptor processes. *Vision Research*, 27(4), 521-527. doi : 10.1016/0042-6989(87)90038-1
- Gilad, S., Meng, M., & Sinha, P. (2009). Role of ordinal contrast relationships in face encoding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5353-5358. doi : 10.1073/pnas.0812396106

- Goffaux, V., & Dakin, S. C. (2010). Horizontal information drives the behavioral signatures of face processing. *Front Psychol*, 1, 143. doi : 10.3389/fpsyg.2010.00143
- Goffaux, V., Duecker, F., Hausfeld, L., Schiltz, C., & Goebel, R. (2016). Horizontal tuning for faces originates in high-level Fusiform Face Area. *Neuropsychologia*, 81, 1-11. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.004
- Goffaux, V., Gauthier, I., & Rossion, B. (2003a). Spatial scale contribution to early visual differences between face and object processing. *Cognitive Brain Research*, 16(3), 416-424. doi : 10.1016/s0926-6410(03)00056-9
- Goffaux, V., Jemel, B., Jacques, C., Rossion, B., & Schyns, P. G. (2003b). ERP evidence for task modulations on face perceptual processing at different spatial scales. *Cognitive Science*, 27(2), 313-325. doi : 10.1207/s15516709cog2702_8
- Goffaux, V., Peters, J., Haubrechts, J., Schiltz, C., Jansma, B., & Goebel, R. (2010). From coarse to fine? Spatial and temporal dynamics of cortical face processing. *Cerebral Cortex*, 21(2), 467-476. doi : 10.1093/cercor/bhq112
- Gold, J. M., Mundy, P. J., & Tjan, B. S. (2012). The perception of a face is no more than the sum of its parts. *Psychological science*, 23(4), 427-434. doi : 10.1177/0956797611427407
- Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2001). Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks. *Vision research*, 41(17), 2261-2271. doi : 10.1016/S0042-6989(01)00097-9
- Gosselin, F. & Schyns, P. G. (2003). Superstitious perceptions reveal properties of internal representations. *Psychological Science*, 14, 505-509. doi : 10.1111/1467-9280.03452.
- Grill-Spector, K., & Kanwisher, N. (2005). Visual recognition: As soon as you know it is there, you know what it is. *Psychological Science*, 16(2), 152-160. doi : 10.1111/j.0956-7976.2005.00796.x
- Harvard Health Publications. (2017). Snellen Test for Visual Acuity. Retrouvé à <http://www.health.harvard.edu/diagnostic-tests/snellen-test-for-visual-acuity.htm>
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), 223-233. doi : 10.1016/S1364-6613(00)01482-0.
- Hershler, O., & Hochstein, S. (2005). At first sight: a high-level pop out effect for faces. *Vision Res*, 45(13), 1707-1724. doi :10.1016/j.visres.2004.12.021
- Hershler, O., & Hochstein, S. (2006). With a careful look: still no low-level confound to face pop-out. *Vision Res*, 46(18), 3028-3035. doi :10.1016/j.visres.2006.03.023
- Herzmann, G., Schweinberger, S. R., Sommer, W., & Jentsch, I. (2004). What's special about personally familiar faces? A multimodal approach. *Psychophysiology*, 41, 688–701. doi : 10.1111/j.1469-8986.2004.00196.x

- Hirose, Y., & Hancock, P. J. (2007). Equally attending but still not seeing: An eye-tracking study of change detection in own-and other-race faces. *Visual cognition*, 15(6), 647-660. doi : 10.1080/13506280601069578
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature neuroscience*, 3(1), 80. doi : 10.1038/71152
- Hole, G. J., & Bourne, V. (2010). Face processing: Psychological, neuropsychological, and applied perspectives. New York, NY: *Oxford University Press*.
- Honey, C., Kirchner, H., & VanRullen, R. (2008). Faces in the cloud: Fourier power spectrum biases ultrarapid face detection. *Journal of vision*, 8(12), 9-9. doi : 10.1167/8.12.9
- Horovitz, S. G., Ression, B., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (2004). Parametric design and correlational analyses help integrating fMRI and electrophysiological data during face processing. *Neuroimage*, 22(4), 1587-1595. doi : 10.1016/j.neuroimage.2004.04.018
- Huynh, C. M., & Balas, B. (2014). Emotion recognition (sometimes) depends on horizontal orientations. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(5), 1381-1392. doi : 10.3758/s13414-014-0669-4
- Itier, R. J., Alain, C., Sedore, K., & McIntosh, A. R. (2007). Early face processing specificity: It's in the eyes!. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(11), 1815-1826. doi : 10.1162/jocn.2007.19.11.1815
- Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004). Face recognition memory and configural processing: a developmental ERP study using upright, inverted, and contrast-reversed faces. *Journal of cognitive neuro*, 16(3), 487-502. doi : 10.1162/089892904322926818
- Jacques, C., Schiltz, C., & Goffaux, V. (2014). Face perception is tuned to horizontal orientation in the N170 time window. *J Vis*, 14(2). doi : 10.1167/14.2.5
- Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nat Rev Neurosci*, 6(10), 766-774. doi : 10.1038/nrn1766
- Johnson, M. H. (2011). Face perception: A developmental perspective. Dans A. J. Calder, G. Rhodes, M. H. Johnson et J. V. Haxby (Dir.), *The Oxford Handbook of Face Perception* (p. 3-14). Oxford (Royaume-Uni): Oxford University Press.
- Joubert, O. R., Rousselet, G. A., Fabre-Thorpe, M., & Fize, D. (2009). Rapid visual categorization of natural scene contexts with equalized amplitude spectrum and increasing phase noise. *J Vis*, 9(1), 2 1-16. doi : 10.1167/9.1.2
- Kaltwasser, L., Hildebrandt, A., Recio, G., Wilhelm, O., & Sommer, W. (2014). Neurocognitive mechanisms of individual differences in face cognition: a replication and extension. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 861-878. doi : 10.3758/s13415-013-0234-y

- Kanwisher, N., & Barton, J. J. (2011). The functional architecture of the face system: Integrating evidence from fMRI and patient studies. Dans A. J. Calder, G. Rhodes, M. H. Johnson et J. V. Haxby (Dir.), *The Oxford Handbook of Face Perception* (p. 111-129). Oxford (Royaume-Uni): Oxford University Press.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of neuroscience*, *17*(11), 4302-4311. doi : 10.3410/f.717989828.793472998.
- Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *361*(1476), 2109-2128. doi : 10.1098/rstb.2006.1934
- Kato, M., & Mugitani, R. (2015). Pareidolia in infants. *PLoS One*, *10*(2), e0118539. doi : 10.1371/journal.pone.0118539
- Konar, Y., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2010). Holistic processing is not correlated with face-identification accuracy. *Psychological Science*, *21*(1), 38-43. doi : 10.1177/0956797609356508
- Le Grand, R., Cooper, P. A., Mondloch, C. J., Lewis, T. L., Sagiv, N., de Gelder, B., & Maurer, D. (2006). What aspects of face processing are impaired in developmental prosopagnosia? *Brain Cogn*, *61*(2), 139-158. doi : 10.1016/j.bandc.2005.11.005
- Le Grand, R., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2003). Expert face processing requires visual input to the right hemisphere during infancy. *Nat Neurosci*, *6*(10), 1108-1112. doi : 10.1038/nn1121
- Letourneau, S. M., & Mitchell, T. V. (2008). Behavioral and ERP measures of holistic face processing in a composite task. *Brain and cognition*, *67*(2), 234-245. doi : 10.1016/j.bandc.2008.01.007
- Langton, S. R., Law, A. S., Burton, A. M., & Schweinberger, S. R. (2008). Attention capture by faces. *Cognition*, *107*(1), 330-342 doi : 10.1016/j.cognition.2007.07.012
- Lerner, Y., Pianka, P., Azmon, B., Leiba, H., Stolovitch, C., Loewenstein, A., Harel, M., Hendler, T., & Malach, R. (2003). Area-specific amblyopic effects in human occipitotemporal object representations. *Neuron*, *40*(5), 1023-1029. doi : 10.1016/S0896-6273(03)00720-7
- Lewis, M. B., & Edmonds, A. J. (2003). Face detection: mapping human performance. *Perception*, *32*(8), 903-920. doi : 10.1068/p5007
- Lewis, M. B., & Edmonds, A. J. (2005). Searching for faces in scrambled scenes. *Visual Cognition*, *12*(7), 1309-1336. doi : 10.1080/13506280444000535
- Lewis, M. B., & Ellis, H. D. (2003). How we detect a face: A survey of psychological evidence. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, *13*(1), 3-7. doi : 10.1002/ima.10040

- Liu, J., Harris, A., & Kanwisher, N. (2002). Stages of processing in face perception: an MEG study. *Nat Neurosci*, 5(9), 910-916. doi : 10.1038/nn909
- Liu, J., Li, J., Feng, L., Li, L., Tian, J., & Lee, K. (2014). Seeing Jesus in toast: neural and behavioral correlates of face pareidolia. *Cortex*, 53, 60-77. doi : 10.1016/j.cortex.2014.01.013
- Loffler, G., Yourganov, G., Wilkinson, F., & Wilson, H. R. (2005). fMRI evidence for the neural representation of faces. *Nature neuroscience*, 8(10), 1386. doi : 10.1038/nn1538
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). The Karolinska directed emotional faces (KDEF). *CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet*, (1998).
- Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), 255-260. doi : 10.1016/S1364-6613(02)01903-4
- Mazard, A., Schiltz, C., & Rossion, B. (2006). Recovery from adaptation to facial identity is larger for upright than inverted faces in the human occipito-temporal cortex. *Neuropsychologia*, 44(6), 912-922. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2005.08.015
- McKone, E., Kanwisher, N., & Duchaine, B. C. (2007). Can generic expertise explain special processing for faces? *Trends Cogn Sci*, 11(1), 8-15. doi : 10.1016/j.tics.2006.11.002
- Morton, J., & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: a two-process theory of infant face recognition. *Psychological review*, 98(2), 164. doi : 10.1037/0033-295X.98.2.164
- NBC NEWS (2004, Novembre 11). 'Virgin Mary grilled cheese' sells for \$28,000. *NBC NEWS*. Repéré à <https://www.nbcnews.com/healthmain/why-some-see-face-jesus-their-toast-1C6436912>
- Nestor, A., Vettel, J. M., & Tarr, M. J. (2008). Task-specific codes for face recognition: how they shape the neural representation of features for detection and individuation. *PLoS One*, 3(12), e3978. doi : 10.1371/journal.pone.0003978
- Nestor, A., Vettel, J. M., & Tarr, M. J. (2013). Internal representations for face detection: an application of noise-based image classification to BOLD responses. *Hum Brain Mapp*, 34(11), 3101-3115. doi : 10.1002/hbm.22128
- Oppenheim, A. V., & Lim, J. S. (1981). The importance of phase in signals. *Proceedings of the IEEE*, 69(5), 529-541. doi : 10.1109/PROC.1981.12022
- Pachai, M. V., Bennett, P. J. et Sekuler, A. B. (2018). The Bandwidth of Diagnostic Horizontal Structure for Face Identification. *Perception*, 47(4), 397-413. doi : 10.1177/030100661875447
- Pachai, M. V., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2013). Sensitivity to Information Conveyed by Horizontal Contours is Correlated with Face Identification Accuracy. *Front Psychol*, 4, 74. doi : 10.3389/fpsyg.2013.00074

- Pachai, M. V., Sekuler, A. B., Bennett, P. J., Schyns, P. G. et Ramon, M. (2017). Personal familiarity enhances sensitivity to horizontal structure during processing of face identity. *Journal of Vision*, 17(6), 5. doi : 10.1167/17.6.5
- Pelli, D. G., Robson, J. G., & Wilkins, A. J. (1988). The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Science*.
- Peterson, M. F., & Eckstein, M. P. (2012). Looking just below the eyes is optimal across face recognition tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(48), E3314-E3323. doi : 10.1073/pnas.1214269109
- Piotrowski, L. N., & Campbell, F. W. (1982). A demonstration of the visual importance and flexibility of spatial-frequency amplitude and phase. *Perception*, 11(3), 337-346. doi : 10.1068/p110337
- Pitcher, D., Walsh, V., & Duchaine, B. (2011). The role of the occipital face area in the cortical face perception network. *Exp Brain Res*, 209(4), 481-493. doi : 10.1007/s00221-011-2579-1
- Pitcher, D., Walsh, V., Yovel, G., & Duchaine, B. (2007). TMS evidence for the involvement of the right occipital face area in early face processing. *Curr Biol*, 17(18), 1568-1573. doi : 10.1016/j.cub.2007.07.063
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18(6), 2188-2199. doi : 10.1523/JNEUROSCI.18-06-02188.1998
- Quek, G. L., Liu-Shuang, J., Goffaux, V., & Rossion, B. (2018). Ultra-coarse, single-glance human face detection in a dynamic visual stream. *NeuroImage*, 176, 465-476. doi : 10.1016/j.neuroimage.2018.04.034
- Rainer, G., Augath, M., Trinath, T. and Logothetis, N.K. (2001). Nonmonotonic noise tuning of BOLD fMRI signal to natural images in the visual cortex of the anesthetized monkey. *Curr. Biol.* 11, 846–854. doi : 10.1016/S0960-9822(01)00242-1
- Reid, V. M., Dunn, K., Young, R. J., Amu, J., Donovan, T., & Reissland, N. (2017). The Human Fetus Preferentially Engages with Face-like Visual Stimuli. *Curr Biol*, 27(12), 1825-1828 e1823. doi : 10.1016/j.cub.2017.05.044
- Relatively Interesting (2018, Janvier 18) Face in the clouds a great example of pareidolia. Repéré au <http://www.relativelyinteresting.com/face-in-the-clouds-a-great-example-of-pareidolia/>
- Retter, T. L., Jiang, F., & Rossion, B. (2018, Mai). The speed of human face categorization. *Faces: Recognition and perception*. Symposium conduit au congrès de Vision Sciences Society, St-Pete Beach, Floride.
- Richler, J. J., Cheung, O. S., & Gauthier, I. (2011). Holistic processing predicts face recognition. *Psychological science*, 22(4), 464-471. doi : 10.1177/0956797611401753

- Robertson, D. J., Jenkins, R., & Burton, A. M. (2017). Face detection dissociates from face identification. *Visual Cognition*, 25(7-8), 740-748. doi :10.1080/13506285.2017.1327465
- Rossion, B. (2008). Constraining the cortical face network by neuroimaging studies of acquired prosopagnosia. *Neuroimage*, 40(2), 423-426. doi : 10.1016/j.neuroimage.2007.10.047
- Rossion, B. (2009). Distinguishing the cause and consequence of face inversion: The perceptual field hypothesis. *Acta Psychologica*, 132(3), 300–312. doi : 10.1016/j.actpsy.2009.08.002
- Rossion, B. (2014). Understanding face perception by means of human electrophysiology. *Trends Cogn Sci*, 18(6), 310-318. doi : 10.1016/j.tics.2014.02.013
- Rossion, B., & Caharel, S. (2011). ERP evidence for the speed of face categorization in the human brain: Disentangling the contribution of low-level visual cues from face perception. *Vision Res*, 51(12), 1297-1311. doi : 10.1016/j.visres.2011.04.003
- Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A. M., Lazeyras, F., & Mayer, E. (2003). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain*, 126(Pt 11), 2381-2395. doi : 10.1093/brain/awg241
- Rossion, B., & Jacques, C. (2008). Does physical interstimulus variance account for early electrophysiological face sensitive responses in the human brain? Ten lessons on the N170. *Neuroimage*, 39(4), 1959-1979. doi : 10.1016/j.neuroimage.2007.10.011
- Rousselet, G. A., Macé, M. J. M., & Fabre-Thorpe, M. (2003). Is it an animal? Is it a human face? Fast processing in upright and inverted natural scenes. *Journal of vision*, 3(6), 5-5. doi : 10.1167/3.6.5
- Rousselet, G. A., Pernet, C. R., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2008). Parametric study of EEG sensitivity to phase noise during face processing. *BMC neuroscience*, 9(1), 98. doi : 10.1186/1471-2202-9-98
- Royer, J., Blais, C., Barnabé Lortie, V., Carré, M., Leclerc, J., & Fiset, D. (2016). Efficient Visual information for Unfamiliar Face Matching Despite Viewpoint Variations: It's Not in the Eyes!. *Vision Research*, 123, 33-40. doi : 10.1016/j.visres.2016.04.004
- Royer, J., Blais, C., Charbonneau, I., Déry K., Tardif, J., Duchaine, B., Gosselin, F., & Fiset, D. (2018). Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability. *Cognition*, 121- 12-20. doi : 10.1016/j.cognition.2018.08.004
- Royer, J., Blais, C., Gosselin, F., Duncan, J., & Fiset, D. (2015). When less is more: Impact of face processing ability on recognition of visually degraded faces. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 41(5), 1179-1183. doi : 10.1037/xhp0000095.

- Russell, R., Duchaine, B., & Nakayama, K. (2009). Super-recognizers: People with extraordinary face recognition ability. *Psychonomic bulletin & review*, *16*(2), 252-257. doi : 10.3758/PBR.16.2.252.
- Sadeh, B., Podlipsky, I., Zhdanov, A., & Yovel, G. (2010). Event- related potential and functional MRI measures of face- selectivity are highly correlated: a simultaneous ERP- fMRI investigation. *Human brain mapping*, *31*(10), 1490-1501. doi : 10.1002/hbm.20952
- Sadr, J., Jarudi, I., & Sinha, P. (2003). The role of eyebrows in face recognition. *Perception*, *32*(3), 285-293. doi : 10.1068/p5027
- Schiltz, C., Dricot, L., Goebel, R., & Rossion, B. (2010). Holistic perception of individual faces in the right middle fusiform gyrus as evidenced by the composite face illusion. *Journal of Vision*, *10*(2), 25-25. doi : 10.1167/10.2.25
- Schiltz, C., Sorger, B., Caldara, R., Ahmed, F., Mayer, E., Goebel, R., & Rossion, B. (2006). Impaired face discrimination in acquired prosopagnosia is associated with abnormal response to individual faces in the right middle fusiform gyrus. *Cereb Cortex*, *16*(4), 574-586. doi : 10.1093/cercor/bhj005
- Schmalzl, L., Palermo, R., Green, M., Brunson, R., & Coltheart, M. (2008). Training of familiar face recognition and visual scan paths for faces in a child with congenital prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *25*(5), 704-729. doi : 0.1080/02643290802299350
- Schwarzer, G., Huber, S., Grüter, M., Grüter, T., Groß, C., Hipfel, M., & Kennerknecht, I. (2007). Gaze behaviour in hereditary prosopagnosia. *Psychological research*, *71*(5), 583-590. doi : 10.1007/s00426-006-0068-0
- Schyns, P. G., Bonnar, L., & Gosselin, F. (2002). Show me the features! Understanding recognition from the use of visual information. *Psychological Science*, *13*, 402-409. doi : 10.1111/1467-9280.00472
- Schyns, P. G., Jentzsch, I., Johnson, M., Schweinberger, S. R., & Gosselin, F. (2003). A principled method for determining the functionality of brain responses. *Neuroreport*, *14*(13), 1665-1669.
- Sekuler, A. B., Gaspar, C. M., Gold, J. M., & Bennett, P. J. (2004). Inversion leads to quantitative, not qualitative, changes in face processing. *Current Biology*, *14*(5), 391–396. doi : 10.1016/j.cub.2004.02.028
- Sekiguchi, T. (2011). Individual differences in face memory and eye fixation patterns during face learning. *Acta Psychologica*, *137*(1), 1-9. doi : 10.1016/j.actpsy.2011.01.014
- Sergent, J., Ohta, S., & MacDonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing: a positron emission tomography study. *Brain*, *115*(1), 15-36. doi : 10.1093/brain/115.1.15

- Shakeshaft, N. G., & Plomin, R. (2015). Genetic specificity of face recognition. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *112*(41), 12887-12892. doi : 10.1073/pnas.1421881112
- Slessor, G., Riby, D. M., & Finnerty, A. N. (2012). Age-related differences in processing face configuration: The importance of the eye region. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *68*(2), 228-231. doi : 10.1093/geronb/gbs059
- Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and decoding facial expressions. *Psychological science*, *16*(3), 184-189. doi : 10.1111/j.0956-7976.2005.00801.x
- Smith, M. L., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2004). Receptive fields for flexible face categorizations. *Psychological Science*, *15*(11), 753-761. doi : 10.1111/j.0956-7976.2004.00752.x
- Sormaz, M., Andrews, T. J., & Young, A. W. (2013). Contrast negation and the importance of the eye region for holistic representations of facial identity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(6), 1667. doi : 10.1037/a0032449
- Sporer, S. L. (2001). Recognizing faces of other ethnic groups: An integration of theories. *Psychology, Public Policy, and Law*, *7*(1), 36. doi : 10.1037/1076-8971.7.1.36
- Sunday, M. A., & Gauthier, I. (2018). Face expertise for unfamiliar faces: A commentary on Young and Burton's 'Are we Face Experts?' *Journal of Expertise*.
- Sunday, M. A., Richler, J. J., & Gauthier, I. (2017). Limited evidence of individual differences in holistic processing in different versions of the part-whole paradigm. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*(5), 1453-1465. doi : 10.3758/s13414-017-1311-z
- Susilo, T., & Duchaine, B. (2013). Advances in developmental prosopagnosia research. *Curr Opin Neurobiol*, *23*(3), 423-429. doi : 10.1016/j.conb.2012.12.011
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly journal of experimental psychology*, *46*(2), 225-245. doi : 10.1080/14640749308401045
- Tarr, M. J., & Gauthier, I. (2000). FFA: a flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise. *Nature neuroscience*, *3*(8), 764. doi : 10.1038/77666
- Theeuwes, J., & Van der Stigchel, S. (2006). Faces capture attention: Evidence from inhibition of return. *Visual Cognition*, *13*(6), 657-665. doi : 10.1080/13506280500410949
- Thomas, R. (2017). Fourier transforms of images. Repéré à <https://plus.maths.org/content/fourier-transforms-images>
- Thompson, J. C., Hardee, J. E., Panayiotou, A., Crewther, D., & Puce, A. (2007). Common and distinct brain activation to viewing dynamic sequences of face and hand movements. *Neuroimage*, *37*(3), 966-973. doi : 10.1016/j.neuroimage.2007.05.058

- Tong, F., Nakayama, K., Moscovitch, M., Weinrib, O., & Kanwisher, N. (2000). Response properties of the human fusiform face area. *Cognitive Neuropsychology*, *17*(1-3), 257-280. doi : 10.1080/026432900380607
- Towler, J., Gosling, A., Duchaine, B., & Eimer, M. (2012). The face-sensitive N170 component in developmental prosopagnosia. *Neuropsychologia*, *50*(14), 3588-3599. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.017
- Turano, M. T., Marzi, T., & Viggiano, M. P. (2016). Individual differences in face processing captured by ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, *101*, 1-8. doi : 10.1016/j.ijpsycho.2015.12.009
- TVA (s.d). Image publicitaire d'Hydro-Québec. Repéré au <http://tva.canoe.ca/emissions/mamaisonrona2008/partenaires.html>
- Tsao, D. Y., & Livingstone, M. S. (2008). Mechanisms of face perception. *Annu Rev Neurosci*, *31*, 411-437. doi : 10.1146/annurev.neuro.30.051606.094238
- Valentine, T. (1988). Upside- down faces: A review of the effect of inversion upon face recognition. *British journal of psychology*, *79*(4), 471-491. doi : 10.1111/j.2044-8295.1988.tb02747.x
- Van Belle, G., De Graef, P., Verfaillie, K., Busigny, T., & Rossion, B. (2010). Whole not hole: Expert face recognition requires holistic perception. *Neuropsychologia*, *48*(9), 2620-2629. doi : 10.1016/j.neuropsychologia.2010.04.034
- Van Belle, G., Ramon, M., Lefèvre, P., & Rossion, B. (2010). Fixation patterns during recognition of personally familiar and unfamiliar faces. *Frontiers in psychology*, *1*, 20. doi : 10.3389/fpsyg.2010.00020
- VanRullen, R. (2006). On second glance: still no high-level pop-out effect for faces. *Vision Res*, *46*(18), 3017-3027. doi : 10.1016/j.visres.2005.07.009
- Verhallen, R. J., Bosten, J. M., Goodbourn, P. T., Lawrance-Owen, A. J., Bargary, G., & Mollon, J. D. (2017). General and specific factors in the processing of faces. *Vision Res*, *141*, 217-227. doi : 10.1016/j.visres.2016.12.014
- Vinette, C. (2003). *L'information visuelle efficace pour la reconnaissance de visage dans l'espace-temps* (Mémoire de maîtrise, Université de Montréal). Repéré au http://www.mapageweb.umontreal.ca/gosselif/labogo/vinette_msc.pdf
- Vinette, C., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2004). Spatio- temporal dynamics of face recognition in a flash: It's in the eyes. *Cognitive Science*, *28*(2), 289-301. doi : 10.1207/s15516709cog2802_8
- Wang, R., Li, J., Fang, H., Tian, M., & Liu, J. (2012). Individual differences in holistic processing predict face recognition ability. *Psychological science*, *23*(2), 169-177. doi : 10.1177/0956797611420575

- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). Quest: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, 33(2), 113-120. doi : 10.3758/BF03202828
- Weigelt, S., Koldewyn, K., Dilks, D. D., Balas, B., McKone, E., & Kanwisher, N. (2014). Domain-specific development of face memory but not face perception. *Dev Sci*, 17(1), 47-58. doi : 10.1111/desc.12089
- White, D., Kemp, R. I., Jenkins, R., Matheson, M., & Burton, A. M. (2014). Passport officers' errors in face matching. *PloS one*, 9(8), e103510. doi : 10.1371/journal.pone.0103510
- Willenbockel, V., Fiset, D., Chauvin, A., Blais, C., Arguin, M., Tanaka, J. W., Bub, D., & Gosselin, F. (2010a). Does face inversion change spatial frequency tuning? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(1), 122. doi : 10.1037/a0016465.
- Willenbockel, V., Sadr, J., Fiset, D., Horne, G. O., Gosselin, F., Tanaka, J. W. (2010b). Controlling low-level image properties: the SHINE toolbox. *Behavior Research Methods*, 42(3), 671-684. doi : 10.3758/BRM.42.3.671.
- Wilmer, J. B., Germine, L., Chabris, C. F., Chatterjee, G., Williams, M., Loken, E., Nakayama, K., Duchaine, B. (2010). Human face recognition ability is specific and highly heritable. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(11), 5238-5241. doi : 10.1073/pnas.0913053107
- Wilson, C. E., Brock, J., & Palermo, R. (2010). Attention to social stimuli and facial identity recognition skills in autism spectrum disorder. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(12), 1104-1115. doi : 10.1111/j.1365-2788.2010.01340.x
- Xu, X., & Biederman, I. (2014). Neural correlates of face detection. *Cereb Cortex*, 24(6), 1555-1564. doi : 10.1093/cercor/bht005
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *J. Exp. Psychol.* 81, 141–145. doi : 10.1037/h0027474
- Yovel, G., Wilmer, J. B., & Duchaine, B. (2014). What can individual differences reveal about face processing?. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 562. doi : 10.3389/fnhum.2014.00562
- Zion-Golumbic, E., & Bentin, S. (2006). Dissociated neural mechanisms for face detection and configural encoding: evidence from N170 and induced gamma-band oscillation effects. *Cerebral Cortex*, 17(8), 1741-1749. doi : 10.1093/cercor/bhl100