

Université du Québec en Outaouais

**Différences individuelles dans les habiletés d'identification et
l'utilisation de l'information visuelle des visages**

Essai doctoral
Présenté au
Département de psychoéducation et de psychologie

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

Par
© Jessica ROYER

Septembre 2017

Composition du jury

Différences individuelles dans les habiletés d'identification et l'utilisation de l'information visuelle des visages

Par
Jessica Royer

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

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

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

Valérie Goffaux, Ph.D., examinatrice externe, Institut de Recherche en Psychologie et Institut en Neurosciences, Université Catholique de Louvain

Pour Vincent.

REMERCIEMENTS

J'aimerais d'abord exprimer ma plus sincère gratitude envers mon directeur, Daniel Fiset, et ma co-directrice, Caroline Blais, pour leur support constant et inconditionnel tout au long de mon doctorat. Je vous remercie infiniment pour vos judicieux conseils, votre patience, vos encouragements, ainsi que les connaissances, l'enthousiasme et la passion pour le domaine académique que vous m'avez transmis. Votre confiance en mes habiletés de chercheure et clinicienne, de même que les nombreuses opportunités de formation et de collaboration que vous m'avez offertes depuis mon baccalauréat, ont grandement contribué à mon développement professionnel. Je serai toujours infiniment reconnaissante des habiletés et de la confiance que j'ai réussi à développer grâce à votre supervision. Vous êtes des superviseurs exceptionnels qui ont réellement à cœur la réussite et l'épanouissement de leurs étudiants. J'ai très hâte de poursuivre notre collaboration lors des prochaines étapes de ma formation académique.

Je souligne également la contribution cruciale des membres de mon comité de projet d'essai doctoral, soit Hélène Forget, Valérie Goffaux et Dominique Trottier. Je les remercie de la grande attention portée à la lecture de ce projet; leurs rétroactions constructives et pertinentes ont certainement permis d'améliorer cet essai.

Je tiens à mettre l'accent sur la contribution de plusieurs membres du Laboratoire de Perception Visuelle et Sociale de l'UQO à ce projet. Le soutien moral et la camaraderie de tous les membres du LPVS-UQO ont grandement contribué à mon implication et ma passion pour le travail académique. Je n'oublierai jamais tous les beaux moments passés en compagnie des membres du LPVS.

Je remercie également tous les professeurs et chargés de cours avec qui j'ai eu le plaisir d'échanger et d'apprendre depuis le début de mon doctorat. Les connaissances acquises grâce à votre passion et la richesse de vos connaissances ont grandement contribué à la qualité de mon parcours académique et clinique, et me serviront tout au long de ma carrière.

Enfin, je remercie profondément ma famille et mes amis qui m'ont offert un précieux support moral lors des quatre dernières années et ce, malgré le temps écoulé entre nos retrouvailles. Je souligne particulièrement le support de mon conjoint, Vincent, sans qui mon cheminement au doctorat n'aurait pas été possible. Merci de me pousser à me dépasser. Nos discussions passionnantes et ton aide précieuse sont toujours appréciées dans tous mes projets. Merci infiniment pour les rires, les moments de détente, ton écoute, ta patience, ta douceur et ton amour inconditionnel.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ABBRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	ix
AVANT-PROPOS	x
RÉSUMÉ	xi
CHAPITRE I	
CADRE THÉORIQUE	12
1.1 Approche par différences individuelles	12
1.2 Le traitement holistique	14
1.2.1 Mesures du traitement holistique.....	15
1.2.2 Critiques de la théorie holistique.....	19
1.3 Utilisation de l'information visuelle des visages.....	22
1.3.1 Information visuelle de bas niveau utile à l'identification des visages.....	22
1.3.2 Traits faciaux diagnostics à l'identification de visages.....	24
1.4 Objectif de l'étude.....	26
CHAPITRE II	
ARTICLE.....	28
2.1 Introduction.....	29
2.2 Materials and method.....	32
2.2.1 Participants	32
2.2.2 Apparatus.....	32
2.2.3 Face and object tasks	32
2.2.4 Bubbles task.....	33
2.3 Results.....	35
2.3.1 Analyses of bubbles data	35
2.3.2 Group average	37
2.3.3 Diagnostic facial information and face processing ability	38
2.4 Discussion.....	41
2.5 Acknowledgements.....	46
CHAPITRE III	
DISCUSSION.....	47
3.1 Résumé des objectifs et résultats	47
3.2 Différences individuelles	49
3.2.1 Habiletés de reconnaissance et fonctionnement cérébral	49
3.2.2 Utilisation des yeux et prosopagnosie	55
3.2.3. Mouvements oculaires.....	57
3.3 Limites	59
3.3.1 Critiques de la méthode des bulles	59
3.3.2 Généralisation à la prosopagnosie et super-reconnaisseurs.....	60

3.4 Perspectives futures	61
3.4.1 Autres mécanismes perceptifs à explorer	61
3.4.2 Rôle de l'utilisation des yeux comme stratégie optimale	62
CHAPITE IV	
CONCLUSION	66
ANNEXE A	
VERSIONS DE LA TÂCHE COMPOSITE	68
RÉFÉRENCES	70

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Création d'un stimulus bullé à partir d'un des stimuli utilisé dans notre étude. Le stimulus original (A) est filtré les cinq bandes de fréquences spatiales en B. Dans chaque bande, un certain nombre de fenêtres Gaussiennes sont placées sur un fond noir homogène (C). L'application de ce masque sur le stimulus filtré révèle de l'information de chaque bande (D). Cette information filtrée sur le plan spatial est ensuite additionnée, produisant un stimulus bullé (E). 34
- Figure 2. L'information visuelle significativement liée à la précision des réponses décomposée par bande de fréquences spatiales (gauche) et combinée à travers toutes les bandes (droite). Les portions statistiquement significatives de l'image de classification (illustrées par les régions colorées) sont superposées sur un des visages utilisés dans notre étude. 37
- Figure 3. L'information visuelle significativement liée à la précision des réponses en pondérant les images de classification individuelles selon l'habileté en reconnaissance de visages mesurée à l'aide d'une analyse par composantes principales. Les régions utilisées par les observateurs plus habiles ont des scores Z positifs (rouge), tandis que les régions utilisées par les observateurs moins habiles ont des scores Z négatifs (bleu). 39
- Figure 4. Corrélations entre l'habileté de traitement des visages et les scores Z maximum dans chaque œil. En accord avec les résultats de la régression linéaire multiple, seule la corrélation avec l'œil gauche était statistiquement significative ($r_{\text{gauche}} = .418, p = .003$; $r_{\text{droit}} = .273, p = .055, ns$). 40

LISTE DES ABBRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CCMT	Cambridge Car Memory Test
CFMT	Cambridge Face Memory Test
CFPT	Cambridge Face Perception Test
CI	Classification image (Image de classification)
CHMT	Cambridge Hair Memory Test
FFA	Fusiform Face Area
GFMT	Glasgow Face Matching Test
HMT	Horse Memory Test
LTA	Lobe temporal antérieur
<i>ns</i>	non-significatif
OFA	Occipital Face Area (Aire occipitale des visages)
PA	Prosopagnosie acquise
PCA	Principal component analysis (Analyse par composantes principales)
PCI	Permutation classification image (image de classification permutée)
PC	Prosopagnosie congénitale
ROI	Region of interest (région d'intérêt)
SD	Standard deviation (écart-type)
SF	Spatial frequency (fréquence spatiale)
VHFPT	Vanderbilt Holistic Face Processing Test

AVANT-PROPOS

Le manuscrit inclut dans cet essai, s'intitulant *Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability*, a été soumis au journal *Cognition* le 30 mai 2017 et est présentement en processus de révision par les pairs. L'idée originale du projet provient de Daniel Fiset, et le protocole expérimental a été élaboré par Daniel Fiset et Caroline Blais, avec l'aide de Jessica Royer. La tâche principale utilisant la méthode des Bulles a été codée par Jessica Royer. Les participants ont été recrutés et testés par Jessica Royer, Karine Déry et Isabelle Charbonneau. Ensuite, les données ont été analysées et interprétées par Jessica Royer, Daniel Fiset et Caroline Blais. La recension des écrits et l'écriture du manuscrit ont été complétés par Jessica Royer avec l'aide de Daniel Fiset. Caroline Blais, Brad Duchaine, Frédéric Gosselin et Jessica Tardif ont aussi contribué au manuscrit en offrant des suggestions et révisions.

RÉSUMÉ

L'identification d'un visage requiert l'extraction fine et précise des informations contenues dans le stimulus; or, tous ne sont pas aussi habiles pour accomplir cette tâche. Ces variations interindividuelles sont un outil puissant afin de mieux comprendre les processus impliqués dans la reconnaissance optimale d'un visage. En effet, si un mécanisme visuel ou cognitif est corrélé avec l'habileté individuelle à reconnaître les visages, ce mécanisme peut être considéré comme important et efficace pour l'identification de ces stimuli. Dans cette optique, la présente étude vise à vérifier si la stratégie d'extraction de l'information visuelle lors d'une tâche d'identification de visages est liée au niveau d'habileté individuel à reconnaître les visages. Pour ce faire, cinquante (50) participants âgés entre 18 et 40 ans ont complété six tâches mesurant leur niveau d'habileté à reconnaître des visages ainsi que différentes catégories d'objet. Il s'agit de tâches utilisées couramment dans le domaine de la reconnaissance de visages, qui seront étudiées à partir d'un score composite dérivé d'une analyse en composantes principales. Leur stratégie d'extraction de l'information visuelle contenue dans les visages a ensuite été caractérisée à l'aide de la méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001) et ce, lors d'une tâche d'identification à choix forcé. Nos résultats indiquent que l'utilisation de la région des yeux est significativement et positivement corrélée avec le niveau d'habileté en reconnaissance de visages. Ces données sont congruentes avec le déficit de certains patients prosopagnosiques à traiter la région des yeux (Caldara et al., 2005; DeGutis, Cohan, Mercado, Wilmer, & Nakayama, 2012; Fisher, Towler, & Eimer, 2016; Pancaroglu et al., 2016).

MOTS-CLÉS: Différences individuelles; Reconnaissance des visages; Perception de visages; Psychophysique; Méthode des bulles.

CHAPITRE I

CADRE THÉORIQUE

1.1 Approche par différences individuelles

Chez les personnes saines, les processus perceptifs et cognitifs impliqués dans l'identification d'un visage sont mis en œuvre de manière rapide et automatique (p.ex. Crouzet, Kirchner, & Thorpe, 2010; Rossion & Caharel, 2011; Rousselet, Mace, & Fabre-Thorpe, 2003). En un simple coup d'œil, nous pouvons extraire d'un visage une quantité importante d'informations cruciales au succès de nos relations sociales (p.ex. identité, expression faciale, groupe d'âge, ethnie, etc.). L'impressionnante efficacité de ces mécanismes peut laisser croire que l'extraction des informations visuelles pertinentes à la reconnaissance d'un visage est une tâche simple. En réalité, il s'agit d'une tâche extrêmement complexe pour le système visuel, impliquant une multitude d'étapes perceptives et cognitives (Bruce & Young, 1986). En effet, l'identification d'un visage nécessite une extraction fine et précise des informations dites *diagnostiques* à sa reconnaissance, c.-à-d. l'information utile à l'observateur pour traiter adéquatement un stimulus. Cette information peut être de nature variable selon la tâche; dans le cas de la reconnaissance des visages, il est question, par exemple, de l'évaluation des distances entre les traits faciaux et les ratios entre ces distances (c.-à-d. relations de deuxième ordre entre les traits; Maurer, Le Grand, & Mondloch, 2002; voir toutefois Burton, Schweinberger, Jenkins, Kaufmann, 2015; Dupuis-Roy, Fiset, Dufresne, Caplette, & Gosselin, 2014; Sandford & Burton, 2014; Taschereau-Dumouchel, Rossion, Schyns, & Gosselin, 2010) ainsi que l'information visuelle contenue dans les traits eux-mêmes (p.ex. Gosselin & Schyns, 2001). Cette complexité des processus de traitement des visages pourrait expliquer pourquoi nous retrouvons d'importantes variations interindividuelles dans les habiletés de reconnaissance de visages; alors

que certains sont exceptionnellement habiles (c.-à-d. super-reconnaisseurs; Russell, Duchaine & Nakayama, 2009), d'autres éprouvent d'importantes difficultés (c.-à-d. prosopagnosie acquise et congénitale; Behrmann & Avidan, 2005; Damasio, Damasio, & Van Hoesen, 1982; De Haan & Campbell, 1991; Duchaine & Nakayama, 2005; 2006; Sergent & Signoret, 1992; Sergent & Villemure, 1989). En effet, des déficits cliniquement significatifs en reconnaissance de visages sont présents dans la prosopagnosie. Dans la prosopagnosie acquise (PA), les déficits en identification de visages sont expliqués par la présence de lésions cérébrales objectivables, tandis que la prosopagnosie congénitale (PC) implique ce même déficit en l'absence de lésion cérébrale claire. Nous faisons ici la distinction entre prosopagnosie congénitale et développementale, cette dernière incluant les individus avec des déficits en reconnaissance des visages dus à diverses pathologies développementales (p.ex. trouble du spectre autistique, problèmes visuels dans la petite enfance). Ainsi, le terme plus général de « prosopagnosie développementale » englobe non seulement la PC, mais aussi les patients ayant souffert de problèmes ayant des répercussions objectivables au plan cérébral au cours du développement ou même au niveau prénatal (Behrmann & Avidan, 2005).

L'étude des variations interindividuelles dans les habiletés de reconnaissance de visages est un sujet d'actualité dans la littérature scientifique. Toutefois, cette question demeure relativement peu explorée (Wilmer, 2017; Yovel, Wilmer, & Duchaine, 2014). En effet, la plupart des études réalisées jusqu'à présent dans le domaine ont employé une approche où la performance d'un groupe de participants est simplement moyennée. En ce sens, les différences interindividuelles de performance sont considérées comme du bruit non-informatif. Or, en comparant la manière dont divers processus perceptifs et cognitifs se manifestent chez les individus présentant divers niveaux d'habileté en reconnaissance de visages, il devient alors

possible de mettre en lumière les mécanismes sous-tendant une réalisation optimale de cette tâche (Yovel et al., 2014). Le présent projet s'inscrit directement dans cet objectif en visant à clarifier comment la nature des stratégies perceptives mises en place pour identifier un visage est liée à l'habileté individuelle à traiter ces stimuli. Dans cette optique, les principaux mécanismes perceptifs impliqués dans le traitement des visages seront abordés suivant une présentation des perspectives théoriques dominantes dans le domaine.

1.2 Le traitement holistique

La théorie dominante dans le domaine de la reconnaissance de visages propose que des processus perceptif et cognitifs spéciaux seraient sollicités pour la reconnaissance de ces stimuli. Plus précisément, plusieurs chercheurs proposent que les visages sont reconnus à l'aide d'un traitement dit holistique; les stimuli non-faciaux, quant à eux, seraient reconnus grâce au traitement de leurs parties ou traits indépendants (c.-à-d. traitement par parties; Carey & Diamond, 1977; Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1998; Tanaka & Farah, 1993; voir toutefois Zhao, Bülthoff, & Bülthoff, 2016). L'une des premières distinctions claires entre ces deux types de traitement a été proposée par Tanaka et Farah (1993). Ces auteurs suggèrent que la représentation du visage utilisée pour sa reconnaissance ne serait pas composée de représentations des parties indépendantes du visage, mais bien du visage entier. Ainsi, le traitement holistique des visages implique que ceux-ci seraient reconnus en tant qu'un tout uni, incluant non seulement les traits, mais aussi le visage en tant qu'entité globale. En raison de l'importance de cette théorie dans le domaine, l'une des premières hypothèses avancées afin d'expliquer les différences individuelles d'habileté en reconnaissance de visage était le niveau

d'utilisation individuel du traitement holistique. Les sections qui suivent décrivent et discutent des résultats des études s'étant penchées sur cette question.

1.2.1 Mesures du traitement holistique

L'un des postulats centraux de la théorie holistique est que les visages sont représentés comme un tout (p.ex. Tanaka & Farah, 1993). Selon ce postulat, il serait particulièrement difficile de porter attention à une partie spécifique du visage tout en ignorant ses autres parties. Il s'agit de l'idée de base sur laquelle sont fondées plusieurs mesures du traitement holistique ayant été employées dans des études de différences individuelles, dont la tâche d'effet composite (Young, Hellawell & Hay, 1987).

1.2.1.1. Tâches d'effet composite. Parmi les mesures classiques du traitement holistique, celle dont l'usage est le plus répandu est sans doute la tâche composite (Young et al., 1987). L'effet composite est une illusion observée lorsque deux visages sont composés du même haut (c.-à-d. yeux et haut du nez) mais de bas distincts (c.-à-d. bas du nez et bouche). En effet, lorsque confronté à ce type de stimulus, les observateurs ont tendance à percevoir les hauts comme dissimilaires (alors qu'ils sont en fait identiques). L'interprétation habituelle de cette illusion est que puisque le visage est perçu comme un tout indissociable, notre percept serait formé d'une interaction entre les moitiés inférieure et supérieure du stimulus. Le désalignement des portions supérieure et inférieure du visage aurait pour effet de briser l'aspect global du visage, et donc empêcher le recours au traitement holistique. Ainsi, la tâche serait facilitée par l'utilisation d'un traitement par parties. Typiquement, la tâche composite est conçue selon un design de type pairage séquentiel: on demande à l'observateur d'indiquer si la moitié supérieure du visage

présenté est identique ou différente à la moitié supérieure du stimulus l'ayant immédiatement précédé (p.ex. Richler, Cheung, & Gauthier, 2011). À ce jour, de multiples études ont fait usage de cette tâche, considérée comme l'une des preuves les plus robustes en faveur de l'existence de processus spécifiquement dédiés au traitement des visages (Rossion, 2013).

Deux versions de la tâche composite ont été développées, soit le paradigme partiel et le paradigme complet (voir Annexe A pour une discussion des distinctions entre ces deux versions). Ceux-ci se distinguent par les types d'essais qu'ils contiennent, et donc par la mesure du traitement holistique que nous pouvons en dériver (Richler et al., 2011). Notons toutefois que l'usage de la version partielle de la tâche composite a graduellement diminué en raison de la mise en lumière d'un important biais de réponse dans cette tâche (c.-à-d. les observateurs auraient tendance à indiquer que les moitiés supérieures sont identiques, peu importe notre capacité à réellement discriminer ces stimuli; Cheung, Richler, Palmeri & Gauthier, 2008). Actuellement, le recours au design complet semble plus répandu (Richler et al., 2011; mais voir Rossion, 2013; voir Richler & Gauthier, 2013 pour une réponse). Or, tant le design composite complet que partiel présentent une limite importante sur le plan psychométrique. En effet, la fidélité de la mesure composite serait particulièrement faible (DeGutis, Wilmer, Mercado, & Cohan, 2013; Ross, Richler, & Gauthier, 2014). Plus précisément, la fidélité fractionnée (*split-half reliability*) variait entre 0 et .15, et le λ_2 de Guttman, entre 0 et .67, selon la manipulation des stimuli et la manière dont la mesure composite est calculée (soustraction ou régression; Ross et al., 2014). Ce problème psychométrique de la tâche composite limite considérablement l'interprétation que nous pouvons faire de la corrélation entre le traitement holistique et la performance à d'autres tâches. Étant donné que la corrélation entre toutes mesures est limitée par les fidélités respectives de ces mesures (c.-à-d. deux mesures ne peuvent pas produire une

corrélation supérieure à la racine carrée du produit de leurs fidélités; Nunnally, 1970), les corrélations maximales possibles sont donc généralement plutôt faibles. Ceci suggère donc qu'il s'agit d'une mesure peu adaptée à une approche corrélacionnelle basée sur les différences interindividuelles.

Plus récemment, une nouvelle tâche de type composite a été développée, soit le *Vanderbilt Holistic Face Processing Test* (VHFPT; Richler, Floyd, & Gauthier, 2014). En effet, la possibilité d'un biais de réponse est diminuée en privilégiant un design de type choix forcé à trois alternatives plutôt que le pairage séquentiel. Des paramètres additionnels ont également été ajoutés à la tâche afin d'augmenter le niveau de difficulté de certains essais, soit la taille des segments du visage devant être discriminés et ceux devant être ignorés, ainsi que la taille des stimuli entiers. Le problème de fidélité de la tâche composite est également partiellement adressé dans le VHFPT, la fidélité de cette mesure se situant approximativement entre .4 et .5 (λ_2 de Guttman; Richler et al., 2014); notons toutefois que ceci demeure un niveau de fidélité sous-optimal. En fait, ceci suggère qu'environ 50% de la variance des scores obtenus à la tâche peut être expliquée par le processus mesuré, et 50% par l'erreur de mesure (Guttman, 1945). Bref, malgré le potentiel du VHFPT à pallier partiellement aux limites de la tâche composite, la disponibilité d'un outil de mesure du traitement holistique présentant de bonnes qualités psychométriques demeure problématique.

1.2.1.2. Différences individuelles dans l'effet composite. Les études s'étant penchées sur le lien entre l'utilisation du traitement holistique en lien avec les habiletés individuelles de reconnaissance de visages ont obtenu des résultats contradictoires. En effet, l'existence d'une corrélation significative entre le niveau d'habileté de reconnaissance et l'utilisation du traitement holistique a été démontrée dans certaines études (Richler et al., 2011; Wang et al., 2012; DeGutis

et al., 2013), quoique d'autres groupes de chercheurs ont été incapables de répliquer ces résultats (Konar, Bennett, & Sekuler, 2010). Dans les études ayant obtenu une corrélation significative, il est important de souligner que le traitement holistique tel que mesuré par l'effet composite ne semble expliquer qu'une part limitée de la variance dans l'habileté individuelle à reconnaître les visages (16% de variance expliquée dans Richler et al., 2011; 10% dans Wang et al., 2012; 11 à 13% dans DeGutis et al., 2013). Quant au VHFPT, les auteurs de cette épreuve n'ont pas obtenu de corrélation significative entre le traitement holistique et l'habileté individuelle en reconnaissance de visages, menant les auteurs à suggérer que la corrélation obtenue avec la tâche composite serait possiblement liée à des mécanismes non spécifiques à la reconnaissance des visages (Richler et al., 2014).

Tel que mentionné précédemment, il est également possible que les problèmes psychométriques de ces mesures, particulièrement en ce qui concerne la fidélité, puissent limiter la validité d'une approche corrélationnelle avec ces tâches. En effet, des résultats plus constants ont été obtenus en utilisant une approche de comparaison des groupes aux extrêmes du continuum d'habiletés de reconnaissance de visages. Certains ont démontré que la PA et la PC semblent associées à un déficit dans l'utilisation du traitement holistique (voir Barton, 2009; Rivest, Moscovitch, & Black, 2009 pour des revues de la littérature), tandis que les super-reconnaisseurs présenteraient un meilleur traitement holistique des visages que les observateurs au niveau d'habileté modéré (Bobak, Hancock, & Bate, 2016a). Plusieurs individus présentant une PC ne montrent pas la différence attendue entre les deux conditions de la tâche composite (c.-à-d. condition par parties versus condition holistique; Avidan, Tanzer, & Behrmann, 2011; Liu & Behrmann, 2014; mais voir Le Grand et al., 2006). De façon similaire, une patiente souffrant de PA n'a pas obtenu l'effet typiquement obtenu chez les sujets sains dans le cadre de

la tâche composite (Busigny & Rossion, 2011; Ramon, Busigny, & Rossion, 2010). Notons toutefois que certains patients prosopagnosiques ne montrent pas de difficultés particulièrement importantes à traiter les visages de manière holistique, ne pouvant donc pas expliquer la sévérité de leurs déficits en reconnaissance de visages (p.ex. voir Ulrich et al., 2017). Ceci peut possiblement s'expliquer par la nature des déficits de ces patients se situant à différents niveaux du traitement des visages (perceptifs versus mnésique) ou encore en raison d'un manque de sensibilité des tâches employées. Ces résultats indiquant un problème dans le traitement holistique des visages chez les patients prosopagnosiques sont en accord avec des données indiquant que les visages sont traités de manière holistique au niveau des aires cérébrales associées à la reconnaissance experte des visages (Mazard, Schiltz, & Rossion, 2006; Schiltz, Dricot, Goebel, Rossion, 2010; Schiltz, & Rossion, 2006). Il est donc plausible qu'une lésion ou un dysfonctionnement des régions cérébrales impliquées dans le traitement des visages tel qu'observé dans la prosopagnosie amènerait un déficit à mettre en place le traitement holistique des visages.

1.2.2 Critiques de la théorie holistique

En dépit des nombreuses études soutenant l'importance du traitement holistique pour la reconnaissance adéquate et optimale des visages, de plus en plus de laboratoires semblent obtenir des résultats incongruents avec les postulats de cette théorie. D'abord, tel que décrit précédemment, le lien entre l'utilisation du traitement holistique et l'habileté individuelle à reconnaître les visages varie d'un niveau faible à négligeable. Ainsi, il ne semble pas s'agir d'un mécanisme permettant de prédire systématiquement le niveau d'habileté d'un individu en identification de visages. Des résultats obtenus par le biais d'autres mesures du traitement

holistique n'employant pas une approche basée sur les différences individuelles permettent aussi de questionner l'importance du rôle de ce mécanisme dans la reconnaissance expertes des visages. Par exemple, il a été démontré que l'inversion du visage dans le plan de l'image (c.-à-d. l'effet d'inversion, une manipulation reconnue comme empêchant le recours au traitement holistique et forçant la reconnaissance du stimulus inversé par un traitement par parties; Yin, 1969) serait lié à un changement quantitatif dans l'efficacité de la stratégie de traitement visuel déployée par l'observateur, et non à un changement qualitatif de stratégie visuelle comme le suppose la théorie holistique (Sekuler, Gaspar, Gold, & Bennett, 2004; Willenbockel et al., 2010a; voir toutefois Rossion, 2008; Yang, Shafai, & Oruc, 2014). De plus, plusieurs études suggèrent que les basses fréquences spatiales seraient liées au traitement holistique ou global, alors que les hautes fréquences spatiales seraient liées au traitement des parties (voir p.ex. Goffaux & Rossion, 2006). Étant donné le lien proposé entre l'effet d'inversion et le type de traitement employé selon l'orientation du stimulus, la théorie holistique devrait donc prédire que les visages à l'endroit seraient reconnus davantage grâce aux basses fréquences spatiales, alors que les visages à l'envers nécessiteraient davantage les hautes fréquences spatiales pour être reconnus. Or, les résultats obtenus par les auteurs s'étant penchés sur cette question ne soutiennent pas cette hypothèse (Gaspar, Bennett, & Sekuler, 2008; Willenbockel et al., 2010a; Royer et al., 2017). Ces résultats permettent, minimalement dans le contexte de l'effet d'inversion, de remettre en question la place centrale qu'occupe le traitement holistique dans la reconnaissance des visages.

Une des plus importantes limites de la théorie holistique consiste en le manque de définition claire de ce concept. Par exemple, certains auteurs proposent que le traitement holistique se manifeste dès les premières étapes perceptives (p.ex. Rossion, 2008), alors que

d'autres suggèrent plutôt que ce type de traitement intervient au moment de la création de la représentation du stimulus (p.ex. Richler et al., 2011). De plus, une récente revue de la littérature souligne que le traitement holistique peut être décomposé en de multiples mécanismes pouvant être étudiés indépendamment par le biais de différentes tâches expérimentales (Richler et al., 2012; Richler & Gauthier, 2014). Ces nombreuses définitions du concept d'holisme le rendent particulièrement difficile à opérationnaliser et à quantifier. En fait, les études ayant tenté de bien définir ce concept et de bâtir une tâche reflétant fidèlement cette définition ont obtenu des résultats allant à l'encontre de l'existence du traitement holistique des visages. En effet, une définition classique du traitement holistique veut qu'un visage entier est traité différemment que la somme de ses parties uniques, conformément au principe Gestaltiste voulant que «le tout est plus grand que la somme des parties» (Farah et al., 1998 ; Maurer et al., 2002 ; Richler et al., 2012). Dans cette optique, une mesure du traitement holistique tel que définie par ce postulat a été proposée par Gold et al. (2012). Toutefois, les résultats obtenus par ces auteurs et répliqués par Gold et al. (2014) avec des visages familiers ne supportent pas le traitement holistique des visages selon cette définition Gestaltiste (voir toutefois Shen & Palmeri, 2014). Les données de ces auteurs soutiennent plutôt l'existence d'un traitement qualitativement identique pour la reconnaissance des traits faciaux lorsque ceux-ci sont présentés de manière isolée et dans le contexte d'un visage entier, contrairement à la prédiction de la théorie holistique.

Bref, considérant l'important débat entourant la définition du traitement holistique, la meilleure manière de le quantifier, ainsi que la pertinence de ce concept afin d'expliquer les différences individuelles en reconnaissance des visages, il devient intéressant de se pencher sur d'autres mécanismes pouvant possiblement mieux expliquer ces différences. Une avenue

prometteuse consiste en l'utilisation de méthodes psychophysiques afin d'étudier l'utilisation de plusieurs types d'informations visuelles dans le contexte de la reconnaissance des visages.

1.3 Utilisation de l'information visuelle des visages

La reconnaissance de stimuli visuels n'implique pas l'utilisation de toute l'information imprimée sur la rétine, mais plutôt seulement celle qui est la plus utile (c.-à-d. diagnostique) pour la tâche (Schyns & Oliva, 1999). La nature de l'information visuelle dite diagnostique varie selon la tâche à réaliser: par exemple, des indices visuels différents sont nécessaires à la catégorisation d'expressions faciales (Blais, Roy, Fiset, Arguin, & Gosselin, 2010; Smith, Cottrell, Gosselin, Schyns, 2005), le jugement de confiance (Oosterhof & Todorov, 2008; Robinson, Blais, Duncan, Forget & Fiset, 2014) et l'identification d'un visage (Butler, Blais, Gosselin, Bub, & Fiset, 2010; Gosselin & Schyns, 2001; Schyns, Bonnar & Gosselin, 2002). De plus, en dépit d'une certaine homogénéité, la nature des informations diagnostiques à la réalisation d'une tâche varie considérablement d'un individu à l'autre dans la population saine (p.ex. Caldara et al., 2005; Pachai, Sekuler, & Bennett, 2013; Royer, et al., 2016). Ainsi, nous pouvons supposer que l'information qu'utilise un individu afin de réaliser une tâche peut nous informer sur les mécanismes sous-tendant la qualité de sa performance.

1.3.1 Information visuelle de bas niveau utile à l'identification des visages

Le rôle des informations visuelles de bas niveau fait l'objet d'un vif intérêt dans le domaine de la reconnaissance des visages. En effet, les données indiquent bien que le système visuel décompose toute stimulation visuelle en ses fréquences spatiales constituantes (De Valois, De Valois & Yund, 1979; Maffei & Fiorentini, 1973). Les différents canaux du système visuel

étant chacun particulièrement sensibles à des bandes de fréquences spatiales spécifiques. Les basses fréquences spatiales codent essentiellement la structure globale d'un stimulus, alors que les hautes fréquences spatiales codent les détails plus fins. Les fréquences spatiales diagnostiques à l'identification d'un visage sont aujourd'hui bien documentées, et nous savons que cette tâche repose majoritairement sur les fréquences intermédiaires ou moyennes (c.-à-d. de 8 à 16 cycles par visages; Costen, Parker, & Craw, 1996; Gaspar et al., 2008; Gold, Bennett, & Sekuler, 1999; Näsänen, 1999; Oruc & Barton, 2010; Peli, Lee, Trempe, & Buzney, 1994; Royer et al., 2017; Willenbockel et al., 2010a).

L'intérêt envers le rôle des orientations, un autre type d'information visuelle de bas niveau, a plus récemment fait surface dans le domaine de la reconnaissance de visages. Il est effectivement possible d'échantillonner certaines orientations des stimuli visuels en appliquant des filtres dans le domaine de Fourier. Plusieurs études ont démontré que les orientations horizontales sont particulièrement importantes pour identifier un visage (Dakin & Watt, 2009; Goffaux & Dakin, 2010 ; Goffaux, van Zon, & Schiltz, 2011; Pachai et al., 2013); en fait, plus les orientations échantillonnées s'éloignent de l'axe horizontal, plus la performance en reconnaissance de visages diminue (Dakin & Watt, 2009). Aussi, l'absence d'un avantage dans l'utilisation des orientations horizontales pour les visages inversés a mené certains auteurs à suggérer que cette plus grande efficacité avec les horizontales pour les visages à l'endroit serait une signature des mécanismes de traitement spécifiquement liés aux visages (Goffaux & Dakin, 2010). Cette sensibilité à l'information horizontale serait, par ailleurs, plus forte pour les visages familiers comparativement aux visages nouvellement appris (Pachai, Sekuler, Bennett, Schyns, & Ramon, 2017).

Une corrélation significative a récemment été révélée entre l'efficacité individuelle en reconnaissance de visages à l'endroit et le niveau d'utilisation des horizontales, cette corrélation n'étant toutefois pas présente pour les visages inversés (Pachai et al., 2013). À notre connaissance, il s'agit de la seule étude à ce jour faisant un lien direct entre l'utilisation de l'information visuelle de bas niveau et les différences individuelles d'habileté de reconnaissance de visages. Ce résultat est particulièrement intéressant pour la présente étude, puisqu'il démontre clairement que nous pouvons retrouver un lien entre l'utilisation de certaines informations visuelles et l'habileté individuelle à reconnaître les visages. Toutefois, cette étude présente certaines limites, notamment le fait que les stratégies perceptives et les habiletés d'identification des visages des participants ont été mesurées par le biais d'une seule et même tâche expérimentale. De plus, toutes les études réalisées à ce jour sur l'utilisation des orientations présentent une limite commune, soit une sélection a priori des orientations échantillonnées. Le développement de méthodes psychophysiques basées sur un échantillonnage de l'information aléatoire et sans biais (p.ex. Gosselin & Schyns, 2001; Willenbockel et al., 2010a; Duncan et al., 2015) et utilisant des tâches distinctes pour mesurer les habiletés de reconnaissance de visages permettraient de pallier directement à ces lacunes.

1.3.2 Traits faciaux diagnostics à l'identification de visages

La majorité des études qui se sont intéressées à l'importance des traits faciaux pour la reconnaissance des visages ont montré qu'en moyenne, les observateurs utilisaient la région des yeux de façon prédominante. Grâce à différentes méthodes psychophysiques permettant d'identifier quelles informations sont nécessaires à la réussite d'une tâche perceptive (p.ex. techniques d'images de classification telles la méthodes des Bulles et la corrélation inverse), il a

été possible de révéler le rôle diagnostique de la région des yeux au sein de la population normale (Butler et al., 2010; Caldara et al., 2005; Gosselin & Schyns, 2001; Schyns et al., 2002; Schyns, Jentzsch, Johnson, Schweinberger, & Gosselin, 2003; Sekuler et al., 2004; Vinette, Gosselin, & Schyns, 2004). De façon intéressante, ce biais semble favoriser l'œil gauche chez le sujet droitier. Vinette et al. (2004) ont d'ailleurs interprété ce biais pour l'œil gauche comme provenant de la plus forte spécialisation du gyrus fusiforme de l'hémisphère droit ou Fusiform Face Area (FFA; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997) pour le traitement des visages.

Le rôle diagnostique de la région des yeux en reconnaissance de visages est également supporté par les données recueillies auprès de patients PA. En effet, ces derniers présentent d'importants déficits en reconnaissance de visages en raison de lésions cérébrales typiquement situées au niveau des aires occipitotemporales bilatérales (Damasio, et al., 1982; Sergent & Villemure, 1989; Sergent & Signoret, 1992) ou unilatérale droite (Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017; voir Mattis et al., pour un cas de PA après une lésion à gauche); suite à cette lésion, ces patients deviennent incapables d'identifier les visages familiers et d'apprendre de nouveaux visages. Une étude phare de Caldara et collaborateurs (2005) a révélé qu'une patiente prosopagnosique utilisait des informations différentes des sujets sains afin d'identifier un visage. Plus précisément, tandis que la patiente avait davantage recours à la région de la bouche et au contour des visages pour identifier ces stimuli, les sujets contrôles démontraient un net biais envers la moitié supérieure du visage, c.-à-d. les yeux. Il a donc été proposé que le déficit de PS – la patiente prosopagnosique évaluée par ces auteurs – en reconnaissance de visages serait explicable par son incapacité à extraire et emmagasiner l'information contenue dans la région des yeux (Caldara et al., 2005; voir également Fiset et al., 2017). Cette baisse significative de la sensibilité aux informations contenues dans la région des yeux ainsi qu'une sur-utilisation de la

région de la bouche sont rapportées chez différents patients PA (Bukach, Le Grand, Kaiser, Bub, & Tanaka, 2008; Rossion, Kaiser, Bub, & Tanaka, 2009), particulièrement lorsque la lésion se trouve davantage dans les aires cérébrales plus postérieures (Pancaroglu et al., 2016).

Un déficit dans l'utilisation de l'information visuelle contenue dans la région des yeux serait également présent chez les individus PC (DeGutis, Cohan, Mercado, Wilmer, & Nakayama, 2012; Fisher, Towler, & Eimer, 2016). Ces données des individus PC indiquent que l'utilisation de stratégies perceptives atypiques ne dépend pas uniquement de la présence de lésions cérébrales. De façon connexe, l'existence d'une association significative entre l'activation du FFA en réponse aux visages et l'habileté individuelle à reconnaître ces stimuli a été démontré chez un échantillon composé d'individus sains et de PC (Furl, Garrido, Dolan, Driver & Duchaine, 2011; Russell, Yue, Nakayama & Tootell, 2010; voir aussi McGugin, Van Gulick, & Gauthier, 2015). Il est donc plausible que la variabilité dans l'habileté individuelle à reconnaître les visages, en lien avec l'activité des régions cérébrales spécialisées dans le traitement des visages, soit associée à des variations systématiques dans l'utilisation de l'information contenue dans ces stimuli.

1.4 Objectif de l'étude

Étant donné les connaissances actuelles, notre étude vise à explorer une autre explication possible à la variabilité interindividuelle dans les habiletés de reconnaissance de visages. La présente étude a pour objectif de vérifier si des variations systématiques dans l'utilisation de l'information visuelle contenue dans les visages peuvent être révélées en fonction du niveau d'habileté de reconnaissance des observateurs parmi la population saine. Les stratégies perceptives employées en reconnaissance de visages ont été étudiées à l'aide de la méthode des

bulles (Gosselin & Schyns, 2001), une méthode psychophysique permettant de révéler l'information visuelle diagnostique à une tâche de catégorisation visuelle. Cette méthode nous a permis de déterminer la nature de l'information visuelle, en termes de traits de l'image et de fréquences spatiales, utiles à la reconnaissance optimale d'un visage. Les participants ont également complété six tâches de reconnaissance de visages et d'objets employées communément dans le domaine de la reconnaissance des visages. Ces mesures ont, par ailleurs, l'avantage de présenter des propriétés psychométriques satisfaisantes, tel que démontré dans plusieurs études ayant employé ces mesures dans le passé (voir p.ex. Bowles et al., 2009; Dennett et al., 2012; Duchaine & Nakayama, 2006; Royer, Blais, Duncan, Gosselin, & Fiset, 2015).

CHAPITRE II
ARTICLE

Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability

Jessica Royer¹, Caroline Blais¹, Isabelle Charbonneau¹, Karine Déry¹, Jessica Tardif², Brad
Duchaine³, Frédéric Gosselin², & Daniel Fiset¹

1. Département de Psychoéducation et de Psychologie, Université du Québec en Outaouais

2. Département de Psychologie, Université de Montréal

3. Department of Psychological and Brain Sciences, Dartmouth College

Address correspondence to: Daniel Fiset

2.1 Introduction

Face identification is a great challenge for the visual system, as human faces consist of a small set of facial features (p.ex. the eyes, the nose, the mouth) with only subtle and poorly used variations in inter-attribute distances (Dupuis-Roy, Fiset, Dufresne, Caplette, & Gosselin, 2014; Taschereau-Dumouchel, Rossion, Gosselin, & Schyns, 2010; see also Burton, Schweinberger, Jenkins, & Kaufmann 2015; Sandford & Burton, 2014). In the last few decades, the processes supporting face identification have been extensively investigated using group-based approaches where interindividual variations were typically regarded as uninformative noise. However, significant variations in face identification ability have been observed within the healthy population (Bate, Parris, Haslam, & Kay, 2010; Bowles et al., 2009; Duchaine & Nakayama, 2006; Royer et al., 2015; Wilmer et al., 2010), and many authors now highlight the importance of individual differences to gain a better understanding of face processing mechanisms (p.ex. Yovel, Wilmer, & Duchaine, 2014; see also Richler, Cheung, & Gauthier, 2011 for a discussion).

One of the main hypotheses formulated to account for this variability in face recognition ability is the extent to which individuals integrate facial parts into a unified whole or “gestalt”. The fact that it is more difficult to ignore parts of a face than parts of an object (Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1998; Young, Hellawell, & Hay, 1987) is frequently mentioned as evidence for holistic processing of faces (see Richler, Palmeri, & Gauthier, 2012 for precisions regarding the measures and subtypes of holistic processing). If holistic processing is indeed important for face processing and identification, individual ability to discriminate and recognize faces should at least partly depend on this mechanism. While some have obtained a significant correlation between face recognition ability and the magnitude of certain experimental effects thought to reflect holistic processing (Richler et al., 2011; DeGutis, Wilmer, Mercado, & Cohan, 2013;

Wang, Li, Fang, Tian, & Liu, 2012), others have not (Konar, Bennett, & Sekuler, 2010; Richler, Floyd, & Gauthier, 2014). In addition, a recent paper reported that four out of seven acquired prosopagnosics had normal face composite effects (Finzi, Susilo, Barton, & Duchaine, 2016). Importantly, recent attempts to design measures of holistic (Vanderbilt Holistic Processing Test; Richler et al., 2014) and configural (Vanderbilt Part Whole Test; Sunday, Richler, & Gauthier, 2017) face processing with better psychometric properties suggest that these mechanisms are not related to face processing abilities. Recent evidence with the whole-part design (Tanaka & Farah, 1993) indeed suggests that, once object processing abilities and part trials have been factored out, no variance in accuracy remains to be explained by the whole-type trials (Sunday et al., 2017).

An alternate hypothesis to account for these individual differences is the possibility that the visual information extracted during face recognition may be systematically related to face processing abilities. In line with this proposition, Pachai, Sekuler, & Bennett (2013) demonstrated that tuning for horizontal information is significantly correlated with upright face identification accuracy as measured within the same recognition task. To our knowledge, this is the only study that showed a clear link between the use of specific low-level visual information and face recognition ability. However, based on these results, we cannot disentangle whether the best face recognizers are especially sensitive to horizontal information itself or to certain features that contain greater amounts of this type of information, for instance the eye area. Indeed, past research investigating visual information extraction strategies in face identification using group-mean approaches have repeatedly demonstrated that the eye region is crucial for the correct identification of facial stimuli (Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy 1996; Butler, Blais, Gosselin, Bub & Fiset, 2010; Caldara et al., 2005; Itier, Alain, Sedore, & McIntosh, 2007; Gosselin & Schyns, 2001; Sekuler, Gaspar, Gold & Bennett, 2004; Vinette, Gosselin & Schyns,

2004; Xivry, Ramon, Lefèvre & Rossion, 2008). Although this result sheds light on the nature of the most diagnostic facial feature in the healthy population, it may hide important individual differences in the visual strategies used to process faces.

The current study explores how variations in the ability to recognize faces in healthy observers are linked to the visual strategies used in face identification, i.e. the diagnostic facial regions for accurate face recognition. In order to do so, fifty participants first completed three tasks measuring face processing abilities. A principal component analysis carried out on the results from these tests yielded a single score to assess general face processing ability (see Furl, Garrido, Dolan, Driver, & Duchaine, 2011 for a similar procedure). The participants also completed three non-face object recognition tasks to take into account the role of general recognition ability in the observers' use of facial information. Next, to pinpoint the features associated with face identification, we employed a 10-choice identification task using the Bubbles method (Gosselin & Schyns, 2001, see Caldara et al., 2005 for a very similar task). The general idea behind Bubbles is that by randomly sampling specific visual information on a trial-by-trial basis, we will be able to precisely determine, after many trials, what information is significantly correlated with performance in any given visual categorization task (p.ex. Smith, Cottrell, Gosselin, & Schyns, 2005; Thurman & Grossman, 2008; Willenbockel et al., 2010a; Robinson, Blais, Duncan, Forget, & Fiset, 2014; Royer et al., 2016). In this case, we combined the Bubbles results and the face identity factor scores derived from the principal component analysis to reveal which facial regions at which spatial frequency ranges are significantly correlated with face recognition accuracy.

2.2 Materials and method

2.2.1 Participants

Fifty (28 women) Caucasian, right-handed participants provided informed consent to complete seven tests for this study: three face recognition tasks, three object recognition tasks, and a 10 choice identification task using Bubbles. All participants were between 18 and 40 years of age (mean age of 23.9, S.D.=4.4). The study was approved by the Université du Québec en Outaouais's Research Ethics Committee and was conducted in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki). The number of participants was set at fifty to include individuals with a wide range of face and object recognition ability in our sample. All participants had normal vision as indicated by their score on the Snellen Chart and Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart (Pelli, Robson, & Wilkins, 1988).

2.2.2 Apparatus

The experiments were conducted on MacPro QuadCore computers. Stimuli were displayed on a 22-inch 120Hz Samsung LCD monitor. The monitor's resolution was set to 1680 × 1050 pixels. Minimum and maximum luminance values were 0.4 cd/m² and 101.7 cd/m², respectively. The participants were seated in a dark room and viewing distance was maintained constant with a chinrest. Relation between luminance and RGB values was set to linear.

2.2.3 Face and object tasks

Each participant completed a total of six face and object recognition ability tests: the Cambridge Face Memory Test + (CFMT+; Duchaine & Nakayama, 2006; Russell, Duchaine, & Nakayama, 2009), the Cambridge Face Perception Test (CFPT; Duchaine, Germine &

Nakayama, 2007), the Glasgow Face Matching Test short version (GFMT; Burton, White, & McNeil, 2010), the Horse Memory Test (HMT; Duchaine & Nakayama, 2005), the Cambridge Car Memory Test (CCMT; Dennett et al., 2012), and the Cambridge Hair Memory Test (CHMT; Garrido et al., 2009). All Cambridge tests were programmed in Java; the others (GFMT and HMT) were programmed in Matlab (Natick, MA) using functions from the Psychophysics toolbox (Pelli, 1997; Brainard, 1997).

2.2.4 Bubbles task

We selected ten faces (five women) from a small database of faces (twenty faces; ten women) presented elsewhere (Royer et al., 2017). The grayscale stimuli were shown through an elliptical aperture, which masked their external facial features. Image resolution was 256x256 pixels, and the face width was six degrees of visual angle. The spatial frequency spectrum of each face stimulus was set to the average spectrum of all faces using SHINE (Willenbockel et al., 2010b) and the stimuli were spatially aligned on the average positions of the main internal facial features (eyes, mouth, and nose) using translation, rotation, and scaling.

To create a *bubblized* stimulus, a face (Figure 1A) was first decomposed into five different spatial frequency (SF) bands (Figure 1B; 103.50-51.75, 51.75-25.88, 25.88-12.94, 12.94-6.47, and 6.47-3.23 cycles per face, the remaining low-frequency band serving as a constant background) using the Laplacian pyramid transform implemented in the pyramid toolbox for Matlab (Simoncelli, 1999). Each SF band was then independently and randomly sampled with Gaussian apertures (i.e. bubbles) of different standard deviations. The size of the bubbles was adjusted in accordance with frequency band to only reveal three cycles (Figure 1C). Since the size of the bubbles is much larger for lower SF bands, the number of bubbles was

adjusted at each scale to maintain a constant probability of a given pixel being revealed across the five SF bandwidths. A point-wise multiplication was then performed between the bubbles' masks and the filtered images to obtain one bubbled face for each SF band (Figure 1D). Finally, these five randomly sampled images plus the constant background were summed to produce the bubbled stimulus, i.e. what is shown to the participant on a given trial (Figure 1E).

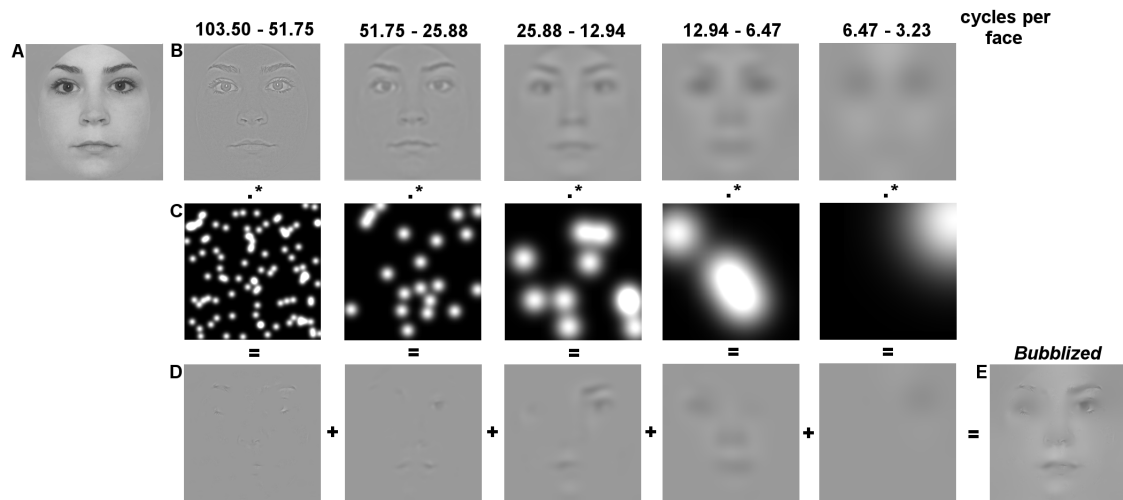


Figure 1. Creation of the bubbled stimulus using one of the stimuli of our study. The original stimulus (A) is filtered into the five spatial frequency bands in B. In each band, a number of randomly positioned Gaussian apertures puncture a homogeneous black field (C). Applying the punctured masks to the filtered stimulus reveals the information in each band (D). This spatially filtered information is then summed, producing a bubbled stimulus (E).

The participants learned to associate the faces with common French Canadian names (p.ex. Caroline, Cynthia, Vincent...) from printed grayscale pictures displayed along with these names. Each of the numerals (0 to 9) on a regular computer keyboard was associated with a particular face name. When the participants were confident that they could identify the ten faces, the practice session began. A 500 ms fixation point initiated each trial. Then, one of the randomly chosen ten faces was presented, and remained onscreen until the participant provided a response by pressing one of the designated keys for the experiment. The participants were asked to complete additional 100-trial blocks until the accuracy criterion of 95% was reached in two

consecutive blocks. This ensured that any interindividual differences observed with bubbles were not merely the product of variations in learning or memorizing the faces. Once this condition was met, the bubbles experiment began. The practice and bubbles experiments were programmed in Matlab using functions from the Psychophysics toolbox. The procedure for the bubbles experiment was identical to the practice, with the exception that the face images were now sampled with bubbles. Each participant completed 20 blocks of 100 trials each for a total of 2000 trials. The number of bubbles was adjusted using QUEST (Watson & Pelli, 1983) to maintain an accuracy rate of 55% (i.e. midway between a perfect (100%) and random (10%) performance). A single adjustment procedure was used for all spatial scales; the amount of information revealed in each scale was manipulated so that an equal amount of information (i.e. the same number of pixels) was revealed, on average, across the SF bandwidths.

2.3 Results

2.3.1 Analyses of bubbles data

We computed a least-square multiple linear regression on the location of the bubbles' center and the subject's accuracy for each trial to uncover the features used during the task. The plane of regression coefficients yielded by this operation is called a classification image (CI): It reveals how the processing of different regions of the face image is correlated with accuracy. We computed one such raw classification image per subject, per SF band. To transform the resulting values into Z-Scores, we used a permutation procedure, meaning that we repeated the above procedure with random permutations of the response vector, thus obtaining a permutation-CI, or PCI. The individual CIs and PCIs were smoothed using Gaussian kernels of same standard deviations as the ones used to create the bubbled stimuli during the experiment. Each

observer's CI was then transformed into Z-scores using the mean and standard deviation of the PCI. Finally, we grouped all observers' Z-scored CIs by summing them and dividing the result by the square root of the number of observers (i.e. fifty). This group CI either consisted of the unweighted individual CIs (as described here) or the individual CIs weighted with face recognition performance (see section 3.3). To determine what visual information was significantly correlated with accuracy or face recognition performance, we applied the pixel test to these grouped classification images. The statistical threshold provided by this test corrects for multiple comparisons (for details, see Chauvin, Worsley, Schyns, Arguin, & Gosselin, 2005).

A separate analysis was also conducted where SF information was combined across all five bands (see Blais, Roy, Fiset, Arguin, & Gosselin, 2012 for a similar procedure). In short, this analysis consisted of summing the bubbles' center across scales, and smoothing the resulting 2D plane by a unique filter. Similar to our previous analysis preserving SF information, this procedure was conducted for each observer. The individual CIs were first converted to Z-Scores using a permutation procedure (see above for details). The raw CIs were then smoothed with a Gaussian kernel defined by the same standard deviation as the one used in the third SF band during the experiment. All observers' smoothed CIs were summed, and the result was divided by the square root of the number of observers. Similar to the separate SF results, the group CI was either composed of the unweighted individual CIs (see section 3.2) or the individual CIs weighted with face recognition performance (see section 3.3). To determine what visual information was significantly correlated with accuracy or face recognition performance, we again applied the Pixel test (Chauvin et al., 2005).

2.3.2 Group average

We first verified whether our participants used, on average, facial regions similar to what has been obtained in past experiments using the bubbles method in face identification tasks (see, for example, Gosselin & Schyns, 2001; Schyns et al., 2002; Caldara et al., 2005; Butler et al., 2010). Figure 2 shows the information significantly linked to accuracy on our bubbles task, i.e. the facial areas and SFs that were diagnostic for face identification. The regions that reached statistical significance are shown in color and are superimposed on one of the faces used in our experiment ($p < .001$; Z-score threshold criterion [Z_{crit}] = 5.02; 4.73; 4.43; 4.12; 3.82, from finer to coarser scales).

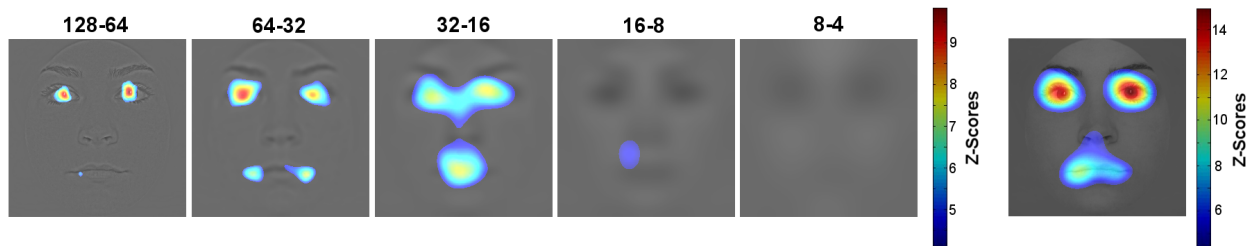


Figure 2. Visual information significantly linked to accuracy decomposed by SF band (left) and combined across all bands (right). The significant portions of the CIs (depicted as heat maps of Z-scores) are superimposed on one of the faces used in the study. Note that the face stimulus presented here was darkened to better illustrate the coloured areas of the image.

As shown in Figure 2, we see that both the results decomposed by SF bands and when combining all spatial scales (see Blais et al., 2012; Royer et al., 2016) are quite similar to previous accounts of the diagnostic information for face identification (p.ex. Butler et al., 2010; Schyns, Bonnar & Gosselin, 2002). Indeed, the eye and mouth areas are particularly correlated with recognition accuracy. More specifically, the eye region is more important in higher SF bands, while the diagnosticity of the mouth area is slightly shifted towards lower bands. Thus, these facial regions appeared to be, on average, useful for the task. However, while some observers show a pattern of diagnostic information closely resembling this group average, this is

not the case for all of our participants. We conducted a second round of analyses where individual ability in face processing was taken into account before grouping the individual CIs. This procedure allowed us to pinpoint the facial information significantly associated with the best performance in the three face recognition tests.

2.3.3 Diagnostic facial information and face processing ability

To obtain a single measure of face processing ability, we submitted the data obtained on the three face tests to a principal component analysis (PCA) of the correlation matrix with Varimax rotation of the resulting eigenvector components (see Furl et al., 2011). We retained the first factor in our analysis (i.e. the only factor that yielded an eigenvalue over 1) and computed our participants' factor scores on this factor. As evidenced by the Varimax-rotated principal component weights, each test loaded, as expected, on this factor, suggesting that it indeed captures general face processing ability (0.851 loading for the CFMT; 0.732 loading for the GFMT; -0.723 loading for the CFPT, note that the scores on the CFPT represent error rates, and are thus inversely correlated with the other two face processing tests).

To obtain a first approximation of the facial information correlated with face recognition ability, the individual CIs were weighted using the rank of individual factor scores for the factor retained in our PCA. Thus, the weights applied to the individual CIs prior were based on our participants' performance in the behavioural tests administered in our study. All of the weighted CIs were then summed. The values of the pixels in the group CI were converted to Z-scores using the mean and standard deviation of the portion of the CI corresponding to the face image's gray background (see Royer et al., 2016 for a similar procedure). The facial regions that were associated with face-related processing ability according to the Pixel test (Chauvin et al., 2005)

are shown in color in Figure 3 ($Z_{crit} = 4.30, 3.95, 3.58, 3.19,$ and $2.81,$ from finer to coarser scales; $p < .025$).

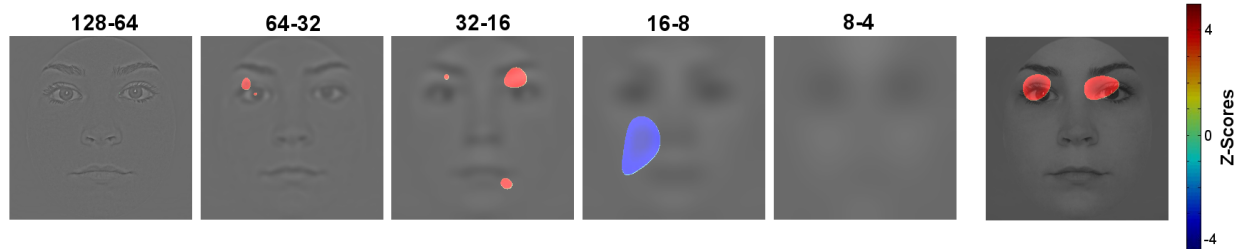


Figure 3. Visual information significantly linked to accuracy when weighing the individual classification images by face processing ability measured with a PCA. Higher-ability observers significantly used regions with positive Z-scores (red), while lower-ability observers significantly used regions with negative Z-scores (blue). Note that the face stimulus presented here was darkened to better illustrate the coloured areas of the image.

These results suggest that the best face recognizers relied on the eye region particularly in mid to high SF bands. The best recognizers also used the mouth area more efficiently than the observers with lower face processing abilities, although this utilization was specific to the third SF band – when all the SF bands were collapsed, only the eye area was significantly correlated with face processing abilities. As for the observers with lower face processing abilities, the only area that reached significance was the lower left portion of the face in the lower SF range. In short, these results demonstrate that face processing ability is systematically associated with an increase in the use of the eyes. Together, our data suggests that, within the normal population, better face recognizers tend to make a generally more efficient use of multiple facial areas, particularly the eyes.

However, the results presented so far do not take into account the covariance within the individual CIs. To resolve this problem, we performed a multiple linear regression on face processing ability (dependent variable) and the peak Z-score in two regions of interest (ROI) of the individual classification images collapsed across SF bands (predictors). ROIs were

anatomically defined based on the facial feature that seemed most important for the best face recognizers, i.e. the eyes (see darkened region of face image in Figure 4). We considered the peak Z-score in these regions in each observer's individual CI to determine if the use of these features could predict face processing ability. We used the individual CIs that combined all SF information, as information utilization was relatively constant irrespective of SF band. Indeed, the eye area seemed useful for the best face recognizers in all bands despite only reaching statistical significance in mid to high SFs. Note that we refer to the position of each eye according to their position on the face image from the observer's point of view. The model significantly predicted face processing ability ($F(2,47) = 5.85; p = .005; r^2 = .20$). The peak Z-score in the left eye ($\beta = .369; p = .009$) significantly predicted individual differences in ability, but the use of the right eye ($\beta = .165; ns$) did not reach statistical significance (see Figure 4). Thus, although the best face recognizers seem to rely on both eyes to accurately identify faces, it is the use of the left eye that accounts for individual differences in face processing ability.

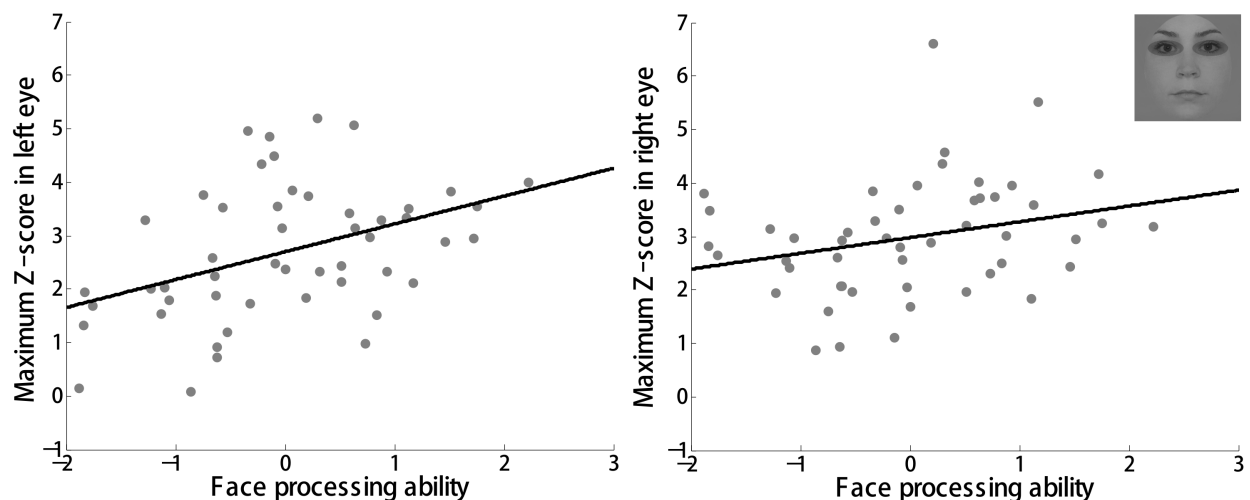


Figure 4. Correlations between face processing ability and maximum Z-scores in each eye. Consistent with the results of the linear regression, only the correlation with the left eye reached statistical significance ($r_{\text{left}} = .418, p = .003; r_{\text{right}} = .273, p = .055, ns$).

We then computed a second PCA using only the three object-recognition tests, which also resulted in retaining a single factor (i.e. eigenvalue > 1; 0.796 loading for the HMT; 0.619 loading for the CCMT; 0.554 loading for the CHMT). This aimed to verify if a similar pattern of results could be obtained in a second regression analysis when using a purer measure of face processing ability that took into account the variance attributable to the object recognition ability factor. This second regression analysis was computed using the residuals between the face processing ability factor and object recognition ability factor as the dependant variable. As in the previous regression, the individual peak Z-Score in each eye was used as predictors. The model significantly predicted the face processing ability residuals ($F(2,47) = 3.80$; $p = .029$; $r^2 = .14$). The peak Z-score in the left eye ($\beta = .305$; $p = .036$) significantly predicted individual differences in ability, but the peak Z-score in the right eye ($\beta = .143$; *ns*) did not reach statistical significance.

2.4 Discussion

The goal of this study was to assess whether varying levels of face recognition ability are linked to changes in the perceptual strategies used to extract visual information to identify faces. Fifty participants were first asked to complete multiple tests measuring their individual ability to recognize faces and objects. Next, a face identification task in which the facial stimuli were sampled in the image and SF domains with Bubbles (Gosselin & Schyns, 2001) was administered to the same subjects.

Our first analysis aimed to verify if, on average, the participants showed a similar pattern of results using the set of stimuli selected in the present study. In line with previous results, our data indeed shows the crucial role of the eyes for accurate face recognition (Butler et al., 2010;

Caldara et al., 2005; Gosselin & Schyns, 2001; Schyns et al., 2002; Vinette, Gosselin & Schyns, 2004). Our main analyses aimed to evaluate the link between (1) the individual face recognition strategies uncovered in our bubbles task and (2) individual face processing ability, quantified using the first component of a PCA computed on the three face recognition tasks included in our study. Our results demonstrate a systematic link between the use of the eyes and face processing ability. Interestingly, the best face recognizers rely to a greater extent on the left eye (from the observer's perspective) compared to the low-ability face recognizers.

Our study is one of the first to use an individual differences approach to clarify how face recognition ability is linked to the perceptual strategies used to extract visual information to identify faces. A growing number of authors are now using individual differences to uncover the nature of the cognitive mechanisms reflected by various face-specific neural responses, which offers an interesting framework to interpret our results. For instance, Furl et al. (2011) showed a significant association between face recognition ability and peak face selectivity in the right and left individually defined Fusiform Face Area (FFA; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997), as well as with the size of the right FFA, in a sample of developmental prosopagnosic individuals and age-matched controls (see also Garrido et al., 2009). Similar results were obtained in a cohort of healthy participants, i.e. a significant correlation between face recognition ability and the face-selective responses in the FFA and Occipital Face Area (OFA; Huang et al., 2014). It is thus possible that the activation of regions in the core face-processing network may reflect the allocation of greater resources towards the eye — especially the left eye — region of faces. Relatedly, it has been shown that the latency of the N170, a well-documented ERP component thought to reflect early face processing, is related to individual accuracy in perceiving, learning, and recognizing faces (Herzmann, Kunina, Sommer, & Wilhelm, 2010). Using a face adaptation

paradigm, a recent study demonstrated that N170 adaptation-effect for individual faces is correlated with face abilities (Turano, Marzi, & Viggiano, 2016). Considering that the N170 seems to be modulated by the mere presence or absence of the eye region, irrespective of task demands (Schyns, Jentzsch, Johnson, Schweinberger & Gosselin, 2003; Smith, Gosselin, & Schyns, 2004), these results also suggest a link between eye processing and face recognition ability. Importantly, our results make a much more direct link between efficient processing of the eye region of faces and face processing abilities.

This proposition is compatible with data from cases of acquired prosopagnosia patients, i.e. individuals showing significant impairment in face processing due to acquired brain injury. Pancaroglu et al. (2016) recently proposed that the impairment in the processing of the eyes observed in some prosopagnosic individuals might be more typical of patients with occipitotemporal lesions than those with more anterior temporal lesions. This is consistent with data from patient PS, a case of pure prosopagnosia due to bilateral occipito-temporal lesions. Three distinct studies using bubbles have shown impairment in using the eye area of faces in both face identification and facial expression categorization in this patient (Caldara et al., 2005; Ramon et al., 2017; Fiset et al., in press). These three case studies of PS's use of information in face processing conclude that her condition stems from a deficit in extracting the information conveyed by the eye area. This is compatible with previous studies suggesting a causal role of the OFA (the region lesioned in PS) in facial feature extraction (p.ex. Duchaine & Yovel, 2015) from static face images (Pitcher, Duchaine, & Walsh, 2014). Hence, it is possible that the impairment observed in certain cases of acquired prosopagnosia in extracting visual information in the eye region of faces may be similar to the deficits found in individuals in the general population at the low-end of the continuum of face processing ability. In this sense, the brain

regions involved in the earlier steps of face processing (i.e. occipitotemporal regions such as the OFA and FFA) may be directly linked to the greater use of the eye region observed in the best face recognizers (see Furl et al., 2011; DeGutis, Cohan, Mercado, Wilmer, & Nakayama, 2012; Fisher, Towler, & Eimer, 2016 for congruent data with developmental prosopagnosia).

Our results further support the relevance and interest of an approach based on individual differences in order to reach a better understanding of the cognitive and visual mechanisms involved in expert face processing. Indeed, the present study establishes the existence of systematic differences in the use of information in accordance with individual face recognition ability. Many questions remain unanswered regarding the nature of the mechanisms supporting face processing ability and its variations in the general population. The present work shows that these individual differences are partly reflected by the use of certain facial features in different SF bands. The bubbles method used here, however, only gives a coarse idea of each observer's SF tuning. In fact, although many studies have investigated SF tuning in face identification using group average approach, little is known about the importance of individual differences in this domain. Furthermore, the role of other types of low-level visual information such as orientation structure could also benefit from an approach based on individual differences. Pachai et al. (2013) demonstrated that tuning for horizontal information was significantly correlated with upright face identification accuracy as measured within the same recognition task. Our results are consistent with these findings, likely related to the fact that the eyes contain a great amount of horizontal information compared to other facial features. Future work using precise and unbiased SF and orientation sampling methods (p.ex. SF bubbles and orientation bubbles; Willenbockel et al., 2010a; Duncan et al., 2015) as well as independent tasks to measure face identification

ability are warranted in order to better understand the link between the use of low-level visual information and face processing ability.

Our study provides one piece of the puzzle to better understand the mechanisms underlying individual differences in face recognition ability. Thus, our findings may be useful for the development of effective training programs aimed at individuals at the lower-end of the continuum of face processing ability to help them become better face recognizers. Future work could also verify if the systematic variations in the use of the eye region uncovered in the present work generalizes to individuals with developmental prosopagnosia. If so, this would allow such training programs to also be effectively applied to this clinical population.

2.5 Acknowledgements

This work was supported by grants from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) to Daniel Fiset. A Canada Graduate Scholarship to Jessica Royer and Jessica Tardif and an Undergraduate Student Research Award to Isabelle Charbonneau and Karine Déry, both awarded by NSERC, also supported this study.

CHAPITRE III DISCUSSION

3.1 Résumé des objectifs et résultats

L'objectif de cette étude était de vérifier si des variations systématiques dans l'utilisation de l'information visuelle contenue dans les visages pouvaient être révélées en fonction du niveau d'habileté avec des visages. Pour ce faire, nous avons demandé à 50 participants de compléter plusieurs tâches mesurant leur habileté à reconnaître et à discriminer des visages ainsi que différentes catégories d'objets. Puisque la littérature suggère l'existence de mécanismes de traitement cognitifs et/ou perceptifs spéciaux dédiés à l'identification des visages, nous avons inclus ces tâches de reconnaissance d'objets afin de nous assurer que les résultats obtenus ne pouvaient être expliqués par le niveau d'habileté à déployer des mécanismes de reconnaissance généraux, non-spécifiques aux visages. Ensuite, ces participants ont complété une tâche d'identification de visages non-familiers où les stimuli étaient échantillonnés sur le plan de l'image et dans différentes bandes de fréquences spatiales grâce à la méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001).

Avant de répondre à l'objectif principal du présent essai, nous avons d'abord vérifié si les données recueillies dans le cadre de notre étude correspondaient aux résultats habituellement rapportés dans la littérature quant aux traits faciaux les plus importants dans les différentes bandes de fréquences spatiales. Un coup d'œil rapide à la figure 2 permet d'assurer que nous répliquons les études ayant utilisé la méthode des bulles quant au rôle central de la région des yeux pour la reconnaissance adéquate d'un visage (Butler et al., 2010; Caldara et al., 2005; Gosselin & Schyns, 2001; Schyns et al., 2002; Vinette, Gosselin & Schyns, 2004). En fait, nous voyons que pour la moyenne des observateurs, la région des yeux semble particulièrement

utilisée dans les bandes de fréquences plus élevées (bandes 1 à 3), tandis que la bouche est utilisée par les observateurs dans des bandes légèrement plus basses (bandes 2 à 4). Quoique l'on connaisse bien la stratégie utile, en moyenne, pour les individus de la population saine, ceci ne nous informe pas sur les stratégies employées au niveau individuel ainsi que sur celle qui est reliée à de très bonnes habiletés en reconnaissance de visages. En effet, cette moyenne de groupe cache les variations interindividuelles dans l'utilisation de l'information visuelle des visages. Notre analyse principale visait donc à investiguer le lien entre les différences individuelles dans les habiletés de reconnaissance de visages (mesurées à l'aide d'une PCA sur les trois tâches de reconnaissances de visages) et les stratégies perceptives employées pour reconnaître ces stimuli (mesurées à l'aide de la tâche de bulles). Les résultats de cette analyse indiquent un lien significatif entre l'utilisation des yeux et le niveau d'habileté individuel en reconnaissance de visages. Plus spécifiquement, nous démontrons avec une régression linéaire multiple que l'utilisation de l'œil gauche (selon le point de vue de l'observateur) explique 20% de la variance dans les différences individuelles d'habiletés de reconnaissance. En effet, plus les individus sont habiles en reconnaissance de visages, plus ils tendent à utiliser l'œil gauche.

Les sections qui suivent présentent différentes perspectives pour interpréter nos résultats. Plus spécifiquement, nous explorerons d'abord une perspective neurobiologique en fonction de données employant une approche par différences individuelles ainsi que de résultats obtenus auprès de patients PA et PC. La performance déficitaire de ces individus en reconnaissance de visages est liée à des lésions cérébrales objectivables dans le cas de la PA, et à certaines atypies fonctionnelles et neuronales plus diffuses dans le cas de la PC. En étudiant la nature de ces lésions ou différences neurobiologiques en comparaison aux sujets sains, nous pouvons alors

proposer une origine neurologique plausible – qui demandera bien sûr davantage de recherche pour être vérifiée – à nos résultats.

3.2 Différences individuelles

3.2.1 Habiletés de reconnaissance et fonctionnement cérébral

3.2.1.1 Neuroimagerie. Les études réalisées auprès de patients prosopagnosiques suggèrent que l'utilisation de l'information visuelle en reconnaissance de visages est en partie liée au fonctionnement de différentes régions cérébrales. Le système neurologique par lequel sont traités les visages est complexe et implique plusieurs structures cérébrales distinctes. Récemment, Duchaine & Yovel (2015) ont proposé un modèle révisé de ce système. L'entrée du modèle se situe au niveau des aires visuelles, transférant la stimulation sensorielle vers les aires cérébrales spécialisées dans le traitement des différentes dimensions du stimulus facial. La branche dorsale du système consiste en le sillon temporal supérieur postérieur et antérieur, ainsi que le gyrus frontal inférieur. Ces régions répondent plus fortement aux stimuli dynamiques comparativement aux stimuli statiques. Elles contiennent les représentations des aspects des visages qui peuvent changer rapidement (p.ex. expressions faciales, direction du regard, mouvements de la bouche, etc. Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000) et l'information liée à l'identité véhiculée par le mouvement (O'Toole, Roark, Abdi, 2002). Ayant utilisé des stimuli statiques dans notre étude, nous nous concentrerons davantage sur la branche ventrale du système. Les structures du système ventral représentent l'information plus statique et invariante des visages, telle que par exemple l'identité, le genre, l'ethnie et l'âge. Le système ventral est composé de l'aire occipitale des visages (*Occipital Face Area* ou OFA; Gauthier, Skudlarski, Gore, & Anderson, 2000), le FFA postérieur et médian, ainsi que le lobe temporal antérieur

(LTA; Haxby, Hoffman & Gobbini, 2000; Avidan et al., 2013), chacun spécialisés dans différents aspects du traitement de l'identité des visages.

L'OFA est la première structure du système ventral à être impliquée dans le traitement précoce des visages, s'activant environ 100 ms après l'apparition du stimulus (Pitcher, Walsh, Yovel, & Duchaine, 2007; Sadeh, Podlipsky, Zhdanov, & Yovel, 2010). L'étude de Pitcher et collègues (2007) a démontré en utilisant la stimulation magnétique transcrânienne que l'OFA de l'hémisphère droit semble spécifiquement impliqué dans le traitement des traits des visages (voir aussi Rotshtein, Henson, Treves, Driver, & Dolan, 2005), sans toutefois influencer le traitement des distances entre les traits. Notons, par ailleurs, qu'il s'agit de la région affectée dans le cas de la patiente prosopagnosique PS, dont le déficit dans le traitement de la région des yeux est rapporté dans plusieurs études (p.ex. Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017).

Ensuite, le FFA, recevant de l'information non seulement de l'OFA (Gschwind, Pourtois, Schwartz, Van De Ville, & Vuilleumier, 2012), mais également des aires visuelles de plus bas niveau (Steeves et al., 2006), se situe dans le gyrus fusiforme droit. La sélectivité aux visages du FFA serait à son maximum environ 170 ms après la présentation d'un visage (Sadeh et al., 2010). Cette région représenterait les visages d'une manière plus intégrée que l'OFA, plusieurs auteurs suggérant qu'elle contiendrait les représentations holistiques des visages (Axelrod & Yovel, 2010; Harris & Aguirre, 2008, 2010; Rossion, Dricot, Goebel, & Busigny, 2011; Schiltz & Rossion, 2006). Plusieurs études ont par ailleurs démontré le rôle clé du FFA à représenter les informations utilisées pour traiter l'identité des visages (Hoffman & Haxby, 2000; Grill-Spector, Knouf, & Kanwisher, 2004; Rotshtein et al., 2005; Yovel & Kanwisher, 2005). Par ailleurs, l'étude de Rotshtein et al. (2005) démontre, en utilisant une méthode de morphing informatisé de paires de visages célèbres, que la sensibilité du FFA à l'identité ne peut s'expliquer uniquement

par des changements des propriétés physiques des stimuli (c.-à-d. mesuré dans cette étude grâce à la distance perceptive entre deux visages dans des continua de morphing).

Enfin, le rôle exact du LTA dans la reconnaissance des visages a fait l'objet de moins d'études que l'OFA et le FFA, en partie car il peut être difficile d'obtenir un signal clair provenant de cette région en IRMf (Collins & Olson, 2014). Cette région de la branche ventrale se situe de manière plus antérieure comparativement à l'OFA et au FFA, et reçoit de l'information de la part de ces deux structures (Pyles, Verstynen, Schneider, & Tarr, 2013). Dans leur revue de la littérature au sujet du rôle du LTA dans le système de reconnaissance des visages, Collins et Olson (2014) proposent qu'il serait responsable des représentations plus complexes et abstraites de l'identité. Ainsi, les dernières étapes du traitement des visages auraient lieu au niveau de cette région. Ces auteurs proposent que le LTA servirait à lier la perception avec la mémoire des visages, permettant d'associer les représentations perceptives de l'identité avec les connaissances sémantiques liées à cette identité (p.ex. nom, contexte; Collins & Olson, 2014).

Différentes études ont démontré une corrélation entre l'habileté à reconnaître des visages et l'activation et/ou la taille de certaines régions cérébrales de la branche ventrale du modèle de Duchaine et Yovel (2015), particulièrement au niveau de l'OFA et du FFA. D'abord, Furl et al. (2011) ont démontré, auprès d'un échantillon composé d'individus sains et de PC, une corrélation significative entre l'habileté individuelle en reconnaissance de visages et la réponse sélective aux visages dans les FFAs droit et gauche. La taille du FFA droit était également corrélée avec les habiletés de reconnaissance. Cette corrélation entre l'activation du FFA et les habiletés de reconnaissance a été répliquée dans une étude plus récente testant uniquement des participants sains (Huang et al., 2014). Cette étude a également démontré une corrélation

significative entre l'activation sélective aux visages du OFA et les habiletés de reconnaissance chez leurs participants. Compte tenu du rôle plus précoce de ces régions dans le traitement des visages, particulièrement dans le traitement des traits indépendants dans le cas de l'OFA, le lien entre l'utilisation des yeux et les habiletés de reconnaissance révélées dans notre étude pourraient vraisemblablement être associé à l'activité ou la taille de ces régions. Le cas de PS, une patiente PA ayant une lésion de cette région, est informatif à ce sujet et sera discuté plus loin (voir section sur la prosopagnosie acquise).

Électroencéphalographie. Des résultats similaires à ceux obtenus en neuroimagerie ont été obtenus en utilisant des méthodes d'enregistrement électroencéphalographiques (EEG). En effet, le traitement cérébral des visages peut non seulement être étudié sur le plan spatial (c.-à-d. quelles régions cérébrales sont activées lors d'une tâche donnée), mais aussi sur le plan temporel. En mesurant l'activité électrophysiologique des neurones en réponse à une certaine stimulation (soit l'amplitude des *potentiels évoqués* par un certain stimulus) et l'évolution temporelle de cette activité (latence, durée de la réponse), nous pouvons obtenir une idée précise du déroulement temporel du traitement des visages. Cet enregistrement peut être capté par des électrodes placées sur le cuir chevelu ou encore de façon intracrânienne. Dans le domaine de la reconnaissance des visages, la N170 – un potentiel évoqué reflétant le traitement précoce des visages – fait toujours aujourd'hui l'objet d'un vif intérêt (Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996; Eimer, 2000; Rossion et al., 2000; Rossion & Jacques, 2008; voir aussi Rossion & Jacques, 2011). Des études sur l'enregistrement intracrânien chez des patients en attente de chirurgie, ainsi que des corrélations entre la N170 et l'activité hémodynamique suggèrent que la réponse sélective aux visages de l'OFA et du FFA ont lieu dans des délais similaires à la N170 (Horovitz, Rossion, Skudlarski, & Gore, 2004; Sadeh et al., 2010). Considérant l'association proposée ci-haut entre

l'activation de ces régions et le traitement des yeux en lien avec les habiletés de reconnaissance des visages, nous pourrions donc également supposer que cette association existe avec la N170.

En fait, différentes études ont démontré un lien entre cet indicateur électrophysiologique du traitement des visages et les différences individuelles dans les habiletés de reconnaissance.

D'abord, Turano, Marzi et Viggiano (2016) ont démontré certaines différences entre les individus habiles à reconnaître les visages et leurs homologues moins habiles en étudiant la N170 à l'aide d'un paradigme d'adaptation. L'effet d'adaptation de la N170 est un résultat bien documenté où on observe une réduction de l'amplitude de ce potentiel évoqué lorsque deux images de la même identité sont présentées de façon séquentielle (Caharel et al., 2002; Caharel, d'Arripe, Ramon, Jacques, & Rossion, 2009; Caharel, Jacques, d'Arripe, Ramon, & Rossion, 2011; Campanella et al., 2000; Heisz, Watter, & Shedden, 2006; Itier & Taylor, 2004; Jacques, d'Arripe, & Rossion, 2007; Jacques & Rossion, 2007; Jemel, Pisani, Rousselle, Crommelinck, & Bruyer, 2005; Martens, Schweinberger, Kiefer, & Burton, 2006). En moyenne, on ne retrouverait pas une telle diminution de l'amplitude de la N170 lorsque deux visages d'identités différentes sont présentés séquentiellement. Les résultats de Turano et al. (2016) indiquent la présence d'un effet d'adaptation de la N170 chez les individus habiles en reconnaissance de visages uniquement lorsque la même identité était répétée. Or, les sujets moins habiles montraient cet effet d'adaptation que l'identité du second visage présenté soit identique ou différente du visage l'ayant précédé. Ainsi, ces auteurs suggèrent que les réponses neuronales évoquées par les visages sont non seulement sensibles à la catégorie de stimulus présenté (c.-à-d. visages versus objet), mais seraient aussi sensibles à l'identité chez les individus montrant de bonnes habiletés de reconnaissance de visages. Il est toutefois plausible de croire que cet effet pourrait résulter de l'implication d'autres structures du système du traitement des visages. En effet, cet effet

d'adaptation pourrait être dû à des rétroactions top-down des aires antérieures (p.ex. LTA) responsables du traitement plus profond de l'identité qui serait uniquement présent chez les meilleurs individus en reconnaissance de visages. De plus, un paradigme nouvellement appliqué au domaine de la reconnaissance de visages utilisé pour mesurer objectivement et implicitement le traitement de l'identité (stimulation visuelle rapide périodique; Lui-Shuang, Norcia & Rossion, 2014) montre également des résultats prometteurs quant à l'utilisation de l'EEG pour étudier les différences individuelles d'habiletés. En effet, Xu, Liu-Shuang, Rossion et Tanaka (2017) ont obtenu une corrélation significative, quoique modeste ($r = .3$, $p = .04$) entre la performance au CFMT et la mesure d'individuation des visages dérivée de leur tâche en EEG.

Ainsi, plusieurs études suggèrent que la réponse sensible aux visages de la N170 semble associée à l'habileté individuelle à traiter les visages. En lien avec nos résultats, il semble que la N170 soit modulée par la présence de la région des yeux des visages, peu importe les demandes de la tâche (Schyns, Jentsch, Johnson, Schweinberger & Gosselin, 2003; Smith, Gosselin, & Schyns, 2004). En effet, Schyns et al. (2003) ont démontré que la N170 n'est pas simplement une réponse à l'information diagnostique pour une tâche impliquant les visages. Leurs données indiquent plutôt que la présence des yeux module la N170 même s'il ne s'agit pas du trait le plus diagnostique pour la réalisation de la tâche (p.ex. les yeux ne sont pas la région la plus diagnostique si la tâche nécessite de décider si quelqu'un sourit ou non). Contrairement à des potentiels évoqués impliqués plus tardivement dans le traitement des stimuli visuels (p.ex. l'amplitude de la P300 corrèle directement avec la présence/absence de l'information diagnostique), la N170 ne semble pas refléter une stratégie attentionnelle dépendante à la tâche, mais consisterait plutôt en une réponse automatique aux yeux des visages et indépendante à la tâche demandée (Smith, Gosselin, & Schyns, 2004). Le lien entre ce potentiel évoqué et le traitement de l'identité des

visages pourrait donc s'expliquer en partie par la sensibilité particulière de la N170 observée pour une région du visage hautement diagnostique pour l'identification. Bref, ces études portant sur la N170 permettent de supposer l'existence d'un lien entre les différences individuelles d'habiletés de reconnaissance de visages et le traitement des yeux. En fait, notre étude permet de proposer un tel lien en démontrant que l'utilisation des yeux, particulièrement l'œil controlatéral aux régions cérébrales de l'hémisphère droit spécialisées dans le traitement des visages, est liée à l'habileté de reconnaissance de visages. Bien sûr cette affirmation demeure spéculative et nécessiterait un devis expérimental où notre tâche serait combinée avec l'électrophysiologie ou l'imagerie cérébrale fonctionnelle.

3.2.2 Utilisation des yeux et prosopagnosie

En résumé, des résultats provenant à la fois du domaine de la neuroimagerie et de l'EEG suggèrent l'existence d'une corrélation entre l'habileté de reconnaissance et l'activation de certaines régions cérébrales répondant sélectivement aux visages, particulièrement l'OFA et le FFA. Rappelons que ces deux régions sont impliquées dans le traitement de plus bas niveau des visages et de l'identité selon le modèle de Duchaine et Yovel (2015; voir également Ambrus, Dotzer, Schweinberger & Kovács, 2017 pour des données convergentes en stimulation magnétique transcrânienne).

Des données congruentes avec cette proposition ont été obtenues auprès de patients cérébrolésés prosopagnosiques. En effet, l'utilisation de l'information visuelle en reconnaissance de visages d'une patiente prosopagnosique (PS) présentant des lésions occipito-temporales bilatérales montre une sous-utilisation de la région des yeux ainsi qu'une sur-utilisation de la région de la bouche comparativement à des observateurs sains (Caldara et al, 2005; Ramon et al.,

sous presse). Une récente étude montre également un déficit chez PS à utiliser l'information des yeux lors de tâches de reconnaissance d'expressions faciales d'émotions (Fiset et al., 2017) ainsi qu'une surutilisation de la région de la bouche pour reconnaître la peur. Ces études de cas indiquent que la condition de cette patiente est liée à un déficit dans la capacité d'extraire l'information contenue dans la région des yeux. Notons, par ailleurs, que Pancaroglu et al. (2016) ont proposé que les difficultés de certains patients PA à traiter la région des yeux serait plus typique chez les individus présentant des lésions au niveau occipito-temporal que ceux présentant des lésions au niveau des régions cérébrales plus antérieures, comme le LTA, par exemple. Cette observation est tout à fait compatible avec le rôle attribué aux régions plus postérieures du système de traitement des visages (c.-à-d. OFA et FFA) impliquées dans le traitement plus précoce de ces stimuli. En effet, rappelons que l'OFA, la région où PS aurait souffert une lésion, serait particulièrement lié à l'extraction des traits faciaux (Duchaine & Yovel, 2015; Pitcher et al., 2007; Pitcher et al., 2014).

Le déficit des patients PA à utiliser la région des yeux en reconnaissance de visages semble également présent chez les sujets PC, quoique cette question n'ait jamais été investiguée directement à l'aide de méthodes comme les bulles. En effet, des données suggèrent une capacité préservée à traiter holistiquement la région de la bouche chez les individus PC; toutefois, ils seraient incapables d'appliquer le traitement holistique à la région des yeux (DeGutis et al., 2012). Ce résultat provient d'une étude employant le paradigme *part-whole* (Tanaka & Farah, 1993), un effet expérimental indiquant qu'il est plus facile de paier les traits d'un visage lorsque ceux-ci sont présentés sur un visage que de manière isolée. La différence entre ces deux conditions (c.-à-d. présentation sur un visage versus présentation isolée) est considérée comme un indicateur du traitement holistique. Ainsi, contrairement aux sujets sains, les participants PC

ne montraient pas l'avantage attendu pour les yeux, mais montraient une augmentation relative de leur performance similaire aux contrôles pour le traitement de la bouche. Les PCs seraient aussi considérablement moins sensibles à certaines manipulations visuelles de la région des yeux comparativement aux sujets contrôles, alors que de telles manipulations sur d'autres traits faciaux ne distingueraient pas les deux groupes (Fisher et al, 2016).

Plusieurs patients prosopagnosiques semblent donc montrer des déficits à traiter la région des yeux. Dans le cas de la PA, ce déficit serait particulièrement présent chez les patients présentant des lésions des régions cérébrales que nous savons associées au traitement des traits indépendants des visages (c.-à-d. l'OFA). Dans le cas de la PC, nous savons que le niveau d'activation de l'OFA et du FFA est corrélé à leur habileté à reconnaître les visages. Considérant nos résultats montrant une association claire entre l'utilisation de la région des yeux et les habiletés en reconnaissance de visages, les données présentées ci-haut permettent de faire le pont entre l'utilisation de la région des yeux et l'activation de certaines régions du système de traitement des visages en fonction du niveau d'habileté individuel à reconnaître ces stimuli.

3.2.3. Mouvements oculaires

À notre connaissance, notre étude est l'une des premières se penchant sur le lien entre l'utilisation de l'information visuelle contenue dans les visages et les habiletés de reconnaissance de visages chez la population normale. De récentes études ont toutefois investigué une question connexe, soit les patrons de mouvements oculaires en reconnaissance de visages en lien avec les différences d'habiletés. En ce sens, nous retenons l'étude de Bobak, Parris, Gregory, Bennetts et Bates (2016b) réalisée auprès de sujets normaux ainsi que des PCs et super-reconnaisseurs, ainsi que l'étude de Sekiguchi (2011), réalisée uniquement auprès de participants sains. L'étude de

Sekiguchi (2011) fait état de l'absence de différence qualitative entre les patrons de fixations oculaires des sujets habiles et moins habiles en reconnaissance de visages. Toutefois, des différences étaient observées entre les deux groupes quant au patron de fixations sur les yeux. En effet, les sujets plus habiles tendaient à osciller leur regard entre l'œil gauche et l'œil droit des stimuli plus fréquemment que les participants moins habiles. Les données de Sekiguchi (2011) indiquent donc un lien entre les habiletés de reconnaissance de visages et les fixations sur des yeux, ce qui est généralement compatible avec nos données sur l'utilisation de cette région. Or, Bobak et al. (2016b) ont démontré une corrélation significative chez les sujets contrôles entre la fixation du nez et les habiletés de reconnaissance de visages. Ces résultats divergents peuvent probablement être expliqués par la présence de différences méthodologiques importantes entre ces deux études (p.ex. tâche de fixation passive dans l'étude de Bobak et collaborateurs, versus tâche de mémoire de visages dans l'étude de Sekiguchi). Enfin, il est important de noter que les résultats obtenus par Bobak et al. (2016b) concernant le lien entre la fixation de la région du nez et les habiletés de reconnaissance de visages ne sont pas nécessairement incompatibles avec nos résultats. En effet, les mouvements oculaires sur un stimulus ne correspondent pas nécessairement à l'information traitée pour réaliser la tâche demandée (Arizpe, Kravitz, Yovel, & Baker, 2012; Jonides, 1981; Posner, 1980). Par exemple, des données suggèrent que les observateurs orientaux fixent la région du nez pour reconnaître les visages, mais utiliseraient la région des yeux et de la bouche en basses fréquences spatiales pour accomplir cette tâche (Caldara, 2017 pour une revue; Blais, Jack, Sheepers, Fiset, & Caldara, 2008; Mielliet, Vizioli, He, Zhou, & Caldara, 2013; voir Tardif et al., 2017 pour des données récentes investigant directement le rôle de la culture pour le traitement des fréquences spatiales). Ainsi, il est tout à

fait possible que certains traits soient fixés directement lors de la reconnaissance, mais que d'autres régions du stimulus soient traitées et subséquemment utilisées au niveau extra-fovéal.

3.3 Limites

3.3.1 Critiques de la méthode des bulles

Plusieurs auteurs ont proposé dans le passé que des méthodes comme les bulles impliquant des manipulations visuelles sévères des stimuli pourraient induire l'utilisation de stratégies visuelles atypiques chez les observateurs pour réaliser la tâche (Macke & Wichmann, 2010; Rossion & Boreman, 2008; Xivry, Ramon, Lefèvre, & Rossion, 2008). Tel que décrit dans les sections précédentes, la théorie dominante du domaine suggère que le traitement naturel des visages se fait de manière holistique, i.e. que le visage est traité comme un tout, une entité globale. Ceci implique que toute manipulation visuelle altérant la globalité du stimulus facial (p.ex. en échantillonnant seulement certaines régions du visage comme l'implique la méthode des bulles) empêcherait le recours à ce mécanisme et forcerait plutôt les observateurs à employer une stratégie de traitement par parties. Toutefois, des résultats récents de notre laboratoire indiquent plutôt que l'habileté individuelle à reconnaître les visages est fortement corrélée ($r = -.79$) avec la quantité d'information requise pour identifier ces stimuli (Royer et al., 2015). Ces données suggèrent donc plutôt que les mécanismes perceptifs et cognitifs déployés pour reconnaître les visages intacts et visuellement dégradés sont fortement corrélés.

De plus, l'ampleur de notre étude en termes du nombre d'essais complétés par chaque participant pourrait également constituer une certaine limite en empêchant la généralisation de nos résultats aux mécanismes spéciaux de la reconnaissance de visages. En effet, certains critiquent la méthode des bulles en raison du grand nombre d'essais réalisés sur un nombre

restreint d'images, pouvant possiblement induire l'utilisation de stratégies visuelles atypiques pour reconnaître ces stimuli (Rossion et al., 2008; Nagai et al., 2013). Si tel est le cas, ceci se manifesterait par la présence de stratégies spécifiques au sous-ensemble de stimuli utilisés dans l'étude. Toutefois, le fait que des patrons d'utilisation de l'information visuelle hautement similaires sont obtenus d'une étude à l'autre avec différents ensembles de stimuli (p.ex. la présente étude; Butler et al., 2010; Schyns et al., 2002; Caldara et al., 2005; Royer et al., 2016) milite à l'encontre de cette hypothèse. Nous avons également démontré dans le cadre d'une étude antérieure que la corrélation entre l'habileté à reconnaître les visages et la quantité d'information requise pour bien identifier les visages, tel que mesuré par des tâches indépendantes, *augmente* avec la réalisation d'essai supplémentaires (Royer et al., 2015). Ces données suggèrent donc que la complétion d'un grand nombre d'essai avec les bulles permet de capturer plus fidèlement les processus sous-tendant l'habileté individuelle à reconnaître les visages.

3.3.2 Généralisation à la prosopagnosie et super-reconnaisseurs

La présente étude se concentre sur les différences individuelles d'habiletés de reconnaissance dans la population saine. Ceci pourrait limiter la possibilité de généraliser nos résultats à des populations aux extrêmes du continuum des habiletés de reconnaissance de visages, soit les individus rencontrant les critères de la PC ou de super-reconnaisseur. En effet, il est possible que l'utilisation de l'information visuelle de ces individus ne suive pas le patron linéaire retrouvé dans nos données (voir Barton & Corrow, 2016 pour une discussion de cette thématique). En ce sens, des individus appartenant à chacun de ces groupes devraient être testés afin de vérifier si la systématisme des stratégies perceptives retrouvée dans nos données chez les sujets normaux se généralise aux individus avec des niveaux extrêmes d'habiletés de

reconnaissance. Si tel est le cas, ceci indiquerait que le déficit de ces individus pourrait être conçu selon un continuum plutôt que comme des catégories distinctes (i.e. patients versus normaux). Une telle conceptualisation offrirait des pistes d'intervention intéressantes afin de pallier les déficits fonctionnels des PCs, comme des programmes d'entraînement ciblant l'augmentation de l'utilisation des régions faciales associées à de meilleures habiletés de reconnaissance (i.e. les yeux, particulièrement l'œil gauche).

3.4 Perspectives futures

3.4.1 Autres mécanismes perceptifs à explorer

La présente étude est l'une des premières à démontrer un lien systématique entre l'utilisation de certaines informations visuelles contenues dans les visages et l'habileté individuelle à reconnaître ces stimuli au sein de la population saine. Néanmoins, plusieurs autres mécanismes perceptifs et cognitifs restent à explorer afin d'identifier les autres processus impliqués dans la reconnaissance optimale d'un visage. Par exemple, la méthode employée dans notre étude ne permet pas d'obtenir une mesure précise des fréquences spatiales utiles à la reconnaissance des visages en lien avec les différences individuelles. Certaines méthodes sont effectivement plus adaptées à cette question, comme la technique des bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010a) ou le masquage par bandes critiques (p.ex. Gaspar, Sekuler, & Bennett, 2008). Quant aux orientations, l'étude de Pachai et al. (2013) démontre un lien clair entre l'utilisation des orientations horizontales et l'habileté en reconnaissance de visages. Par ailleurs, nos résultats sont compatibles avec ces données, considérant que la région des yeux contient relativement beaucoup d'informations horizontales comparativement aux autres traits faciaux. Notons que cette hypothèse est supportée dans une étude soumise récemment par notre

laboratoire dans le domaine de la catégorisation d'expressions faciales (Duncan et al., en révision), mais reste à confirmer en reconnaissance de l'identité des visages en tenant compte des limites de l'étude de Pachai (2013). Tel que mentionné dans l'introduction, les conclusions de cette étude sont basées sur une corrélation entre deux mesures interreliées d'une même tâche, ayant probablement influencé la corrélation obtenue à la hausse.

3.4.2 Rôle de l'utilisation des yeux comme stratégie optimale

Nos données permettent de faire un lien direct entre l'utilisation de certaines stratégies perceptives et l'habileté à reconnaître les visages. Toutefois, des expériences additionnelles sont de mise afin de clarifier pourquoi la stratégie dévoilée ici, soit l'utilisation des yeux et plus spécifiquement, une latéralisation vers l'œil gauche, est associée à de meilleures habiletés de reconnaissance. Différentes hypothèses peuvent être avancées à cet égard.

3.4.2.1 Information disponible. D'abord, il est possible que la région des yeux contienne simplement davantage d'information pertinente à la reconnaissance de l'identité. En ce sens, la région de yeux serait une partie du visage particulièrement discriminante pour distinguer l'identité d'un visage de celle des autres identités stockées en mémoire. Ainsi, nous pourrions supposer que certains individus seraient plus habiles à extraire et traiter cette information hautement discriminante contenue dans les yeux, menant à une meilleure performance en reconnaissance de visages. À l'opposé, une plus grande difficulté à extraire cette information serait associée à de plus bas niveaux d'habileté. Or, une alternative possible à cette proposition est que la région des yeux ne contienne pas davantage d'information pertinente à la reconnaissance que les autres traits faciaux. Ainsi, le lien entre les différences individuelles d'habiletés de reconnaissance et l'utilisation des yeux ne pourrait pas s'expliquer par la quantité

d'information discriminante disponible dans cette région. Si tel est le cas, le lien entre l'utilisation des yeux et les habiletés de reconnaissance reposerait plutôt sur le domaine des représentations mnésiques des visages, plus ou moins pondérées envers la région des yeux. Une analyse d'observateur idéal permettrait de clarifier cette question en déterminant où se trouve l'information discriminante dans les stimuli utilisés dans notre étude.

3.4.2.2 Utilisation des yeux et familiarité. En lien avec cette proposition que l'utilisation des yeux serait plutôt liée aux représentations mnésiques des visages, des résultats antérieurs suggèrent que les stratégies employées évoluent avec une plus grande familiarisation avec les identités présentées. En effet, Butler et al. (2010) ont démontré que la région des yeux était davantage utilisée pour la reconnaissance de visages familiers que nouvellement appris (p.ex. dans le cadre d'une seule expérience). Plus récemment, des résultats de notre laboratoire ont démontré que, dans une tâche de reconnaissance d'identité incluant des changements de point de vue des visages, les observateurs utilisaient de plus en plus la région des yeux au détriment du nez et de la bouche avec la progression de la tâche (Royer et al., 2016). Ensemble, ces résultats suggèrent que la région des yeux joue un rôle prépondérant dans la formation de représentations mnésiques flexibles des visages. Des données également collectées dans notre laboratoire indiquent que le temps requis pour bien reconnaître des visages masqués à l'aide de bruit visuel est fortement corrélé avec l'habileté individuelle de reconnaissance (Dugas et al., en préparation). Ainsi, nos résultats permettent de supposer qu'une plus grande utilisation des yeux devrait mener à une familiarisation plus rapide avec de nouveaux visages. En d'autres termes, cette stratégie pourrait permettre la formation plus aisée de représentations mnésiques précises des identités. Des analyses additionnelles pourraient permettre d'explorer cette question connexe à notre étude.

3.4.2.3 Généralisation à des tâches connexes. Nos données démontrent un lien systématique entre l'utilisation des yeux et les habiletés de reconnaissance de visages. Notons toutefois que dans le cadre de la tâche employée pour mesurer les stratégies perceptives des observateurs, nous avons utilisé des visages non-familiers, où l'image à partir de laquelle les sujets sont testés est identique à l'image étudiée. En ce sens, différentes variables de notre tâche expérimentale pourraient être manipulées afin de vérifier si la stratégie perceptive révélée dans notre étude peut être généralisée à différentes tâches de reconnaissance de visages.

En effet, nous pourrions concevoir une tâche expérimentale où les visages encodés diffèrent de ceux utilisés lors de la phase expérimentale à différents égards (p.ex. expressions faciales, point de vue, luminance, etc.). Il est possible que l'utilisation des yeux demeure la stratégie efficace en dépit de changements visuels importants dans l'apparence des stimuli faciaux. Si tel est le cas, l'utilisation de cette stratégie même dans le contexte d'une tâche où l'on retrouve ces variations visuelles dans les visages devrait toujours significativement prédire l'habileté individuelle à reconnaître ces stimuli. À l'opposé, il est également possible que ces tâches demandent un changement substantiel dans les stratégies visuelles employées pour reconnaître les visages. Par exemple, nous savons que la bouche est la région la plus importante du visage pour bien distinguer les différentes expressions faciales d'émotions entre elles (Blais et al., 2012). Différentes informations visuelles sont aussi particulièrement importantes pour catégoriser chaque expression faciale (p.ex. les yeux pour la peur, la bouche pour la joie, les plis entre le nez et la bouche pour le dégoût, etc. Smith et al., 2005). Ainsi, dans une tâche où l'identité d'un visage doit être reconnue en présence de changements d'expressions faciales, il est possible que l'information importante pour catégoriser les différentes émotions module la stratégie employée pour identifier le visage. Dans ce contexte, une identification plus juste et

efficace des visages reposerait sur l'utilisation de stratégies flexibles selon l'expression présentée lors de l'identification. Ainsi, des études supplémentaires sont requises afin de clarifier le rôle de l'utilisation des yeux en reconnaissance des visages, et vérifier s'il s'agit (1) d'une stratégie généralement efficace indépendamment des changements visuels appliqués aux stimuli, ou (2) de la stratégie appliquée par les meilleurs individus en reconnaissance de visage dans le contexte de la tâche demandée dans notre étude.

CHAPITE IV CONCLUSION

En somme, nos résultats indiquent qu'il existe une systématique dans les stratégies visuelles employées pour reconnaître les visages en fonction des différences interindividuelles dans l'habileté à traiter les visages. En effet, notre étude démontre que l'utilisation de la région de yeux, particulièrement l'œil gauche (de la perspective de l'observateur), varie selon l'habileté individuelle en reconnaissance de visages, tel que mesuré par des tâches distinctes que celles employées pour mesurer l'utilisation de l'information visuelle. Plus spécifiquement, nos données démontrent que l'utilisation des yeux explique environ 20% de la variance dans les différences individuelles d'habiletés en reconnaissance de visages. Ce lien entre l'utilisation des yeux et le niveau d'habileté des observateurs est tout à fait cohérent avec les données d'études réalisées auprès d'individus prosopagnosiques, montrant un déficit dans l'utilisation des yeux chez ces individus. En fait, il semble que nos résultats soient attribuables à l'activation de régions occipito-temporales impliquées de manière plus précoce dans le traitement des visages, comme l'OFA et le FFA.

Bref, nos données offrent une meilleure compréhension des mécanismes perceptifs sous-tendant la reconnaissance optimale des visages. Tel que mentionné précédemment, nos résultats sont importants pour la réhabilitation de patients prosopagnosiques, c.-à-d. des individus dont le déficit s'inscrit sélectivement dans le traitement de l'identité des visages. Or, notre étude pourrait également être utile dans le développement de programme de réhabilitation pour d'autres populations cliniques montrant également des difficultés en reconnaissance de visages, comme le trouble du spectre autistique et la schizophrénie. Les individus souffrant de ces conditions présentent d'importantes difficultés sur le plan social se manifestant en partie par des difficultés

à traiter les stimuli sociaux importants comme les visages. Tant les individus souffrant de schizophrénie (Loughland, Williams, & Gordon, 2002; Williams, Loughlan, Gordon, & Davidson, 1999) que d'autisme (Pelphrey et al., 2002; voir aussi Behrmann, Thomas, & Humphreys, 2006) montrent des patrons de mouvements oculaires atypiques en reconnaissance de visages. Différentes études utilisant la méthode des bulles ont également démontré l'utilisation de stratégies perceptives différentes des sujets contrôles chez ces patients dans le domaine de la reconnaissance d'expressions faciales (Clark, Gosselin, & Goghari, 2013; Lee, Gosselin, Wynn, & Green, 2011; Spezio, Adolphs, Hurley, & Piven, 2007). Un entraînement visant à modifier les stratégies perceptives employées serait une avenue possible pour améliorer le fonctionnement social de ces individus.

ANNEXE A

VERSIONS DE LA TÂCHE COMPOSITE

Tel qu'indiqué dans l'introduction, il existe deux versions de la tâche composite, soit les versions partielle et complète. Cette dernière vise à compléter la version partielle par l'ajout de quatre conditions afin de déterminer dans quelle mesure la performance est affectée par le biais de réponse dû à l'effet d'alignement et celui dû à l'effet de congruence (Richler et al., 2011). Dans les deux versions, la tâche demandée est la même: il s'agit d'une épreuve de type pairage séquentiel où le participant doit indiquer si les moitiés supérieures de deux visages présentés séquentiellement sont identiques ou différentes.

Le design complet comprend un total de huit conditions. D'abord, tout comme la version partielle, les visages peuvent être alignés ou désalignés. De plus, la condition peut être identique (les moitiés supérieures des deux visages sont identiques) ou différente (les moitiés supérieures des deux visages sont différentes). Enfin, les visages peuvent être congruents (la moitié inférieure est associée à la même réponse que la moitié supérieure, c.-à-d. tous les deux sont identiques ou tous les deux sont différents) ou incongruents (la moitié inférieure n'est pas associée à la même réponse que la moitié supérieure, c.-à-d. l'une est identique alors que l'autre est différente). Ainsi, toutes les conditions sont incluses dans la version complète. Dans ce paradigme, la signature du traitement holistique est dérivée de l'interaction entre l'effet d'alignement et l'effet de congruence. L'effet de congruence est obtenu en calculant la différence de performance entre les essais congruents et incongruents de manière indépendante pour les essais alignés et désalignés. Le plus grand effet de congruence que l'on retrouve lors des essais alignés comparativement aux essais désalignés correspond à l'interaction entre alignement et

congruence (Richler et al., 2011; Cheung, Richler, Palmeri, & Gauthier, 2008; Richler, Tanaka, Brown, Gauthier, 2008).

Le design partiel, soit la version originale de la tâche composite proposée par Young et al (1987), inclut quatre types d'essais possibles. D'abord, un essai donné peut appartenir à la condition alignée ou désalignée. Ensuite, les moitiés supérieures (c.-à-d. la portion à laquelle le sujet doit porter attention) du premier et du second visage présenté peuvent être identiques ou différentes, tandis que leurs moitiés inférieures (c.-à-d. la portion à ignorer) sont toujours différentes. Ainsi, les essais «pareils» sont toujours incongruents, et les essais «différents» sont toujours congruents. Dans cette version, l'effet d'alignement des visages, soit la différence de performance entre les essais alignés et désalignés, est considéré comme reflétant le traitement holistique.

RÉFÉRENCES

- Ambrus, G. G., Dotzer, M., Schweinberger, S. R., & Kovács, G. (2017). The occipital face area is causally involved in the formation of identity-specific face representations. *Brain Structure and Function*, 1-12. doi: 10.1007/s00429-017-1467-2.
- Arizpe, J., Kravitz, D. J., Yovel, G., & Baker, C. I. (2012). Start position strongly influences fixation patterns during face processing: Difficulties with eye movements as a measure of information use. *PloS one*, 7(2), e31106. doi: 10.1371/journal.pone.0031106
- Avidan, G., Tanzer, M., & Behrmann, M. (2011). Impaired holistic processing in congenital prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 49(9), 2541-2552. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.002.
- Avidan, G., Tanzer, M., Hadj-Bouziane, F., Liu, N., Ungerleider, L. G., & Behrmann, M. (2013). Selective dissociation between core and extended regions of the face processing network in congenital prosopagnosia. *Cerebral Cortex*, 24(6), 1565-1578. doi: 10.1093/cercor/bht007.
- Axelrod, V., & Yovel, G. (2010). External facial features modify the representation of internal facial features in the fusiform face area. *Neuroimage*, 52(2), 720-725. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.04.027.
- Barton, J. J. (2009). What is meant by impaired configural processing in acquired prosopagnosia?. *Perception*, 38(2), 242-260. doi: 10.1068/p6099.
- Barton, J. J., & Corrow, S. L. (2016). Recognizing and identifying people: A neuropsychological review. *Cortex*, 75, 132-150. doi: 10.1016/j.cortex.2015.11.023.

- 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.
- Behrmann, M., & Avidan, G. (2005). Congenital prosopagnosia: face-blind from birth. *Trends in cognitive sciences*, 9(4), 180-187. doi: 10.1016/j.tics.2005.02.011.
- Behrmann, M., Thomas, C., & Humphreys, K. (2006). Seeing it differently: visual processing in autism. *Trends in cognitive sciences*, 10(6), 258-264. doi: 10.1016/j.tics.2006.05.001.
- 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.
- Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., Caldara, R. (2008). Culture Shapes How We Look at Faces. *PLoS ONE* 3(8), e3022. doi: 10.1371/journal.pone.0003022.
- Blais, C., Roy, C., Fiset, D., Arguin, M., & Gosselin, F. (2012). The eyes are not the window to basic emotions. *Neuropsychologia*, 50(12), 2830-2838. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.010.
- Bobak, A. K., Hancock, P. J., & Bate, S. (2016a). 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. (2016b). Eye-movement strategies in developmental prosopagnosia and “super” face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70(2), 1-17. doi:10.1080/17470218.2016.1161059.
- Bowles, D. C., McKone, E., Dawel, A., Duchaine, B., Palermo, R., Schmalzl, L., ... & Yovel, G. (2009). Diagnosing prosopagnosia: Effects of ageing, sex, and participant–stimulus ethnic

- match on the Cambridge Face Memory Test and Cambridge Face Perception Test. *Cognitive Neuropsychology*, 26(5), 423-455. doi: 10.1080/02643290903343149.
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial vision*, 10, 433-436. doi: 10.1163/156856897X00357.
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British journal of psychology*, 77(3), 305-327. doi: 10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x.
- Bukach, C. M., Grand, R., Kaiser, M. D., Bub, D. N., & Tanaka, J. W. (2008). Preservation of mouth region processing in two cases of prosopagnosia. *Journal of Neuropsychology*, 2(1), 227-244. doi: 10.1348/174866407X231010.
- Burton, A. M., Schweinberger, S. R., Jenkins, R., & Kaufmann, J. M. (2015). Arguments against a configural processing account of familiar face recognition. *Perspectives on Psychological Science*, 10(4), 482-496. doi: 10.1177/1745691615583129.
- Burton, A. M., White, D., & McNeill, A. (2010). The Glasgow face matching test. *Behavior Research Methods*, 42(1), 286-291. doi: 10.3758/BRM.42.1.286
- Busigny, T. & Rossion, B. (2011). Holistic processing impairment can be restricted to faces in acquired prosopagnosia: Evidence from the global/local Navon effect. *Journal of Neuropsychology*, 5, 1-14. doi:10.1348/174866410X500116.
- Butler, S., Blais, C., Gosselin, F., Bub, D., & Fiset, D. (2010). Recognizing famous people. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(6), 1444-1449. doi: 10.3758/APP.72.6.1444.
- Caharel, S., d'Arripe, O., Ramon, M., Jacques, C., Rossion, B. (2009). Early adaptation to unfamiliar faces across viewpoint changes in the right hemisphere: evidence from the N170 ERP component. *Neuropsychologia*, 47, 639-643. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.11.016.

- Caharel, S., Jacques, C., d'Arripe, O., Ramon, M., & Rossion, B. (2011). Early electrophysiological correlates of adaptation to personally familiar and unfamiliar faces across viewpoint changes. *Brain Research, 1387*, 85-98. doi:10.1016/j.brainres.2011.02.070
- Caharel, S., Poiroux, S., Bernard, C., Thibaut, F., Lalonde, R., & Rebai, M. (2002). ERPs associated with familiarity and degree of familiarity during face recognition. *International Journal of Neuroscience, 112*(12), 1499-1512. doi: 10.1080/00207450290158368
- Caldara, R. (2017). Culture Reveals a Flexible System for Face Processing. *Current Directions in Psychological Science 26*(3), 249-255. doi: 10.1177/0963721417710036.
- 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.
- Campanella, S., Hanoteau, C., Dépy, D., Rossion, B., Bruyer, R., Crommelinck, M., & Guérit, J. M. (2000). Right N170 modulation in a face discrimination task: an account for categorical perception of familiar faces. *Psychophysiology, 37*(6), 796-806. doi: 10.1111/1469-8986.3760796.
- Carey, S., & Diamond, R. (1977). From piecemeal to configurational representation of faces. *Science, 195*(4275), 312-314.
- Chauvin, A., Worsley, K. J., Schyns, P. G., Arguin, M., & Gosselin, F. (2005). Accurate statistical tests for smooth classification images. *Journal of vision, 5*, 659–667. doi: 10.1167/5.9.1.

- Cheung, O. S., Richler, J. J., Palmeri, T. J., & Gauthier, I. (2008). Revisiting the role of spatial frequencies in the holistic processing of faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(6), 1327-1336. doi: 10.1037/a0011752.
- Clark, C. M., Gosselin, F., & Gohari, V. M. (2013). Aberrant patterns of visual facial information usage in schizophrenia. *Journal of abnormal psychology*, *122*(2), 513-519. doi: 10.1037/a0031944.
- Collins, J. A., & Olson, I. R. (2014). Beyond the FFA: the role of the ventral anterior temporal lobes in face processing. *Neuropsychologia*, *61*, 65-79. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.06.005.
- Costen, N. P., Parker, D. M., & Craw, I. (1996). Effects of high-pass and low-pass spatial filtering on face identification. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *58*(4), 602-612. doi:10.3758/BF03213093.
- Crouzet, S., Kirchner, H., & Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades towards faces: Face detection in just 100 ms. *Journal of vision*, *10*(4), 1-17. doi:10.1167/10.4.16.
- Dakin, S. C., Watt, R. J. (2009). Biological “bar codes” in human faces. *Journal of Vision*, *9*(4), 1-12. doi: 10.1167/9.4.2.
- Damasio, A. R., Damasio, H., & Van Hoesen, G. W. (1982). Prosopagnosia Anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology*, *32*(4), 331-331. doi: 10.1212/WNL.32.4.331.
- DeGutis, J., Cohan, S., Mercado, R. J., Wilmer, J., & Nakayama, K. (2012). Holistic processing of the mouth but not the eyes in developmental prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *29*(5-6), 419-446. doi: 10.1080/02643294.2012.754745.

- DeGutis, J., Wilmer, J., Mercado, R. J., & Cohan, S. (2013). Using regression to measure holistic face processing reveals a strong link with face recognition ability. *Cognition*, *126*(1), 87-100. doi: 10.1016/j.cognition.2012.09.004.
- De Haan, E. H., & Campbell, R. (1991). A fifteen year follow-up of a case of developmental prosopagnosia. *Cortex*, *27*(4), 489-509. doi: 10.1016/S0010-9452(13)80001-9.
- 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 Valois, K. K., De Valois, R. L., & Yund, E. W. (1979). Responses of striate cortex cells to grating and checkerboard patterns. *The Journal of Physiology*, *291*(1), 483-505. doi: 10.1113/jphysiol.1979.sp012827.
- Duchaine, B., Germine, L., & Nakayama, K. (2007). Family resemblance: Ten family members with prosopagnosia and within-class object agnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *24*(4), 419-430. doi: 10.1080/02643290701380491.
- Duchaine, B., & Nakayama, K. (2005). Dissociations of face and object recognition in developmental prosopagnosia. *Journal of Cognitive Neuroscience* *17*(2): 249-261. doi: 10.1162/0898929053124857.
- Duchaine, B. C., & Nakayama, K. (2006). 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., & Yovel, G. (2015). A revised neural framework for face processing. *Annual Review of Vision Science, 1*, 393-416. doi: 10.1146/annurev-vision-082114-035518.
- Dupuis-Roy, N., Fiset, D., Dufresne, K., Caplette, L., & Gosselin, F. (2014). Real-world interattribute distances lead to inefficient face gender categorization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(4), 1289-1294. doi: 10.1037/a0037066.
- Duncan, J., Cobarro, C., Gosselin, F., Blais, C., & Fiset, D. (2015). Relating orientation tuning and feature utilization during facial expression recognition. *Journal of vision, 15*(12), 164-164.
- Duncan, J., Gosselin, F., Cobarro, C., Dugas, G., Blais, C., & Fiset, D. (en révision). Contour orientations for the successful categorization of facial expressions and their link with facial features. *Journal of Vision*.
- Duchaine, B., & Yovel, G. (2015). A revised neural framework for face processing. *Annual Review of Vision Science, 1*, 393-416. doi: 10.1146/annurev-vision-082114-035518.
- Eimer, M. (2000). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical neurophysiology, 111*(4), 694-705. doi: 10.1016/S1388-2457(99)00285-0.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is "special" about face perception?. *Psychological review, 105*(3), 482-498. doi: 10.1037/0033-295X.105.3.482.
- Finzi, R. D., Susilo, T., Barton, J. J., & Duchaine, B. C. (2016). The role of holistic face processing in acquired prosopagnosia: evidence from the composite face effect. *Visual Cognition, 24*, 304-320. doi: 10.1080/13506285.2016.1261976.

- Fiset, D., Blais, C., Royer, J., Richoz, A. R., Dugas, G., & Caldara, R. (2017). Mapping the impairment in decoding static facial expressions of emotion in prosopagnosia. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. 1-8. doi: 10.1093/scan/nsx068.
- Fiset, D. & Gosselin, F. (2009). L'information visuelle efficace pour la reconnaissance des visages. Dans Barbeau, E., Jouvert, S., & Felician, O (Eds.). *Traitement et reconnaissance des visages: du percept à la personne*, (pp. 143-164). Paris: Solal.
- 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.
- Furl, N., Garrido, L., Dolan, R. J., Driver, J., & Duchaine, B. (2011). Fusiform gyrus face selectivity relates to individual differences in facial recognition ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(7), 1723-1740. doi: 10.1162/jocn.2010.21545.
- Garrido, L., Furl, N., Draganski, B., Weiskopf, N., Stevens, J., Tan, G. C. Y., ... & Duchaine, B. (2009). Voxel-based morphometry reveals reduced grey matter volume in the temporal cortex of developmental prosopagnosics. *Brain*, 132(12), 3443-3455. doi: 10.1093/brain/awp271.
- 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., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature neuroscience*, 3(2), 191-197. doi: 10.1038/72140.

- Goffaux, V., & Dakin, S. C. (2010). Horizontal information drives the behavioral signatures of face processing. *Frontiers in Psychology, 1*. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00143
- Goffaux, V., & Rossion, B. (2006). Faces are "spatial"--holistic face perception is supported by low spatial frequencies. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(4), 1023-1039. doi: 10.1037/0096-1523.32.4.1023.
- Goffaux, V., van Zon, J., & Schiltz, C. (2011). The horizontal tuning of face perception relies on the processing of intermediate and high spatial frequencies. *Journal of Vision, 11*(10), 1-9. doi: 10.1167/11.10.1.
- Gold, J. M., Barker, J. D., Barr, S., Bittner, J. L., Bratch, A., Bromfield, W. D., ... & Srinath, A. (2014). The perception of a familiar face is no more than the sum of its parts. *Psychonomic bulletin & review, 21*(6), 1465-1472. doi: 10.3758/s13423-014-0632-3.
- Gold, J., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (1999). Identification of band-pass filtered letters and faces by human and ideal observers. *Vision research, 39*(21), 3537-3560. doi: 10.1016/S0042-6989(99)00080-2.
- 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.
- Grill-Spector, K., Knouf, N., & Kanwisher, N. (2004). The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nature neuroscience, 7*(5), 555-562. doi: 10.1038/nn1224.

- Gschwind, M., Pourtois, G., Schwartz, S., Van De Ville, D., & Vuilleumier, P. (2011). White-matter connectivity between face-responsive regions in the human brain. *Cerebral cortex*, *22*(7), 1564-1576. doi: 10.1093/cercor/bhr226.
- Guttman, L. (1945). A basis for analyzing test-retest reliability. *Psychometrika*, *10*(4), 255-282.
- Harris, A., & Aguirre, G. K. (2008). The representation of parts and wholes in face-selective cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(5), 863-878. doi: 10.1162/jocn.2008.20509.
- Harris, A., & Aguirre, G. K. (2010). Neural tuning for face wholes and parts in human fusiform gyrus revealed by fMRI adaptation. *Journal of Neurophysiology*, *104*(1), 336-345. doi: 10.1152/jn.00626.2009.
- 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.
- Heisz, J. J., Watter, S., & Shedden, J. M. (2006). Progressive N170 habituation to unattended repeated faces. *Vision Research*, *46*(1), 47-56. doi: 10.1016/j.visres.2005.09.028
- Herzmann, G., Kunina, O., Sommer, W., & Wilhelm, O. (2010). Individual differences in face cognition: Brain-behavior relationships. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(3), 571-589. doi: 10.1162/jocn.2009.21249.
- 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), 80-84. doi: 10.1038/71152.
- Horovitz, S. G., Rossion, 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

- Huang, L., Song, Y., Li, J., Zhen, Z., Yang, Z., & Liu, J. (2014). Individual differences in cortical face selectivity predict behavioral performance in face recognition. *Frontiers in human neuroscience*, *8*, 1-10. doi: 10.3389/fnhum.2014.00483.
- 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.
- Jacques, C. d'Arripe, O., Rossion, B. (2007). The time course of the inversion effect during individual face discrimination. *Journal of Vision*, *7*(8), 1-9. doi: 10.1167/7.8.3.
- Jemel, B., Pisani, M., Rousselle, L., Crommelinck, M., & Bruyer, R. (2005). Exploring the functional architecture of person recognition system with event-related potentials in a within-and cross-domain self-priming of faces. *Neuropsychologia*, *43*(14), 2024-2040. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.03.016.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye. *Attention and performance*, *9*, 187-203.
- 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.
- 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.
- Lee, J., Gosselin, F., Wynn, J. K., & Green, M. F. (2010). How do schizophrenia patients use visual information to decode facial emotion?. *Schizophrenia bulletin*, *37*(5), 1001-1008. doi: 10.1093/schbul/sbq006.

- 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 and cognition*, *61*(2), 139-158. doi: 10.1016/j.bandc.2005.11.005.
- Le Grand, R., Mondloch, C. J., Maurer, D., & Brent, H. P. (2004). Impairment in holistic face processing following early visual deprivation. *Psychological Science*, *15*(11), 762-768. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00753.x.
- Liu, T. T., & Behrmann, M. (2014). Impaired holistic processing of left-right composite faces in congenital prosopagnosia. *Frontiers in human neuroscience*, *8*. doi: 10.3389/fnhum.2014.00750.
- Liu-Shuang, J., Norcia, A.M., Rossion, B. (2014). An objective index of individual face discrimination in the right occipito-temporal cortex by means of fast periodic visual stimulation. *Neuropsychologia*, *52*, 57-72. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.022.
- Loughland, C. M., Williams, L. M., & Gordon, E. (2002). Visual scanpaths to positive and negative facial emotions in an outpatient schizophrenia sample. *Schizophrenia research*, *55*(1), 159-170. doi: 10.1016/S0920-9964(01)00186-4.
- Macke, J. H., & Wichmann, F. A. (2010). Estimating predictive stimulus features from psychophysical data: The decision image technique applied to human faces. *Journal of vision*, *10*(5), 1-24. doi: 10.1167/10.5.22.
- Maffei, L., & Fiorentini, A. (1973). The visual cortex as a spatial frequency analyser. *Vision research*, *13*(7), 1255-1267. doi: 10.1016/0042-6989(73)90201-0.
- Martens, U., Schweinberger, S. R., Kiefer, M., & Burton, A. M. (2006). Masked and unmasked electrophysiological repetition effects of famous faces. *Brain Research*, *1109*(1), 146-157. doi: 10.1016/j.brainres.2006.06.066.

- 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.
- McGugin, R. W., Van Gulick, A. E., & Gauthier, I. (2016). Cortical Thickness in Fusiform Face Area Predicts Face and Object Recognition Performance. *Journal of cognitive neuroscience*, 28(2), 282-294. doi: 10.1162/jocn_a_00891.
- Miellet, S., Vizioli, L., He, L., Zhou, X., & Caldara, R. (2013). Mapping face recognition information use across cultures. *Frontiers in psychology*, 4. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00034.
- Nagai, M., Bennett, P. J., Rutherford, M. D., Gaspar, C. M., Kumada, T., & Sekuler, A. B. (2013). Comparing face processing strategies between typically-developed observers and observers with autism using sub-sampled-pixels presentation in response classification technique. *Vision research*, 79, 27-35. doi: 10.1016/j.visres.2013.01.001.
- Näsänen, R. (1999). Spatial frequency bandwidth used in the recognition of facial images. *Vision research*, 39(23), 3824-3833. doi: 10.1016/S0042-6989(99)00096-6.
- Nunnally, J. C., Jr. (1970). *Introduction to psychological measurement*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Oosterhof, N. N., & Todorov, A. (2008). The functional basis of face evaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(32), 11087-11092. doi: 10.1073/pnas.0805664105.

- Oruç, İ., & Barton, J. J. (2010). Critical frequencies in the perception of letters, faces, and novel shapes: Evidence for limited scale invariance for faces. *Journal of Vision, 10*(12), 1-12. doi: 10.1167/10.12.20.
- O'Toole, A. J., Roark, D. A., & Abdi, H. (2002). Recognizing moving faces: A psychological and neural synthesis. *Trends in cognitive sciences, 6*(6), 261-266. doi: 10.1016/S1364-6613(02)01908-3.
- Pachai, M. V., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2013). Sensitivity to information conveyed by horizontal contours is correlated with face identification accuracy. *Frontiers in psychology, 4*, 1-9. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00074.
- Pachai, M. V., Sekuler, A. B., Bennett, P. J., Schyns, P. G., & Ramon, M. (2017). Personal familiarity enhances sensitivity to horizontal structure during processing of face identity. *Journal of Vision, 17*(6), 1-11. doi: 10.1167/17.6.5
- Pancaroglu, R., Hills, C. S., Sekunova, A., Viswanathan, J., Duchaine, B., & Barton, J. J. (2016). Seeing the eyes in acquired prosopagnosia. *Cortex, 81*, 251-265. doi: 10.1016/j.cortex.2016.04.024.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision, 10*, 437-442. doi: 10.1163/156856897X00366.
- Peli, E., Lee, E., Trempe, C. L., & Buzney, S. (1994). Image enhancement for the visually impaired: the effects of enhancement on face recognition. *JOSA A, 11*(7), 1929-1939. doi: 10.1364/JOSAA.11.001929
- Pelli, D. G., Robson, J. G., Wilkins, A. J. (1988). The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Sciences, 2*, 187-199.

- Pelphrey, K. A., Sasson, N. J., Reznick, J. S., Paul, G., Goldman, B. D., & Piven, J. (2002). Visual scanning of faces in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 32(4), 249-261. doi: 10.1023/A:1016374617369.
- Pitcher, D., Walsh, V., Yovel, G., & Duchaine, B. (2007). TMS evidence for the involvement of the right occipital face area in early face processing. *Current Biology*, 17(18), 1568-1573. doi: 10.1016/j.cub.2007.07.063.
- Pitcher, D., Duchaine, B., & Walsh, V. (2014). Combined TMS and fMRI reveal dissociable cortical pathways for dynamic and static face perception. *Current Biology*, 24(17), 2066e2070. doi: 10.1016/j.cub.2014.07.060.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Pyles, J. A., Verstynen, T. D., Schneider, W., & Tarr, M. J. (2013). Explicating the face perception network with white matter connectivity. *PloS one*, 8(4), e61611. doi: 10.1371/journal.pone.0061611.
- Ramon, M., Busigny, T., Gosselin, F. & Rossion, B. (in press). All new kids on the block? Impairment of holistic processing of personally familiar faces in a kindergarten teacher with acquired prosopagnosia. *Visual Cognition*. 24, 321-355
- Ramon, M., Busigny, T., Rossion, B. (2010). Impaired holistic processing of unfamiliar individual faces in acquired prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 48, 933-944. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.014.
- Richler, J. J., Cheung, O. S., & Gauthier, I. (2011). Holistic Processing Predicts Face Recognition. *Psychological Science*, 22(4), 464-471. doi:10.1177/0956797611401753.

- Richler, J. J., Floyd, R. J., & Gauthier, I. (2014). The Vanderbilt Holistic Face Processing Test: A short and reliable measure of holistic face processing. *Journal of vision, 14*(11), 1-10. doi: 10.1167/14.11.10.
- Richler, J. J., & Gauthier, I. (2013). When intuition fails to align with data: A reply to Rossion (2013). *Visual cognition, 21*(2), 254-276. doi: 10.1080/13506285.2013.796035.
- Richler, J. J., & Gauthier, I. (2014). A meta-analysis and review of holistic face processing. *Psychological Bulletin, 140*(5), 1281-1302. doi: 10.1037/a0037004.
- Richler, J., Palmeri, T. J., & Gauthier, I. (2012). Meanings, mechanisms, and measures of holistic processing. *Frontiers in Psychology, 3*, 1-10. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00553.
- Rivest, J., Moscovitch, M., & Black, S. (2009). A comparative case study of face recognition: the contribution of configural and part-based recognition systems, and their interaction. *Neuropsychologia, 47*(13), 2798-2811. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.004.
- Robinson, K., Blais, C., Duncan, J., Forget, H., & Fiset, D. (2014). The dual nature of the human face: there is a little Jekyll and a little Hyde in all of us. *Frontiers in psychology, 5*, 1-10. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00139.
- Ross, D. A., Richler, J. J., & Gauthier, I. (2015). Reliability of composite-task measurements of holistic face processing. *Behavior research methods, 47*(3), 736-743. doi: 10.3758/s13428-014-0497-4.
- Rossion, B. (2008). Picture-plane inversion leads to qualitative changes of face perception. *Acta psychologica, 128*(2), 274-289. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.02.003.

- Rossion, B. (2013). The composite face illusion: A whole window into our understanding of holistic face perception. *Visual Cognition*, 21(2), 139-253. doi: 10.1080/13506285.2013.772929.
- Rossion, B., & Boremanse, A. (2008). Nonlinear relationship between holistic processing of individual faces and picture-plane rotation: Evidence from the face composite illusion. *Journal of vision*, 8, 1–13. doi: 10.1167/8.4.3.
- 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 research*, 51(12), 1297-1311. doi: 10.1016/j.visres.2011.04.003.
- Rossion, B., Dricot, L., Goebel, R., Busigny, T. (2011). Holistic face categorization in higher-level cortical visual areas of the normal and prosopagnosic brain: towards a non-hierarchical view of face perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4:225. doi: 10.3389/fnhum.2010.00225.
- Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M.J., Despland, P.-A., Linotte, S., Bruyer, R., Crommelinck, M. (2000). The N170 occipito-temporal component is enhanced and delayed to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain, *Neuroreport*, 11, 69-74. doi:
- 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, 1959-1979.
- Rossion, B. & Jacques, C. (2011). The N170 : understanding the time-course of face perception in the human brain. *The Oxford Handbook of ERP Components*, Edited by S. Luck and E. Kappenman. Oxford University Press.

- Rossion, B., Kaiser, M. D., Bub, D., & Tanaka, J. W. (2009). Is the loss of diagnosticity of the eye region of the face a common aspect of acquired prosopagnosia?. *Journal of Neuropsychology*, 3(1), 69-78. doi: 10.1348/174866408X289944.
- Rotshtein, P., Henson, R. N., Treves, A., Driver, J., & Dolan, R. J. (2005). Morphing Marilyn into Maggie dissociates physical and identity face representations in the brain. *Nature neuroscience*, 8(1), 107-113. doi: 10.1038/nn1370.
- 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), 440-455. doi: 10.1167/3.6.5.
- 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., 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.
- Royer, J., Willenbockel, V., Blais, C., Gosselin, F., Lafortune, S., Leclerc, J., & Fiset, D. (2017). The influence of natural contour and face size on the spatial frequency tuning for identifying upright and inverted faces. *Psychological research*, 81, 13-23.
- 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.

- Russell, R., Yue, X., Nakayama, K., & Tootell, R. B. (2010). Neural differences between developmental prosopagnosics and super-recognizers. *Journal of Vision, 10*(7), 582-582. doi:10.1167/10.7.582
- 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.
- Sandford, A., & Burton, A. M. (2014). Tolerance for distorted faces: Challenges to a configural processing account of familiar face recognition. *Cognition, 132*(3), 262-268. doi: 10.1016/j.cognition.2014.04.005.
- 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), 1-16. doi: 10.1167/10.2.25.
- Schiltz, C., & Rossion, B. (2006). Faces are represented holistically in the human occipito-temporal cortex. *Neuroimage, 32*(3), 1385-1394. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.05.037.
- Schyns, P. G., Bonnar, L., & Gosselin, F. (2002). Show me the features! Understanding recognition from the use of visual information. *Psychological science, 13*(5), 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. Doi: 10.1097/01.wnr.0000088408.04452.e9.
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: When categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition, 69*(3), 243-265. doi: 10.1016/S0010-0277(98)00069-9.

- 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.
- 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.
- Sergent, J., & Signoret, J. L. (1992). Varieties of functional deficits in prosopagnosia. *Cerebral Cortex*, *2*(5), 375-388. doi: 10.1093/cercor/2.5.375.
- Sergent, J., & Villemure, J. G. (1989). Prosopagnosia in a right hemispherectomized patient. *Brain*, *112*(4), 975-995. doi: 10.1093/brain/112.4.975.
- Shen, J., & Palmeri, T. J. (2015). The perception of a face can be greater than the sum of its parts. *Psychonomic bulletin & review*, *22*(3), 710-716. doi: 10.3758/s13423-014-0726-y.
- Simoncelli, E. P. (1999). Image and multi-scale pyramid tools [computer software]. New York: Author.
- 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.
- Spezio, M. L., Adolphs, R., Hurley, R. S., & Piven, J. (2007). Abnormal use of facial information in high-functioning autism. *Journal of autism and developmental disorders*, *37*(5), 929-939. doi: 10.1007/s10803-006-0232-9.

- Steeves, J. K., Culham, J. C., Duchaine, B. C., Pratesi, C. C., Valyear, K. F., Schindler, I., ... & Goodale, M. A. (2006). The fusiform face area is not sufficient for face recognition: evidence from a patient with dense prosopagnosia and no occipital face area. *Neuropsychologia*, *44*(4), 594-609. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.06.013.
- 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*, 1-13. doi: 10.3758/s13414-017-1311-z.
- 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.
- Taschereau-Dumouchel, V., Rossion, B., Schyns, P. G., & Gosselin, F. (2010). Interattribute distances do not represent the identity of real world faces. *Frontiers in psychology*, *1*, 159, 1-10. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00159.
- Thurman, S. M., & Grossman, E. D. (2008). Temporal “Bubbles” reveal key features for point-light biological motion perception. *Journal of Vision*, *8*(3):28, 1-11. doi: 10.1167/8.3.28.
- 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.
- Ulrich, P. I., Wilkinson, D. T., Ferguson, H. J., Smith, L. J., Bindemann, M., Johnston, R. A., & Schmalzl, L. (2017). Perceptual and memorial contributions to developmental prosopagnosia. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(2), 298-315. doi: 10.1080/17470218.2016.1177101.

- 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: 10.1016/j.cogsci.2004.01.002.
- 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. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 33(2), 113-120. doi: 10.3758/BF03202828.
- Willenbockel, V., Fiset, D., Chauvin, A., Blais, C., Arguin, M., Tanaka, J. W., ... & Gosselin, F. (2010a). Does Face Inversion Change Spatial Frequency Tuning?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(1), 122-135. 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
- Williams, L. M., Loughland, C. M., Gordon, E., & Davidson, D. (1999). Visual scanpaths in schizophrenia: is there a deficit in face recognition?. *Schizophrenia research*, 40(3), 189-199. doi: 10.1016/S0920-9964(99)00056-0.
- Wilmer, J. B. (2017). Individual Differences in Face Recognition: A Decade of Discovery. *Current Directions in Psychological Science*, 26(3), 225-230. doi: 10.1177/0963721417710693.
- Wilmer, J. B., Germine, L., Chabris, C. F., Chatterjee, G., Williams, M., Loken, E., ... & Duchaine, B. (2010). Human face recognition ability is specific and highly heritable.

- Proceedings of the National Academy of sciences*, 107(11), 5238-5241. doi: 10.1073/pnas.0913053107.
- Xivry, J. J. O., Ramon, M., Lefevre, P., & Rossion, B. (2008). Reduced fixation on the upper area of personally familiar faces following acquired prosopagnosia. *Journal of Neuropsychology*, 2(1), 245-268. doi: 10.1348/174866407X260199.
- Xu, B., Liu-Shuang, J., Rossion, B., Tanaka, J.W. (2017). Individual differences in face identity processing with fast periodic visual stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(8), 1368-1377. doi: 10.1162/jocn_a_01126.
- Yang, N., Shafai, F., & Oruc, I. (2014). Size determines whether specialized expert processes are engaged for recognition of faces. *Journal of vision*, 14(8), 1-12. doi: 10.1167/14.8.17.
- Young, A. W., Hellawell, D., & Hay, D. C. (1987). Configurational information in face perception. *Perception*, 16(6), 747-759. doi: 10.1068/p160747.
- Yovel, G., & Kanwisher, N. (2005). The neural basis of the behavioral face-inversion effect. *Current Biology*, 15(24), 2256-2262. doi: 10.1016/j.cub.2005.10.072.
- 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.
- Zhao, M., Bülthoff, H. H., & Bülthoff, I. (2016). Beyond faces and expertise: Face-like holistic processing of non-face objects in the absence of expertise. *Psychological Science*, 27(2), 213-222. doi: 10.1177/0956797615617779.