

Université du Québec en Outaouais

Mécanismes perceptifs communs ou distincts impliqués en identification de visages et en reconnaissance d'expressions faciales d'émotions

Essai doctoral
Présenté au
Département de psychoéducation et de psychologie

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

Par
© Stéphanie BOUCHARD

Décembre 2023

Composition du jury

Mécanismes perceptifs communs ou distincts impliqués en identification de visages et en reconnaissance d'expressions faciales d'émotions

Par
Stéphanie Bouchard

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

Sébastien Normand, Ph. D., examinateur interne et président du jury, Département de
psychoéducation et de psychologie, Université du Québec en Outaouais

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

Rémy Allard, Ph. D., examinateur externe, École d'optométrie, Université de Montréal

REMERCIEMENTS

À mon directeur, Daniel, tu as toute ma reconnaissance de m'avoir accueillie au sein du laboratoire et d'avoir cru en moi alors que je ne mesurais rien du parcours que j'aspirais à entreprendre. Par-dessus tout, je tiens à souligner ton humanité et ta façon de dédramatiser toute situation (et de calmer mes anxiétés sporadiques!). Merci pour ta passion pour la recherche, pour ton partage riche de connaissances, pour ton efficacité à guider mes réflexions et pour cette immersion fascinante dans le domaine de la recherche en perception faciale. Au-delà d'être mon directeur, tu es une personne pour qui j'ai énormément d'admiration et de respect.

Merci également d'avoir mis sur mon chemin Virginie qui, de collègue à amie en passant par « coach de vie », a su être une rencontre déterminante dans mon parcours. Merci à toi Virg d'avoir été une alliée exceptionnelle et d'avoir fait toute la différence.

Parmi les personnes marquantes durant cette période doctorale, j'aimerais mentionner Céline, ma première superviseuse d'internat, qui m'a transmis sa passion pour la neuropsychologie et la motivation nécessaire pour poursuivre mon parcours malgré les défis. Merci d'être une grande source d'inspiration pour moi.

À mes parents, j'aimerais vous témoigner ma plus profonde gratitude et affection. Je ne pourrais imaginer des parents plus généreux, supportants et aimants. Merci papa pour les réflexions et les innombrables relectures ainsi que pour ta patience insoupçonnée et merci maman pour ta force tranquille et pour m'avoir aidée à relativiser dans des moments plus difficiles. Merci à vous deux de m'avoir offert un espace de confort, de tranquillité et de concentration dans mes périodes de « rush ». Merci d'avoir fait de mes visites des moments de rires et de légèreté. Merci aussi de m'avoir toujours appuyée dans mes décisions et de vous être dévoués pour mon succès. À mon frère et ma belle-sœur, merci Marki et Rita pour vos encouragements précieux, votre sagesse et pour m'avoir fait sentir que ma réussite vous tenait à cœur. Enfin, merci à mes grands-parents de m'avoir encouragée à poursuivre mes rêves et d'être des modèles pour moi (j'ai fini par finir de manger l'éléphant, une bouchée à la fois!).

À mes ami(e)s, merci pour les rires, les chansons, les jeux, la complicité... Vous ne savez pas à quel point chaque petit mot d'encouragement, votre présence et votre écoute ont été significatifs pour l'avancement de ce projet et mon cheminement personnel.

À mon JS, merci pour ton amour sécurisant et de rester ancré à mes côtés; merci de m'accepter pour tout ce que je suis, à tous les jours; merci pour ta folie et pour ta douceur. Merci pour la personne que tu es; tu ne réalises pas la chance que j'ai de t'avoir dans ma vie. Un merci tout particulier pour ton aide avec ce cher Matlab.

Merci aux membres de mon jury d'avoir pris le soin d'évaluer cet essai et pour vos commentaires constructifs. J'ai été sincèrement touchée par vos bons mots.

Finalement, merci aux participants sans qui cette recherche n'aurait pas été possible. Merci à tous ceux qui se sont intéressés à mon projet d'essai doctoral; merci pour votre curiosité intellectuelle, votre enthousiasme, vos discussions; merci d'avoir alimenté ma réflexion et surtout contribué à

ma motivation, essentielle pour avancer et atteindre le fil d'arrivée. Merci à ceux qui ont lu ou qui liront cet ouvrage soit par devoir, par curiosité ou par amitié.

RÉSUMÉ

Le traitement des visages est une faculté fascinante du cerveau humain. Dû à son importance capitale dans nos rapports sociaux, l'évolution aurait fait en sorte que le cerveau développe un ensemble de mécanismes neuronaux spécialisés pour traiter ce stimulus visuellement complexe. Grâce à ces mécanismes spécialisés, il nous est possible d'extraire à partir du visage des personnes qui nous entourent une multitude d'informations de façon quasi-automatique. L'hypothèse la plus répandue, datant des premiers modèles cognitifs et neurobiologiques classiques, suppose que le cerveau traite les informations telles l'identité des visages ou les expressions faciales d'émotions de façon isolée, c'est-à-dire par le biais de voies d'analyse distinctes. L'idée voulant que des mécanismes perceptifs communs soient impliqués autant dans l'identification de visages que dans la reconnaissance d'expressions faciales, du moins pour l'extraction de l'information visuelle nécessaire, a été beaucoup moins explorée. L'objectif central du présent essai doctoral est donc de vérifier cette possibilité. Pour répondre à cet objectif, soixante-sept (67) participants âgés entre 18 et 36 ans ont accompli une tâche de reconnaissance de visages et une tâche de catégorisation d'expressions faciales évaluant leur niveau d'habileté ainsi que leurs stratégies d'extraction de l'information visuelle à l'aide de la méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001). Les résultats obtenus établissent un lien entre la performance dans les deux tâches et révèlent une systématisme dans l'utilisation de stratégies perceptives dans une tâche en fonction de l'habileté dans l'autre tâche. Ces résultats corroborent l'hypothèse du présent essai selon laquelle les traitements faciaux de l'identité et des expressions partagent des mécanismes perceptifs. La nature des mécanismes communs et distincts est interprétée à la lumière de nos données et il est proposé que le lien entre les tâches découlerait de l'efficacité à extraire les traits faciaux diagnostiques (c.-à-d. les traits contenant l'information la plus discriminante). Nos données ont aussi permis de reproduire les résultats d'études antérieures sur les stratégies visuelles utilisées en moyenne et celles associées à l'habileté pour chacune des deux tâches de traitement facial. Les régions du visage significativement corrélées à l'habileté en reconnaissance d'expressions faciales ont également été caractérisées spécifiquement pour chaque expression faciale d'émotion, ce qui n'avait pas été documenté dans la littérature à notre connaissance. Nous discutons finalement des implications de cet essai doctoral sur la compréhension du rôle des mécanismes impliqués dans le traitement des visages ainsi que des retombées cliniques potentielles de nos résultats.

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

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	x
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS.....	xi
CHAPITRE I	
CONTEXTE THÉORIQUE.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Modèles théoriques du traitement des visages.....	2
1.2.1 Modèle modulaire de Bruce et Young.....	2
1.2.2 Modèle neurobiologique de Haxby.....	6
1.3 Mécanismes perceptifs impliqués dans le traitement des visages.....	8
1.3.1 Traitement holistique des visages.....	9
1.3.2 Traitement des traits faciaux.....	17
1.4 Données provenant de la neuropsychologie.....	20
1.5 Différences individuelles en perception de visages.....	22
1.6 Objectifs de l'étude et hypothèses.....	24
CHAPITRE II	
MÉTHODOLOGIE.....	25
2.1 Participants et recrutement.....	25
2.2 Procédure générale et mesures.....	26
2.3 Matériel.....	27
2.4 Questionnaire et échelles visuelles.....	27
2.4.1 Questionnaire sociodémographique.....	27
2.4.2 Échelle d'acuité de Snellen.....	27
2.4.3 Tableau de sensibilité au contraste de Pelli-Robson.....	28
2.5 Tâches expérimentales d'extraction des traits faciaux.....	28
2.5.1 Méthode des bulles.....	28
2.5.2 Création des stimuli.....	31
2.5.2.1 Préparation des images.....	32
2.5.2.2 Génération des masques de bulles.....	33
2.5.3 Manipulations expérimentales.....	34
2.5.4 Conditions expérimentales.....	36
2.5.4.1 Reconnaissance des expressions faciales d'émotions.....	36
2.5.4.2 Identification de visages.....	37
CHAPITRE III	
RÉSULTATS.....	38
3.1 Création des images de classification individuelles.....	39
3.2 Validation des résultats avec ceux de la littérature.....	41
3.2.1 Stratégies visuelles utilisées en moyenne.....	41
3.2.2 Stratégies visuelles associées à l'habileté individuelle.....	46

3.3 Relation entre les processus impliqués en reconnaissance de visages et en catégorisation d'expressions faciales.....	50
3.3.1 Comparaison de la performance aux tâches d'identité et d'expressions.....	50
3.3.2 Stratégies visuelles utilisées dans une tâche en fonction de l'habileté individuelle dans l'autre tâche.....	53
CHAPITRE IV	
DISCUSSION	57
4.1 Rappel des objectifs et retour sur les résultats	57
4.2 Objectif principal : Vérifier l'existence de mécanismes perceptifs communs.....	57
4.2.1 Approche computationnelle du traitement des visages	58
4.2.2 Données cognitives	60
4.3 Objectif secondaire : Clarifier la nature du lien entre les tâches de traitement facial.....	62
4.4 Limites et perspectives	68
4.4.1 Visages statiques vs dynamiques	68
4.4.2 Implications cliniques	72
CHAPITRE V	
CONCLUSION	77
RÉFÉRENCES.....	79

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.</i> Modèle modulaire de Bruce et Young (1986).	4
<i>Figure 2.</i> Modèle neurobiologique de Haxby et ses collaborateurs (2000).	7
<i>Figure 3.</i> Illusion Thatcher.	10
<i>Figure 4.</i> (A) Tâche tout/partie. (B) Tâche composite.	12
<i>Figure 5.</i> Paradigme expérimental de Gold, Mundy et Tjan (2012).	15
<i>Figure 6.</i> Information diagnostique à la reconnaissance des visages telle que révélée avec la méthode des bulles dans trois études distinctes : Butler et al., 2010 (A), Schyns et al., 2002 (B) et Caldara et al., 2005 (C).	19
<i>Figure 7.</i> Information diagnostique pour la discrimination des six expressions de base (c.-à-d. la joie, la surprise, la peur, la colère, le dégoût et la tristesse) ainsi que la neutralité (Smith et al., 2005).	20
<i>Figure 8.</i> Information diagnostique utilisée par la patiente PS et par la moyenne des participants contrôles dans une tâche d'identification de visages (Caldara et al., 2005).	21
<i>Figure 9.</i> Information visuelle significativement liée à l'exactitude de la performance dans une tâche de catégorisation d'expressions faciales pour la patiente PS et pour la moyenne des participants contrôles (Fiset et al., 2017).	22
<i>Figure 10.</i> Illustration des étapes de création d'un stimulus avec la méthode des bulles.	34
<i>Figure 11.</i> Exemples de stimuli illustrant la différence entre la quantité d'information requise par un des participants de notre échantillon nécessitant le moins de bulles (32 bulles), à gauche, et le plus de bulles (182 bulles), à droite, pour la tâche de bulles d'identité.	35
<i>Figure 12.</i> Information visuelle significativement corrélée à l'exactitude des réponses pour le groupe de participants, soit par bande de fréquences spatiales à gauche et pour l'ensemble du spectre de fréquences (c.-à-d. la combinaison des cinq bandes) à droite.	43
<i>Figure 13.</i> Information visuelle significativement liée à l'habileté en <u>identité</u> , en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d' <u>identité</u> comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d' <u>identité</u> par les meilleurs en <u>identité</u>	47
<i>Figure 14.</i> Information visuelle significativement liée à l'habileté en <u>expressions</u> , en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d' <u>expressions</u> comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à	

l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'expressions par les meilleurs en expressions. 48

Figure 15. Corrélation entre l'habileté dans la tâche d'identité et l'habileté dans la tâche d'expressions. 52

Figure 16. Information visuelle significativement liée à l'habileté en expressions, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d'expressions comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'identité par les meilleurs en expressions. 55

Figure 17. Information visuelle significativement liée à l'habileté en identité, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d'identité comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'expressions par les meilleurs en identité. 56

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CFMT+	Cambridge Face Memory Test +
CFPT	Cambridge Face Perception Test
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
EEG	Électroencéphalographie
É.-T.	Écart-type
FFA	Fusiform Face Area (aire fusiforme des visages)
GFMT	Glasgow Face Matching Test
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
M	Moyenne
MEG	Magnétoencéphalographie
OFA	Occipital Face Area (aire occipitale des visages)
pSTS	Posterior Superior Temporal Sulcus (scissure temporale supérieure postérieure)
STS	Superior Temporal Sulcus (scissure temporale supérieure)
TMS	Transcranial Magnetic Stimulation (stimulation magnétique transcrânienne)
TSA	Trouble du spectre de l'autisme

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

dl	Degrés de liberté
Hz	Hertz
ms	Millisecondes
ns	Non significatif
p	Probabilité
r	Coefficient de corrélation de Pearson
r_s	Coefficient de corrélation de Spearman
χ^2	Khi carré
Z	Score Z
Z_{crit}	Score Z critique
Z_{max}	Score Z maximum

CHAPITRE I

CONTEXTE THÉORIQUE

1.1 Mise en contexte

Le traitement des visages est une faculté fascinante du cerveau humain. Par des pressions onto- et phylogénétiques (Pascalis & Kelly, 2009), le cerveau humain et celui de plusieurs animaux dont le singe (p. ex. Chang & Tsao, 2017; Tsao et al., 2006) se seraient munis d'un ensemble de mécanismes neuronaux spécialisés pour le traitement de ce stimulus visuel ayant une importance capitale pour la qualité de nos rapports sociaux (Freiwald et al., 2016). Par exemple, le fait de croiser quelqu'un dans un corridor et de le reconnaître pour enfin le saluer est certainement important pour la qualité de nos futures relations avec cette personne. Au même titre, reconnaître que quelqu'un est triste ou en colère nous permet de moduler notre façon d'agir et d'éviter de faire des faux pas qui pourraient nuire à nos relations sociales avec cette personne.

Lorsque le réseau neuronal des visages fonctionne bien, il nous permet d'extraire à partir du visage des personnes qui nous entourent des informations sur leur âge, leur ethnie, leur sexe, mais aussi sur leur identité et sur leur état émotionnel, et ce, en quelques centaines de millisecondes (p. ex. Caharel et al., 2014; Ramon et al., 2011; Vinette et al., 2004; voir Jack & Schyns, 2017 pour une revue de la littérature). Malgré la quantité d'études dans le domaine des visages, les mécanismes perceptifs, cognitifs et neuronaux impliqués dans l'extraction et l'utilisation de ces diverses informations (p. ex. l'identité et les expressions faciales d'émotions) ont été, dans la plupart des cas, explorés en partant de l'hypothèse que le cerveau traitait ces informations de façon indépendante (Bruce, 1986; Bruce & Young, 1986; Calder et al., 2000; Campbell, 1996; Haxby et al., 2000; Hoffman & Haxby, 2000; Humphreys et al., 1993; Winston

et al., 2004; Young et al., 1986; voir toutefois Calder & Young, 2005; Fox & Barton, 2007; Fox et al., 2009; Ganel et al., 2005). C'est l'objectif central du présent projet d'essai doctoral de vérifier la possibilité que des mécanismes communs soient impliqués dans l'identification des visages ainsi que dans la reconnaissance des expressions faciales d'émotions. Avant d'introduire l'expérimentation qui fera l'objet de cet essai, les modèles théoriques classiques du traitement des visages seront abordés et mis en lien avec la neuroanatomie fonctionnelle. Par la suite, des données de la neuropsychologie expérimentale seront discutées, celles-ci menant directement à nos objectifs et hypothèses ainsi qu'à la méthodologie de cet essai.

1.2 Modèles théoriques du traitement des visages

L'hypothèse voulant que la reconnaissance des visages et celle des expressions faciales d'émotions soient régies par des processus cérébraux anatomiquement et fonctionnellement distincts est particulièrement évidente dans le modèle modulaire de Bruce et Young (1986) ainsi que dans le modèle neurobiologique proposé par James Haxby et ses collaborateurs (Haxby et al., 2000). En effet, ces deux modèles théoriques proposent une séparation précoce des systèmes perceptifs du traitement de l'identité et des expressions faciales.

1.2.1 Modèle modulaire de Bruce et Young

L'un des premiers modèles théoriques (voir Figure 1) proposés pour expliquer comment fonctionne le traitement des visages est le modèle modulaire sériel de Bruce et Young (1986). Malgré son âge, ce modèle a encore aujourd'hui une influence énorme sur la façon dont les chercheurs conçoivent la reconnaissance des visages ainsi que le traitement des expressions faciales. Ce modèle propose que l'analyse perceptive des visages se déroule en deux étapes. La

première étape consisterait en une analyse centrée sur l'observateur de sorte que la représentation perceptive créée serait sensible à des variations même subtiles sur le point de vue (p. ex. si le visage est vu de face ou légèrement de côté) ou sur l'expression faciale (p. ex. un visage apeuré et un visage neutre ne sont pas visuellement identiques). Cette étape serait particulièrement importante pour reconnaître les expressions faciales ou traiter les mouvements de la bouche inhérents au langage parlé, mais serait trop sensible à ces mêmes propriétés lorsque la tâche nécessite l'identification d'un visage. La deuxième étape quant à elle serait indépendante des expressions faciales et donc moins sensible aux changements dans l'input sensoriel. Elle consisterait en effet à extraire les invariants faciaux de la représentation visuelle. Cette étape serait particulièrement importante pour l'identification des visages puisqu'idéalement l'identité d'un ami ne change pas radicalement s'il sourit, est triste ou en colère (Daniel souriant et Daniel triste demeure Daniel!). Ces deux analyses visuelles permettraient, selon Bruce et Young (1986), d'extraire les propriétés nécessaires au traitement des visages. Les propriétés importantes selon ces auteurs seraient la globalité du visage (c.-à-d. le traitement holistique; Tanaka & Farah, 1993) ainsi que les rapports spatiaux entre les différents traits faciaux (c.-à-d. la configuration; Maurer et al., 2002). Une fois cet encodage effectué, ces informations visuelles seraient mises en relation avec les représentations des visages connus en mémoire à long terme qui pourraient ensuite activer les connaissances sémantiques sur une personne ainsi que son nom.

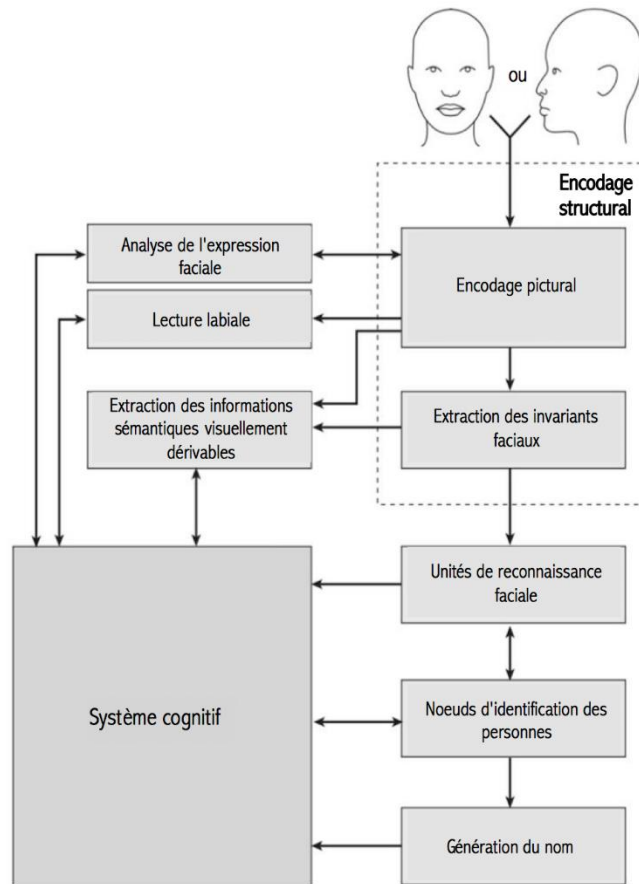


Figure 1. Modèle modulaire de Bruce et Young (1986). Image traduite de l'article original.

De façon importante pour le présent projet, le modèle de Bruce et Young (1986) propose l'existence de voies de traitement fonctionnellement distinctes pour la reconnaissance des expressions faciales d'émotions et pour l'identification des visages, et ce, dès le traitement perceptif du visage. Selon plusieurs auteurs, les données neuropsychologiques provenant de patients ayant des lésions bilatérales de l'amygdale (p. ex. SM; Adolphs et al., 1994) appuient au moins partiellement cette dissociation. En effet, alors que la patiente SM éprouve d'importantes difficultés à reconnaître l'expression faciale de peur, ses capacités en identification de personnes célèbres demeurent normales. Il est toutefois possible que le déficit de SM pour la reconnaissance faciale de la peur ne s'explique pas par une incapacité à extraire l'information visuelle des

visages. D'ailleurs, le fait qu'une simple consigne de faire attention aux yeux normalise la performance de SM suggère que son déficit n'est pas visuel mais plutôt d'origine attentionnelle (Adolphs et al., 2005). Il n'est donc pas clair que le profil de performance de SM soit réellement informatif quant à notre questionnement de recherche.

Même si nous tenions pour acquis que le déficit de SM soit informatif pour le débat théorique, son existence demeure insuffisante pour en venir à la conclusion de voies de traitement distinctes pour l'identité et les expressions faciales. En effet, la reconnaissance de la peur pourrait être fondamentalement plus difficile que la reconnaissance de l'identité et le profil de SM ne s'expliquerait que par le fait qu'elle éprouve des difficultés dans la tâche plus difficile. Pour pallier ce problème, il est important de décrire le profil inverse de performance, c'est-à-dire un patient ayant des difficultés dans l'identification des visages (soit souffrant de prosopagnosie¹) sans que son déficit ne touche la catégorisation d'expressions faciales. Dans ces circonstances, nous aurions la double dissociation (Shallice, 1988) qui constitue l'une des démonstrations empiriques les plus fortes pour l'existence de mécanismes fonctionnels et/ou anatomiques distincts. Dans le passé, quelques cas de prosopagnosie sans trouble de la reconnaissance des expressions faciales d'émotions auraient été décrits (p. ex. Parry et al., 1991). Cependant, la cause du trouble en reconnaissance de visages était pour le moins mal spécifiée chez les patients de ces études (voir Calder & Young, 2005). Depuis ce temps, la majorité des études avec des patients prosopagnosiques ont décrit une association de déficits (p. ex. Humphreys et al., 2007)

¹ La prosopagnosie est un trouble neurologique soit développemental (Duchaine & Nakayama, 2006b) ou acquis (c.-à-d. faisant suite à une lésion cérébrale; Barton, 2008) caractérisé par des difficultés sévères à reconnaître l'identité des personnes par leur visage sans que ces difficultés ne puissent être attribuées à des problèmes visuels, cognitifs ou mnésiques plus généraux.

plutôt qu'une dissociation entre la reconnaissance des visages et celle des expressions faciales. Le débat demeure donc ouvert sur l'existence de mécanismes communs entre les deux tâches.

1.2.2 Modèle neurobiologique de Haxby

Étant donné son âge vénérable et la faible quantité et qualité des données neuroanatomiques de l'époque, le modèle de Bruce et Young (1986) ne propose aucune topographie neuroanatomique pour les différentes composantes ou voies de traitement cognitif mises de l'avant. Le modèle de Haxby (Haxby et al., 2000; voir Figure 2) vient pallier ce manque. En ce sens, le modèle de Haxby offre essentiellement une interprétation neurale du modèle modulaire fonctionnel de Bruce et Young. Ainsi, Haxby et ses collaborateurs (2000) proposent, grâce à des données issues de la neuroimagerie fonctionnelle, que la voie de traitement pour les aspects variants (expressions faciales, direction du regard, mouvements labiaux) serait localisée dans la scissure temporale supérieure (STS), alors que celle pour les aspects invariants du visage (identité) serait localisée dans le gyrus fusiforme latéral (p. ex. le FFA; Kanwisher et al., 1997). C'est l'information qui transite par le STS qui trouverait son chemin vers l'amygdale et l'insula pour le traitement des émotions faciales et vers le cortex auditif pour la perception de la parole, alors que l'information qui passe par le FFA trouverait son chemin vers le lobe temporal antérieur qui constituerait le siège anatomique de l'information d'identité, de l'information sémantique personnelle et du nom de la personne.

Il est donc clair que les deux modèles présentés ci-haut prédisent une dissociation relativement précoce dans les mécanismes perceptifs et les stratégies visuelles utilisées pour reconnaître les visages et les expressions faciales d'émotions. Notons toutefois que le modèle de

Haxby relève aussi l'existence du gyrus occipital inférieur (p. ex. le OFA; Gauthier et al., 2000), une autre région cérébrale sensible aux visages, qui participerait à la perception précoce des traits du visage précédant le traitement des autres régions cérébrales (soit le STS et le FFA) dans la séquence établie. Les auteurs émettent un questionnement sur le rôle précis de cette région et son implication dans la représentation de l'identité et celle des aspects variants des visages dont les expressions faciales.

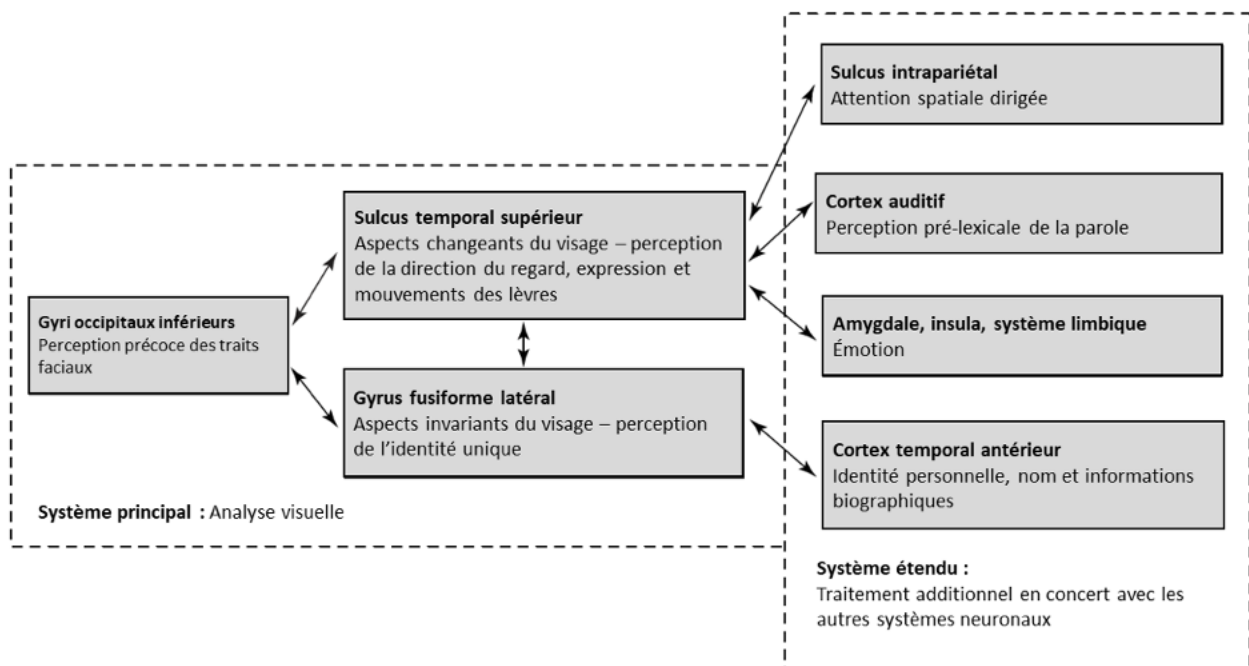


Figure 2. Modèle neurobiologique de Haxby et ses collaborateurs (2000). Image traduite de l'article original.

Les preuves de la dissociation entre le traitement de l'identité et celui des expressions faciales proviennent de diverses sources scientifiques telles que des études en sciences cognitives (p. ex. Campbell, 1996; Young et al., 1986), en neuroimagerie (p. ex. George et al., 1993; Winston et al., 2004) et même en neurophysiologie (p. ex. Hasselmo et al., 1989). Le fait qu'une

dissociation puisse être observée entre ces deux tâches n'est donc pas un réel questionnement et n'est pas surprenant puisque les circuits de l'identité et ceux des émotions sont clairement dissociés au moins dans les étapes tardives de la prise de décision (p. ex. le lobe temporal antérieur pour l'identité et des régions telles que l'amygdale et l'insula pour les émotions). La question, telle que formulée par Calder et Young (2005), est plutôt de savoir à quel moment ces deux tâches se séparent dans la séquence de processus perceptifs menant à l'identification des visages et à la reconnaissance des expressions faciales. Est-ce que cette séparation arrive tôt de sorte que, comme le proposent les modèles vus jusqu'ici, des voies visuelles distinctes soient impliquées? Au contraire, est-ce possible que la bifurcation soit tardive (c.-à-d. après que la représentation visuelle soit codée) de sorte que des stratégies visuelles communes soient impliquées dans les deux tâches? C'est à cette question que le présent projet d'essai doctoral tentera de répondre.

1.3 Mécanismes perceptifs impliqués dans le traitement des visages

Puisque l'objectif du présent projet est de vérifier si les traitements perceptifs de l'identité et des expressions faciales partagent des éléments communs, nous allons faire un bref survol des connaissances sur les mécanismes perceptifs en jeu dans ces deux tâches. Deux littératures quasi-parallèles tentent de comprendre comment fonctionne le traitement visuel des visages : d'un côté l'hypothèse holistique, de l'autre côté les travaux provenant de la psychophysique de la vision.

1.3.1 Traitement holistique des visages

La théorie dominante dans le domaine des visages propose que des mécanismes visuels spéciaux et spécialisés seraient recrutés pour le traitement des visages. Selon les défenseurs de cette théorie, les visages seraient perçus à l'aide d'un traitement dit holistique, alors que les stimuli non-faciaux seraient reconnus grâce au traitement de leurs différentes composantes, appelé le traitement par parties (Carey & Diamond, 1977; Farah et al., 1998; Tanaka & Farah, 1993; voir toutefois Zhao et al., 2016). Plus précisément, le traitement holistique se définit par l'intégration des traits du visage et des distances spatiales qui les relient, en une représentation unique et globale (Donnelly & Davidoff, 1999; Tanaka & Farah, 1993; Tanaka & Sengco, 1997). Certains suggèrent donc une représentation globale sans que chaque trait ne possède sa propre représentation isolée du reste du visage (p. ex. Tanaka & Farah, 1993).

Un des phénomènes interprétés comme une démonstration du traitement holistique est l'effet d'inversion des visages (Yin, 1969). Ce phénomène interviendrait par la perturbation du traitement naturel des visages lorsque ceux-ci sont orientés à l'envers (p. ex. Rossion & Gauthier, 2002). Cette inversion affecterait la perception adéquate des visages, la rendant beaucoup plus difficile, et ce de façon disproportionnée par rapport à la plupart des autres catégories d'objets (Robbins & McKone, 2007). Cet effet robuste à travers les études a été observé notamment en reconnaissance de visages familiers (Jackson & Raymond, 2008) ou récemment appris (Yang et al., 2014), en détection de changements dans les visages (Rhodes et al., 1993) et en reconnaissance d'expressions faciales (Derntl et al., 2009). Le fait que la capacité à traiter un visage est considérablement diminuée par l'effet d'inversion est d'ailleurs bien illustré par l'illusion Thatcher (Thompson, 1980; voir Figure 3), où des modifications importantes apportées

aux visages sont beaucoup mieux perçues à l'endroit qu'à l'envers. L'hypothèse holistique suggère que l'effet d'inversion empêcherait le traitement holistique et forcerait une stratégie basée sur les traits, soit un traitement par parties (Rhodes et al., 1993; Rossion, 2008). De façon intéressante, cette proposition théorique permettrait de prédire un effet d'inversion de moins grande amplitude chez les individus pour qui le traitement holistique serait altéré. Plusieurs études ont d'ailleurs rapporté un effet d'inversion significativement inférieur chez des sujets prosopagnosiques comparativement aux sujets contrôles (Behrmann et al., 2005; Busigny & Rossion, 2010). Toutefois, les mécanismes qui sous-tendent l'effet d'inversion ne sont pas clairement identifiés (McKone & Yovel, 2009; Murphy et al., 2020; Royer et al., 2017; Sekuler et al., 2004; Willenbockel et al., 2010a; Yovel & Kanwisher, 2004).



Figure 3. Illusion Thatcher. La photographie originale de Margaret Thatcher (colonne de gauche) est modifiée par la rotation à 180 degrés des yeux et de la bouche (colonne de droite). L'illusion réside dans l'apparence beaucoup plus normale du visage inversé du coin supérieur droit comparativement au visage à l'endroit du coin inférieur droit. Image tirée de l'article original (Thompson, 1980).

Deux paradigmes expérimentaux sont centraux à l'hypothèse holistique, soit la tâche « tout/partie » (Tanaka & Farah, 1993) et la tâche composite (Young et al., 1987). Dans la tâche tout/partie, la mémoire d'une partie (c.-à-d. les yeux, le nez ou la bouche) d'un visage préalablement appris est testée soit isolément ou en contexte de visage. En d'autres mots, le participant doit par exemple identifier la bouche appartenant au visage appris, soit entre deux bouches présentées isolément, ou bien parmi deux visages où seul le trait évalué, dans ce cas-ci la bouche, diffère (voir Figure 4A). Il a été montré que la performance est meilleure lorsque le trait est présenté dans le contexte du visage, et ce même si ce dernier est non pertinent à la tâche (Tanaka & Simonyi, 2016 pour une revue de la littérature). Ce résultat est interprété comme la preuve que les traits faciaux ne sont pas traités isolément par la perception humaine, mais plutôt intégrés dans un tout global. Pour sa part, la tâche composite exige des participants de décider si les moitiés supérieures de deux visages, typiquement présentés l'un après l'autre sur un écran d'ordinateur, sont identiques ou différentes. De façon importante pour cette tâche, les participants doivent se concentrer uniquement sur cette partie car le bas du visage donne de l'information qui peut être trompeuse (p. ex. deux hauts identiques combinés avec deux bas différents; voir Figure 4B). Le traitement holistique serait accompagné d'un ralentissement de la vitesse des réponses et d'une augmentation des erreurs lorsque la réponse que l'on donnerait à la moitié inférieure des visages est incongruente avec celle que l'on donnerait à la moitié supérieure. C'est donc une incapacité à ne prendre en compte qu'une partie du visage qui constitue ici un indice du traitement global ou holistique, alors que le reste du visage semble influencer la perception de ses composantes. L'inversion ou le désalignement du haut et du bas des visages (voir Figure 4B; quadrant supérieur droit, inférieur gauche et inférieur droit) briseraient leur aspect global, ce qui

faciliterait la capacité à ignorer la portion opposée du visage par le recours au traitement par parties plutôt qu’holistique (Rossion, 2013).

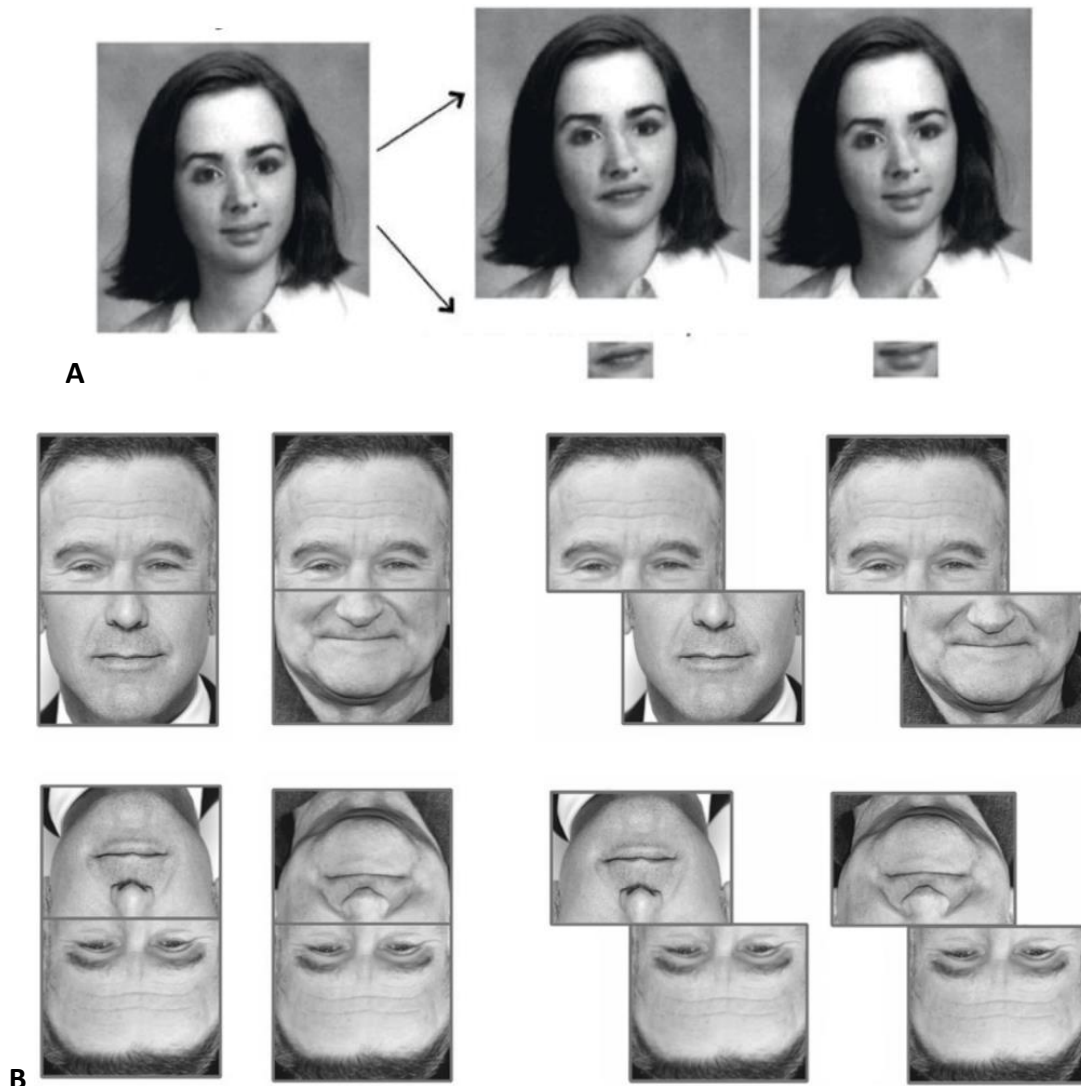
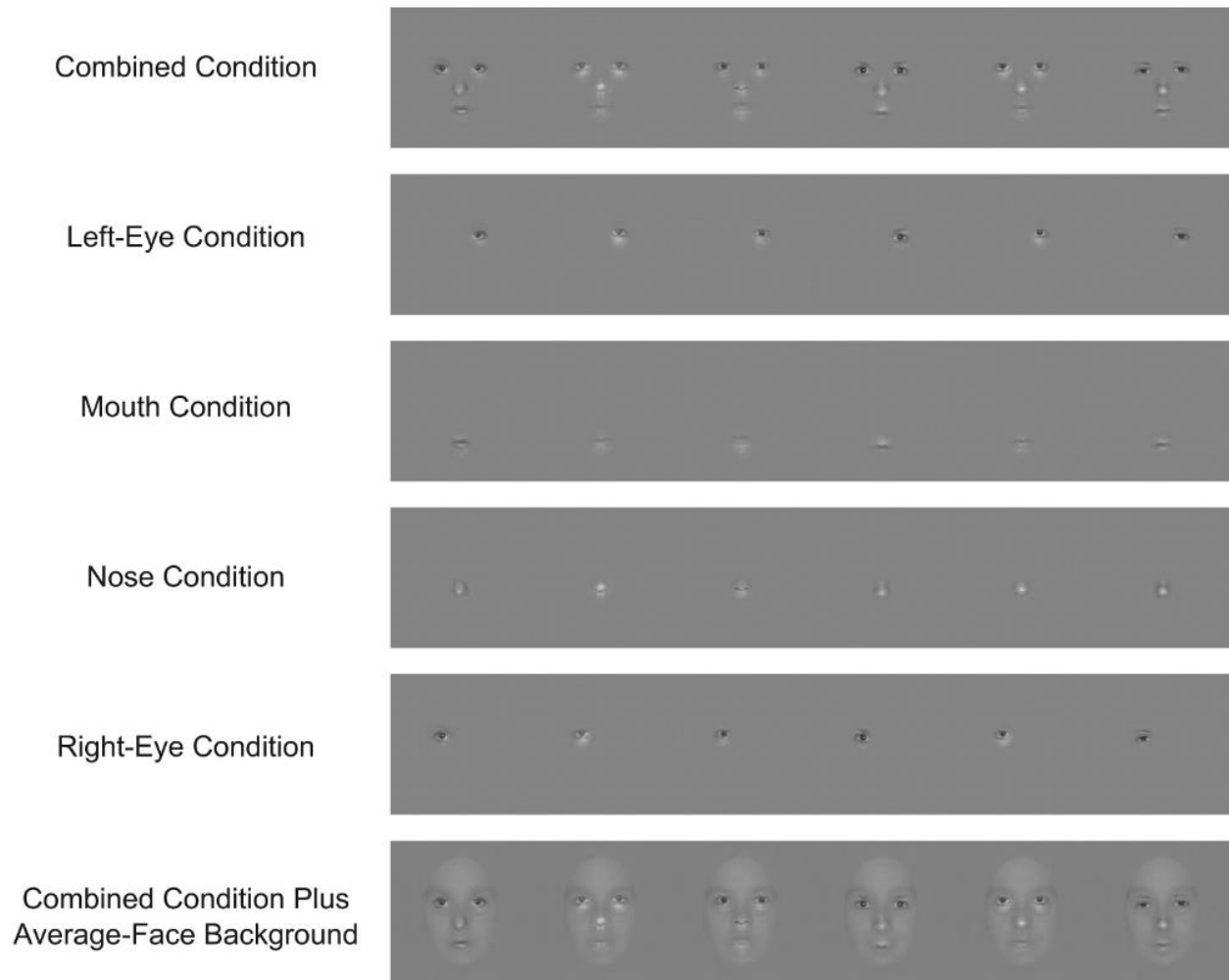


Figure 4. (A) Tâche tout/partie. Un des traits faciaux (ici, la bouche) d’un visage préalablement appris (à gauche) doit être reconnu soit en contexte de visage (à droite de la flèche du haut; à noter que seule la bouche diffère entre les deux visages) ou présenté isolément (à droite de la flèche du bas). Image tirée de Cambridge University Press (Tanaka & Philibert, 2022). (B) Tâche composite. Des paires de visages comme celles-ci sont présentées séquentiellement au participant et ce dernier doit décider si les hauts de visages sont identiques ou différents. Cet exemple de stimuli illustre le fait qu’il est moins évident de voir que les deux hauts de visages du quadrant supérieur gauche sont identiques comparativement aux trois autres conditions dans lesquelles les moitiés de visages sont décalées et/ou inversées. Image tirée de Murphy, Gray et Cook (2017).

Des centaines d'articles ont utilisé ces paradigmes expérimentaux (voir p. ex. Richler & Gauthier, 2014 pour une méta-analyse) et ce n'est pas l'objet du présent document d'en faire une revue exhaustive. Brièvement, des études employant ces paradigmes ont rapporté, de façon similaire à l'effet d'inversion, une atteinte de l'utilisation du traitement holistique interprétée comme pouvant être à la source de déficits tant en reconnaissance de visages que d'expressions faciales dans différents troubles comme la prosopagnosie acquise (Monti et al., 2019; Ramon et al., 2010; 2016; Rossion, 2013; mais voir Finzi et al., 2016) ou congénitale (Avidan et al., 2011; Palermo et al., 2011; mais voir DeGutis et al., 2012; Le Grand et al., 2006; Susilo et al., 2010), ou encore le trouble du spectre de l'autisme (Teunisse & De Gelder, 2003; Yeung, 2022; mais voir Brewer et al., 2019; Tanaka & Sung, 2016; Watson, 2013). D'autres études ont toutefois aussi mené à des résultats contradictoires, possiblement en raison de l'hétérogénéité de ces conditions ou de différences méthodologiques entre les études (voir Richler & Gauthier, 2014; Susilo et al., 2010). Il a également été observé dans le cadre d'une étude un meilleur traitement holistique chez des personnes ayant des capacités exceptionnelles en reconnaissance de visages, appelées super-physionomistes (Bobak et al., 2016). Au niveau anatomo-fonctionnel, il a été rapporté en IRMf (Schiltz & Rossion, 2006), en EEG (Caharel et al., 2013) et en MEG (Taylor et al., 2011) que le FFA serait le site anatomophysologique du traitement holistique.

L'histoire n'est toutefois pas complète sans décrire l'article extrêmement important de Gold, Mundy et Tjan (2012). Ces auteurs proposent une définition claire et mathématiquement mesurable du traitement holistique où la reconnaissance de chacun des traits faciaux et la reconnaissance des visages complets sont directement comparées grâce à une mesure d'intégration. Cette mesure est dérivée d'un paradigme expérimental simple et élégant. Dans

celui-ci, les auteurs ajustent le niveau de contraste afin que la performance des participants soit à 50 % (un niveau de performance choisi arbitrairement), et ce, pour cinq conditions différentes, c'est-à-dire l'œil gauche seulement, l'œil droit seulement, le nez seulement, la bouche seulement ainsi que tous les traits présentés simultanément (voir Figure 5). Grâce à la formule mathématique développée, il est possible de prédire quelle sera la performance de chaque participant si la perception d'un visage n'est que la somme des parties. Ainsi, en comparant la performance projetée grâce à la somme des traits isolés avec la performance pour tous les traits simultanément, il est possible de savoir si les visages sont bel et bien traités de façon holistique. Leurs données montrent assez clairement que la performance sur le tout est équivalente sinon moins bonne que ce qui est prédit par la somme des parties, tant pour les visages à l'endroit qu'à l'envers. Leurs données ne suggèrent donc pas que les visages soient traités grâce au traitement holistique, et ce, que cela soit avec des visages nouvellement appris (Gold et al., 2012) ou avec des visages de personnes familières (Gold et al., 2014). Lorsqu'un paradigme rigoureux est utilisé, les preuves de l'existence d'un traitement holistique ne sont pas aussi claires que prévu (voir également Martelli et al., 2005). Par ailleurs, à notre connaissance, ce paradigme n'a jamais été utilisé pour investiguer le traitement holistique en reconnaissance d'expressions faciales.



$$\Phi = \frac{S_{\text{combined}}^2}{S_{\text{left eye}}^2 + S_{\text{right eye}}^2 + S_{\text{mouth}}^2 + S_{\text{nose}}^2}$$

Figure 5. Paradigme expérimental de Gold, Mundy et Tjan (2012). Les cinq premières rangées représentent les cinq conditions et chaque colonne correspond à une identité différente pour un total de six identités utilisées comme stimuli. Une des six alternatives dans une des cinq conditions est d'abord aléatoirement présentée, puis les six images de la condition sont montrées et le participant doit identifier l'image qui vient d'être présentée. Les cinq conditions de la tâche ont également été réalisées avec les traits présentés dans le contexte d'un visage moyen plutôt que sur un arrière-plan gris (sixième rangée). L'indice d'intégration, ϕ , correspond au carré de la sensibilité (S , soit la réciproque du seuil de contraste) pour la condition combinée divisé par la somme des carrés de la sensibilité pour chacun des traits faciaux isolés (voir formule ci-dessus). Un indice d'intégration de 1 signifie que la performance sur le tout est égale à la somme des parties. Image tirée de l'article original.

Pour conclure, la littérature dominante voulant que le traitement holistique soit un mécanisme indispensable de la perception des visages s'est butée à plusieurs critiques et des débats importants persistent au sein même de ce domaine. En effet, malgré la quantité d'études publiées sur le sujet, on constate un manque de convergence des résultats et une absence de consensus sur plusieurs questions fondamentales. D'abord, une première problématique réside dans la confusion au niveau de la définition précise du concept holistique en termes clairs et quantifiables et donc sur la façon de l'opérationnaliser (Murphy et al., 2017). Certains auteurs soulèvent d'ailleurs la possibilité que différentes versions de la tâche composite mesurent en fait différents mécanismes (Richler & Gauthier, 2014; Richler et al., 2012; Rossion, 2013). De plus, la mesure composite souffrirait de limites psychométriques, telle une faible fidélité, rendant son utilisation et son interprétation moins adaptées, surtout dans une approche de différences individuelles (Ross et al., 2015). Enfin, d'autres études que celles de Gold et ses collaborateurs (2012; 2014) ont également obtenu des résultats incongruents avec certains postulats de la théorie holistique (p. ex. Willenbockel et al., 2010a).

Les raisons décrites précédemment nous mènent à explorer d'autres mécanismes perceptifs permettant de comparer les deux tâches de façon plus fiable et valide. Les études ayant trouvé un lien entre les habiletés individuelles en reconnaissance de visages et l'utilisation du traitement holistique ont d'ailleurs pu seulement expliquer une portion restreinte de la variance (DeGutis et al., 2013; Richler et al., 2011; Wang et al., 2012; mais voir Konar et al., 2010 pour une absence de corrélation), suggérant que d'autres mécanismes peuvent possiblement mieux prédire les différences interindividuelles.

1.3.2 Traitement des traits faciaux

Au début des années 2000, plusieurs chercheurs ont commencé à s'intéresser à l'importance des différents traits faciaux dans le traitement des visages. Les données des études dans ce domaine renforcent l'idée selon laquelle le traitement des visages n'implique pas nécessairement l'utilisation de toute l'information visuelle disponible et que l'importance des différentes régions faciales peut varier d'une tâche à l'autre (p. ex. la reconnaissance de l'identité d'un visage ou la reconnaissance de l'expression faciale de joie). Plusieurs méthodologies furent proposées pour investiguer cette question. Nous allons toutefois nous concentrer ici sur la méthode des bulles (Bubbles; Gosselin & Schyns, 2001) puisqu'elle est centrale au présent projet, qu'elle est similaire aux autres méthodes à plusieurs égards (p. ex. Mangini & Biederman, 2004; Sekuler et al., 2004) et qu'elle est, de loin, la plus utilisée. En effet, cette méthode psychophysique a été utilisée pour révéler les traits faciaux et les propriétés visuelles diagnostiques (c.-à-d. utiles à la tâche) en identification des visages (Butler et al., 2010; Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017; Gosselin & Schyns, 2001; Royer et al., 2015; 2018; Schyns et al., 2002; Vinette et al., 2004), en catégorisation de sexe (Dupuis-Roy et al., 2009; Gosselin & Schyns, 2001), en reconnaissance des expressions faciales de base (Adolphs et al., 2005; Blais et al., 2012b; 2017; Smith et al., 2005; Smith & Merlusca, 2014), en reconnaissance de la douleur (Roy et al., 2015) et même durant les jugements sociaux (Robinson et al., 2014).

La méthode des bulles consiste à rendre visibles seules certaines portions aléatoires d'un stimulus visuel, à chaque essai, afin de vérifier si l'information visuelle présentée permet ou non de répondre correctement à la question posée (p. ex. quelle est l'émotion exprimée par le visage?). Elle est basée sur l'idée que la probabilité que les participants répondent correctement

augmente lorsque l'information nécessaire à la tâche est visible dans le stimulus, alors qu'elle diminue lorsque l'information nécessaire est cachée. L'échantillonnage aléatoire d'une ou de plusieurs dimensions de l'image (p. ex. dimensions de l'étendue spatiale, dimension des fréquences spatiales, dimension temporelle, dimension des orientations spatiales) permet donc, au bout de suffisamment d'essais, de quantifier l'utilisation de cette information par le système visuel (voir Section 2.5 de la méthodologie du présent projet pour les détails précis). La méthode est particulièrement intéressante puisqu'elle permet de faire une recherche non biaisée des traits faciaux diagnostiques, c'est-à-dire sans nécessiter de définir de régions faciales a priori. Les régions identifiées par cette méthode sont celles qui mènent le plus systématiquement à une réponse correcte dans une tâche donnée (p. ex. reconnaître la peur dans un visage). La méthode des bulles peut également être appliquée dans des études en électroencéphalographie (EEG) afin de vérifier l'impact de l'échantillonnage visuel sur l'activité électrique de certaines zones cérébrales.

Toutes les études qui se sont intéressées à l'importance des traits faciaux en identification de visages ont montré, qu'en moyenne, les observateurs normaux utilisaient la région des yeux de façon prédominante (voir Figure 6). Ce biais semble particulièrement favoriser l'œil gauche chez le sujet droitier (la position des yeux étant selon le point de vue de l'observateur) et ce biais est interprété comme provenant de la plus forte spécialisation du gyrus fusiforme de l'hémisphère droit pour le traitement des visages (Vinette et al., 2004). Des données en EEG vont d'ailleurs dans le sens que l'activité cérébrale de l'hémisphère droit serait liée à l'œil gauche alors que celle de l'hémisphère gauche serait liée à l'œil droit (Rousselet et al., 2014). De façon intéressante, l'importance relative de la région des yeux serait encore plus forte pour la reconnaissance des

célébrités, c'est-à-dire des visages que l'on connaît bien selon plusieurs angles de vue (Butler et al., 2010; voir Figure 6A).

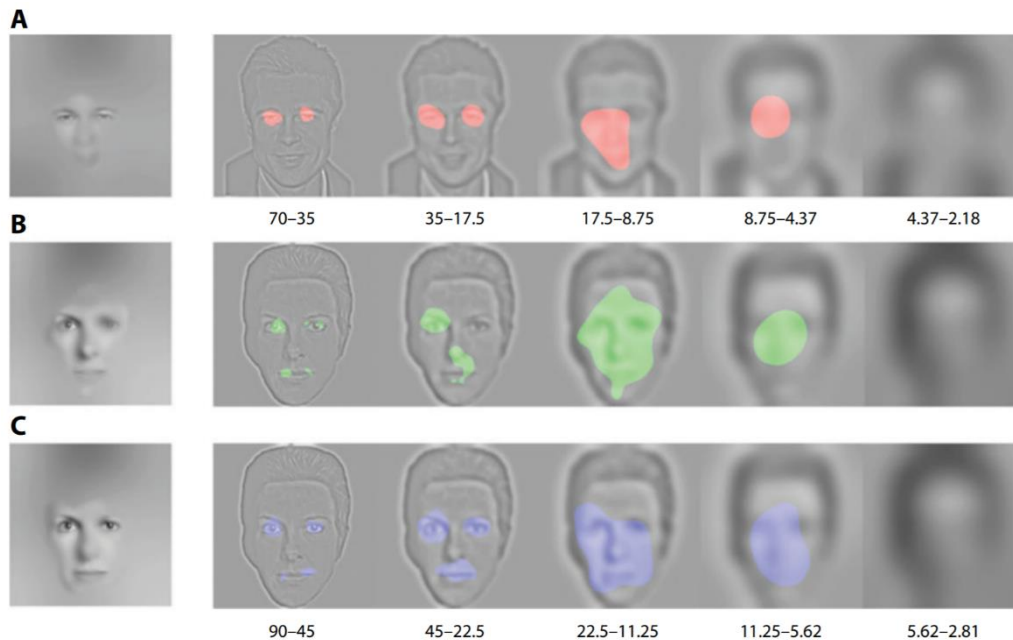


Figure 6. Information diagnostique à la reconnaissance des visages telle que révélée avec la méthode des bulles dans trois études distinctes : Butler et al., 2010 (A), Schyns et al., 2002 (B) et Caldara et al., 2005 (C). Image tirée de Butler et al. (2010).

En reconnaissance d'expressions faciales, la première étude à utiliser les bulles fut celle de Smith et ses collaborateurs (2005). Dans cette étude, la tâche des participants consistait à catégoriser des expressions faciales de base (c.-à-d. joie, surprise, peur, colère, dégoût, tristesse et neutralité) apparaissant sur un écran d'ordinateur. À chaque essai, le visage présenté était échantillonné aléatoirement sur les dimensions de la localisation spatiale et des fréquences spatiales. Leurs résultats montrent que l'information utilisée efficacement diffère grandement selon la catégorie à laquelle appartient l'expression faciale présentée. Par exemple, la région des yeux est utilisée pour reconnaître l'expression faciale de peur, alors que les plis nasogéniens

constituent la région la plus utilisée pour reconnaître l'expression faciale de dégoût (voir Figure 7 pour les données sur les sept expressions faciales).

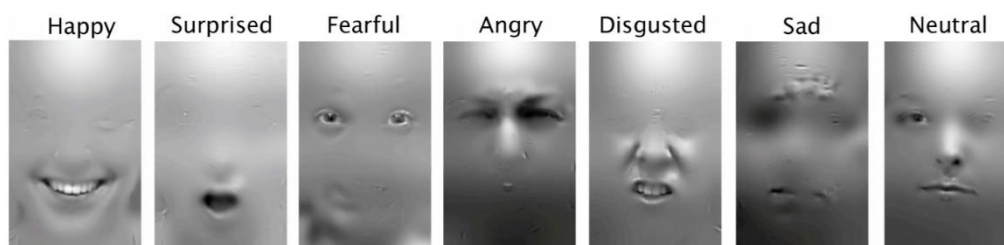


Figure 7. Information diagnostique pour la discrimination des six expressions de base (c.-à-d. la joie, la surprise, la peur, la colère, le dégoût et la tristesse) ainsi que la neutralité (Smith et al., 2005). Image tirée de l'article original.

1.4 Données provenant de la neuropsychologie

Le rôle de la région des yeux en identification de visages est également supporté par les données recueillies auprès de la patiente PS, une prosopagnosique particulièrement pure (voir Rossion, 2022a; 2022b pour une revue de la littérature). Dans la première étude ayant utilisé la méthode des bulles avec cette patiente, Caldara et ses collaborateurs (2005) ont montré que PS utilisait davantage la région de la bouche et le contour des visages pour les identifier, alors que les participants contrôles utilisaient significativement plus les yeux (voir Figure 8). Il a donc été proposé que le déficit de PS serait explicable par son incapacité à extraire et emmagasiner l'information contenue dans la région des yeux. Cette baisse significative de la sensibilité à l'information contenue dans la région des yeux ainsi qu'une surutilisation de la région de la bouche sont rapportées chez différents patients prosopagnosiques (Bukach et al., 2008; Rossion et al., 2009), particulièrement lorsque le déficit fait suite à une lésion des aires cérébrales postérieures (Pancaroglu et al., 2016) impliquées dans l'extraction de l'information visuelle pour les visages.

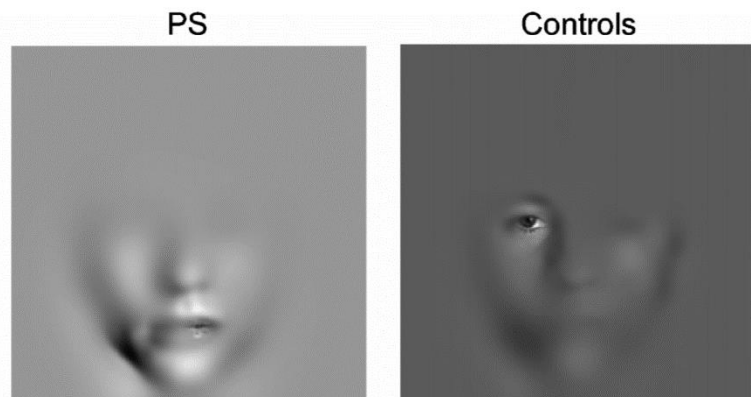


Figure 8. Information diagnostique utilisée par la patiente PS et par la moyenne des participants contrôles dans une tâche d'identification de visages (Caldara et al., 2005). Image tirée de l'article original.

Récemment, une seconde étude (Fiset et al., 2017) avec la même patiente, mais cette fois dans le domaine de la reconnaissance des expressions faciales, a montré que PS éprouvait des difficultés avec certaines émotions faciales comme la peur et la colère, expressions où la région des yeux serait particulièrement importante (Smith et al., 2005; Smith & Merlusca, 2014; voir Figure 7). Dans le même article, les auteurs ont montré, grâce à la méthode des bulles, que dans une tâche de catégorisation d'expressions faciales (peur, joie et neutralité), PS éprouvait des difficultés particulières à extraire l'information des yeux (voir Figure 9). Les difficultés vécues par PS pouvaient être induites chez des sujets normaux si ceux-ci devaient reconnaître les expressions faciales lorsque seul le bas du visage était disponible (donc lorsque les yeux étaient enlevés des stimuli). De façon intéressante et en contraste avec ce qui a été observé chez la patiente SM, les déficits de PS demeurent même si on lui demande explicitement de regarder la région des yeux ou qu'on lui impose de la regarder grâce à une fenêtre qui s'ouvre uniquement lorsque les yeux sont fixés du regard par PS.

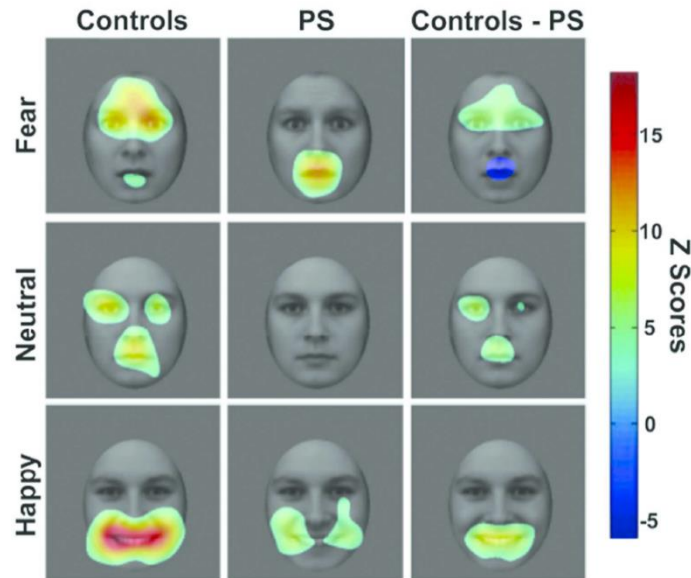


Figure 9. Information visuelle significativement liée à l’exactitude de la performance dans une tâche de catégorisation d’expressions faciales pour la patiente PS et pour la moyenne des participants contrôles (Fiset et al., 2017). Image tirée de l’article original.

Les données sur PS suggèrent donc qu’une lésion des aires visuelles postérieures induirait un déficit dans l’extraction de la région des yeux, et ce, tant en identification de visages qu’en reconnaissance d’expressions faciales d’émotions. Par contre, puisque PS a des lésions relativement exhaustives qui couvrent les deux hémisphères (Schiltz et al., 2006), les données de ces deux articles n’offrent pas de réponse définitive quant aux liens entre les mécanismes perceptifs impliqués dans ces deux tâches. Des données supplémentaires sont donc nécessaires pour confirmer ces résultats.

1.5 Différences individuelles en perception de visages

Pendant longtemps, la majorité des travaux dans le domaine de la perception des visages considérait les processus cognitifs du traitement des visages comme étant une faculté innée partagée par tous les individus universellement. Il est aujourd’hui admis qu’il y a des différences

individuelles importantes en traitement de visages. Alors que certaines personnes sont capables de reconnaître des personnes qu'ils ont uniquement croisées à la garderie, et ce, des dizaines d'années plus tard (super-physionomistes; Russell et al., 2009), d'autres sont incapables de reconnaître des photos récentes d'amis proches ou même de leurs enfants (prosopagnosie congénitale ou développementale; Duchaine & Nakayama, 2006b). Dans une étude provenant de notre laboratoire, nous avons montré qu'il existe un lien significatif entre les habiletés de reconnaissance des visages et l'extraction de la région des yeux (Royer et al., 2018) chez des participants dont les habiletés sont à moins de deux écart-types de la moyenne (donc ni prosopagnosiques, ni super-physionomistes). Dans une seconde étude, nous avons répliqué ce résultat tout en montrant que les stratégies d'extraction visuelle en reconnaissance de visages des super-physionomistes et des prosopagnosiques congénitaux étaient quantitativement mais non qualitativement différentes de celles des sujets plus près de la moyenne (Tardif et al., 2019).

En reconnaissance d'expressions faciales, notre laboratoire a récemment publié des données qui révèlent que les meilleurs utilisent davantage l'information contenue dans les orientations horizontales (Duncan et al., 2017) – tout comme il a également été observé en reconnaissance d'identité (Pachai et al., 2013) – et que l'utilisation de cette information serait corrélée avec l'utilisation des yeux. Ce résultat est d'autant plus surprenant que c'est la région de la bouche plutôt que celle des yeux qui est la plus importante pour la reconnaissance des expressions faciales (Blais et al., 2012b; 2017; Duncan et al., 2017).

1.6 Objectifs de l'étude et hypothèses

L'état des connaissances sur les mécanismes perceptifs en jeu dans le traitement de l'identité et des expressions faciales suggère que plus quelqu'un est bon dans une tâche, plus il est efficace pour extraire l'information des yeux dans cette même tâche. Nous ne savons toutefois pas si ceux qui utilisent davantage les yeux dans la reconnaissance des expressions faciales sont également ceux qui utilisent le plus cette région en identification de visages. Les données récentes de notre laboratoire qui montrent un déficit clair dans l'extraction de la région des yeux chez une patiente prosopagnosique (PS) en reconnaissance de visages et d'expressions faciales justifient selon nous l'importance de pousser l'investigation de cette problématique avec une population d'adultes sains. C'est l'objectif principal de cet essai de vérifier la possibilité que ces deux tâches soient liées par des mécanismes perceptifs communs. Notre second objectif est d'examiner la nature de ces mécanismes, dans le cas où ces tâches seraient liées. Notre hypothèse est qu'un lien significatif sera retrouvé entre l'efficacité d'une personne à extraire les yeux dans une tâche d'identification de visages et son efficacité à extraire les yeux en reconnaissance d'expressions faciales. Nous supposons que ce lien sera particulièrement clair pour le traitement des yeux pour la peur (comme pour PS; Fiset et al., 2017) et la colère, où la région des yeux serait davantage utile (Smith et al., 2005; Smith & Merlusca, 2014).

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

Afin de vérifier l'hypothèse d'un lien entre les mécanismes perceptifs impliqués dans les tâches d'identification de visages et de reconnaissance d'expressions faciales, nous proposons d'évaluer l'extraction des traits faciaux ainsi que l'habileté dans ces deux tâches visuelles chez des participants adultes en bonne santé neurologique et psychologique, au moyen d'un paradigme de différences individuelles.

2.1 Participants et recrutement

L'échantillon comporte soixante-sept participants (31 femmes), âgés de 18 à 36 ans ($M = 21.91$ et $\acute{E}.T. = 3.71$), ayant réalisé toutes les tâches de l'étude. Afin de limiter les facteurs pouvant influencer nos résultats, les participants devaient être caucasiens², droitiers et exempts de troubles neurologiques, lésion cérébrale ou troubles psychiatriques diagnostiqués. Tous les participants avaient une vision normale ou corrigée tel que préalablement validé par l'Échelle d'acuité de Snellen (Snellen, 1862) et le Tableau de sensibilité au contraste de Pelli-Robson (Pelli et al., 1988). Les participants étaient majoritairement des étudiants de l'Université du Québec en Outaouais et du Cégep de l'Outaouais. Une compensation financière de 12 dollars par heure d'expérimentation était remise aux sujets pour leur temps et déplacements. Le projet détient un certificat d'approbation éthique du Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec en Outaouais et a reçu l'appui financier du CRSNG. Le consentement libre et éclairé des participants a été maintenu tout au long de leur participation.

² Afin d'éliminer l'impact possible de l'ethnie dans le traitement des visages (voir p. ex. Blais et al., 2008; Elfenbein & Ambady, 2002; Hugenberg et al., 2010).

Le nombre de participants a été sélectionné en vue d'inclure une large étendue de différences individuelles aux performances des tâches et en se basant sur des études similaires (voir notamment Royer et al., 2018).

2.2 Procédure générale et mesures

Les participants potentiels étaient préalablement dépistés puis rencontrés au laboratoire s'ils répondaient aux critères de sélection. Leur participation débutait par un questionnaire sociodémographique et deux tests de vision puis, si aucun critère d'exclusion n'était rencontré, se poursuivait avec les tâches expérimentales à l'ordinateur. Les deux tâches expérimentales consistent en une tâche de reconnaissance d'expressions faciales suivie d'une tâche d'identification de visages, permettant d'évaluer l'extraction des traits faciaux avec la méthode des bulles (voir Section 2.5). Les tâches ont été effectuées dans le même ordre pour tous les participants³. Il est à noter que les participants prenaient également part à d'autres tâches dans le cadre d'une collecte de données plus large pour d'autres études et qu'ils étaient déjà familiers avec les stimuli utilisés dans les tâches de bulles. La durée totale de la participation était d'environ huit heures d'expérimentation, réparties en trois à quatre rencontres. Les participants recevaient la consigne de prendre des pauses au besoin et de s'arrêter lorsqu'ils ressentaient de la fatigue. Les tâches à l'ordinateur se faisaient dans une pièce sombre et fermée afin de minimiser les distractions. Toutes les expérimentations se déroulaient dans les locaux du Laboratoire de Perception Visuelle et Sociale de l'Université du Québec en Outaouais.

³ Nous avons préféré respecter le même ordre des tâches afin que les participants aient tous la même expérience avec la méthodologie et que les différences qui émergent entre les participants soient liées aux différences individuelles et non à d'autres facteurs.

2.3 Matériel

Les tâches expérimentales informatisées ont été programmées avec le logiciel Matlab (Natick, MA) à l'aide des fonctions de la boîte à outils *Psychophysics Toolbox* (Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007; Pelli, 1997). Les tâches étaient menées sur des ordinateurs MacPro QuadCore avec un écran Samsung LCD de 22 pouces configuré à une résolution de 1680 x 1050 pixels et un taux de rafraîchissement de 120 Hz. Une mentonnière était utilisée afin de maintenir une distance fixe entre les yeux des participants et l'écran d'ordinateur.

2.4 Questionnaire et échelles visuelles

Quelques données sur les participants sont récoltées et examinées préalablement à l'expérimentation par le biais d'un questionnaire sociodémographique et de deux tests de vision visant à assurer que les performances ne découlent pas de difficultés visuelles de bas niveau.

2.4.1 Questionnaire sociodémographique

Un formulaire de renseignements personnels est rempli par les participants. Des questions démographiques (p. ex. âge, sexe, ethnie) ainsi que sur l'état de santé physique et psychologique y sont posées afin de définir l'échantillon et de valider que les participants satisfont aux critères de sélection.

2.4.2 Échelle d'acuité de Snellen

L'Échelle d'acuité de Snellen (Snellen, 1862) évalue la netteté de la vision de loin. Il s'agit de noter la plus petite rangée de lettres qu'un participant peut lire, séparément pour l'œil gauche et l'œil droit, en étant placé à une distance fixe d'un tableau comportant des lettres de

différentes tailles. Les participants doivent avoir une acuité visuelle supérieure à 10/15 (Harvard Health Publishing, 2019). Le test d'acuité ainsi que l'expérimentation se font avec la correction de la vue si le participant en porte (c.-à-d. lunettes, lentilles cornéennes).

2.4.3 Tableau de sensibilité au contraste de Pelli-Robson

Le Tableau de sensibilité au contraste de Pelli-Robson (Pelli et al., 1988) mesure le seuil minimal de contraste perçu par un participant. Des séquences de trois lettres dont le niveau de contraste décroît progressivement sont lus par le participant jusqu'à la séquence de plus faible contraste où au moins deux lettres sont rapportées correctement. Un score de 13 ou plus est requis pour notre étude.

2.5 Tâches expérimentales d'extraction des traits faciaux

La méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001) est utilisée dans une tâche d'identification de visages et dans une tâche de catégorisation d'expressions faciales pour déterminer les stratégies visuelles d'extraction des traits faciaux de nos participants ainsi que leur habileté.

2.5.1 Méthode des bulles

Tel qu'évoqué précédemment, la méthode des bulles permet d'identifier l'information utile pour faire une tâche sur un stimulus visuel en échantillonnant aléatoirement les dimensions d'intérêt du stimulus et en vérifiant l'impact d'un tel échantillonnage sur la réponse du participant. Plus précisément, les stimuli présentés à chaque essai sont uniquement visibles à travers des ouvertures gaussiennes, appelées « bulles », disposées aléatoirement sur un fond gris

moyen superposé à l'image, appelé « masque de bulles ». L'hypothèse sous-jacente à la méthode des bulles est que, dans le cas d'un essai réussi, les bulles présentes contenaient l'information nécessaire à l'identification du stimulus, alors que, dans le cas d'un essai non réussi, les bulles ne contenaient pas l'information nécessaire.

Dans la présente étude, les stimuli de visages sont échantillonnés sur le plan des dimensions spatiales (c.-à-d. hauteur et largeur) et de la dimension des fréquences spatiales, dans deux tâches distinctes, soit en identification de visages et en catégorisation d'expressions faciales (selon la procédure décrite aux prochaines sections). Ainsi, les participants doivent reconnaître l'identité et catégoriser l'expression faciale de visages partiellement révélés à l'aide de bulles. À chaque essai, différents sous-ensembles aléatoires des pixels de l'image sont présentés de sorte que différentes régions du visage dans différentes bandes de fréquences spatiales sont visibles. De cette façon, un même stimulus de visage est présenté en plusieurs variations selon l'information disponible. Avec suffisamment d'essais, on s'attend à ce que toutes les parties d'un stimulus soient tantôt révélées tantôt cachées permettant de quantifier le lien entre la performance du participant et la présence ou absence de chaque pixel. Par conséquent, il est possible d'inférer avec précision quelle information est nécessaire ou utilisée de manière efficace pour réussir une tâche donnée. Il est à noter que la quantité d'information révélée, soit le nombre de bulles, est adaptée à la performance de chaque participant constituant ainsi un indice de son habileté à la tâche (voir p. ex. Royer et al., 2015; voir Section 2.5.3 pour plus de détails). En d'autres mots, plus un participant est performant, moins d'information visuelle lui est présentée, et vice versa.

La méthode des bulles a été maintes fois validée au fil des études précédentes. Au niveau de sa fidélité, Royer et ses collaborateurs (2015) ont obtenu une très forte corrélation entre le nombre de bulles présenté environ à la moitié de la tâche (840^e essai) et au dernier essai (1800^e essai; $r = .95, p < .0001$; voir Section 2.5.3 du présent essai portant sur l'ajustement automatique du nombre de bulles à la performance). Ce résultat permet de traduire que le nombre de bulles déterminé par l'algorithme pour un participant donné est représentatif de la quantité d'information nécessaire à ce participant pour atteindre un certain niveau de performance. En effet, cette corrélation prédit soit que le nombre de bulles demeure stable ou évolue de la même façon pour tous les participants (c.-à-d. que l'incidence sur la performance de la fatigue ou de l'entraînement à la tâche, par exemple, ne varierait pas différemment d'un participant à l'autre). De plus, une excellente reproductibilité des résultats obtenus par le biais de la méthode des bulles est observée à travers les études.

En ce qui concerne la validité, Royer et ses collaborateurs (2015; 2018) ont montré que ni la performance ni les stratégies visuelles utilisées dans leurs tâches de reconnaissance de visages ne pouvaient être attribuables à l'habileté en reconnaissance d'objets. Les différences individuelles en reconnaissance d'objets n'étaient d'ailleurs corrélées à l'utilisation d'aucune région faciale ou information visuelle spécifique. Ces résultats mettent en évidence que les processus mesurés sont effectivement dédiés à la reconnaissance de visages, se distinguant en majeure partie de processus plus généraux d'habileté visuelle. D'autre part, une forte association négative observée entre l'habileté à traiter l'identité des visages complets et la quantité d'information nécessaire dans la tâche de bulles (Royer et al., 2015) nous renseigne sur la validité écologique des tâches employant la méthode des bulles, du moins en ce qui concerne la

reconnaissance d'identité⁴. La méthode des bulles ne semble donc pas altérer les stratégies naturelles de reconnaissance visuelle employées avec des visages complets. Des études ont finalement rapporté que la procédure d'analyse des données de la méthode n'a pas pu induire de biais dans les résultats (Blais et al., 2012b; Royer et al., 2018).

À la lumière de ce qui précède, il est donc clair que la méthode des bulles possède d'excellentes qualités psychométriques, ce qui la rend particulièrement adaptée pour notre paradigme de différences individuelles. Dans les sections qui suivent, nous allons décrire la façon dont les stimuli sont créés avec la méthode des bulles pour enfin présenter nos tâches expérimentales.

2.5.2 Création des stimuli

Les stimuli présentés aux sujets pour la tâche expérimentale sont des photographies de visages en nuances de gris révélées partiellement à l'aide de la méthode des bulles. La création des stimuli se fait en deux étapes. Elle consiste en premier lieu à la préparation d'images de visages afin de les adapter uniformément aux besoins de la tâche. Ces images sont arrangées à partir de photographies préalablement standardisées selon plusieurs paramètres. Des visages expressifs (soit de colère, de dégoût, de peur et de joie) sont utilisés pour la condition « expression » et des visages neutres de plusieurs identités constituent les stimuli pour la condition « identité ». En deuxième lieu, un masque de bulles est généré à chaque essai et

⁴ Ce résultat adresse d'ailleurs une critique qui avait été formulée à l'égard de la méthode des bulles (Rossion, 2008) soulevant la possibilité que cette méthode puisse artificiellement encourager un traitement local et analytique par la présentation répétée d'un nombre limité de stimuli visuellement dégradés. Le fait que l'habileté avec des visages complets dans des tâches classiques du domaine corrèle avec l'habileté avec les stimuli de la tâche de bulles contredit l'idée que ces tâches impliquent des mécanismes distincts et que les résultats puissent s'expliquer par une stratégie purement centrée sur la comparaison visuelle d'images.

superposé à l'image de visage présentée de manière à dévoiler seules certaines régions du stimulus à travers les bulles positionnées aléatoirement. Ces deux étapes sont détaillées dans les sections qui suivent.

2.5.2.1 Préparation des images

Les images originales sélectionnées pour la création des stimuli proviennent de la base de données validée STOIC (Roy et al., 2007) pour la condition « expression » et de la banque de photographies de visages rassemblées pour l'étude de Lebrecht et ses collaborateurs (2009) pour la condition « identité ». Un total de cent visages masculins caucasiens d'identités distinctes est utilisé dans la tâche de reconnaissance d'identité. Les visages sont posés de face et affichent une expression neutre. Pour la tâche de catégorisation d'expressions, les stimuli sont composés des visages, posés de face, de dix acteurs (cinq femmes) exprimant chacun quatre émotions de base soit la colère, le dégoût, la peur et la joie.

Les images de base sont d'abord manipulées (en effectuant des translations, rotations et mises à l'échelle) afin que les principaux traits faciaux (c.-à-d. les yeux, le nez et la bouche) soient alignés spatialement pour tous les stimuli, sans néanmoins modifier les proportions et distances relatives des traits de chaque visage. Les irrégularités apparentes de la peau (p. ex. boutons, grains de beauté, taches pigmentaires) sont retouchées afin d'éviter que celles-ci permettent artificiellement de discriminer un visage étant donné la banque de stimuli restreinte avec un nombre limité d'identités. La luminance ainsi que le spectre de fréquences spatiales sont égalisés entre les stimuli à l'aide de la boîte à outils SHINE (Willenbockel et al., 2010b). Une ellipse de taille unique est finalement appliquée à chaque image pour cacher les attributs extra-

faciaux, soit les oreilles, les cheveux et le contour naturel du visage. Les images sont en tons de gris avec un arrière-plan gris moyen et contiennent 256 par 256 pixels.

2.5.2.2 Génération des masques de bulles

Les images décrites précédemment ne sont que partiellement révélées à travers un masque sur la surface duquel sont disposés aléatoirement un nombre déterminé de trous (ouvertures gaussiennes appelées bulles) à chaque essai. Pour créer les masques de bulles, l'image est d'abord décomposée en cinq bandes de fréquences spatiales (128–64, 64–32, 32–16, 16–8, 8–4 cycles par image, ou 84.35–42.18, 42.18–21.09, 21.09–10.54, 10.54–5.27, 5.27–2.64 cycles par visage; les basses fréquences restantes servant d'arrière-plan constant) pour lesquelles le système visuel serait sélectivement sensible (De Valois & De Valois, 1990; Ivry & Robertson, 1998) en utilisant la pyramide Laplacienne (Burt & Adelson, 1983). Les hautes fréquences spatiales contiennent l'information locale, dense, contrastée et de l'ordre du détail fin, alors que les basses transmettent l'information grossière et globale. Cinq nouvelles images du visage sont ainsi obtenues dans des fréquences spatiales distinctes (voir Figure 10, rangée supérieure). Pour chacune de ces images, un masque de bulles est généré aléatoirement (voir Figure 10, rangée du milieu) de sorte qu'à chaque essai l'emplacement des bulles varie non seulement sur le plan des dimensions spatiales, mais aussi entre les différentes bandes de fréquences spatiales. La taille et la quantité de bulles présentées sont ajustées pour chaque bande de façon à montrer trois cycles par bulle ainsi qu'un nombre de pixels constant entre les bandes, afin que l'information révélée soit équivalente en moyenne pour chaque bande. Les masques ainsi créés sont donc appliqués à l'image de leur bande respective, par une multiplication point par point, filtrant l'information visuelle disponible à travers les bulles. Les images « bullées » des cinq bandes sont enfin

recombinées en une seule image constituant le stimulus final présenté dans les tâches (voir Figure 10, rangée inférieure).

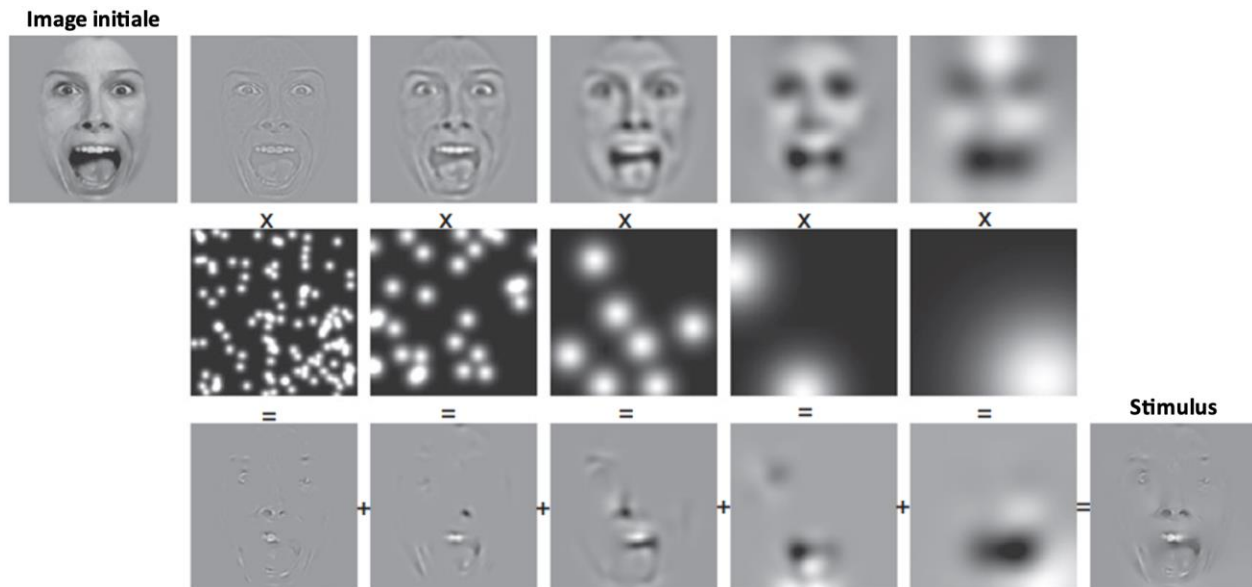


Figure 10. Illustration des étapes de création d'un stimulus avec la méthode des bulles. L'image initiale est décomposée en cinq bandes de fréquences spatiales (rangée supérieure). Un masque, sur la surface duquel sont positionnées aléatoirement un certain nombre de bulles, est généré pour chaque bande (rangée du milieu). Chaque masque est appliqué à l'image décomposée de même bande filtrant l'information visible à travers les bulles (rangée inférieure), puis les cinq bandes sont recombinaées pour créer le stimulus final. Le stimulus illustré correspond à un exemple de stimulus pouvant être présenté à un essai donné de la condition « expression ». Image tirée de Blais et al. (2012b).

2.5.3 Manipulations expérimentales

Le programme expérimental est conçu pour s'adapter à la performance de façon à maintenir un taux de bonnes réponses constant en ajustant la quantité d'information (c.-à-d. le nombre de bulles) révélée à chaque essai à l'aide de l'algorithme QUEST (Watson & Pelli, 1983). Ainsi, les meilleurs à la tâche voient les visages à travers un nombre plus restreint de bulles, alors qu'au contraire, les moins bons voient les visages à travers davantage de bulles (voir Figure 11). La performance visée se situe à mi-chemin entre la performance parfaite et le hasard.

Cet ajustement automatique à la performance comporte deux avantages, soit d'éviter les performances plafond ou plancher tout en optimisant l'efficacité de la méthode à détecter les régions nécessaires aux participants pour réaliser la tâche, et également de fournir une mesure sur la quantité d'information nécessaire à chaque participant pour réussir la tâche.

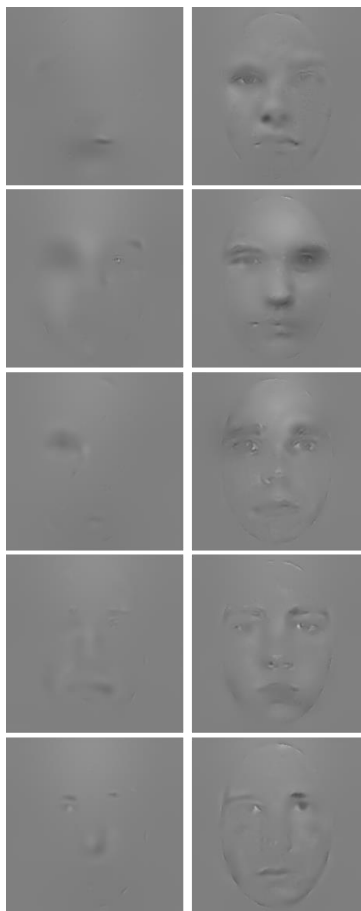


Figure 11. Exemples de stimuli illustrant la différence entre la quantité d'information requise par un des participants de notre échantillon nécessitant le moins de bulles (32 bulles), à gauche, et le plus de bulles (182 bulles), à droite, pour la tâche de bulles d'identité.

2.5.4 Conditions expérimentales

Pour comparer l'extraction des traits faciaux ainsi que l'habileté en reconnaissance de visages et d'expressions faciales, les participants ont pris part à deux tâches distinctes avec la méthode des bulles.

2.5.4.1 Reconnaissance des expressions faciales d'émotions

Dans la tâche de reconnaissance d'expressions faciales, les participants doivent catégoriser l'expression du stimulus présenté au centre de l'écran, tiré aléatoirement de la banque d'images de visages expressifs à chaque essai. Le stimulus demeure affiché jusqu'à l'émission d'une réponse au moyen des touches désignées du clavier d'ordinateur parmi quatre choix de réponses (colère, dégoût, peur et joie⁵). Cette décision a été prise afin de ne pas pénaliser un participant pour sa vitesse de traitement et de minimiser les erreurs d'inattention. Des résultats similaires ont par ailleurs été obtenus avec des durées de présentation limitées et illimitées dans des tâches employant la méthode des bulles (voir p. ex. Blais et al., 2012b; Gosselin & Schyns, 2001). La performance individuelle est maintenue à 62.5 % (à mi-chemin entre une performance parfaite – 100 % – et aléatoire – 25 %), en ajustant le nombre de bulles en fonction de la performance globale et non par expression pour éviter que la quantité de bulles puisse constituer un indice en soi. Un total de 2 040 essais répartis en 17 blocs de 120 essais sont effectués pour une durée d'environ trois heures par participant. Les participants sont maintenus à une distance fixe de l'écran à l'aide d'une mentonnière afin que les stimuli soient perçus à 5.6 degrés d'angle visuel (pour la largeur du visage).

⁵ Le choix des expressions s'est arrêté sur quatre des six expressions de base (joie, tristesse, dégoût, colère, surprise et peur; Ekman, 1972), dont deux pour lesquelles la région des yeux est la plus diagnostique, soit la colère et la peur, et deux pour lesquelles la région de la bouche est la plus diagnostique, soit le dégoût et la joie, basé sur d'autres études (voir Smith et al., 2005).

2.5.4.2 Identification de visages

La tâche d'identification de visages consiste à présenter un visage cible non bullé au centre de l'écran pendant 500 ms (voir Royer et al., 2015 pour une durée d'exposition et une procédure similaire), qui doit être subséquemment reconnu parmi deux visages bullés à gauche et à droite de l'écran. La plage de bulles est la même pour les deux visages. Les visages cibles et distracteurs sont tirés aléatoirement de la banque d'identités et demeurent affichés jusqu'à l'émission d'une réponse au moyen des touches désignées du clavier d'ordinateur pour indiquer lequel entre le visage de gauche ou de droite correspond au visage cible. La performance individuelle est maintenue à 75 % (à mi-chemin entre une performance parfaite – 100 % – et aléatoire – 50 %), en ajustant le nombre de bulles en fonction de la performance. Un total de 1 000 essais répartis en 10 blocs de 100 essais sont effectués pour une durée d'environ une heure par participant. La taille des stimuli correspond à 5.6 degrés d'angle visuel.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

La première partie des analyses (Section 3.2) sera menée dans le but de valider que les résultats de nos participants correspondent à ceux obtenus dans la littérature. Cette partie se divisera en deux étapes. D'abord, nous allons observer les stratégies visuelles⁶ utilisées en moyenne par notre groupe de participants pour reconnaître un visage ainsi que les expressions faciales d'émotions (Section 3.2.1). Puis, nous allons évaluer les stratégies visuelles associées aux meilleurs pour une tâche donnée, séparément pour les tâches « identité » et « expression » (Section 3.2.2). Ces étapes permettront, d'une part, de s'assurer de la qualité de nos données et, d'autre part, d'aider l'interprétation des résultats de la seconde partie des analyses.

La deuxième partie des analyses (Section 3.3) consiste à répondre à l'objectif principal de cet essai, soit d'établir s'il existe un lien entre les processus impliqués en reconnaissance de visages et en catégorisation d'expressions faciales. Cette partie des analyses se fera également en deux temps. Dans un premier temps (Section 3.3.1), la performance des participants aux deux tâches sera comparée afin de vérifier si le fait d'être bon dans une tâche prédit une plus grande habileté dans l'autre tâche et inversement. Enfin, dans un deuxième temps (Section 3.3.2), nous allons explorer la possibilité d'un lien entre les stratégies perceptives dans les deux tâches (c.-à-d. si les deux tâches partagent des stratégies perceptives communes). Nous allons tirer parti des différences individuelles afin de déterminer s'il existe des variations systématiques des stratégies utilisées dans une tâche en fonction de l'habileté individuelle dans l'autre tâche. La présence de

⁶ On entend par stratégie visuelle les régions faciales ayant significativement menées à une catégorisation adéquate de l'identité ou de l'expression faciale.

telles variations systématiques nous renseignera sur le possible partage de mécanismes de traitement cognitif entre les tâches.

Avant toute chose, il convient de décrire dans la section suivante (Section 3.1) la procédure d'analyse permettant d'identifier les stratégies d'extraction visuelle employées par nos participants.

3.1 Création des images de classification individuelles

Une analyse de régression linéaire multiple est effectuée afin de faire ressortir, pour chaque participant, le lien entre les masques de bulles présentés à chaque essai (c.-à-d. l'information visuelle disponible) et la performance (réussite ou échec). Le plan de coefficients de régression généré par cette analyse se nomme « image de classification » et représente la corrélation entre l'exactitude des réponses et chaque pixel (un pixel donné correspondant à la somme du même pixel sur toutes les images de l'ensemble des essais). La même procédure est réalisée indépendamment pour les essais de chacune des tâches (identité et expression) et pour chaque expression faciale de la tâche « expression ». Ainsi, des images de classification sont générées pour chaque participant, dépeignant leurs stratégies visuelles d'extraction de l'information pour reconnaître l'identité d'un visage, l'expression faciale de colère, de dégoût, de peur et de joie, ainsi que pour discriminer les quatre expressions faciales d'émotions entre elles. Une image de classification est aussi obtenue pour chaque bande de fréquences spatiales ainsi que pour les cinq bandes combinées, selon les procédures décrites ci-après, permettant de déterminer l'information faciale utilisée non seulement sur le plan des dimensions spatiales (c.-à-d. hauteur et largeur), mais également des fréquences spatiales.

La procédure pour constituer les images de classification de chaque bande de fréquences spatiales se déroule en cinq étapes. Ces étapes sont réalisées indépendamment pour les cinq bandes. Une procédure légèrement différente combinant les cinq bandes est décrite plus loin dans le texte. La première étape consiste à reprendre la position de chaque bulle qui était présente par essai en attribuant la valeur de 1 au pixel central de chacune (tous les autres pixels étant à une valeur de 0). Lors de la deuxième étape, chaque pixel est ensuite converti en sa valeur standardisée (score Z) par rapport aux pixels de l'essai. En troisième étape, une somme pondérée de tous les essais est calculée avec le vecteur de réponses des essais transformé en scores Z comme pondération. En quatrième étape, une convolution avec une fenêtre gaussienne de la taille des bulles de la bande de fréquences spatiales est appliquée au résultat de l'étape précédente, afin de rétablir la distribution gaussienne autour du centre des bulles tel que lors de l'expérimentation. En dernière étape, la matrice obtenue est à nouveau transformée en valeurs de scores Z en utilisant la moyenne et l'écart-type attendus selon l'hypothèse nulle, c'est-à-dire l'image de classification qui serait obtenue si les réponses étaient aléatoires. Plus spécifiquement, la matrice de l'hypothèse nulle est construite en répétant les quatre premières étapes, mais en randomisant le vecteur de réponses. En bref, la création des images de classification consiste donc à comptabiliser tous les essais réussis en donnant un poids positif aux pixels où des bulles étaient présentes et négatif aux pixels absents (c.-à-d. cachés par le masque) et inversement pour les essais non réussis (dont on assume que l'information nécessaire à la tâche était cachée).

Tel que mentionné plus tôt, une image de classification est aussi générée pour la combinaison des cinq bandes comme un seul plan à deux dimensions (c.-à-d. dans le plan de l'image), de manière à éliminer l'influence des fréquences spatiales. Cette analyse est conduite de

façon très similaire à celle pour chaque bande, à la différence que les plans des cinq bandes sont additionnés à la suite de la deuxième étape (voir au paragraphe précédent) pour former un seul plan et que la convolution est appliquée avec une gaussienne de taille moyenne (correspondant à la bulle de la troisième bande de fréquences spatiales; voir Blais et al., 2012b pour une procédure similaire).

Le résultat des analyses décrites dans cette section permet ainsi l'obtention des images de classification individuelles des participants pour chacune des tâches. Ces images de classification serviront aux analyses de groupe ultérieures.

3.2 Validation des résultats avec ceux de la littérature

Nous allons révéler, à partir des images de classification individuelles créées précédemment, l'information faciale utilisée, soit en moyenne par notre échantillon de participants, soit en fonction de l'habileté individuelle, pour accomplir les différentes tâches de catégorisations de visages. Ces résultats seront comparés à ceux rapportés dans des études antérieures.

3.2.1 Stratégies visuelles utilisées en moyenne

Afin de mettre en lumière les stratégies perceptives utilisées en moyenne par nos participants (en termes de régions du visage et de fréquences spatiales) pour accomplir les tâches expérimentales de bulles et ainsi vérifier si celles-ci se comparent aux résultats d'études précédentes, les images de classification individuelles de tous les participants ont été mises en commun. Pour se faire, les images de classification des sujets sont additionnées pour chacune des

tâches puis la somme est normalisée en divisant par la racine carrée du nombre de termes (soit le nombre de sujets). Un seuil de signification est défini par bande en utilisant le *Pixel test* (Chauvin et al., 2005) permettant une correction pour les comparaisons multiples plus appropriée que la correction standard de Bonferroni dans un contexte où les observations ne sont pas indépendantes étant donné la structure corrélée des images de classification. L'information faciale significativement utilisée dans les tâches par notre échantillon de participants est représentée par les pixels colorés (selon l'échelle de couleurs associée aux scores Z) de la Figure 12 (critère de signification des scores Z [Z_{crit}] = 4.90; 4.60; 4.30; 3.99; 3.70, en ordre de bandes de fréquences spatiales élevées à faibles; $p < .001$), ces régions statistiquement corrélées à l'exactitude des réponses sont donc considérées comme étant diagnostiques (c.-à-d. utiles à la tâche).

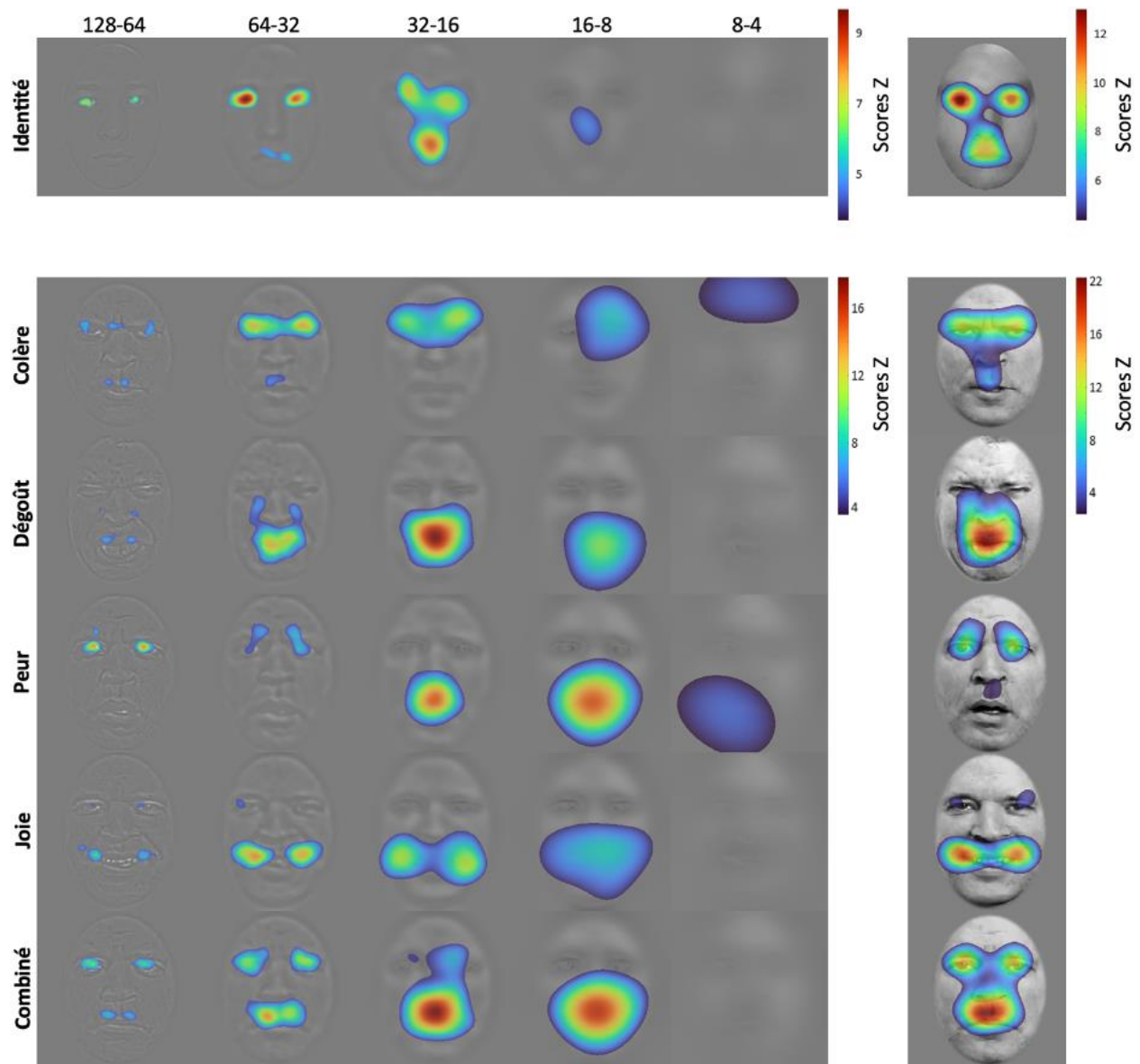


Figure 12. Information visuelle significativement corrélée à l'exactitude des réponses pour le groupe de participants, soit par bande de fréquences spatiales à gauche et pour l'ensemble du spectre de fréquences (c.-à-d. la combinaison des cinq bandes) à droite. Les pixels significatifs des images de classification ($p < .001$) sont colorés en fonction de leur score Z (voir la légende associée à chaque quadrant) et superposé à un visage de l'étude (sauf le visage de la dernière rangée utilisé seulement pour illustrer la combinaison des expressions). Les visages filtrés par bande ont été assombris pour rendre plus visibles les régions colorées. Le nombre de cycles par image de chaque bande de fréquences spatiales est inscrit au-dessus de sa colonne respective.

L'inspection visuelle des images de classification de groupe pour la tâche d'identité obtenues à la Figure 12 nous permet de constater des résultats très similaires à ceux de Royer et ses collaborateurs (2018; voir aussi Butler et al., 2010; Caldara et al., 2005; Gosselin & Schyns, 2001; Schyns et al., 2002; Vinette et al., 2004). En effet, la région des yeux est hautement significative suivie de la bouche et les yeux sont surtout utiles dans les hautes fréquences spatiales alors que la bouche est légèrement décalée vers les moyennes fréquences. Il est intéressant de noter cette similarité malgré la nature différente de la tâche, impliquant la reconnaissance de l'identité d'un visage parmi dix visages récemment appris en mémoire à long terme dans la tâche de Royer et ses collaborateurs, comparativement à la reconnaissance immédiate d'un visage cible entre deux visages dans la présente étude. Les sourcils, le nez et la région située entre le nez et la bouche sont utilisés à moindre échelle de façon potentiellement légèrement plus étendue dans notre étude possiblement en raison de la tâche qui aurait pu augmenter la signification de certains détails des visages (reconnus immédiatement après la présentation), ajoutant un peu de bruit à nos données, mais de façon tout de même négligeable. Tel que relevé dans la littérature, peu ou pas d'information sur l'identité des visages est contenue dans les basses fréquences spatiales (p. ex. Costen et al., 1994; 1996; Gold et al., 1999; Näsänen, 1999; Royer et al., 2017; Willenbockel et al., 2010a).

Les données répliquent également les résultats d'autres études en ce qui a trait aux régions du visage utilisées en moyenne pour discriminer les expressions faciales d'émotions (Blais et al., 2012b; Smith et al., 2005; voir aussi Bassili, 1979; Hanawalt, 1944; Nusseck et al., 2008; Plutchik, 1962; Smith & Merlusca, 2014), tel qu'observé à la Figure 12. Globalement, tel qu'attendu selon Smith et ses collaborateurs (2005), la région des yeux (incluant les sourcils et

les plis du front entre les sourcils) apparaît prédominante pour catégoriser adéquatement l'expression de colère, alors que la région de la bouche est particulièrement diagnostique pour reconnaître le dégoût (s'étendant au nez et aux plis nasogéniens) et la joie. Pour ce qui est de la peur, l'utilisation de la région des yeux est privilégiée lorsque les bandes de fréquences spatiales sont combinées, bien qu'une distinction claire de l'extraction des traits faciaux en fonction des fréquences spatiales puisse être observée dans notre étude. Alors que les yeux sont utilisés en hautes fréquences spatiales, la bouche est traitée de façon hautement significative dans les moyennes et basses fréquences spatiales (les résultats par bande n'étaient pas proprement présentés dans l'article de Smith et al., 2005, voir toutefois Fiset et al., 2017 pour des résultats très similaires). Il est proposé dans une étude antérieure que l'utilisation de la région de la bouche pour la reconnaissance de la peur serait plus dépendante du contexte de la tâche (c.-à-d. les autres catégories d'expressions faciales parmi lesquelles la peur doit être discriminée), alors que l'utilisation de la région des yeux serait plus stable et donc possiblement plus fiable (Smith & Merlusca, 2014). Finalement, la région faciale la plus importante pour le groupe pour différencier les quatre expressions de l'étude entre elles est la bouche suivie des yeux (voir Figure 12, dernière rangée; voir Blais et al., 2012b pour des résultats similaires avec les bandes combinées). Encore une fois, ces résultats semblent assez robustes d'une étude à l'autre malgré certaines différences méthodologiques (p. ex. la banque de stimuli, les catégories d'expressions faciales incluses, l'ajustement de la performance pour chaque catégorie d'expressions faciales ou pour l'ensemble des expressions, la durée de présentation des stimuli).

3.2.2 Stratégies visuelles associées à l'habileté individuelle

Comme il est reconnu que les stratégies visuelles d'extraction de l'information des visages varient entre les individus, nous allons vérifier l'information faciale associée à la meilleure performance dans les tâches. Pour déterminer les stratégies visuelles significativement utilisées par les meilleurs⁷ pour réaliser les différentes tâches de traitement facial, les images de classification individuelles sont cette fois-ci regroupées en une image de classification pondérée en fonction de l'habileté des participants, soit en identification, soit en catégorisation d'expressions faciales. En se basant sur la quantité d'information visuelle (c.-à-d. le nombre de bulles) nécessaire pour réussir la tâche d'identité ou d'expressions comme indicateur de l'habileté⁸, chaque image de classification individuelle est multipliée par le score Z du rang de l'habileté du participant. Ainsi, les participants se situant au-dessus de la moyenne obtiendront un poids positif dans l'image pondérée, alors que les participants en-dessous de la moyenne auront un poids négatif. Les images individuelles résultantes sont reconverties en valeurs de scores Z en utilisant la moyenne et l'écart-type des pixels de l'arrière-plan, ne contenant donc aucune information faciale, pour représenter l'hypothèse nulle (voir Blais et al., 2012b et Royer et al., 2016; 2018 pour une procédure similaire). Les images sont enfin additionnées et le résultat est normalisé en divisant chaque pixel par la racine carrée du nombre de participants, constituant l'image de classification pondérée finale. Une telle image est créée pour chaque tâche et expression faciale. Le *Pixel test* est appliqué aux images de classification pondérées afin de ne retenir seules les valeurs de pixels au-delà du seuil de signification statistique ($Z_{\text{crit}} = 3.97; 3.59$;

⁷ Par souci d'alléger le texte, l'expression « les meilleurs » sera employée pour désigner le niveau d'habileté dans les tâches expérimentales de bulles des participants ayant le mieux performé.

⁸ Cette mesure s'est révélée être un bon prédicteur de l'habileté en traitement facial de l'identité (Royer et al., 2015). Ce lien entre le nombre de bulles et l'habileté n'a toutefois pas été investigué en reconnaissance d'expressions faciales (mais voir Blais et al., 2012a pour une décision similaire quant à l'utilisation du nombre de bulles comme mesure de l'habileté en expressions).

3.19; 2.76; 2.37, en ordre de bandes de fréquences spatiales élevées à faibles; $p < .05$). Ainsi, les régions en couleurs des images des Figures 13 et 14 représentent les régions du visage significativement associées à l'habileté de reconnaissance de visages ou d'expressions faciales, respectivement, des meilleurs en comparaison aux moins habiles. Pour cette analyse, nous avons choisi de présenter uniquement les images combinant les cinq bandes de fréquences spatiales comme les images filtrées par bande contenaient peu d'information additionnelle (voir Royer et al., 2018 pour une décision similaire). De plus, c'est le traitement des traits faciaux, plutôt que l'analyse détaillée du traitement visuel par bande de fréquences spatiales, qui nous intéresse afin de répondre à notre questionnement de recherche.

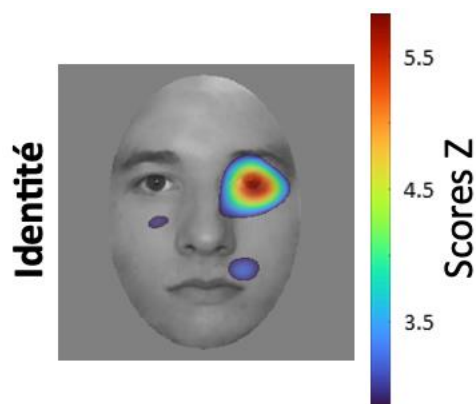


Figure 13. Information visuelle significativement liée à l'habileté en identité, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d'identité comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'identité par les meilleurs en identité.

Nous allons d'abord examiner les stratégies perceptives des participants qui ont le mieux performé dans la tâche de bulles d'identité pour accomplir cette même tâche et si le résultat se compare à celui obtenu par Royer et ses collaborateurs (2018). Tel que représenté à la Figure 13, les plus habiles en reconnaissance de visages utilisent la région des yeux de façon hautement

significative. Ce résultat réplique effectivement les données de Royer et ses collaborateurs à la différence que seulement l'œil droit⁹ est ressorti significatif dans notre étude ($Z_{\text{max œil droit}} = 5.739$, $p < .001$; $Z_{\text{max œil gauche}} = 1.959$, *ns*). La nature différente de la tâche pourrait expliquer ce résultat¹⁰. Il est intéressant de noter que la relation trouvée par Royer et ses collaborateurs entre l'habileté de reconnaissance de visages et l'utilisation de la région des yeux est répliquée ici avec le nombre de bulles dans la tâche d'identité comme mesure d'habileté¹¹.

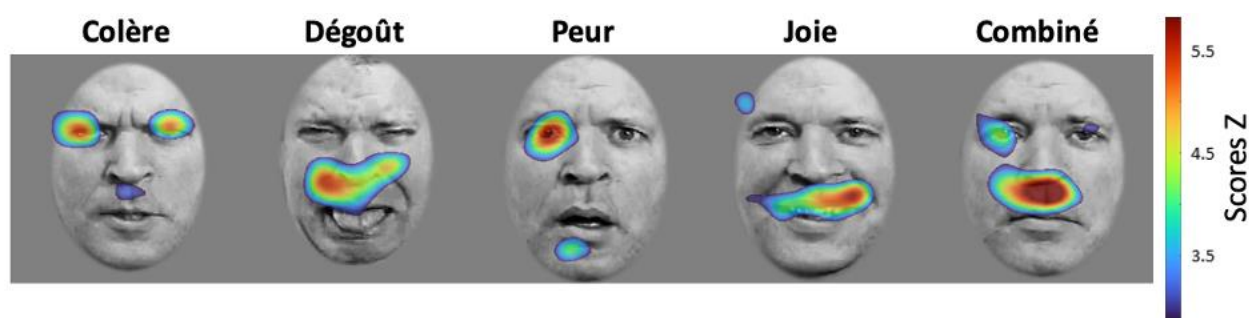


Figure 14. Information visuelle significativement liée à l'habileté en expressions, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d'expressions comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'expressions par les meilleurs en expressions.

Lorsqu'on examine l'information faciale utilisée par les meilleurs en catégorisation d'expressions faciales dans la tâche d'expressions (voir Figure 14), on constate une utilisation qualitativement comparable des traits faciaux diagnostiques utilisés par le groupe (voir

⁹ À noter que la position de l'œil réfère toujours à celle du point de vue de l'observateur dans le cadre de cet essai.

¹⁰ Un seul visage était présenté au centre de l'écran dans l'étude de Royer et ses collaborateurs (2018), alors que deux visages apparaissaient côte-à-côte dans notre étude. Ceci pourrait expliquer la différence dans l'utilisation de l'œil gauche étant donné que le point de fixation initial est déplacé par rapport aux visages.

¹¹ Royer et ses collaborateurs (2018) ont quantifié l'habileté de reconnaissance de visages au moyen d'un score composite constitué de trois tâches classiques du traitement de l'identité faciale, présentant des photographies de visages entiers : le Cambridge Face Memory Test + (CFMT+; Duchaine & Nakayama, 2006a; Russell et al., 2009), le Cambridge Face Perception Test (CFPT; Duchaine et al., 2007) et le Glasgow Face Matching Test version courte (GFMT; Burton et al., 2010).

Figure 12), à la différence que les meilleurs semblent accorder moins d'importance à la région entre les yeux pour reconnaître la colère et démontrer une spécialisation pour le traitement de l'œil gauche pour reconnaître la peur et discriminer les quatre expressions. De façon similaire aux résultats obtenus par Blais et ses collaborateurs (2012a), le traitement de l'œil gauche et de la bouche est positivement corrélé avec le niveau d'habileté en reconnaissance d'expressions faciales pour les expressions combinées (voir Figure 14, visage « Combiné »). Cependant, contrairement aux données de ces auteurs, l'utilisation de l'œil droit s'est aussi révélée significative dans notre étude. Plusieurs raisons peuvent potentiellement expliquer cette différence. Par exemple, le nombre plus élevé de participants dans notre échantillon a pu permettre à cette région d'atteindre la signification statistique ou les catégories d'expressions incluses dans notre étude ont pu augmenter l'importance de cette région.

Enfin, nous avons identifié les régions significativement corrélées à l'habileté en reconnaissance d'expressions faciales spécifiquement pour chaque expression faciale d'émotion (Figure 14), ce qui n'a pas été documenté dans la littérature à notre connaissance. Les plus habiles avec les expressions semblent utiliser la région des yeux de façon prédominante suivie de la bouche pour identifier la colère et la peur, la région de la bouche et principalement des plis nasogéniens pour reconnaître le dégoût et la région de la bouche pour reconnaître la joie.

En somme, cette première partie des analyses nous a permis de déterminer les régions faciales utilisées en moyenne ainsi que selon le niveau d'habileté pour identifier un visage et les expressions faciales d'émotions, en plus de valider que nos résultats corroborent ceux de la littérature. Le fait que nos données reproduisent de manière très similaire les données obtenues

avec des méthodologies différentes parle en faveur de la validité et du potentiel de généralisation de nos résultats. Nous avons vu que les yeux et la bouche sont utiles pour reconnaître l'identité d'un visage, mais que les meilleurs se démarquent surtout par leur efficacité à traiter la région des yeux ou plus précisément l'œil droit dans notre étude. En ce qui concerne les expressions faciales, la région des yeux est particulièrement diagnostique pour la reconnaissance de la colère et de la peur et les meilleurs tendent à en faire un usage plus optimal, ce qui s'applique également pour la région de la bouche pour le dégoût et la joie. Pour le total des expressions, la bouche et les yeux sont importants pour le groupe et les meilleurs semblent principalement favoriser la bouche et l'œil gauche.

3.3 Relation entre les processus impliqués en reconnaissance de visages et en catégorisation d'expressions faciales

Maintenant que nous avons validé que nos données répliquent celles de la littérature, nous pouvons nous concentrer sur le but central de cette étude, qui est de vérifier s'il existe un lien entre les mécanismes perceptifs en reconnaissance d'identité et d'expressions faciales d'émotions.

3.3.1 Comparaison de la performance aux tâches d'identité et d'expressions

La relation entre l'habileté des participants en reconnaissance de visages et en catégorisation d'expressions faciales (telle que mesurée dans ce projet, soit à l'aide du nombre de bulles nécessaire pour atteindre la performance cible) est d'abord examinée. Une forte corrélation positive est retrouvée entre la performance des participants aux deux tâches de bulles, mesurée à l'aide du rang du nombre de bulles moyen au dernier bloc de chaque tâche ($r_s(67) = 0.664$,

$p < .001$; voir Figure 15). La corrélation de Spearman est sélectionnée plutôt que la corrélation de Pearson pour deux raisons : minimiser la sensibilité aux cas extrêmes (en utilisant le rang plutôt que le score brut) et satisfaire aux postulats statistiques. En effet, trois cas extrêmes univariés et multivariés ($\chi^2_{\text{critique}} = 10.828, p < .001, dl = 1$) sont identifiés montrant un nombre anormalement élevé de bulles dans la tâche d'identité ($Z = 4.406$) ou dans la tâche d'expressions ($Z = 6.372$ et $Z = 3.818$); les distances de Mahalanobis pour les trois sujets sont respectivement de 24.546, 43.802 et 14.912. Au niveau des postulats statistiques, les variables avec les données brutes ne suivaient pas une distribution normale bivariée et présentaient visuellement de l'hétéroscédasticité. L'hétéroscédasticité dans la relation entre les deux variables (c.-à-d. le nombre de bulles d'identité et d'expressions) suggère une association plus forte chez les meilleurs qui s'affaiblit chez les moins habiles. À titre indicatif, les participants ont utilisé en moyenne 79.763 bulles ($\acute{E}.-T. = 31.460$; min = 31.772; max = 163.410) dans la tâche d'identité et 41.501 bulles ($\acute{E}.-T. = 12.437$; min = 17.240; max = 75.777) dans la tâche d'expressions en retirant les extrêmes¹². Le nombre de bulles utilisé dans nos tâches est comparable à ce qui a été obtenu dans des études antérieures (voir Royer et al., 2015 pour la tâche d'identité et Duncan et al., 2017 pour la tâche d'expressions).

¹² À noter que tous les participants sont inclus dans les images de classification présentées dans le cadre de cet essai. Les images de classification sont construites de sorte que les cas extrêmes ne soient pas sur-représentés par rapport aux autres participants (p. ex. en utilisant le rang du nombre de bulles plutôt que le score brut) et les conclusions demeurent inchangées avec et sans ces cas extrêmes.

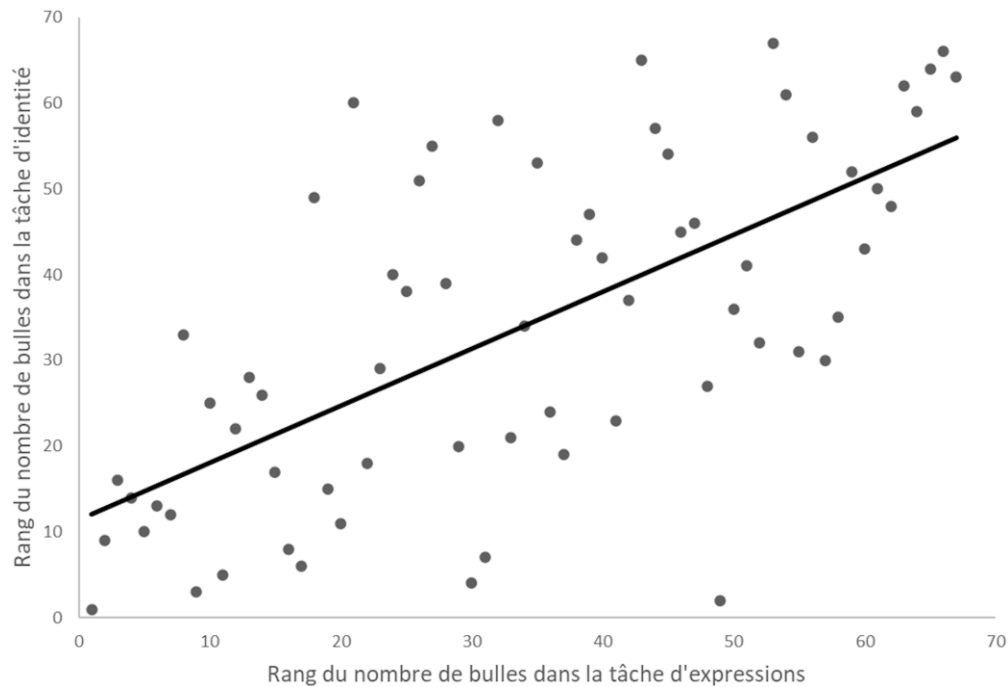


Figure 15. Corrélation entre l’habileté dans la tâche d’identité et l’habileté dans la tâche d’expressions. Le rang du nombre de bulles moyen au dernier bloc est employé pour représenter l’habileté dans chaque tâche ($r_s(67) = 0.664, p < .001$).

La présente section établit donc assez clairement un lien entre la performance aux deux tâches de bulles utilisées dans notre étude, alors que la quantité d’information nécessaire dans une tâche explique en partie la variance du nombre de bulles dans l’autre tâche. Ceci suggère que les meilleurs, qui sont plus efficaces à extraire l’information visuelle des visages, le sont autant en reconnaissance d’identité que d’expressions faciales, ce qui tend à appuyer l’idée que des mécanismes perceptifs puissent être partagés entre les deux tâches. Afin de clarifier la nature de ce lien entre les mécanismes visuels impliqués, nous allons vérifier si l’habileté dans une tâche influence les stratégies d’extraction de l’information faciale dans l’autre tâche. D’ailleurs, l’existence de stratégies perceptives communes entre les tâches permettrait de valider que ce lien entre les performances est bien d’ordre perceptif et non simplement en raison des similitudes de

la tâche (c.-à-d. effectuer un jugement perceptif à partir de visages bullés présentés sur un écran d'ordinateur).

3.3.2 Stratégies visuelles utilisées dans une tâche en fonction de l'habileté individuelle dans l'autre tâche

Si une relation est effectivement présente entre les mécanismes perceptifs en jeu dans la reconnaissance de visages et la catégorisation d'expressions faciales, deux possibilités sont à considérer concernant la nature de ces mécanismes communs. La première serait que les meilleurs en traitement de visages soient plus efficaces pour extraire l'information contenue dans la région des yeux indépendamment de la tâche; la seconde que les meilleurs soient tout simplement plus efficaces pour extraire l'information visuelle la plus diagnostique selon la tâche à accomplir. Dans le premier cas, on s'attendrait à ce que l'utilisation de la région des yeux ressorte principalement chez les meilleurs comparativement aux plus faibles, quelle que soit la tâche et plus particulièrement lorsque la région des yeux est diagnostique à la tâche en question, tel que selon notre hypothèse inspirée par l'étude de Fiset et ses collaborateurs (2017) avec la patiente PS¹³ (voir Figure 9 du présent essai). Alors que dans le deuxième cas, on s'attendrait à ce que les meilleurs utilisent l'information diagnostique de façon plus importante.

Si les tâches partagent certains mécanismes, nous devrions retrouver un lien entre l'habileté individuelle dans une tâche et les stratégies perceptives dans l'autre tâche. Pour évaluer l'existence et la nature d'un tel lien, nous avons créé des images de classification de la même

¹³ Dans cette étude, le déficit de PS à extraire la région des yeux était particulièrement évident, comparativement aux sujets contrôles, lorsque la tâche nécessitait l'utilisation des yeux.

manière que les images pondérées de la Section 3.2.2, mais la pondération est cette fois-ci effectuée selon le rang de l'habileté à l'autre tâche (voir Figures 16 et 17).

Observons d'abord si les stratégies perceptives en reconnaissance de visages des meilleurs dans la tâche de bulles d'expressions diffèrent en comparaison aux moins bons. On obtient effectivement un lien entre l'habileté en catégorisation d'expressions faciales et l'utilisation d'information en reconnaissance de visages alors que l'habileté dans la tâche d'expressions faciales est associée avec une meilleure utilisation de la région des yeux (particulièrement de l'œil droit) dans la tâche d'identification (voir Figure 16). Ce résultat semble démontrer que l'habileté dans une tâche détermine les stratégies utilisées dans l'autre tâche, ce qui contredit l'idée selon laquelle le traitement perceptif de chaque tâche se ferait de façon indépendante. Les données appuient donc une nouvelle fois l'existence d'un lien entre les processus cérébraux dédiés à la reconnaissance de visages et à la catégorisation d'expressions faciales. Ainsi, non seulement les meilleurs en catégorisation d'expressions faciales partagent une stratégie perceptive commune en reconnaissance de visages, mais cette stratégie, soit l'utilisation de la région des yeux, est la même que les meilleurs en reconnaissance de visages. Toutefois, étant donné que la région des yeux constitue aussi la région la plus diagnostique pour reconnaître l'identité faciale, ce résultat ne nous permet pas de répondre à la question à savoir si les meilleurs le sont à traiter les yeux en particulier ou s'ils sont plus efficaces pour repérer et extraire l'information la plus diagnostique.

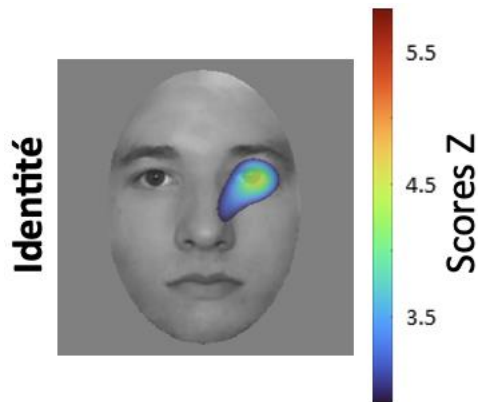


Figure 16. Information visuelle significativement liée à l’habileté en expressions, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d’expressions comme indicateur de l’habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l’information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d’identité par les meilleurs en expressions.

Si on se penche sur le cas de figure inverse et qu’on évalue l’information utilisée par les meilleurs en identité dans la tâche de reconnaissance d’expressions, on observe que c’est plutôt la bouche qui distingue les meilleurs des moins bons. En effet, les meilleurs en reconnaissance de visages tendent à utiliser les traits faciaux diagnostiques pour catégoriser les expressions faciales avec un biais plus important envers la région de la bouche. On obtient que la région des yeux et plus fortement de la bouche est associée à l’habileté de reconnaissance de visages pour les expressions de colère et de peur et que seulement la région de la bouche est ressortie significative pour les expressions de dégoût (quelques pixels significatifs en bas à gauche de la bouche du point de vue de l’observateur) et de joie ainsi que pour toutes les expressions confondues (voir Figure 17). Il est quelque peu surprenant de remarquer que la bouche est plus sur-représentée par rapport aux yeux que dans les images pondérées des meilleurs en catégorisation d’expressions faciales (voir Figure 14), alors que les meilleurs en reconnaissance de visages se démarquent précisément par leur traitement supérieur de la région des yeux pour reconnaître l’identité d’un

visage (voir la Discussion pour des pistes d'explication à ce phénomène). Ce constat abonde dans le sens d'une extraction plus efficace des traits diagnostiques à la tâche chez les meilleurs en reconnaissance de visages plutôt que d'un biais envers les yeux. Blais et ses collaborateurs (2012b) ont d'ailleurs démontré que c'est la région de la bouche qui contient le plus d'information diagnostique en reconnaissance d'expressions faciales.

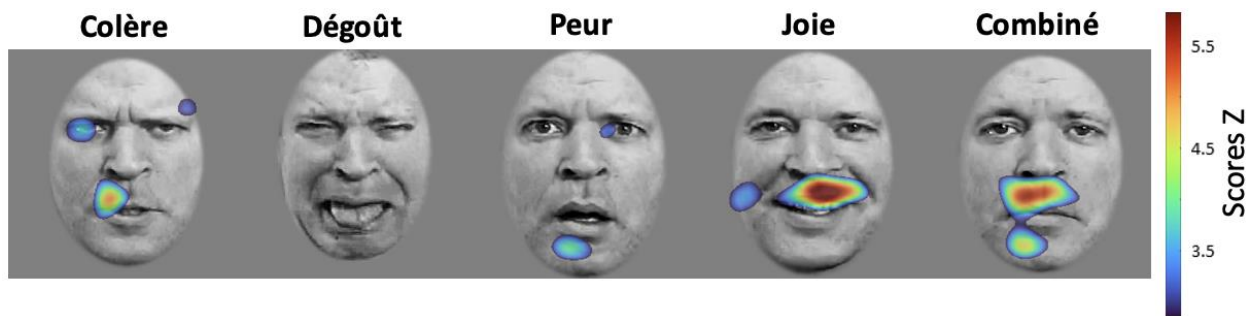


Figure 17. Information visuelle significativement liée à l'habileté en identité, en pondérant les images de classification individuelles en fonction du nombre de bulles à la tâche d'identité comme indicateur de l'habileté individuelle. Les régions colorées correspondent à l'information significativement ($p < .05$) plus utilisée dans la tâche d'expressions par les meilleurs en identité.

CHAPITRE IV

DISCUSSION

4.1 Rappel des objectifs et retour sur les résultats

Les objectifs de cet essai étaient d'investiguer l'existence ainsi que la nature d'un lien unissant le traitement perceptif de l'identification de visages et de la reconnaissance d'expressions faciales d'émotions, dans le but de mieux comprendre les processus cognitivo-perceptifs intervenants dans la perception des visages. À cette fin, nous avons utilisé un paradigme de différences individuelles en demandant à soixante-sept participants adultes en bonne santé physique et cognitive de réaliser une tâche d'identification de visages et une tâche de reconnaissance d'expressions faciales permettant de comparer, grâce à la méthode des bulles, leur habileté et leurs stratégies d'extraction de l'information visuelle, et ce dans les deux tâches. Notre hypothèse de recherche, basée sur les études antérieures, était qu'il existe un lien entre les mécanismes perceptifs du traitement de l'identité et des expressions faciales, au moins dans les étapes précoces du processus, et que ce lien s'explique par la mesure dans laquelle la région des yeux est utilisée dans ces deux tâches visuelles. L'hypothèse alternative serait que le lien réside dans l'habileté à repérer et extraire les traits faciaux diagnostiques quelle que soit la tâche. Dans les sections qui suivent, nous allons discuter des principaux résultats obtenus par notre étude tout en les situant par rapport aux données de la littérature, et en terminant, nous allons aborder les limites et perspectives de cet ouvrage.

4.2 Objectif principal : Vérifier l'existence de mécanismes perceptifs communs

Il est clair que nos données appuient notre hypothèse d'un lien entre les traitements perceptifs de l'identité des visages et des expressions faciales d'émotions, en ayant révélé non

seulement un lien entre la performance aux deux tâches, mais également entre les stratégies visuelles utilisées dans une tâche et l'habileté dans l'autre tâche. Peu d'études se sont penchées sur la comparaison directe des traitements perceptifs de l'identité et des expressions faciales. Nos données représentent donc une des rares démonstrations empiriques comportementales du lien entre ces tâches perceptives et, à notre connaissance, constituent la première investigation dans le domaine des bulles et des différences individuelles. Malgré le nombre limité d'études adressant cette question, il est possible de mettre en commun nos résultats avec un certain nombre d'observations. Dans cette section, des résultats d'études en simulation computationnelle informatique et en sciences cognitives seront présentés.

4.2.1 Approche computationnelle du traitement des visages

Il est intéressant de s'inspirer des modèles computationnels (c.-à-d. informatiques) appliqués au domaine de la reconnaissance faciale pour l'éclairage qu'ils peuvent nous apporter sur la façon d'appréhender notre propre système cognitif de traitement des visages. Ces modèles permettent, à partir de techniques d'analyse basée sur l'image, de relever l'impact de divers paramètres sur la catégorisation d'images effectuée par un ordinateur, imitant ainsi un système perceptif possible. La procédure consiste généralement à soumettre une banque d'images de visages à un ordinateur et à lui faire ressortir les régularités dans la structure de ces images. Chaque image est ensuite recodée en un nombre réduit de composantes principales (p. ex. un ensemble de pixels intercorrélés par leur intensité devient une seule composante) dont les valeurs sont pondérées en fonction de l'image originale (Turk & Pentland, 1991). En corrélant ces nouvelles images entre elles, l'ordinateur peut déterminer lesquelles il considère comme faisant partie de la même catégorie (p. ex. comme représentant une même identité ou une même

expression faciale). Le but est donc de vérifier comment les images de visages corrèlent entre elles sur un certain nombre de composantes distinctives.

Concernant l'objet de la présente étude, cette approche a permis de démontrer que la catégorisation adéquate de différentes caractéristiques faciales (dont l'identité et l'expression faciale) est possible à partir d'un seul et même système de représentation visuel, avec des performances comparables aux observateurs humains (Calder et al., 2001). L'idée n'est évidemment pas ici de dire que le système perceptif humain est nécessairement analogue aux modèles computationnels, mais ces modèles permettent au moins d'affirmer la viabilité d'un tel système de représentation unique (voir Burton et al., 1999). De plus, ces modèles proposent une organisation du système perceptif plus parcimonieuse que l'hypothèse d'une dissociation précoce des mécanismes perceptifs liés à l'identité et aux expressions faciales. De façon intéressante, ces simulations informatiques à partir d'un seul système se sont d'ailleurs avérées capables de reproduire des données cognitives (Calder et al., 2000) qui avaient été interprétées comme une preuve apparente de la dissociation entre les processus du traitement de l'identité et de l'expression faciale, remettant ainsi en doute cette interprétation (Cottrell et al., 2002).

Parmi les travaux sur l'analyse computationnelle, l'étude de Calder et ses collaborateurs (2001) a notamment montré que les mêmes informations ont pu mener à la catégorisation de l'identité et de l'expression faciale. Par exemple, lorsque l'ordinateur était limité aux 14 composantes les plus importantes, 36 % de ces composantes permettaient de discriminer l'identité de même que l'expression faciale. L'expression faciale pouvait aussi être reconnue seulement à partir des 10 composantes principales de l'identité et vice versa. À la lumière de ces

résultats, il ne serait pas efficace pour le cerveau de traiter entièrement séparément l'identité et les expressions faciales. Pour le moins, les observations soulevées dans cette section rendent nos données du lien entre le traitement de l'identité et de l'expression faciale plausibles d'un point de vue computationnel.

4.2.2 Données cognitives

En règle générale, les études en sciences cognitives s'étant intéressées au traitement de l'identité faciale par rapport à celui des expressions faciales tentent de démontrer la dissociation, voire l'indépendance, entre ces deux voies de traitement par une absence d'interférence ou d'interaction entre ces processus (voir Bruce, 1986; Calder et al., 2000; Campbell, 1996; Young et al., 1986). L'interprétation proposée par ces études peut toutefois être remise en question, d'une part parce que le manque d'identification d'une interaction ne signifie pas hors de tout doute son inexistence, et d'autre part parce qu'il est possible que les observations portent sur la portion distincte de processus partiellement dissociés, plutôt que la portion conjointe. Tel que discuté à la section précédente, des modèles computationnels ont d'ailleurs pu simuler les résultats de ces études à partir d'un seul système de représentation.

D'autres études ont, pour leur part, trouvé une interaction dans le traitement de l'identité et des expressions faciales, suggérant qu'au moins une partie de leur représentation visuelle est codée de façon commune (voir Calder, 2011 ou Calder & Young, 2005 pour une revue de la littérature). L'interférence observée dans les études est le plus souvent asymétrique (mais voir Fisher et al., 2016; Ganel & Goshen-Gottstein, 2004), c'est-à-dire que le traitement de l'identité affecte le traitement de l'expression faciale, mais non l'inverse. Par exemple, des études ont

rapporté un ralentissement de la catégorisation d'expressions faciales lorsque l'identité du visage changeait, et ce, même si les participants devaient se concentrer uniquement sur l'expression faciale (Schweinberger et al., 1999; Schweinberger & Soukup, 1998). Ce résultat renvoie à l'idée que l'identité et l'expression faciale partagent un même système de représentation étant donné que la quantité d'information visuelle demeure sensiblement la même entre les identités, c'est plutôt au niveau du codage de cette information en une représentation mentale (c.-à-d. la reconstitution mentale de la stimulation visuelle) que le changement d'identité interfère avec la reconnaissance de l'expression faciale. S'ils font partie du même système cérébral, les traitements perceptifs de l'identité et des expressions faciales sont susceptibles de compétitionner pour les mêmes ressources cognitives. Or, l'asymétrie de l'interférence pourrait provenir d'une plus grande sollicitation des ressources cognitives pour le traitement de l'identité que de l'expression faciale, diminuant ainsi les ressources disponibles pour traiter l'expression faciale lorsqu'un changement d'identité survient. Cette asymétrie pourrait aussi alternativement s'expliquer par une automatisation du traitement perceptif de l'identité qui requerrait peu d'effort cognitif (Duncan et al., en rédaction) et opérerait indépendamment des ressources attentionnelles (Wiese et al., 2019). À l'inverse, une étude montre que le traitement perceptif des expressions faciales serait partiellement automatique, notamment qu'une charge attentionnelle nuirait au traitement de la région des yeux (Duncan et al., 2019). Finalement, le traitement de l'identité pourrait potentiellement être priorisé par le système visuel nuisant au traitement simultané d'autres informations comme celles des expressions faciales.

Cet effet d'interaction entre l'identité et l'expression des visages est aussi retrouvé dans des travaux sur l'adaptation neuronale (Campbell & Burke, 2009; Fox & Barton, 2007) suggérant

encore une fois des réseaux neuronaux communs et distincts pour le codage de leurs représentations. Nos données viennent ainsi s'ajouter aux observations cognitives en faveur d'une voie de traitement commune pour la perception de l'identité et des expressions faciales d'émotions.

4.3 Objectif secondaire : Clarifier la nature du lien entre les tâches de traitement facial

Le lien que nos données permettent d'établir entre le traitement perceptif de l'identité et celui des expressions faciales soutient l'existence d'au moins un mécanisme perceptif commun de haut niveau. Dans la présente section, la nature du ou des mécanismes partagés entre les tâches sera interprétée à la lumière de nos résultats.

Il nous a été possible d'étudier la nature du lien entre les tâches en comparant les stratégies perceptives en fonction de l'habileté dans chaque tâche. Le rationnel étant que si un mécanisme est commun aux deux tâches, son fonctionnement optimal dans une tâche (p. ex. l'efficacité à traiter les yeux) devrait également se refléter dans l'autre tâche. Alors que notre hypothèse supposait qu'un traitement perceptif supérieur de la région des yeux serait associé à une plus grande habileté dans les deux tâches, les données obtenues vont plutôt dans le sens que ce serait l'efficacité à repérer et extraire l'information la plus diagnostique qui constituerait un mécanisme commun entre les tâches.

En observant la stratégie visuelle en reconnaissance de visages associée à l'habileté avec les expressions faciales (Figure 16), soit l'utilisation de l'œil droit, il est clair que cette stratégie, en plus d'être la même que celle associée à l'habileté en identité (Figure 13), correspond à

extraire l'information faciale la plus diagnostique (c.-à-d. la région des yeux; voir p. ex. Butler et al., 2010). En ce qui a trait à l'information corrélée à l'habileté en identité dans la tâche d'expressions faciales (Figure 17), on constate qualitativement un biais vers l'information contenue dans la région de la bouche comparativement à la stratégie moyenne du groupe (Figure 12) et à la stratégie liée à l'habileté avec les expressions faciales (Figure 14). Cette observation semble compatible avec la conclusion d'une extraction plus efficace des traits diagnostiques plutôt que d'un biais envers les yeux, d'autant plus qu'on se serait attendu à ce que les meilleurs en identité se distinguent précisément par leur efficacité à traiter la région des yeux étant donné l'importance de cette région en reconnaissance d'identité. Rappelons finalement qu'il a été démontré dans une étude intéressante que la région de la bouche contiendrait le plus d'information diagnostique pour discriminer toutes les expressions faciales de base entre elles (Blais et al., 2012b). Les meilleurs en identité ont ainsi pu favoriser une stratégie permettant de repérer et extraire l'information la plus discriminante. Tout compte fait, ces résultats suggèrent que l'habileté à utiliser l'information faciale la plus diagnostique constitue un mécanisme commun du traitement des visages au moins pour la perception de l'identité et des expressions faciales d'émotions. Bien que différente de notre hypothèse initiale, cette conclusion n'est pas pour autant incohérente et apporte plutôt de nouvelles observations intéressantes pour la compréhension du système de traitement des visages.

Il est pertinent de souligner que nos résultats mettent en évidence des processus communs et distincts dans les traitements faciaux de l'identité et des expressions. En effet, la différence qualitative observée en comparant les stratégies visuelles significativement utilisées dans la tâche

de catégorisation d'expressions faciales par les deux groupes d'habileté élevée¹⁴ semble nous renseigner également sur la présence de processus distincts dans les traitements perceptifs de chaque tâche. Tel que relevé plus haut, on remarque un biais à utiliser la région de la bouche chez les plus doués avec l'identité des visages relativement aux plus doués avec les expressions faciales, pour lesquels l'utilisation des yeux et de la bouche est plus partagée en fonction de l'expression faciale (voir Figures 17 et 14, respectivement). Nous allons fournir ici quelques pistes d'explications possibles à la différence dans les stratégies des deux groupes à la tâche d'expressions.

D'abord, il est important d'attirer l'attention sur le fait qu'autant les meilleurs en identité qu'en expressions faciales ont utilisé la région des yeux de façon supérieure aux autres membres de leur groupe pour la reconnaissance de la peur et de la colère, ainsi que la bouche pour toutes les expressions. Le biais dont il est question des meilleurs en identité envers la bouche réside donc dans la plus grande importance relative (c.-à-d. proportionnellement à la région des yeux) que ceux-ci semblent accorder à cette région comparativement aux meilleurs en expressions faciales. Pour leur part, les meilleurs en expressions ont utilisé la bouche de façon globalement égale ou supérieure aux meilleurs en identité en plus de faire un usage plus efficace de la région des yeux. En d'autres termes, l'écart entre les stratégies des deux groupes d'habileté élevée se résume donc surtout par une utilisation supérieure de la région des yeux par le groupe d'habileté élevée en expressions, principalement pour la colère et la peur.

¹⁴ Pour simplifier la lecture, nous allons référer ici à « deux groupes », soit celui des « meilleurs en identité » et celui des « meilleurs en expressions faciales ». Nous voulons toutefois rappeler au lecteur que ces groupes représentent un seul groupe dont la contribution des participants est pondérée en fonction de leur performance dans la tâche d'identité et dans la tâche d'expressions respectivement (voir Section 3.2.2 pour plus de détails).

Bien que l'utilisation de la bouche constituerait la stratégie la plus efficace pour le système visuel en reconnaissance d'expressions faciales, il a également été montré, grâce à un observateur idéal¹⁵, que la région des yeux contient aussi de l'information utile qui serait sous-utilisée par la moyenne des observateurs humains (Blais et al., 2012b). Ainsi, les meilleurs en reconnaissance d'expressions faciales pourraient faire preuve d'un traitement efficace à tel point qu'ils auraient suffisamment de ressources pour utiliser de façon supérieure les indices plus spécifiques contenus dans la région des yeux permettant une meilleure précision dans la capacité de catégorisation. Ce traitement supérieur de la région des yeux chez les meilleurs en expressions pourrait aussi être explicable par les données suggérant un rôle de l'amygdale dans le traitement des expressions faciales notamment en dirigeant l'attention vers la région des yeux lorsque l'expression de peur serait détectée par une voie rapide de traitement parallèle (Adolphs, 2008; Adolphs et al., 2005; Burra et al., 2013; Critchley et al., 2000; Gamer & Büchel, 2009; Gamer et al., 2013; Méndez-Bértolo et al., 2016; Vuilleumier et al., 2003; Vuilleumier & Pourtois, 2007; Whalen et al., 2004). Finalement, selon certains auteurs, les expressions faciales seraient traitées de façon moins holistique et davantage par un traitement par parties que l'identité (voir Section 1.3.1 pour plus de détails sur ces types de traitement; Bate & Bennetts, 2015; Beaudry et al., 2014; Flack et al., 2016; Lipp et al., 2009; Tanaka et al., 2012). Cette idée pourrait être compatible avec l'observation d'une stratégie possiblement plus localisée vers les traits faciaux diagnostiques spécifiques à l'expression traitée chez les meilleurs en expressions comparativement à une stratégie générale prenant en compte la globalité du visage pour discriminer l'ensemble des expressions, soit un traitement plutôt centré vers la bouche, chez les

¹⁵ Le terme « observateur idéal » désigne un modèle informatique qui analyse l'information visuelle disponible dans une banque d'images pour discriminer les différentes catégories d'images (p. ex. l'expression faciale présentée).

meilleurs en identité. Cette distinction dans les processus pourrait intervenir au niveau décisionnel, c'est-à-dire à l'étape de catégorisation basée sur la représentation mentale créée où des informations faciales sont sélectionnées pour effectuer le jugement perceptif.

À première vue, ces résultats peuvent paraître incohérents avec les données obtenues auprès de populations cliniques. En effet, il a été observé dans plusieurs conditions cliniques ayant des difficultés en traitement de visages, que celles-ci étaient attribuables à une sous-utilisation de la région des yeux plus que n'importe quelle autre région faciale (voir Caldara et al., 2005; Fiset et al., 2017 chez la patiente PS; Bukach et al., 2008; Pancaroglu et al., 2016; Rossion et al., 2009 dans d'autres cas de prosopagnosie acquise; Fisher et al., 2016; Susilo & Duchaine, 2013 dans des cas de prosopagnosie développementale; Adolphs et al., 2005 chez la patiente SM; Tanaka & Sung, 2016 pour une revue de la littérature dans le TSA). En contraste, nos données suggèrent que non seulement l'utilisation de la région des yeux, mais aussi de la bouche, varie quantitativement en fonction de l'habileté, ce qui aurait plutôt tendance à prédire qu'un déficit du traitement des visages serait également associé à une lacune du traitement de la région de la bouche. Cette dernière affirmation ne s'applique évidemment que si les stratégies d'extraction visuelle des populations cliniques suivent le même continuum que la population moyenne.

Notre hypothèse de recherche, soit l'efficacité à extraire la région des yeux comme mécanisme partagé entre les tâches, se basait d'ailleurs a priori sur l'étude de Fiset et ses collaborateurs (2017) qui suggérait qu'un déficit sélectif à traiter la région des yeux chez la patiente PS, auparavant identifié en reconnaissance de visages (Caldara et al., 2005), se retrouvait

également avec les expressions faciales. Une des difficultés pour l'interprétation des résultats avec les populations cliniques est la possibilité de l'utilisation de mécanismes compensatoires afin de pallier les déficits à moyen terme. Par exemple, étant donné que PS est atteinte de la prosopagnosie depuis des années, il est probable qu'elle se soit adaptée à ses difficultés en mettant en place un certain nombre de stratégies compensatoires. Ces méthodes compensatoires peuvent ainsi engendrer un changement qualitatif dans les stratégies des patients par rapport aux sujets sains. Il serait notamment possible qu'un minimum de capacité à traiter la bouche requiert moins de ressources que les yeux et que PS s'appuie donc sur cette région pour catégoriser les visages. Suivant cette idée, les études n'ont peut-être tout simplement pas détecté la faiblesse à traiter la région de la bouche au même titre que celle à traiter les yeux. Une autre piste d'explication permettant de concilier nos résultats avec ceux obtenus auprès de la patiente PS serait la possibilité que les lésions de PS touchent spécifiquement une propriété visuelle de bas niveau indispensable au traitement des yeux. En effet, alors que l'activité cérébrale du FFA serait à l'origine des différences individuelles en reconnaissance de visages (Furl et al., 2011), les lésions de PS sont au niveau du OFA. Ainsi, le OFA pourrait par exemple être responsable du traitement des horizontales spatiales, prédominantes dans la région des yeux (voir Duncan et al., 2017), alors que le FFA pourrait se spécialiser dans l'extraction de l'information diagnostique dans les visages et non uniquement de la région des yeux. Un potentiel déficit du traitement des orientations horizontales pourrait donc expliquer pourquoi PS aurait sélectivement de la difficulté avec la région des yeux relativement aux autres régions faciales. D'ailleurs, il est pertinent de préciser qu'un certain traitement cérébral du FFA pourrait avoir lieu même en l'absence du OFA (Rossion et al., 2003; Solomon-Harris et al., 2013).

En lien avec notre hypothèse sur l'importance de la région des yeux, il est intéressant de noter que notre étude semble confirmer que les meilleurs dans chacune des tâches sont ceux qui utilisent les yeux de façon supérieure dans cette tâche lorsque cette information est diagnostique. Tel qu'évoqué au paragraphe précédent, les yeux pourraient être plus complexes à traiter, ainsi leur traitement permettrait de discriminer davantage l'habileté individuelle. Certaines régions cérébrales occipito-temporales s'activeraient plus fortement en présence des yeux (Itier et al., 2007; Rousselet et al., 2014; Schyns et al., 2003; Smith et al., 2004; voir aussi Issa & DiCarlo, 2012), tel que mesuré en EEG grâce au potentiel évoqué N170 du traitement précoce des visages, et cette activation aurait notamment été associée à l'habileté en reconnaissance de visages (Herzmann et al., 2010; Turano et al., 2016). De façon intéressante, il a également été identifié que le potentiel P300, intervenant plus tardivement dans le processus de traitement facial, refléterait pour sa part l'attention portée à l'information diagnostique à la tâche (Smith et al., 2004). Ce potentiel électrophysiologique pourrait être à la source du lien suggéré par notre étude entre les traitements perceptifs de l'identité et des expressions faciales, soit se situant au niveau de l'efficacité à repérer et extraire l'information la plus diagnostique.

4.4 Limites et perspectives

4.4.1 Visages statiques vs dynamiques

La présente étude supporte l'existence de mécanismes perceptifs partagés entre les traitements de l'identité faciale et des expressions faciales d'émotions. Nos données s'ajoutent à d'autres travaux remettant en doute la conception dominante de voies séparées de traitement. Toutefois, bien que notre étude permette d'entrevoir une certaine part commune des processus de traitement de ces deux caractéristiques faciales, nous pouvons seulement avancer ce lien en ce qui

concerne les visages statiques (c.-à-d. dépourvus de mouvement). En effet, alors que les visages rencontrés en contextes naturels sont presque constamment en mouvement, la vaste majorité des études, dont la nôtre, a employé des stimuli statiques. L'utilisation de stimuli dynamiques implique évidemment un défi considérable, surtout en ce qui concerne la reconnaissance de l'identité (rares sont d'ailleurs les études s'étant penchées sur le traitement de l'identité avec des stimuli dynamiques; voir toutefois Dobs et al., 2018 et O'Toole et al., 2002 pour des revues de la littérature). L'avantage dynamique pour les expressions faciales semble plutôt évident (voir Krumhuber et al., 2013 pour une revue de la littérature; mais voir Fiorentini & Viviani, 2011) et occupe probablement une place plus prédominante pour son traitement que celui de l'identité (Calder, 2011). Néanmoins, le mouvement naturel des visages transmettrait aussi de l'information utile à la reconnaissance de l'identité (Dobs et al., 2016; Girges et al., 2015; Hill & Johnston, 2001; Knappmeyer et al., 2003; Lander & Bruce, 2000; 2003; Lander & Chuang, 2005; Lander et al., 1999; 2001; O'Toole et al., 2002).

Il n'est pas difficile de concevoir que le traitement des visages dynamiques soit différent de celui des visages statiques. Les données vont même dans le sens que l'information statique et dynamique pourraient être traitées de manière indépendante avec une séparation extrêmement précoce de leurs voies de traitement respectives. Les systèmes du traitement facial statique et dynamique pourraient donc recevoir de l'information distincte provenant d'aussi tôt que le cortex visuel primaire. En ce sens, une étude avec la patiente prosopagnosique PS (voir Section 1.4 pour des informations sur PS) a révélé un déficit sélectif avec les stimuli de visages statiques et une performance comparable aux sujets contrôles avec les stimuli dynamiques pour le traitement des expressions faciales de base (Richoz et al., 2015). Les lésions bilatérales occipito-temporales de

PS épargnent notamment le pSTS, associé au traitement du mouvement biologique des visages (Puce et al., 1998). Le traitement préservé de PS pour l'information faciale dynamique suggère l'existence d'une voie corticale reliant le pSTS au cortex visuel primaire sans passer par le OFA (voir Section 1.2.2 pour des détails sur cette région). De façon encore plus surprenante, d'autres études ont trouvé un phénomène comparable avec le traitement de l'identité. Leurs résultats indiquent que le mouvement permettrait aussi d'aider la reconnaissance de visages chez des patients prosopagnosiques (Bennetts et al., 2015; Lander et al., 2004; Longmore & Tree, 2013; Steede et al., 2007; mais voir Esins et al., 2014). Finalement, Pitcher et ses collaborateurs (2014) ont pu montrer une double dissociation en inhibant isolément soit le pSTS ou le OFA grâce à la TMS par impulsion thêta et en observant les impacts de cette manipulation sur la réponse neuronale en IRMf de l'autre région aux visages statiques et dynamiques.

Les modèles classiques du traitement des visages suggéraient une dissociation entre les aspects variants (dont les expressions) et invariants (dont l'identité) des visages (Bruce & Young, 1986; Haxby et al., 2000; voir Section 1.2). Tel que relevé au paragraphe précédent, l'état des connaissances actuelles pointe plutôt vers une division anatomique des systèmes de traitement de l'information statique et dynamique des visages¹⁶ (Bernstein & Yovel, 2015). Toutefois, l'existence potentielle d'une double dissociation entre les voies du traitement statique et dynamique ne signifie pas pour autant l'absence de communication ou d'interaction entre ces systèmes lorsque ceux-ci sont fonctionnels. De plus, il est probable que cette dissociation n'oppose pas les stimuli statiques aux stimuli dynamiques en soi, mais oppose plutôt

¹⁶ Cette distinction entre la notion de variance et celle du mouvement (c.-à-d. statique ou dynamique) est importante puisque la première suppose une dichotomie entre l'identité (invariante) et l'expression (variante), alors que la deuxième permet le traitement des deux caractéristiques faciales dans chacun des systèmes, soit celui du traitement de l'information statique et celui du traitement de l'information dynamique.

l'information statique présente dans les deux types de stimuli au mouvement additionné dans les stimuli dynamiques. Si c'est le cas, le traitement perceptif évalué dans notre étude ferait partie du traitement naturel des visages, mais sans l'apport du mouvement. Il est même possible que le cerveau puisse traiter le mouvement implicite contenu dans les visages statiques (p. ex. en extrapolant la transition entre le visage au repos et le visage expressif). Des données suggèrent notamment que la forme visuelle statique puisse activer les mêmes régions cérébrales qu'un visage dynamique en contexte naturel, bien qu'à un degré plus faible (Allison et al., 2000; Furl et al., 2007; Narumoto et al., 2001). Les mêmes stratégies naturelles qu'avec des visages dynamiques pourraient aussi être sollicitées durant le traitement des visages statiques (voir Blais, 2012 pour des stratégies visuelles similaires pour la discrimination des expressions statiques et dynamiques et pour une supposition semblable). Par ailleurs, même si le visage est naturellement en mouvement, il transmettrait une grande part d'information statique (voir p. ex. Gold et al., 2013). Le traitement reflété par nos données pourrait donc avoir une importance non négligeable pour le traitement des visages dynamiques, qui contiendraient la forme visuelle et le mouvement. Un débat persiste d'ailleurs à ce jour sur la contribution précise du mouvement dans la perception faciale (voir Dobs et al., 2018; Kätsyri & Sams, 2008; O'Toole et al., 2002).

Cela dit, des questions fondamentales demeurent : Est-ce que l'habileté avec l'information faciale statique influence l'habileté à traiter le mouvement des visages et/ou comment l'habileté avec chaque type d'information (c.-à-d. statique et dynamique) détermine le traitement final? Une proposition intéressante à cette dernière question est que l'apport du traitement statique se combinerait à celui du traitement dynamique pour générer la perception faciale par l'intégration quasi-optimale de l'information disponible dans le mouvement et la

forme visuelle des visages (Dobs et al., 2017). En somme, cette section démontre l'importance de vérifier si le lien entre le traitement perceptif de l'identité et des expressions faciales observé dans notre étude demeure aussi fort lorsque l'information dynamique est présente, ou si des mécanismes plutôt séparés deviennent alors prépondérants pour expliquer la variance de l'habileté individuelle dans chacune des tâches.

4.4.2 Implications cliniques

Bien que notre étude contribue à faire progresser notre compréhension de l'organisation du système perceptif du traitement des visages, d'autres études seront nécessaires afin d'évaluer l'impact de nos données d'un point de vue clinique, soit de quelle façon ces connaissances théoriques se transposent à la pratique clinique ou à la vie des gens¹⁷. Il serait par exemple pertinent de vérifier si le lien entre l'habileté à reconnaître l'identité des visages et les expressions faciales d'émotions se reflète au niveau fonctionnel. En effet, même si un lien statiquement significatif a été mis en lumière par notre étude, il nous est impossible de nous prononcer sur les implications fonctionnelles réelles de ce lien chez les individus. Doit-on soupçonner des difficultés de reconnaissance d'expressions faciales chez une personne présentant un déficit à reconnaître les visages? Est-ce que ces troubles de la perception faciale sont directement associés à des impacts cliniquement significatifs sur le fonctionnement social?

¹⁷ La recherche clinique ou appliquée est un type de recherche ayant pour but l'amélioration du diagnostic et du traitement des troubles ainsi que l'amélioration de la santé et de la qualité de vie de la population (Instituts de recherche en santé du Canada, 2019) en établissant des connaissances pratiques. Elle s'appuie le plus souvent sur la recherche fondamentale, dans laquelle s'inscrit notre étude, qui vise pour sa part le développement du savoir théorique sur un phénomène naturel.

D'abord, nos résultats semblent indiquer que si une personne est moins bonne à reconnaître l'identité des visages, il est probable qu'elle le soit également avec les expressions faciales, à condition que la source du problème se situe au stade perceptif du traitement (par opposition aux stades plus avancés du processus), soit au niveau des mécanismes étudiés dans notre étude. Le lien établi par notre étude concerne en effet spécifiquement la portion perceptive du processus de traitement de l'identité et des expressions faciales. En contexte naturel, de multiples autres mécanismes sont aussi responsables du traitement de l'identité et des expressions faciales et peuvent être plus ou moins déterminants dans l'habileté globale à ces tâches. Il faut donc être prudents dans l'interprétation clinique de nos données qui ne signifient pas que l'habileté dans les deux tâches soit nécessairement associée chez tous les individus. À titre d'exemple, on peut hypothétiquement s'attendre à ce que le niveau d'habileté diffère si une lacune touche un mécanisme unique à l'un ou l'autre de ces traitements faciaux. La reconnaissance de l'identité faciale comporte notamment une importante composante mnésique où le percept formé par l'analyse visuelle doit être mis en relation avec les représentations des visages connus en mémoire à long terme. On pourrait donc s'attendre à ce que la perte de ces représentations compromette l'identification peu importe la qualité du traitement visuel (voir Dalrymple et al., 2014b; De Renzi et al., 1991; Fox et al., 2008; Liu et al., 2021; Sergent & Signoret, 1992; Ulrich et al., 2017). Le traitement naturel des expressions faciales s'appuierait pour sa part, de façon supérieure à celui de l'identité, sur l'analyse du mouvement et sur l'intégration de multiples indices provenant de différents systèmes cérébraux (Calder & Young, 2005), en plus des mécanismes évalués dans notre étude. Il est aussi possible que l'efficacité du traitement perceptif influence l'efficacité et/ou le développement des autres systèmes de traitement de l'identité et des émotions. Il serait pertinent de mieux comprendre l'interaction

entre ces différentes composantes du traitement de l'identité et des expressions faciales en lien avec l'habileté en contexte naturel en vue d'aider au diagnostic et à la prise en charge des troubles liés au traitement des visages.

Nous savons que la prosopagnosie est souvent associée à des répercussions sociales dont l'anxiété sociale (Dalrymple et al., 2014a; Davis et al., 2011; Yardley et al., 2008). Cette condition peut donc avoir des conséquences néfastes non négligeables sur la qualité de vie des personnes qui en souffrent. En contrepartie, les impacts spécifiquement associés à un déficit du traitement des expressions faciales ont été moins explorés (Phillips, 2004). En effet, à la différence de la prosopagnosie où le déficit en reconnaissance de visages se retrouve de façon relativement isolée, il n'a pas été identifié de condition clinique équivalente avec les expressions faciales sans la présence en concomitance d'autres troubles du traitement émotionnel. Il est par conséquent plus difficile de départager la part des impacts fonctionnels attribuable à des lacunes spécifiques aux visages de celle liée à des déficits touchant le système plus large des émotions. Par exemple, le dysfonctionnement de l'interaction sociale central au trouble du spectre de l'autisme peut découler de déficits tant du traitement des expressions faciales (et également de l'identité; Dawson et al., 2005) que du traitement émotionnel et de la cognition sociale (p. ex. Boraston et al., 2007; Castelli et al., 2002). L'alexithymie serait aussi liée à des problèmes importants avec les expressions faciales (Cook et al., 2013; Grynberg et al., 2012; Parker et al., 1993) en plus de problèmes au niveau de l'expérience émotionnelle subjective par définition même de cette condition (Bagby et al., 1994). Dans le cas de la patiente SM (voir Section 1.2.1 pour des informations sur SM), il est également supporté que son trouble dépasse le traitement des expressions faciales par l'observation d'une absence d'expérience subjective de peur

(Feinstein et al., 2011). Le fait que les expressions faciales puissent sans doute être plus facilement reconnues à partir de différentes sources d'information (p. ex. la forme visuelle statique et le mouvement) pourrait expliquer pourquoi un trouble spécifique du traitement des expressions faciales n'est pas rencontré au même titre que la prosopagnosie, étant donné que la défaillance d'un des systèmes pourrait au moins être en partie compensée par un autre système. D'ailleurs, le mouvement seul, isolé de sa forme visuelle, pourrait aussi permettre la reconnaissance de certaines expressions faciales comme le démontrent des études utilisant des points lumineux reproduisant le mouvement caractéristique de ces expressions (Atkinson et al., 2012; Bidet-Ildei et al., 2020; Humphreys et al., 1993; Takarae et al., 2021). Une meilleure compréhension de la nature du lien entre le traitement perceptif des expressions faciales et ses impacts sur les relations sociales et la qualité de vie, soit les contextes dans lesquels se manifestent les déficits et leur ampleur, contribuerait à la mise en place de stratégies compensatoires et d'adaptation aux difficultés plus adéquates et efficaces.

Nous voyons deux retombées cliniques éventuelles à notre étude. D'abord, notre recherche s'inscrit dans un effort d'approfondissement des connaissances sur la manière dont le cerveau humain traite et perçoit les visages, plus précisément l'identité et les expressions faciales. L'éclairage apporté par notre étude permettant une meilleure compréhension de l'organisation et du fonctionnement du système perceptif des visages ainsi que des mécanismes liés à l'habileté nous rend plus en mesure de concevoir des interventions adaptées pour aider les personnes aux prises avec des difficultés, soit par l'entraînement de la fonction cognitive atteinte ou par la mise en place de stratégies de compensation. L'efficacité de toute intervention inspirée par les connaissances théoriques actuelles devra bien entendu faire l'objet d'une évaluation spécifique.

La deuxième retombée possible concerne l'amélioration du diagnostic et de la prise en charge découlant d'une meilleure compréhension du lien unissant la reconnaissance de l'identité et des expressions faciales. En effet, si les études futures vont dans le sens qu'une faiblesse perceptive dans les deux tâches mène à des répercussions sociales, il serait pertinent d'évaluer la présence de difficultés dans les deux tâches chez un patient présentant des plaintes dans l'une ou l'autre des habiletés (c.-à-d. en identification de visages ou en reconnaissance d'expressions faciales). Il est notamment probable que des gens puissent vivre des difficultés sociales sans être conscients que celles-ci proviennent d'un déficit du traitement facial. Des études rapportent d'ailleurs que les gens ne sont pas nécessairement les meilleurs à juger de leur propre habileté (Bobak et al., 2019). Ainsi, s'il est identifié par le biais de tests ou par l'imagerie cérébrale que l'origine des difficultés de reconnaissance de visages d'un patient concerne la portion perceptive du traitement, il pourrait potentiellement être pertinent de vérifier la possibilité d'une association avec des difficultés perceptives des expressions faciales. À la lumière de ce qui précède, si un lien cliniquement significatif est validé entre les tâches, il serait important de sensibiliser la population et les professionnels à cette problématique afin d'aider à prendre conscience des difficultés pouvant être rencontrées dans les interactions sociales, favorisant ainsi une prise en charge plus adaptée aux difficultés réelles vécues et le recours à des stratégies compensatoires.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Cet essai doctoral permet de renforcer l'idée selon laquelle l'identité des visages et les expressions faciales d'émotions ne sont pas traitées séparément par le cerveau de façon aussi précoce que le proposaient les théories classiques du traitement des visages, soit selon un modèle modulaire. En effet, nos résultats appuient plutôt l'existence d'une part de mécanismes partagés dans le traitement de ces deux caractéristiques faciales, qui toucherait la capacité à repérer et extraire l'information la plus diagnostique dans les visages pour identifier un visage ou son expression. Ces observations pourraient s'inscrire dans une conception plus large dans laquelle les régions cérébrales se spécialiseraient dans certains mécanismes, plutôt que dans des tâches spécifiques, et que le degré d'implication des différentes régions dépendrait de l'importance de ces mécanismes pour la tâche. Il est difficile de départager précisément à quel moment se séparent les voies de traitement de l'identité et des expressions faciales. Or, le fait qu'on retrouve une systématisme dans les stratégies employées dans une tâche en fonction de l'habileté dans l'autre tâche suggère que la bifurcation ne s'effectue qu'une fois la représentation codée. Cette interprétation demeure toutefois à valider notamment par des études en neurologie (p. ex. neuroimagerie, EEG, stimulation magnétique transcrânienne).

Notre étude contribue à se rapprocher d'un pas de plus vers une compréhension optimale du fonctionnement perceptif du traitement des visages, en particulier en ce qui concerne les stratégies associées à une meilleure habileté ainsi que le lien entre le traitement de différentes caractéristiques faciales. Ces recherches sont menées dans le but d'ultimement améliorer le traitement des visages chez les enfants et les adultes pour qui cela représente un problème et/ou

de diminuer les impacts des difficultés par des interventions adaptées. D'autres études seront nécessaires afin de pousser l'investigation plus loin, notamment avec des visages dynamiques, pour valider nos résultats d'une perspective neurologique, de même que pour évaluer les implications cliniques de nos résultats du lien entre les traitements perceptifs de l'identité et des expressions faciales d'émotions.

Références

- Adolphs, R. (2008). Fear, faces, and the human amygdala. *Current Opinion in Neurobiology*, 18(2), 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.06.006>
- Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P., & Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, 433(7021), 68-72. <https://doi.org/10.1038/nature03086>
- Adolphs, R., Tranel, D., Damasio, H., & Damasio, A. (1994). Impaired recognition of emotion in facial expressions following bilateral damage to the human amygdala. *Nature*, 372(6507), 669-672. <https://doi.org/10.1038/372669a0>
- Allison, T., Puce, A., & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(7), 267-278. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01501-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01501-1)
- Atkinson, A. P., Vuong, Q. C., & Smithson, H. E. (2012). Modulation of the face- and body-selective visual regions by the motion and emotion of point-light face and body stimuli. *Neuroimage*, 59(2), 1700-1712. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.073>
- Avidan, G., Tanzer, M., & Behrmann, M. (2011). Impaired holistic processing in congenital prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 49(9), 2541-2552. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.002>
- Bagby, R. M., Parker, J. D., & Taylor, G. J. (1994). The twenty-item Toronto Alexithymia Scale—I. Item selection and cross-validation of the factor structure. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(1), 23-32. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0022-3999(94)90005-1)
- Barton, J. J. S. (2008). Structure and function in acquired prosopagnosia: Lessons from a series of 10 patients with brain damage. *Journal of Neuropsychology*, 2(1), 197-225. <https://doi.org/10.1348/174866407X214172>
- Bassili, J. N. (1979). Emotion recognition: The role of facial movement and the relative importance of upper and lower areas of the face. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(11), 2049-2058. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.11.2049>
- Bate, S., & Bennetts, R. (2015). The independence of expression and identity in face-processing: evidence from neuropsychological case studies. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 770. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00770>
- Beaudry, O., Roy-Charland, A., Perron, M., Cormier, I., & Tapp, R. (2014). Featural processing in recognition of emotional facial expressions. *Cognition and Emotion*, 28(3), 416-432. <https://doi.org/10.1080/02699931.2013.833500>
- Behrmann, M., Avidan, G., Marotta, J. J., & Kimchi, R. (2005). Detailed exploration of face-related processing in congenital prosopagnosia: 1. Behavioral findings. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(7), 1130-1149. <https://doi.org/10.1162/0898929054475154>

- Bennetts, R. J., Butcher, N., Lander, K., Udale, R., & Bate, S. (2015). Movement cues aid face recognition in developmental prosopagnosia. *Neuropsychology*, *29*(6), 855-860. <https://doi.org/10.1037/neu0000187>
- Bernstein, M., & Yovel, G. (2015). Two neural pathways of face processing: A critical evaluation of current models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *55*, 536-546. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.06.010>
- Bidet-Ildei, C., Decatoire, A., & Gil, S. (2020). Recognition of emotions from facial point-light displays. *Frontiers in Psychology*, *11*, Article 1062. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01062>
- Blais, C. (2012). *L'utilisation de l'information visuelle en reconnaissance d'expressions faciales d'émotion* [Thèse de doctorat]. Université de Montréal. <https://doi.org/1866/10848>
- Blais, C., Fiset, D., Roy, C., Arguin, M., & Gosselin, F. (2012a). Individual differences in the visual strategies underlying facial expression categorization. *Journal of Vision*, *12*(9), Article 1283. <https://doi.org/10.1167/12.9.1283>
- Blais, C., Fiset, D., Roy, C., Saumure Régimbald, C., & Gosselin, F. (2017). Eye fixation patterns for categorizing static and dynamic facial expressions. *Emotion*, *17*(7), 1107-1119. <https://doi.org/10.1037/emo0000283>
- Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2008). Culture shapes how we look at faces. *PLoS ONE*, *3*(8), e3022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003022>
- Blais, C., Roy, C., Fiset, D., Arguin, M., & Gosselin, F. (2012b). The eyes are not the window to basic emotions. *Neuropsychologia*, *50*(12), 2830-2838. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.010>
- Bobak, A. K., Hancock, P. J., & Bate, S. (2016). Super-recognisers in action: Evidence from face-matching and face memory tasks. *Applied Cognitive Psychology*, *30*(1), 81-91. <https://doi.org/10.1002/acp.3170>
- Bobak, A. K., Mileva, V. R., & Hancock, P. J. (2019). Facing the facts: Naive participants have only moderate insight into their face recognition and face perception abilities. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *72*(4), 872-881. <https://doi.org/10.1177/1747021818776145>
- Boraston, Z., Blakemore, S.-J., Chilvers, R., & Skuse, D. (2007). Impaired sadness recognition is linked to social interaction deficit in autism. *Neuropsychologia*, *45*(7), 1501-1510. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.11.010>
- Brainard, D. H. (1997). The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, *10*(4), 433-436.

- Brewer, R., Bird, G., Gray, K. L., & Cook, R. (2019). Face perception in autism spectrum disorder: Modulation of holistic processing by facial emotion. *Cognition*, *193*, Article 104016. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104016>
- Bruce, V. (1986). Influences of familiarity on the processing of faces. *Perception*, *15*(4), 387-397. <https://doi.org/10.1068/p150387>
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, *77*(3), 305-327. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x>
- Bukach, C. M., Le 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. <https://doi.org/10.1348/174866407X231010>
- Burra, N., Hervais-Adelman, A., Kerzel, D., Tamietto, M., de Gelder, B., & Pegna, A. J. (2013). Amygdala activation for eye contact despite complete cortical blindness. *Journal of Neuroscience*, *33*(25), 10483-10489. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3994-12.2013>
- Burt, P. J., & Adelson, E. H. (1983). The Laplacian pyramid as a compact image code. *IEEE Transactions on Communications*, *31*(4), 532-540. <https://doi.org/10.1109/TCOM.1983.1095851>
- Burton, A. M., Bruce, V., & Hancock, P. J. B. (1999). From pixels to people: A model of familiar face recognition. *Cognitive Science*, *23*(1), 1-31. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2301_1
- Burton, A. M., White, D., & McNeill, A. (2010). The Glasgow Face Matching Test. *Behavior Research Methods*, *42*(1), 286-291. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.1.286>
- Busigny, T., & Rossion, B. (2010). Acquired prosopagnosia abolishes the face inversion effect. *Cortex*, *46*(8), 965-981. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.07.004>
- Butler, S., Blais, C., Gosselin, F., Bub, D., & Fiset, D. (2010). Recognizing famous people. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(6), 1444-1449. <https://doi.org/10.3758/APP.72.6.1444>
- Caharel, S., Leleu, A., Bernard, C., Viggiano, M. P., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2013). Early holistic face-like processing of Arcimboldo paintings in the right occipito-temporal cortex: Evidence from the N170 ERP component. *International Journal of Psychophysiology*, *90*(2), 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.06.024>
- Caharel, S., Ramon, M., & Rossion, B. (2014). Face familiarity decisions take 200 msec in the human brain: Electrophysiological evidence from a go/no-go speeded task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(1), 81-95. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00451

- Caldera, 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. <https://doi.org/10.1162/089892905774597254>
- Calder, A. J. (2011). Does facial identity and facial expression recognition involve separate visual routes?. Dans A. J. Calder, G. Rhodes, M. H. Johnson, & J. V. Haxby (Éds.), *The Oxford handbook of face perception* (pp. 427-448). Oxford University Press.
- Calder, A. J., Burton, A. M., Miller, P., Young, A. W., & Akamatsu, S. (2001). A principal component analysis of facial expressions. *Vision Research*, *41*(9), 1179-1208. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00002-5)
- Calder, A. J., & Young, A. W. (2005). Understanding the recognition of facial identity and facial expression. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*(8), 641-651. <https://doi.org/10.1038/nrn1724>
- Calder, A. J., Young, A. W., Keane, J., & Dean, M. (2000). Configural information in facial expression perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(2), 527-551. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.2.527>
- Campbell, J., & Burke, D. (2009). Evidence that identity-dependent and identity-independent neural populations are recruited in the perception of five basic emotional facial expressions. *Vision Research*, *49*(12), 1532-1540. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.03.009>
- Campbell, R. (1996). Dissociating face processing skills: Decisions about lip read speech, expression, and identity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *49*(2), 295-314. <https://doi.org/10.1080/713755619>
- Carey, S., & Diamond, R. (1977). From piecemeal to configurational representation of faces. *Science*, *195*(4275), 312-314. <https://doi.org/10.1126/science.831281>
- Castelli, F., Frith, C., Happé, F., & Frith, U. (2002). Autism, Asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution of mental states to animated shapes. *Brain*, *125*(8), 1839-1849. <https://doi.org/10.1093/brain/awf189>
- Chang, L., & Tsao, D. Y. (2017). The code for facial identity in the primate brain. *Cell*, *169*(6), 1013-1028. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.05.011>
- Chauvin, A., Worsley, K. J., Schyns, P. G., Arguin, M., & Gosselin, F. (2005). Accurate statistical tests for smooth classification images. *Journal of Vision*, *5*(9), Article 1. <https://doi.org/10.1167/5.9.1>
- Cook, R., Brewer, R., Shah, P., & Bird, G. (2013). Alexithymia, not autism, predicts poor recognition of emotional facial expressions. *Psychological Science*, *24*(5), 723-732. <https://doi.org/10.1177/0956797612463582>

- Costen, N. P., Parker, D. M., & Craw, I. (1994). Spatial content and spatial quantisation effects in face recognition. *Perception*, 23(2), 129-146. <https://doi.org/10.1068/p230129>
- Costen, N. P., Parker, D. M., & Craw, I. (1996). Effects of high-pass and low-pass spatial filtering on face identification. *Perception & Psychophysics*, 58(4), 602-612. <https://doi.org/10.3758/BF03213093>
- Cottrell, G. W., Branson, K. M., & Calder, A. J. (2002). Do expression and identity need separate representations?. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 24.
- Critchley, H., Daly, E., Phillips, M., Brammer, M., Bullmore, E., Williams, S., Van Amelsvoort, T., Robertson, D., David, A., & Murphy, D. (2000). Explicit and implicit neural mechanisms for processing of social information from facial expressions: A functional magnetic resonance imaging study. *Human Brain Mapping*, 9(2), 93-105. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0193\(200002\)9:2%3C93::AID-HBM4%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0193(200002)9:2%3C93::AID-HBM4%3E3.0.CO;2-Z)
- Dalrymple, K. A., Fletcher, K., Corrow, S., das Nair, R., Barton, J. J. S., Yonas, A., & Duchaine, B. (2014a). “A room full of strangers every day”: The psychosocial impact of developmental prosopagnosia on children and their families. *Journal of Psychosomatic Research*, 77(2), 144-150. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2014.06.001>
- Dalrymple, K. A., Garrido, L., & Duchaine, B. (2014b). Dissociation between face perception and face memory in adults, but not children, with developmental prosopagnosia. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 10, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.07.003>
- Davis, J. M., McKone, E., Dennett, H., O'Connor, K. B., O'Kearney, R., & Palermo, R. (2011). Individual differences in the ability to recognise facial identity are associated with social anxiety. *PloS ONE*, 6(12), e28800. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028800>
- Dawson, G., Webb, S. J., & McPartland, J. (2005). Understanding the nature of face processing impairment in autism: Insights from behavioral and electrophysiological studies. *Developmental Neuropsychology*, 27(3), 403-424. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2703_6
- 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. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.09.004>
- De Renzi, E., Faglioni, P., Grossi, D., & Nichelli, P. (1991). Apperceptive and associative forms of prosopagnosia. *Cortex*, 27(2), 213-221. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(13\)80125-6](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(13)80125-6)

- Derntl, B., Seidel, E. M., Kainz, E., & Carbon, C. C. (2009). Recognition of emotional expressions is affected by inversion and presentation time. *Perception*, *38*(12), 1849-1862. <https://doi.org/10.1068/p6448>
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1990). *Spatial vision* (Vol. 14). Oxford University Press.
- Dobs, K., Bühlhoff, I., & Schultz, J. (2016). Identity information content depends on the type of facial movement. *Scientific Reports*, *6*(1), Article 34301. <https://doi.org/10.1038/srep34301>
- Dobs, K., Bühlhoff, I., & Schultz, J. (2018). Use and usefulness of dynamic face stimuli for face perception studies—a review of behavioral findings and methodology. *Frontiers in Psychology*, *9*, Article 1355. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01355>
- Dobs, K., Ma, W. J., & Reddy, L. (2017). Near-optimal integration of facial form and motion. *Scientific Reports*, *7*(1), Article 11002. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10885-y>
- Donnelly, N., & Davidoff, J. (1999). The mental representations of faces and houses: Issues concerning parts and wholes. *Visual Cognition*, *6*(3-4), 319-343. <https://doi.org/10.1080/135062899395000>
- 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. <https://doi.org/10.1080/02643290701380491>
- Duchaine, B., & Nakayama, K. (2006a). The Cambridge Face Memory Test: Results for neurologically intact individuals and an investigation of its validity using inverted face stimuli and prosopagnosic participants. *Neuropsychologia*, *44*(4), 576-585. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.001>
- Duchaine, B. C., & Nakayama, K. (2006b). Developmental prosopagnosia: a window to content-specific face processing. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*(2), 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.03.003>
- Duncan, J., Galinier, C., Blais, C., Fiset, D., & Caldara, R. (en rédaction). Early perceptual processes shape other race effects for faces.
- Duncan, J., Gosselin, F., Cobarro, C., Dugas, G., Blais, C., & Fiset, D. (2017). Orientations for the successful categorization of facial expressions and their link with facial features. *Journal of Vision*, *17*(14), Article 7. <https://doi.org/10.1167/17.14.7>
- Duncan, J., Roberge, A., Fortier-Gauthier, U., Fiset, D., Blais, C., & Brisson, B. (2021). Dual task interference on early perceptual processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *83*(4), 1777–1795. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02158-0>

- Dupuis-Roy, N., Fortin, I., Fiset, D., & Gosselin, F. (2009). Uncovering gender discrimination cues in a realistic setting. *Journal of Vision*, 9(2), Article 10. <https://doi.org/10.1167/9.2.10>
- Ekman, P. (1972). Universals and cultural differences in facial expression of emotion. In J. Cole (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation* (pp. 207-283). Lincoln: University of Nebraska Press.
- Elfenbein, H. A., & Ambady, N. (2002). Is there an in-group advantage in emotion recognition?. *Psychological Bulletin*, 128(2), 243–249. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.2.243>
- Esins, J., Bülthoff, I., & Schultz, J. (2014). Facial motion does not help face recognition in congenital prosopagnosics. *Journal of Vision*, 14(10), Article 1436. <https://doi.org/10.1167/14.10.1436>
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is "special" about face perception?. *Psychological Review*, 105(3), 482-498. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.105.3.482>
- Feinstein, J. S., Adolphs, R., Damasio, A., & Tranel, D. (2011). The human amygdala and the induction and experience of fear. *Current Biology*, 21(1), 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.11.042>
- Finzi, R. D., Susilo, T., Barton, J. J. S., & Duchaine, B. C. (2016). The role of holistic face processing in acquired prosopagnosia: evidence from the composite face effect. *Visual Cognition*, 24(4), 304-320. <https://doi.org/10.1080/13506285.2016.1261976>
- Fiorentini, C., & Viviani, P. (2011). Is there a dynamic advantage for facial expressions?. *Journal of Vision*, 11(3), Article 17. <https://doi.org/10.1167/11.3.17>
- 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*, 12(8), 1334-1341. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx068>
- Fisher, K., Towler, J., & Eimer, M. (2016). Facial identity and facial expression are initially integrated at visual perceptual stages of face processing. *Neuropsychologia*, 80, 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.011>
- Flack, T. R., Andrews, T. J., Hymers, M., Al-Mosaiwi, M., Marsden, S. P., Strachan, J. W. A., Trakulpipat, C., Wang, L., Wu, T., & Young, A. W. (2015). Responses in the right posterior superior temporal sulcus show a feature-based response to facial expression. *Cortex*, 69, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.03.002>
- Fox, C. J., & Barton, J. J. S. (2007). What is adapted in face adaptation? The neural representations of expression in the human visual system. *Brain Research*, 1127, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.09.104>

- Fox, C. J., Iaria, G., & Barton, J. J. S. (2008). Disconnection in prosopagnosia and face processing. *Cortex*, *44*(8), 996-1009. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.04.003>
- Fox, C. J., Moon, S. Y., Iaria, G., & Barton, J. J. S. (2009). The correlates of subjective perception of identity and expression in the face network: An fMRI adaptation study. *Neuroimage*, *44*(2), 569-580. <https://doi-org.proxybiblio.uqo.ca/10.1016/j.neuroimage.2008.09.011>
- Freiwald, W., Duchaine, B., & Yovel, G. (2016). Face processing systems: From neurons to real world social perception. *Annual Review of Neuroscience*, *39*, 325-346. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-070815-013934>
- 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. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21545>
- Furl, N., van Rijsbergen, N. J., Treves, A., Friston, K. J., & Dolan, R. J. (2007). Experience-dependent coding of facial expression in superior temporal sulcus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(33), 13485-13489. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702548104>
- Gamer, M., & Büchel, C. (2009). Amygdala activation predicts gaze toward fearful eyes. *Journal of Neuroscience*, *29*(28), 9123-9126. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1883-09.2009>
- Gamer, M., Schmitz, A. K., Tittgemeyer, M., & Schilbach, L. (2013). The human amygdala drives reflexive orienting towards facial features. *Current Biology*, *23*(20), R917-R918. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.09.008>
- Ganel, T., & Goshen-Gottstein, Y. (2004). Effects of familiarity on the perceptual integrality of the identity and expression of faces: The parallel-route hypothesis revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *30*(3), 583-597. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.3.583>
- Ganel, T., Valyear, K. F., Goshen-Gottstein, Y., & Goodale, M. A. (2005). The involvement of the “fusiform face area” in processing facial expression. *Neuropsychologia*, *43*(11), 1645-1654. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.01.012>
- 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. <https://doi.org/10.1038/72140>
- George, M. S., Ketter, T. A., Gill, D. S., Haxby, J. V., Ungerleider, L. G., Herscovitch, P., & Post, R. M. (1993). Brain regions involved in recognizing facial emotion or identity: An oxygen-15 PET study. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *5*(4), 384-394. <https://doi.org/10.1176/jnp.5.4.384>

- Girges, C., Spencer, J., & O'Brien, J. (2015). Categorizing identity from facial motion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(9), 1832-1843.
<https://doi.org/10.1080/17470218.2014.993664>
- 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.
[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00080-2)
- Gold, J. M., Barker, J. D., Barr, S., Bittner, J. L., Bratch, A., Bromfield, W. D., Goode, R. A., Jones, M., Lee, 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.
<https://doi.org/10.3758/s13423-014-0632-3>
- Gold, J. M., Barker, J. D., Barr, S., Bittner, J. L., Bromfield, W. D., Chu, N., Goode, R. A., Lee, D., Simmons, M., & Srinath, A. (2013). The efficiency of dynamic and static facial expression recognition. *Journal of Vision*, 13(5), Article 23.
<https://doi.org/10.1167/13.5.23>
- 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.
<https://doi.org/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.
[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00097-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00097-9)
- Grynberg, D., Chang, B., Corneille, O., Maurage, P., Vermeulen, N., Berthoz, S., & Luminet, O. (2012). Alexithymia and the processing of emotional facial expressions (EFEs): Systematic review, unanswered questions and further perspectives. *PLoS ONE*, 7(8), e42429.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042429>
- Hanawalt, N. G. (1944). The role of the upper and the lower parts of the face as a basis for judging facial expressions: II. In posed expressions and "candid-camera" pictures. *The Journal of General Psychology*, 31(1), 23-36. <https://doi.org/10.1080/00221309.1944.10545217>
- Hasselmo, M. E., Rolls, E. T., & Baylis, G. C. (1989). The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the temporal visual cortex of the monkey. *Behavioural Brain Research*, 32(3), 203-218.
[https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(89\)80054-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(89)80054-3)
- Harvard Health Publishing. (2019). *Snellen test for visual acuity*.
<https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/snellen-test-for-visual-acuity-a-to-z>
- 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.
[https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01482-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01482-0)

- 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. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21249>
- Hill, H., & Johnston, A. (2001). Categorizing sex and identity from the biological motion of faces. *Current Biology*, 11(11), 880-885. [https://doi.org/10.1016/s0960-9822\(01\)00243-3](https://doi.org/10.1016/s0960-9822(01)00243-3)
- 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. <https://doi.org/10.1038/71152>
- Hugenberg, K., Young, S. G., Bernstein, M. J., & Sacco, D. F. (2010). The categorization-individuation model: An integrative account of the other-race recognition deficit. *Psychological Review*, 117(4), 1168-1187. <https://doi.org/10.1037/a0020463>
- Humphreys, G. W., Donnelly, N., & Riddoch, M. J. (1993). Expression is computed separately from facial identity, and it is computed separately for moving and static faces: Neuropsychological evidence. *Neuropsychologia*, 31(2), 173-181. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90045-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90045-2)
- Humphreys, K., Avidan, G., & Behrmann, M. (2007). A detailed investigation of facial expression processing in congenital prosopagnosia as compared to acquired prosopagnosia. *Experimental Brain Research*, 176(2), 356-373. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0621-5>
- Instituts de recherche en santé du Canada. (2019, 15 mai). *Recherche clinique*. <https://cihr-irsc.gc.ca/f/48805.html>
- Issa, E. B., & DiCarlo, J. J. (2012). Precedence of the eye region in neural processing of faces. *Journal of Neuroscience*, 32(47), 16666-16682. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2391-12.2012>
- 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. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.11.1815>
- Ivry, R. B., & Robertson, L. C. (1998). *The two sides of perception*. MIT press.
- Jack, R. E., & Schyns, P. G. (2017). Toward a social psychophysics of face communication. *Annual Review of Psychology*, 68, 269-297. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044242>
- Jackson, M. C., & Raymond, J. E. (2008). Familiarity enhances visual working memory for faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(3), 556-568. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.3.556>

- 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. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-11-04302.1997>
- Kätsyri, J., & Sams, M. (2008). The effect of dynamics on identifying basic emotions from synthetic and natural faces. *International Journal of Human-Computer Studies*, *66*(4), 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.10.001>
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D. (2007). *What's new in Psychtoolbox-3*. https://pure.mpg.de/rest/items/item_1790332/component/file_3136265/content
- Knappmeyer, B., Thornton, I. M., & Bühlhoff, H. H. (2003). The use of facial motion and facial form during the processing of identity. *Vision Research*, *43*(18), 1921-1936. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(03\)00236-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00236-0)
- Konar, Y., Bennett, P. J., & Sekuler, A. B. (2010). Holistic processing is not correlated with face-identification accuracy. *Psychological Science*, *21*(1), 38-43. <https://doi.org/10.1177/0956797609356508>
- Krumhuber, E. G., Kappas, A., & Manstead, A. S. R. (2013). Effects of dynamic aspects of facial expressions: A review. *Emotion Review*, *5*(1), 41-46. <https://doi.org/10.1177/1754073912451349>
- Lander, K., & Bruce, V. (2000). Recognizing famous faces: Exploring the benefits of facial motion. *Ecological Psychology*, *12*(4), 259-272. https://doi.org/10.1207/S15326969ECO1204_01
- Lander, K., & Bruce, V. (2003). The role of motion in learning new faces. *Visual Cognition*, *10*(8), 897-912. <https://doi.org/10.1080/13506280344000149>
- Lander, K., Bruce, V., & Hill, H. (2001). Evaluating the effectiveness of pixelation and blurring on masking the identity of familiar faces. *Applied Cognitive Psychology*, *15*(1), 101-116. [https://doi.org/10.1002/1099-0720\(200101/02\)15:1%3C101::AID-ACP697%3E3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1099-0720(200101/02)15:1%3C101::AID-ACP697%3E3.0.CO;2-7)
- Lander, K., Christie, F., & Bruce, V. (1999). The role of movement in the recognition of famous faces. *Memory & Cognition*, *27*(6), 974-985. <https://doi.org/10.3758/BF03201228>
- Lander, K., & Chuang, L. (2005). Why are moving faces easier to recognize?. *Visual Cognition*, *12*(3), 429-442. <https://doi.org/10.1080/13506280444000382>
- Lander, K., Humphreys, G., & Bruce, V. (2004). Exploring the role of motion in prosopagnosia: Recognizing, learning and matching faces. *Neurocase*, *10*(6), 462-470. <https://doi.org/10.1080/13554790490900761>

- Lebrecht, S., Pierce, L. J., Tarr, M. J., & Tanaka, J. W. (2009). Perceptual other-race training reduces implicit racial bias. *PLoS ONE*, *4*(1), e4215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004215>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.11.005>
- Lipp, O. V., Price, S. M., & Tellegen, C. L. (2009). No effect of inversion on attentional and affective processing of facial expressions. *Emotion*, *9*(2), 248-259. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0014715>
- Liu, X., Li, X., Song, Y., & Liu, J. (2021). Separate and shared neural basis of face memory and face perception in developmental prosopagnosia. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, Article 668174. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.668174>
- Longmore, C. A., & Tree, J. J. (2013). Motion as a cue to face recognition: Evidence from congenital prosopagnosia. *Neuropsychologia*, *51*(5), 864-875. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.01.022>
- Mangini, M. C., & Biederman, I. (2004). Making the ineffable explicit: Estimating the information employed for face classifications. *Cognitive Science*, *28*(2), 209-226. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2802_4
- Martelli, M., Majaj, N. J., & Pelli, D. G. (2005). Are faces processed like words? A diagnostic test for recognition by parts. *Journal of Vision*, *5*(1), Article 6. <https://doi.org/10.1167/5.1.6>
- Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(6), 255-260. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01903-4](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)01903-4)
- Méndez-Bértolo, C., Moratti, S., Toledano, R., Lopez-Sosa, F., Martínez-Alvarez, R., Mah, Y. H., Vuilleumier, P., Gil-Nagel, A., & Strange, B. A. (2016). A fast pathway for fear in human amygdala. *Nature Neuroscience*, *19*(8), 1041-1049. <https://doi.org/10.1038/nn.4324>
- McKone, E., & Yovel, G. (2009). Why does picture-plane inversion sometimes dissociate perception of features and spacing in faces, and sometimes not? Toward a new theory of holistic processing. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(5), 778-797. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.5.778>
- Monti, C., Sozzi, M., Bossi, F., Corbo, M., & Rivolta, D. (2019). Atypical holistic processing of facial identity and expression in a case of acquired prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *36*(7-8), 358-382. <https://doi.org/10.1080/02643294.2020.1718071>
- Murphy, J., Gray, K. L., & Cook, R. (2017). The composite face illusion. *Psychonomic Bulletin & Review*, *24*(2), 245-261. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1131-5>

- Murphy, J., Gray, K. L., & Cook, R. (2020). Inverted faces benefit from whole-face processing. *Cognition*, *194*, Article 104105. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104105>
- Narumoto, J., Okada, T., Sadato, N., Fukui, K., & Yonekura, Y. (2001). Attention to emotion modulates fMRI activity in human right superior temporal sulcus. *Cognitive Brain Research*, *12*(2), 225-231. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(01\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(01)00053-2)
- Näsänen, R. (1999). Spatial frequency bandwidth used in the recognition of facial images. *Vision Research*, *39*(23), 3824-3833. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00096-6)
- Nusseck, M., Cunningham, D. W., Wallraven, C., & Bühlhoff, H. H. (2008). The contribution of different facial regions to the recognition of conversational expressions. *Journal of Vision*, *8*(8), Article 1. <https://doi.org/10.1167/8.8.1>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)01908-3](https://doi.org/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*, Article 74. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00074>
- Palermo, R., Willis, M. L., Rivolta, D., McKone, E., Wilson, C. E., & Calder, A. J. (2011). Impaired holistic coding of facial expression and facial identity in congenital prosopagnosia. *Neuropsychologia*, *49*(5), 1226-1235. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.021>
- Pancaroglu, R., Hills, C. S., Sekunova, A., Viswanathan, J., Duchaine, B., & Barton, J. J. S. (2016). Seeing the eyes in acquired prosopagnosia. *Cortex*, *81*, 251-265. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.024>
- Parker, J. D. A., Taylor, G. J., & Bagby, M. (1993). Alexithymia and the recognition of facial expressions of emotion. *Psychotherapy and Psychosomatics*, *59*(3-4), 197-202. <https://doi.org/10.1159/000288664>
- Parry, F. M., Young, A. W., Shona, J., Saul, M., & Moss, A. (1991). Dissociable face processing impairments after brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *13*(4), 545-558. <https://doi.org/10.1080/01688639108401070>
- Pascalis, O., & Kelly, D. J. (2009). The origins of face processing in humans: Phylogeny and ontogeny. *Perspectives on Psychological Science*, *4*(2), 200-209. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6924.2009.01119.x>
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, *10*(4), 437-442. <https://doi.org/10.1163/156856897X00366>

- 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(3), 187–199.
- Phillips, M. L. (2004). Facial processing deficits and social dysfunction: how are they related?. *Brain*, 127(8), 1691-1692. <https://doi.org/10.1093/brain/awh254>
- 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), 2066-2070. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.07.060>
- Plutchik, R. (1962). *The emotions: Facts, theories and a new model*. Crown Publishing Group/Random House.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18(6), 2188-2199. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-06-02188.1998>
- Ramon, M., Busigny, T., Gosselin, F., & Rossion, B. (2016). All new kids on the block? Impaired holistic processing of personally familiar faces in a kindergarten teacher with acquired prosopagnosia. *Visual Cognition*, 24(5-6), 321-355. <https://doi.org/10.1080/13506285.2016.1273985>
- Ramon, M., Busigny, T., & Rossion, B. (2010). Impaired holistic processing of unfamiliar individual faces in acquired prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 48(4), 933-944. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.014>
- Ramon, M., Caharel, S., & Rossion, B. (2011). The speed of recognition of personally familiar faces. *Perception*, 40(4), 437-449. <https://doi.org/10.1068/p6794>
- Rhodes, G., Brake, S., & Atkinson, A. P. (1993). What's lost in inverted faces?. *Cognition*, 47(1), 25-57. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(93\)90061-y](https://doi.org/10.1016/0010-0277(93)90061-y)
- Richler, J. J., Cheung, O. S., & Gauthier, I. (2011). Holistic processing predicts face recognition. *Psychological Science*, 22(4), 464-471. <https://doi.org/10.1177/0956797611401753>
- Richler, J. J., & Gauthier, I. (2014). A meta-analysis and review of holistic face processing. *Psychological Bulletin*, 140(5), 1281-1302. <https://doi.org/10.1037/a0037004>
- Richler, J. J., Palmeri, T. J., & Gauthier, I. (2012). Meanings, mechanisms, and measures of holistic processing. *Frontiers in Psychology*, 3, Article 553. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00553>
- Richoz, A.-R., Jack, R. E., Garrod, O. G. B., Schyns, P. G., & Caldara, R. (2015). Reconstructing dynamic mental models of facial expressions in prosopagnosia reveals distinct representations for identity and expression. *Cortex*, 65, 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.11.015>

- Robbins, R., & McKone, E. (2007). No face-like processing for objects-of-expertise in three behavioural tasks. *Cognition*, *103*(1), 34-79.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.02.008>
- 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*, Article 139. <https://doi.org/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*, 736-743.
<https://doi.org/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. <https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.1080/13506285.2013.772929>
- Rossion, B. (2022a). Twenty years of investigation with the case of prosopagnosia PS to understand human face identity recognition. Part I: Function. *Neuropsychologia*, *173*, Article 108278. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108278>
- Rossion, B. (2022b). Twenty years of investigation with the case of prosopagnosia PS to understand human face identity recognition. Part II: Neural basis. *Neuropsychologia*, *173*, Article 108279. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2022.108279>
- Rossion, B., Caldara, R., Seghier, M., Schuller, A.-M., Lazeyras, F., Mayer, E. (2003). A network of occipito-temporal face-sensitive areas besides the right middle fusiform gyrus is necessary for normal face processing. *Brain*, *126*(11), 2381-2395.
<https://doi.org/10.1093/brain/awg241>
- Rossion, B., & Gauthier, I. (2002). How does the brain process upright and inverted faces?. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, *1*(1), 63-75.
<https://doi.org/10.1177/1534582302001001004>
- 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. <https://doi.org/10.1348/174866408X289944>
- Rousselet, G. A., Ince, R. A., van Rijsbergen, N. J., & Schyns, P. G. (2014). Eye coding mechanisms in early human face event-related potentials. *Journal of Vision*, *14*(13), Article 7. <https://doi.org/10.1167/14.13.7>

- Roy, C., Blais, C., Fiset, D., Rainville, P., & Gosselin, F. (2015). Efficient information for recognizing pain in facial expressions. *European Journal of Pain, 19*(6), 852-860. <https://doi.org/10.1002/ejp.676>
- Roy, S., Roy, C., Éthier-Majcher, C., Fortin, I., Belin, P., & Gosselin, F. (2007). STOIC: A database of dynamic and static faces expressing highly recognizable emotions. *Journal of Vision, 7*(9), Article 944. <https://doi.org/10.1167/7.9.944>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.04.004>
- Royer, J., Blais, C., Charbonneau, I., Déry, K., Tardif, J., Duchaine, B., Gosselin, F., & Fiset, D. (2018). Greater reliance on the eye region predicts better face recognition ability. *Cognition, 181*, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.08.004>
- Royer, J., Blais, C., Gosselin, F., Duncan, J., & Fiset, D. (2015). When less is more: Impact of face processing ability on recognition of visually degraded faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 41*(5), 1179-1183. <http://dx.doi.org/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*(1), 13-23. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0740-3>
- Russell, R., Duchaine, B., & Nakayama, K. (2009). Super-recognizers: People with extraordinary face recognition ability. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(2), 252-257. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.2.252>
- Schiltz, C., & Rossion, B. (2006). Faces are represented holistically in the human occipito-temporal cortex. *Neuroimage, 32*(3), 1385-1394. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.05.037>
- Schiltz, C., Sorger, B., Caldara, R., Ahmed, F., Mayer, E., Goebel, R., & Rossion, B. (2006). Impaired face discrimination in acquired prosopagnosia is associated with abnormal response to individual faces in the right middle fusiform gyrus. *Cerebral Cortex, 16*(4), 574-586. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhj005>
- Schweinberger, S. R., Burton, A. M., & Kelly, S. W. (1999). Asymmetric dependencies in perceiving identity and emotion: Experiments with morphed faces. *Perception & Psychophysics, 61*(6), 1102-1115. <https://doi.org/10.3758/BF03207617>
- Schweinberger, S. R., & Soukup, G. R. (1998). Asymmetric relationships among perceptions of facial identity, emotion, and facial speech. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*(6), 1748-1765. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.6.1748>

- 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. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00472>
- Schyns, P. G., Jentzsch, I., Johnson, M., Schweinberger, S. R., & Gosselin, F. (2003). A principled method for determining the functionality of brain responses. *NeuroReport*, *14*(13), 1665-1669.
- Sekuler, A. B., Gaspar, C. M., Gold, J. M., & Bennett, P. J. (2004). Inversion leads to quantitative, not qualitative, changes in face processing. *Current Biology*, *14*(5), 391-396. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1093/cercor/2.5.375>
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge University Press.
- Smith, M. L., Cottrell, G. W., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2005). Transmitting and decoding facial expressions. *Psychological Science*, *16*(3), 184-189. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00752.x>
- Smith, M. L., & Merlusca, C. (2014). How task shapes the use of information during facial expression categorizations. *Emotion*, *14*(3), 478-487. <https://doi.org/10.1037/a0035588>
- Snellen, H. (1862). *Letterproeven, tot bepaling der gezigtsscherpte* (Vol. 1). J. Greven.
- Solomon-Harris, L. M., Mullin, C. R., & Steeves, J. K. E. (2013). TMS to the “occipital face area” affects recognition but not categorization of faces. *Brain and Cognition*, *83*(3), 245-251. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.08.007>
- Steede, L. L., Tree, J. J., & Hole, G. J. (2007). I can't recognize your face but I can recognize its movement. *Cognitive Neuropsychology*, *24*(4), 451-466. <https://doi.org/10.1080/02643290701381879>
- Susilo, T., & Duchaine, B. (2013). Advances in developmental prosopagnosia research. *Current Opinion in Neurobiology*, *23*(3), 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.12.011>
- Susilo, T., McKone, E., Dennett, H., Darke, H., Palermo, R., Hall, A., Pidcock, M., Dawel, A., Jeffery, L., Wilson, C. E., & Rhodes, G. (2010). Face recognition impairments despite normal holistic processing and face space coding: Evidence from a case of developmental prosopagnosia. *Cognitive Neuropsychology*, *27*(8), 636-664. <https://doi.org/10.1080/02643294.2011.613372>

- Takarae, Y., McBeath, M. K., & Kynen, R. C. (2021). Perception of dynamic point light facial expression. *The American Journal of Psychology*, *134*(4), 373-384.
<https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.134.4.0373>
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *46*(2), 225-245. <https://doi.org/10.1080/14640749308401045>
- Tanaka, J. W., Kaiser, M. D., Butler, S., & Le Grand, R. (2012). Mixed emotions: Holistic and analytic perception of facial expressions. *Cognition and Emotion*, *26*(6), 961-977.
<https://doi.org/10.1080/02699931.2011.630933>
- Tanaka, J. W., & Philibert, V. (2022). *The expertise of perception: How experience changes the way we see the world*. Cambridge University Press.
- Tanaka, J. W., & Sengco, J. A. (1997). Features and their configuration in face recognition. *Memory & Cognition*, *25*(5), 583-592. <https://doi.org/10.3758/BF03211301>
- Tanaka, J. W., & Simonyi, D. (2016). The “parts and wholes” of face recognition: A review of the literature. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *69*(10), 1876-1889.
<https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1146780>
- Tanaka, J. W., & Sung, A. (2016). The “eye avoidance” hypothesis of autism face processing. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *46*(5), 1538-1552.
<https://doi.org/10.1007/s10803-013-1976-7>
- Tardif, J., Morin Duchesne, X., Cohan, S., Royer, J., Blais, C., Fiset, D., Duchaine, B., & Gosselin, F. (2019). Use of face information varies systematically from developmental prosopagnosics to super-recognizers. *Psychological Science*, *30*(2), 300-308.
<https://doi.org/10.1177/0956797618811338>
- Taylor, M. J., Bayless, S. J., Mills, T., & Pang, E. W. (2011). Recognising upright and inverted faces: MEG source localisation. *Brain Research*, *1381*, 167-174.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.12.083>
- Teunisse, J.-P., & de Gelder, B. (2003). Face processing in adolescents with autistic disorder: The inversion and composite effects. *Brain and Cognition*, *52*(3), 285-294.
[https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00042-3](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00042-3)
- Thompson, P. (1980). Margaret Thatcher: a new illusion. *Perception*, *9*(4), 483-484.
<https://doi.org/10.1068/p090483>
- Tsao, D. Y., Freiwald, W. A., Tootell, R. B., & Livingstone, M. S. (2006). A cortical region consisting entirely of face-selective cells. *Science*, *311*(5761), 670-674.
<https://doi.org/10.1126/science.1119983>

- Turano, M. T., Marzi, T., & Viggiano, M. P. (2016). Individual differences in face processing captured by ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, *101*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.12.009>
- Turk, M., & Pentland, A. (1991). Eigenfaces for recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *3*(1), 71-86. <https://doi.org/10.1162/jocn.1991.3.1.71>
- Ulrich, P. I. N., Wilkinson, D. T., Ferguson, H. J., Smith, L. J., Bindemann, M., Johnston, R. A., & Schmalzl, L. (2017). Perceptual and memorial contributions to developmental prosopagnosia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*(2), 298-315. <https://doi.org/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. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2802_8
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature Neuroscience*, *6*(6), 624-631. <https://doi.org/10.1038/nn1057>
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, *45*(1), 174-194. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.003>
- 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. <https://doi.org/10.1177/0956797611420575>
- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). QUEST: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, *33*(2), 113-120. <https://doi.org/10.3758/BF03202828>
- Watson, T. L. (2013). Implications of holistic face processing in autism and schizophrenia. *Frontiers in Psychology*, *4*, Article 414. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00414>
- Whalen, P. J., Kagan, J., Cook, R. G., Davis, F. C., Kim, H., Polis, S., McLaren, D. G., Somerville, L. H., McLean, A. A., Maxwell, J. S., & Johnstone, T. (2004). Human amygdala responsivity to masked fearful eye whites. *Science*, *306*(5704), 2061. <https://doi.org/10.1126/science.1103617>
- Wiese, H., Ingram, B. T., Elley, M. L., Tüttenberg, S. C., Burton, A. M., & Young, A. W. (2019). Later but not early stages of familiar face recognition depend strongly on attentional resources: Evidence from event-related brain potentials. *Cortex*, *120*, 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.06.004>

- Willenbockel, V., Fiset, D., Chauvin, A., Blais, C., Arguin, M., Tanaka, J. W., Bub, D. N., & Gosselin, F. (2010a). Does face inversion change spatial frequency tuning?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(1), 122-135. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.3.671>
- Winston, J. S., Henson, R. N. A., Fine-Goulden, M. R., & Dolan, R. J. (2004). fMRI-adaptation reveals dissociable neural representations of identity and expression in face perception. *Journal of Neurophysiology*, *92*(3), 1830-1839. <https://doi.org/10.1152/jn.00155.2004>
- Yang, N., Shafai, F., & Oruc, I. (2014). Size determines whether specialized expert processes are engaged for recognition of faces. *Journal of Vision*, *14*(8), Article 17. <https://doi.org/10.1167/14.8.17>
- Yardley, L., McDermott, L., Pisarski, S., Duchaine, B., & Nakayama, K. (2008). Psychosocial consequences of developmental prosopagnosia: A problem of recognition. *Journal of Psychosomatic Research*, *65*(5), 445-451. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2008.03.013>
- Yeung, M. K. (2022). A systematic review and meta-analysis of facial emotion recognition in autism spectrum disorder: The specificity of deficits and the role of task characteristics. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *133*, Article 104518. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.104518>
- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, *81*(1), 141-145. <https://doi.org/10.1037/h0027474>
- Young, A. W., Hellawell, D., & Hay, D. C. (1987). Configurational information in face perception. *Perception*, *16*(6), 747-759. <https://doi.org/10.1068/p160747>
- Young, A. W., McWeeny, K. H., Hay, D. C., & Ellis, A. W. (1986). Matching familiar and unfamiliar faces on identity and expression. *Psychological Research*, *48*(2), 63-68. <https://doi.org/10.1007/BF00309318>
- Yovel, G., & Kanwisher, N. (2004). Face perception: Domain specific, not process specific. *Neuron*, *44*(5), 889-898. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.11.018>
- Zhao, M., Bühlhoff, H. H., & Bühlhoff, I. (2016). A shape-based account for holistic face processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(4), 584-597. <https://doi.org/10.1037/xlm0000185>