

Université du Québec en Outaouais

Titre de l'essai : Rôle des fréquences spatiales en reconnaissance d'expressions faciales

Essai doctoral
Présenté au
Département de psychoéducation et de psychologie

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

Par
© Isabelle CHARBONNEAU

Décembre 2023

Composition du jury

Titre de l'essai : Rôle des fréquences spatiales en reconnaissance d'expressions faciales

Par Isabelle Charbonneau

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

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

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

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

Sara Tremblay, Ph. D., examinateur interne, Département de psychologie et de psychoéducation,
Université du Québec en Outaouais.

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

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage n'aurait pu voir le jour sans la contribution précieuse de nombreuses personnes, qui de près ou de loin, m'ont permis de voir grand et ont enrichi mon parcours académique.

Daniel et Caroline, sans vous, rien de tout cela n'aurait jamais existé. Il est difficile d'imaginer que, au début, j'ai failli ne pas rejoindre votre laboratoire... Mille fois merci, Dan, d'avoir changé d'avis ;). Ainsi, j'ai pu être témoin de la richesse de votre supervision, s'exprimant à travers une panoplie de vos qualités de chercheurs : votre curiosité intellectuelle sans bornes, votre rigueur scientifique, vos talents de pédagogues, votre passion débordante pour la recherche et le transfert des connaissances, et bien sûr, votre engagement exceptionnel envers vos étudiants. Vous m'avez enseigné bien au-delà de ce que l'on espère apprendre sur les bancs d'école. Des mentors exceptionnels du début à la fin de mon parcours académique, je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée et vos interventions judicieuses qui ont contribué à façonner la personne que je suis aujourd'hui. Je serai infiniment reconnaissante pour tous les moments que nous avons partagés, que ce soit au laboratoire, en congrès, ou sur une piste de course (à la découverte de nouveaux ponts!), et pour cette amitié précieuse que vous m'avez offerte. Caro, merci d'avoir été une partenaire d'entraînement si dévouée et toujours à l'écoute de mes confidences. Dan, merci d'avoir été une source d'inspiration intarissable et d'avoir nourri ma confiance en moi.

J'aimerais également souligner la contribution indispensable des membres de mon comité d'essai doctoral, soit Annie Bérubé, Sara Tremblay et Charles Collin.

Je ne peux passer sous silence la contribution de mes collègues du LPVS, avec qui toutes les heures passées à programmer, rédiger, et tester des participants prenaient une teinte plus agréable. Je remercie spécialement les *vieux* du labo (Gabe, MP, Francis) pour leur appui et leur entraide inestimable, ainsi que les « anciens » *nouveaux* (Vicki, Anthony, Laurianne, Arianne), pour la confiance que vous m’avez accordée. Enfin, une mention spéciale pour mon barista favori, Justin, qui m’a pris sous son aile à plusieurs reprises.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers ma famille et mes amis qui ont été des piliers essentiels tout au long de ce périple. À ma famille, un merci particulier pour votre soutien indéfectible. Chacun à votre manière, vous m’avez rappelé que « les bonnes choses prennent du temps ». À mes amies, à celles qui ont été présentes bien avant le début de cette aventure (Chloé, Jess, Nad et Amé) et à celles qui se sont jointes en chemin (Flav, Maril, Cathou et Virg), un immense merci. Vous avez été attentives tant à mes doutes qu’à mon enthousiasme, et votre curiosité quant à mes avancées a joué un rôle essentiel à ma motivation. Je me sens privilégiée de faire partie de vos vies.

Je remercie également mes collègues et merveilleuses amies du doctorat en neuropsychologie, Roxanne, Chloé et Kim, sans qui cette expérience n’aurait pas du tout été la même. Je garderai gravés dans mon hippocampe nos fous rires quotidiens et nos longues nuits d’études à essayer de comprendre chaque facette du cerveau, et particulièrement notre obsession pour les noyaux de l’hypothalamus (haha!).

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Carl, ma personne. Merci pour ta tendresse infinie, ton soutien inconditionnel et tes incroyables compétences organisationnelles qui m’ont permis de garder le cap sur mes objectifs. Merci d’être mon ancre, ma certitude inébranlable, me rappelant chaque jour ce qui compte réellement dans la vie.

RÉSUMÉ

Considérées comme les pièces maîtresses de la communication humaine non verbale, les expressions faciales constituent un signal d'une grande richesse, essentiel à la survie et au bon fonctionnement des interactions sociales. Toutefois, afin de remplir leur fonction de communication, celles-ci doivent être adéquatement décodées par les observateurs.

Récemment, des efforts de la communauté scientifique se sont concentrés sur l'étude des propriétés de bas niveau impliquées dans le décodage des émotions, tel que le rôle des fréquences spatiales (FS). Alors que certaines études suggèrent un traitement préférentiel des basses fréquences spatiales (BFS) aux dépens des hautes fréquences spatiales (HFS; p. ex. Vuilleumier et al., 2003), peu d'études se sont intéressées aux fréquences optimales pour la reconnaissance des six expressions faciales de base, et ce, en considérant l'ensemble du spectre fréquentiel. En fait, la plupart des recherches explorant le lien entre la perception des émotions et les FS utilisent des protocoles expérimentaux excluant généralement toute une gamme de fréquences, à savoir les moyennes fréquences spatiales (MFS). Toutefois, étant donné le rôle bien établi de ces fréquences dans la reconnaissance de visages (p. ex. Costen et al., 1994), il s'avère hautement pertinent de les prendre en compte dans d'autres tâches cognitives connexes, telles que la reconnaissance des expressions faciales.

Ainsi, ce présent projet vise à combler cette lacune dans la littérature en utilisant deux méthodes complémentaires : les bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010) dont il sera question dans la première expérience de ce projet et la manipulation des distances (c.-à-d. la modification de la taille des stimuli; Smith & Schyns, 2009) utilisée dans la deuxième expérience. De manière importante, l'utilité de ces méthodes réside dans leur capacité à explorer l'ensemble du spectre fréquentiel (expérience 1) dans des conditions reflétant des situations de la vie quotidienne (expérience 2).

Bien que nos résultats mettent en évidence un rôle prépondérant des BFS comparées aux HFS, ils suggèrent que la catégorisation des expressions faciales de base repose principalement sur l'extraction des MFS. Les données colligées dans la deuxième expérience corroborent ces résultats alors que les performances en reconnaissance chutent drastiquement avec l'augmentation de la distance, et ce, précisément lorsque les MFS ne sont plus accessibles. Par ailleurs, nos résultats révèlent que certaines expressions faciales, notamment la joie et la surprise, reposent davantage sur des BFS et sont donc reconnaissables à des distances plus éloignées. Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent une contribution nuancée des BFS et des MFS dans le traitement des expressions faciales, mais surtout, soulignent l'importance d'inclure les MFS dans les paradigmes expérimentaux afin de révéler un portrait exact de l'information visuelle contribuant au décodage des expressions faciales.

Mots clés : Perception des visages; Expressions Faciales d'Émotions; Psychophysique; Méthode des Bulles Fréquentielles; Stratégies Perceptives; Fréquences Spatiales.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	iii
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	viii
AVANT-PROPOS	ix
 CHAPITRE I - INTRODUCTION	 1
 CHAPITRE II - RECENSION DES ÉCRITS	 3
2.1. Les expressions faciales d'émotions	3
2.1.1. Valeurs adaptatives	3
2.1.2. Fonctions sociales	5
2.1.3. Émotions de base et universalité	6
2.2. Décodage des expressions faciales	8
2.2.1. Bases cérébrales de la reconnaissance des expressions faciales	9
2.2.2. L'information spatiale : mouvements oculaires et régions faciales	12
2.2.3. L'information de bas niveau : orientations et fréquences spatiales	15
2.2.4. Fréquences spatiales et perception des émotions : existence d'une voie sous-corticale ?	20
2.2.5. L'information fréquentielle utile à la reconnaissance des expressions faciales et critiques méthodologiques	22
2.2.6. Méthode des bulles fréquentielles	26
2.3. Objectifs et hypothèses	28
 CHAPITRE III - ARTICLE	 30
3.1. Abstract	31
3.2. Introduction	32
3.3. General Methods	37
3.3.1. Participants	37
3.3.2. Material and stimuli	38
3.3.3. Transparency and Openness	38
3.3.4. Procedure	39
3.4. Experiment 1: SF tuning profiles	39
3.4.1. Analysis and Results for SF Tuning Profiles	42
3.4.2. Discussion	46
3.5. Experiment 2: Perceived distance	47
3.5.1. Analysis and Results for Facial Expression Categorization across Distances	48
3.5.2. Discussion	54
3.6. General Discussion	55
3.6.1. Importance of mid-range spatial frequencies	56
3.6.2. Reappraising the role of low spatial frequencies	58

3.6.3 Differences Across Facial Expressions	60
3.6.4. Limitations, Constraints on Generality, and Future Directions	61
3.7. Conclusion	63
3.8. Acknowledgments.....	63
3.9. Author Contributions	63
3.10. Additional Information	63
3.11. Supplementary Materials	64
 CHAPITRE IV – DISCUSSION GÉNÉRALE	 75
4.1. Retour sur les hypothèses et résultats	76
4.2. Rôle des MFS et implications méthodologiques	77
4.3. Quel est le rôle des BFS en reconnaissance d’expressions faciales ?.....	79
4.3.1. BFS et temporalité	82
4.4. Types de tâches et choix alternatifs	83
4.5. Variabilité au sein des expressions faciales de base	84
4.5.1. L’expression faciale de peur : un profil paradoxal	87
4.6. Application clinique.....	89
4.7. Limites et perspectives futures.....	94
4.7.1. Choix des stimuli	94
4.7.2. Caractéristiques des participants.....	98
 CHAPITRE V - CONCLUSION	 103
 RÉFÉRENCES	 104
ANNEXE	144

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1. Exemples de Stimuli Filtrés selon Différentes Bandes de Fréquences Spatiales</i>	<i>17</i>
<i>Figure 2. Exemples de Stimuli Filtrés avec la Méthode des Bulles Fréquentielles.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 3. Creation of a “SF-bubblized” Stimulus</i>	<i>41</i>
<i>Figure 4. SF Tuning for Basic Facial Expression Categorization as Revealed by the SF Bubble’s Method</i>	<i>44</i>
<i>Figure 5. Examples of Stimuli Created with the Distance Manipulation Method.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 6. Relative Unbiased Hit Rates for Emotion Categorization as a Function of Viewing Distance</i>	<i>49</i>
<i>Figure 7. Relative Unbiased Hit Rates Contrasts.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 8. Full Confusion Matrices Underlying Performance at each Distance</i>	<i>51</i>
<i>Figure 9. Absolute Values of Unbiased Hit Rates for Emotion Categorization as a Function of Viewing Distance</i>	<i>68</i>
<i>Figure 10. Unbiased Hit Rates Contrasts with Absolute Values</i>	<i>71</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Table 1. Proportion (in %) of Useful Information Across Different Spatial Frequency Cut-Offs</i>	45
<i>Table 2. Curve Fitting Parameters Characterizing the Relationship Between Facial Expression Categorization and Distances</i>	54
<i>Table 3. Results of Paired-Sample t-tests Between each Distance for all Facial Expressions Combined</i>	64
<i>Table 4-8. Results of Paired-Sample t-tests Between each Distance for each Facial Expression</i>	64
<i>Table 9. Results of Paired-Sample t-tests Between each Distance for all Facial Expressions Combined</i>	70
<i>Table 10-14. Results of Paired-Sample t-tests with Absolute Values for each Facial Expression</i>	71

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BFS	Basses fréquences spatiales
CI	Classification image (image de classification)
CPI	Cycles par image
CPV	Cycles par visage
FACS	Facial action coding system
FFA	Fusiform face area (aire fusiforme des visages)
FS	Fréquences spatiales
FSC	Fonction de sensibilité au contraste
HFS	Hautes fréquences spatiales
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
M	Mean (moyenne)
MFS	Moyennes fréquences spatiales
OFA	Occipital face area (Aire occipitale des visages)
OS	Orientations spatiales
SD	Standard deviation (écart-type)
TEP	Tomographie par émission de positons
UA	Unité d'action

AVANT-PROPOS

Le manuscrit inclus dans cet essai, s'intitulant « *Facial expression categorization predominantly relies on mid-spatial frequencies* » a été soumis au journal *Emotion* et est actuellement en processus de révision par les pairs. Celui-ci présente une partie des données collectées dans un projet s'intéressant à la fois au traitement des expressions faciales de base et de douleur. Ce présent manuscrit traite spécifiquement des expressions faciales de base (colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise) et de la neutralité, alors que les données sur l'expression faciale de douleur sont présentées dans un article paru en 2021 dans la revue *Scientific Reports*. L'annexe comporte d'ailleurs une liste des publications de la candidate qui s'est impliquée en recherche dans plusieurs projets tout au long de son parcours.

L'idée originale de ce présent projet et le protocole expérimental ont été élaborés par Caroline Blais, Daniel Fiset et Isabelle Charbonneau. Les tâches principales ont été codées par Isabelle Charbonneau, avec l'aide de Daniel Fiset, Caroline Blais et Fraser Smith. Les participants ont été recrutés et testés par Isabelle Charbonneau, Marie-Pier Plouffe-Demers et Joël Guérette. Ensuite, les données ont été analysées et interprétées par Isabelle Charbonneau, Marie-Pier Plouffe-Demers, Joël Guérette, Justin Duncan, Daniel Fiset et Caroline Blais. La recension des écrits et l'écriture du manuscrit ont été faites par Isabelle Charbonneau. Tous les coauteurs ont contribué au manuscrit en offrant des suggestions et révisions.

CHAPITRE I - INTRODUCTION

Imaginez-vous faisant partie d'une équipe de soins à l'hôpital, profitant d'une atmosphère paisible à l'étage où vous travaillez pendant l'heure du repas, jusqu'à ce qu'un fracas soudain vienne rompre la quiétude de la soirée. Votre regard se pose sur le visage surpris de votre collègue à l'autre bout du corridor, vous signalant qu'elle aussi a perçu ce bruit inattendu. Sans perdre de temps, vous et votre collègue accourez vers les chambres des patients afin de vous assurer de leur sécurité. En ouvrant la première porte de chambre, un soupir de soulagement vous échappe en voyant un sourire radieux illuminer le visage du patient, absorbé par une émission télévisée humoristique, ses écouteurs le coupant du monde extérieur. À l'entrée de la deuxième chambre, vous apercevez rapidement le patient assis devant son repas, à quelques mètres de vous, mais n'arrivez pas à discerner les expressions faciales qui déforment son visage. Est-il en douleur ? Ou bien, en colère ? Inquiet, vous vous rapprochez rapidement de lui pour mieux comprendre la situation et lui venir en aide. En vous approchant, vous comprenez aussitôt que celui-ci est hors de danger et que c'est seulement son aversion pour la nourriture de l'hôpital qui génère une expression faciale de dégoût. Soudainement, un cri strident déchire l'air : il s'agit de votre collègue, quelques chambres plus loin. Vous accourez vers elle et vous apercevez son visage marqué par la peur. Instantanément, votre rythme cardiaque s'emballe, votre respiration s'interrompt et vous suivez la direction de son regard. Un tuyau d'égout s'est cassé, laissant échapper quelques rats en fuite. Terrorisé par la présence de ces bestioles, vous vous précipitez vers une pièce voisine, vous y enfermant en hâte pour vous mettre à l'abri et en vous jurant de ne plus jamais remettre les pieds dans cet hôpital.

Dans cette situation hypothétique, loin d'évoquer l'idée attrayante de se promener dans un hôpital infesté de rats, vous avez été témoin de l'importance conférée aux expressions faciales à

titre de médium de communication entre divers individus. En effet, afin d'assurer leur fonction communicationnelle, les expressions faciales doivent être décodées et reconnues efficacement par les observateurs, leur permettant d'ajuster leur comportement en conséquence. Cependant, comme l'illustre cet exemple, toutes les expressions faciales ne sont pas reconnues de manière égale. Certaines, telles que la colère, le dégoût et la douleur, sont parfois confondues et nécessitent une observation plus rapprochée afin d'être discriminées entre elles, tandis que d'autres, comme la surprise et la joie, sont facilement identifiables même à une distance plus éloignée (p. ex. Smith & Schyns, 2009). En fait, l'ajustement de la distance à laquelle un objet apparaît sur la rétine influence directement l'accessibilité aux détails de tout stimulus visuel, phénomène que les scientifiques appellent les fréquences spatiales (FS). Ainsi, cet essai s'intéressera plus particulièrement à la façon dont le cerveau utilise ces signaux pour reconnaître les expressions faciales, soit une habileté cruciale pour la survie humaine et essentielle pour naviguer dans la complexité de nos interactions sociales quotidiennes.

CHAPITRE II - RECENSION DES ÉCRITS

2.1. Les expressions faciales d'émotions

L'étude de la communication non verbale, en particulier celle portant sur l'expression et la reconnaissance des expressions faciales d'émotions, captive l'intérêt de la communauté scientifique depuis maintenant plus de deux siècles. Initialement propulsée par les théories évolutionnistes de Darwin, l'étude des expressions faciales d'émotions a depuis été alimentée par d'importants débats quant à leur origine, leurs fonctions et leur caractère universel. En effet, plusieurs questions fondamentales persistent : sont-elles innées ou acquises par le biais de la socialisation ? Sont-elles universellement reconnues à travers toutes les cultures ? Sont-elles représentées de manière catégorielle (p. ex. joie, colère, peur, etc.) ou selon des dimensions indépendantes (p. ex. valence et niveau d'activation/*arousal*) ? Quelles régions cérébrales sont responsables de leur traitement ? Ce sont ces interrogations auxquelles les chercheurs issus de divers domaines tels que la psychologie cognitive, la psychologie culturelle, les neurosciences, la perception et les sciences computationnelles s'efforcent toujours de répondre.

2.1.1. Valeurs adaptatives

Pour appréhender l'état actuel des connaissances sur l'origine et les fonctions des expressions faciales, un retour aux travaux pionniers de Charles Darwin s'impose, notamment un de ses livres publiés en 1872, « *The expression of emotion in man and animals* ». Dans cet ouvrage fondateur, Darwin avance l'origine des expressions émotionnelles à travers la lentille de la théorie de l'évolution, une perspective qui a profondément divisé la communauté scientifique de son époque, majoritairement encline vers le créationnisme. En effet, Darwin propose des idées novatrices, affirmant le caractère inné, automatique et instinctif des expressions faciales,

certaines étant partagées avec le règne animal. Bien qu'il reconnaisse que certaines expressions résultent d'associations apprises et d'habitudes, il suggère que d'autres ont émergé de l'évolution, ayant été sélectionnées en raison de leurs fonctions adaptatives. Par exemple, l'expression de la peur, souvent caractérisée par l'écarquillement des yeux, le gonflement des narines et l'ouverture de la bouche, facilite la fuite, optimisant ainsi à la fois le système visuel et musculaire (Susskind, 2008). De même, l'expression de dégoût, manifestée par le plissement du nez et le rétrécissement des yeux, protège l'organisme contre la contamination par des agents pathogènes externes (Susskind, 2008). Outre les bénéfices pour l'individu qui manifeste une expression faciale, la capacité d'un observateur externe à la reconnaître lui offre également des avantages au niveau de la survie, lui permettant d'ajuster ses comportements en conséquence (p. ex. Shariff & Tracy, 2011). Par exemple, la reconnaissance d'un visage apeuré agit comme un signal d'alarme pour l'observateur, pouvant déclencher une cascade de réactions physiologiques lui permettant d'accroître sa vigilance, de détecter la présence de dangers potentiels imminents, et si nécessaire, de prendre des mesures immédiates pour assurer sa sécurité (p. ex. fuir ou combattre). En continuité avec la théorie évolutionniste, il est proposé aujourd'hui que les expressions faciales d'émotions soient automatiques et involontaires, voire préprogrammées dans notre cerveau (Ekman & Cordaro, 2011, voir toutefois Barrett et al., 2011).

Néanmoins, des questions subsistent concernant les expressions faciales qui semblent se manifester sans répondre à une fonction physiologique évidente. Pourquoi, par exemple, affichons-nous un visage dégoûté face à une transgression morale (Chapman et al., 2009; Rozin et al., 1994) ? Au-delà de leur rôle essentiel à la survie, de nombreux auteurs suggèrent que ces expressions ont évolué au-delà de leurs fonctions biologiques initiales pour servir la communication sociale (Andrew, 1963; Darwin, 1872; Susskind et al., 2008). Ainsi se pose la

question fascinante de savoir comment ces expressions faciales s'intègrent dans la communication et, plus largement, dans les interactions sociales.

2.1.2. Fonctions sociales

Il est sans équivoque que les habiletés à produire et à reconnaître les expressions faciales d'émotions sont essentielles à la communication sociale et, plus largement, aux relations humaines (p. ex. Haxby et al., 2000; Matsumoto & Hwang, 2011). En tant que reflet des expériences émotionnelles internes (Blair, 2003; Ekman 1997), les expressions faciales d'émotions permettent d'inférer l'état émotionnel d'autrui, de communiquer le nôtre, et ainsi ajuster nos comportements sociaux en conséquence (Adams et al., 2006; Ekman, 1997; Frijda & Tcherkassof, 1997; McArthur & Baron 1983). Les expressions faciales s'avèrent non seulement utiles pour évaluer les motivations sociales d'un individu, mais également afin de situer leurs intentions (p. ex. Ekman, 1997; Frith, 2009; Frijda & Tcherkassof, 1997). Par exemple, une expression faciale de colère peut signifier la présence de danger et d'un environnement hostile, incitant un individu à prendre ses distances (Zebrowitz, 2008). De plus, le caractère délibéré de la production des expressions faciales permet également d'apprécier leur importance cruciale dans les relations interpersonnelles où elles sont utilisées pour moduler le comportement social d'autrui (p. ex. Jack et Smith, 2015). Il suffit de penser aux différents types de sourires que nous produisons au quotidien, chacun portant un sens spécifique (p. ex. Martin et al., 2017). Par exemple, certains sourires relèvent de la politesse, tandis que d'autres sont feints pour dissimuler d'autres émotions telles que la tristesse ou la colère entre autres, car il serait inapproprié de les exprimer selon le contexte dans lequel un individu se retrouve (p. ex. au travail en présence de notre supérieur hiérarchique versus à la maison avec son/sa partenaire). En effet, à titre d'outil socio-communicationnel, l'expression faciale se doit d'être interprétée selon le contexte dans

lequel un individu se retrouve (p. ex. Barrett et al., 2011; Hassin et al., 2013) et en intégrant d'autres sources d'informations telles que les mouvements du corps et les vocalisations.

2.1.3. Émotions de base et universalité

Bien que l'importance du contexte dans la reconnaissance des expressions faciales soit indéniable, plusieurs études ont révélé que certaines d'entre elles peuvent être identifiées indépendamment du contexte (p. ex. Coleman, 1949; Howell & Jorgenson, 1970; Lanzetta & Kleck, 1970), et même, par des individus issus de cultures radicalement différentes, voire complètement isolées les unes des autres, telles que la culture américaine et les peuples de la Nouvelle-Guinée (Ekman, 1972; Ekman & Friesen, 1971). C'est à travers une série d'études transculturelles sur la reconnaissance des expressions faciales qu'Ekman et ses collaborateurs ont conclu à l'existence de six émotions de base, clairement distinctes les unes des autres et reconnues avec une performance au-dessus du hasard à travers les cultures : la colère, le dégoût, la peur, la joie, la tristesse et la surprise (p. ex. Ekman et al., 1972; Ekman & Friesen, 1975; Izard, 1994; Ekman et Cordaro, 2011). Ces travaux, qui s'inscrivent en continuité avec ceux de Darwin, suggèrent l'existence de combinaisons de mouvements faciaux spécifiques et communs à travers tous les humains. En effet, la configuration des expressions faciales de base apparaît si stéréotypée que ces chercheurs ont développé un système de codification des mouvements musculaires du visage, appelé le *Facial Action Coding System* (FACS; Ekman & Friesen, 1978; Ekman, 1982), décomposant chaque expression en unités d'action reflétant des mouvements musculaires spécifiques (p. ex. élévation des sourcils ou de la joue, plissement du nez, etc.). L'approche universelle des émotions de base a depuis été considérée comme la norme de référence quant à l'étude des expressions faciales et continue d'exercer une influence profonde sur de multiples domaines de recherche outrepassant celui de la psychologie.

Cette approche n'a toutefois pas échappé aux critiques et aux débats, surtout en ce qui concerne la conception discrète des émotions, ainsi que le caractère universel qui leur est attribué. Contrairement à la perspective purement biologique et évolutionniste sur l'origine des expressions faciales, certains chercheurs défendent l'idée que la culture a une influence déterminante sur ces expressions (p. ex. Crivelli, 2016; Jack et al., 2009; Jack, Caldara, & Schyns, 2012; Jack et al., 2012; Gendron et al., 2014; Russell, 1994). Par exemple, Jack et ses collaborateurs (2012) ont révélé des différences importantes entre les Occidentaux et les Asiatiques de l'Est dans leurs représentations mentales des expressions faciales de base, soit la façon dont un stimulus est représenté en mémoire. Alors que les représentations mentales des Asiatiques de l'Est étaient biaisées vers la région des yeux, ceux des Occidentaux reflétaient une plus grande importance accordée à la bouche et aux sourcils. Ces différences se reflètent d'ailleurs dans les stratégies de décodage sur le plan des mouvements oculaires employés pour reconnaître ces expressions faciales (Jack et al., 2009). Ainsi, il a été suggéré que les Asiatiques de l'Est fixent moins la région de la bouche que les Occidentaux ce qui entraîne des confusions quant à certaines paires d'expressions faciales qui présentent des changements informatifs dans cette région (p. ex. colère-dégoût).

Enfin, l'idée même de l'existence d'émotions de base, en tant qu'entités distinctes, spécifiques et identifiables à travers les expressions faciales, est contestée par un certain nombre de chercheurs. En fait, certains remettent en question la classification des émotions de base par le biais de l'expression faciale, en mettant en lumière la diversité avec laquelle les individus expriment leurs émotions telles que la colère, le dégoût ou la surprise. Cette variation est observée non seulement entre différentes cultures et situations, mais aussi d'une personne à l'autre dans un même contexte (p. ex. Barrett et al., 2019). Le constat que certaines

configurations faciales similaires peuvent traduire des états émotionnels différents selon le contexte (p. ex. le froncement des sourcils traduisant une expression de colère, un état de concentration ou de confusion) appuie cette perspective. Toutefois, malgré l'importance accordée à l'aspect contextuel et variable des expressions faciales, notamment influencé par la culture, il reste qu'une vue prédominante du domaine supporte l'idée que les expressions faciales sont le reflet d'expériences émotionnelles internes et constituent un signal suffisamment systématique pour être classifiées et reconnues selon des entités distinctes (p. ex. Elfenbein & Abady, 2002; Matsumoto et al., 2008; Ekman & Cordaro et al., 2011).

2.2. Décodage des expressions faciales

Jusqu'ici, nous avons abordé le rôle des expressions faciales sans approfondir la distinction entre leur processus de transmission et de décodage. Alors que la transmission est liée aux processus qui sous-tendent la production d'une expression faciale, impliquant des mouvements faciaux spécifiques, le décodage réfère à la manière dont un observateur extrait le signal émotionnel par le biais de stratégies perceptives. L'étude du décodage revêt une importance particulière alors qu'elle permet de cerner quelles informations sont les plus utiles à l'observateur pour accomplir une tâche donnée. Pour illustrer ce point, imaginez qu'un signal vous soit transmis (p. ex. expression faciale de joie), mais que seulement une partie de ce signal vous soit utile afin de le reconnaître (p. ex. bouche). Vous priorisez ainsi certaines informations du signal (p. ex. bouche) au détriment d'autres (p. ex. yeux, nez, front, etc.) afin d'accomplir cette tâche avec efficacité. On peut ainsi en conclure que les régions faciales utilisées par un observateur ne sont pas toujours concordantes avec celles décrites lors de la transmission d'une expression faciale, alors que l'observateur accordera plus ou moins de poids à certaines informations (p. ex. Blais et al., 2017; Roy et al., 2015). Ces études soulignent donc l'importance

d'investiguer l'aspect du décodage de l'expression faciale qui se décline généralement sous deux processus clés : la formation d'un percept et l'association de celui-ci avec les connaissances antérieures de l'individu (Adolphs, 2002). Ainsi, suite à l'analyse de l'information visuelle permettant la formation d'un percept, celui-ci est associé aux connaissances préalables que nous détenons sur ce stimulus. Par exemple, la perception d'un visage joyeux suscite généralement l'activation de connaissances en lien avec des relations de confiance, des situations d'affiliation ou témoignant l'absence de danger, pour n'en mentionner que quelques-unes (p. ex. Oosterhof & Todorov, 2008).

Ce présent projet s'insère sous l'angle du décodage des expressions faciales alors qu'il s'intéresse aux informations visuelles utilisées par les observateurs lors de leur reconnaissance. Ainsi, les prochaines sections aborderont le rôle de l'information spatiale (c.-à-d. les mouvements oculaires et les traits faciaux) et fréquentielle (c.-à-d. les fréquences spatiales) dans le processus de reconnaissance des expressions faciales de base. Avant d'aborder ces aspects spécifiques, nous examinerons en premier lieu la façon dont notre cerveau décode ces expressions en se focalisant sur les régions cérébrales impliquées dans leur traitement.

2.2.1. Bases cérébrales de la reconnaissance des expressions faciales

Il est plutôt bien établi que la reconnaissance des expressions faciales recrute des mécanismes cérébraux distincts de ceux associés au traitement perceptif des visages en général (Adolphs, 2002; Fusar-Poli et al., 2009; Liu et al., 2021). Inspiré de l'influent modèle d'Haxby et ses collaborateurs (2000; 2002) sur le traitement des visages, Duchaine et Yovel (2015) ont récemment proposé un modèle basé sur deux voies séparées, mais interagissant entre elles: une voie dorsale spécialisée pour l'extraction de l'information dynamique – impliquant le sillon temporal supérieur postérieur, le sillon temporal supérieur antérieur et le gyrus frontal inférieur –

et une voie ventrale spécialisée pour le traitement de la forme, comprenant l'aire occipitale des visages (*occipital face area*; OFA), l'aire fusiforme des visages (*fusiform face area*; FFA) et le lobe temporal antérieur. En tant que stimuli naturellement dynamiques, les expressions faciales sont principalement traitées par la voie dorsale, bien que la voie ventrale, spécialisée dans le traitement des aspects invariants du visage tels que le genre, l'identité et l'âge, contribue également à leur reconnaissance. En effet, plusieurs données suggèrent que le FFA soit à la fois impliqué dans le traitement de l'identité et de l'expression faciale (p. ex. Ganel et al., 2005; Xu & Biederman, 2010). Plus encore, il a récemment été suggéré que la voie ventrale joue un rôle beaucoup plus important dans le traitement des expressions faciales que celui initialement conféré. Par exemple, une récente méta-analyse regroupant près d'une centaine d'études en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et en tomographie par émission de positons (TEP) a identifié des régions cérébrales, dont plusieurs recrutées par la voie ventrale, manifestant une réponse plus prononcée face aux visages expressifs comparés aux visages neutres. Ces régions comprennent l'amygdale (de manière bilatérale), le gyrus parahippocampique (de manière bilatérale), le gyrus occipital inférieur droit (comprenant l'OFA), le gyrus occipital moyen gauche, le gyrus fusiforme gauche, le noyau ventral-latéral du thalamus gauche et le gyrus frontal inférieur droit (Liu et al., 2021). D'autres données en neuroimagerie suggèrent également l'implication de structures cérébrales variées en fonction de l'expression faciale. Ainsi, pour l'expression faciale de la colère, des activations plus prononcées ont été observées dans l'insula gauche et le gyrus occipital inférieur droit. En revanche, pour l'expression de la peur, ces activations étaient présentes dans les amygdales, le gyrus fusiforme droit et gauche et le gyrus frontal médian droit. Quant à l'expression de la joie, les activations se trouvaient dans le gyrus fusiforme gauche, le cortex cingulaire antérieur droit et les amygdales,

bien que dans une moindre mesure que pour la peur (Fusar-Poli et al., 2009). De manière intéressante, ces données suggèrent que la reconnaissance de différentes expressions faciales repose sur un ensemble de structures cérébrales similaires, bien qu'il existe un certain degré de spécificité neuronale pour chacune d'elles (p. ex. rôle prépondérant de l'amygdale dans l'expression faciale de peur).

Dans le cadre de l'étude du traitement émotionnel au sens large, une attention particulière a été portée au rôle de l'amygdale, notamment par son association initiale avec l'émotion de peur. Bilatéralement située dans les lobes temporaux médians, l'amygdale est une structure complexe composée de plusieurs noyaux, dont les connexions s'étendent à de multiples régions corticales, comme le cortex sensoriel et le cortex préfrontal, ainsi qu'à des régions sous-corticales, comme l'hippocampe et le thalamus. Certains proposent d'ailleurs l'hypothèse de l'existence d'une voie sous-corticale, reliant la rétine directement à l'amygdale en passant par le colliculus et le pulvinar (p. ex. Johnson, 2005; Vuilleumier et al., 2003). Ainsi, en l'absence d'un traitement approfondi du cortex visuel primaire, l'information visuelle transmise à l'amygdale ne permet qu'une perception grossière des stimuli. Toutefois, celle-ci serait suffisamment informative pour permettre une évaluation rapide de la valence émotionnelle d'un stimulus afin de déterminer si celui-ci représente un danger ou non pour l'organisme (p. ex. Morris et al., 1999). Alors que l'existence de cette voie ne fait pas l'unanimité (p. ex. voir le débat entre Pessoa et Adolphs, 2010, et de Gelder et al., 2011), les données en neuroimagerie et sur les lésions amygdaliennes sont catégoriques quant au rôle crucial de l'amygdale dans la reconnaissance de l'expression faciale de peur (p. ex. Adolphs et al., 1994; Broks et al., 1998; Calder, 1996; Méndez-Bértolo et al., 2016; Morris et al., 1996), bien que son implication ne s'arrête pas là. En fait, des données indiquent qu'elle est sollicitée pour d'autres expressions telles

que la joie (Canli et al., 2002; Williams et al., 2005), la surprise (Kim et al., 2004), la tristesse (Wang et al., 2005) et la colère (Whalen et al., 2001). De plus, l'amygdale semble jouer un rôle essentiel dans la modulation de l'attention visuospatiale (Anderson & Phelps, 2001) et dans l'orientation du regard vers les stimuli saillants d'un visage (Adolphs et al., 2005). Dans cette optique, l'amygdale semble jouer un rôle central dans l'orientation de l'attention vers les informations saillantes, soit celles susceptibles de signaler la présence d'une menace potentielle et permettre à l'organisme de générer une réponse adaptée à des fins de survie (p. ex. Adolphs, 2008; Pessoa et Adolphs, 2010; Vuilleumier, 2005).

Cernant désormais les principaux mécanismes cérébraux en jeu, nous nous intéresserons à l'information spécifique contenue dans les visages expressifs recrutant ces mécanismes et permettant la reconnaissance des expressions faciales. En d'autres termes, nous nous demanderons quelles informations sont les plus diagnostiques, c'est-à-dire les plus utiles, pour la reconnaissance d'une expression faciale. Deux approches sont couramment utilisées pour explorer ces questions : l'étude des mouvements oculaires et l'utilisation des traits ou des régions faciales.

2.2.2. L'information spatiale : mouvements oculaires et régions faciales

Bien qu'aucune étude n'ait clairement investigué le nombre de fixations oculaires nécessaires afin de reconnaître des expressions faciales, il est généralement admis que quelques fixations suffisent à leur traitement (p. ex. Blais et al., 2017). En fait, plusieurs résultats suggèrent un traitement rapide de celles-ci, effectué en un peu plus d'une centaine de millisecondes (Adolphs, 2002; Eimer & Holmes, 2002), et ce, particulièrement pour celles indiquant la présence d'une menace telles que la peur ou la colère (Öhman et al., 2001). En règle générale, les recherches sur la reconnaissance des expressions faciales suggèrent une plus forte

proportion de fixations dans la région des yeux et de la bouche qu'ailleurs dans le visage (p. ex. Blais et al., 2017; Beaudry et al., 2014; Eisenbarth & Alpers, 2011; Jack et al., 2009; Schurgin et al., 2014; Vaidya et al., 2014). La proportion de fixations sur les différentes parties du visage ne varie que légèrement en fonction de l'expression faciale présentée (p. ex. Blais et al., 2017; Jack et al., 2009; Vaidya et al., 2014), bien que certaines tendances se dessinent. Par exemple, la région de la bouche est parfois davantage fixée lors de la reconnaissance de la joie, tandis que la région des yeux est plus fixée lors de la reconnaissance de la tristesse (Beaudry et al., 2014; Eisenbarth & Alpers, 2011; Scheller et al., 2012; Schurgin et al., 2014), de la colère et de la peur (Schurgin et al., 2014). Cependant, plusieurs données scientifiques indiquent que la façon dont ces parties du visage sont fixées varie selon le contexte de la tâche (p. ex. catégorisation des expressions faciales versus jugement d'intensité émotionnelle) et la nature des expressions faciales (p. ex. expressions de base versus subtiles, expressions dynamiques versus statiques). Par exemple, Vaidya et ses collaborateurs (2014) ont mis en évidence des patrons de fixations nettement plus différenciés lors de l'observation d'expressions faciales subtiles par rapport aux expressions faciales de base exprimées avec une forte intensité.

Bien que les données sur les mouvements oculaires enrichissent notre compréhension du décodage des expressions faciales d'émotions, une question demeure en suspens : la région fixée correspond-elle à l'information la plus diagnostique, c'est-à-dire la plus pertinente pour reconnaître une expression faciale ? Intuitivement, nous pourrions être enclins à émettre cette affirmation, mais certaines données de la littérature nous incitent à la prudence lorsque nous établissons ce lien. En fait, plusieurs auteurs suggèrent qu'il existe une dissociation entre les patrons de fixations oculaires et l'information visuelle utilisée (p. ex. Arizpe et al., 2012; Posner, 1980; voir toutefois Rayner, 1998; Deubel & Schneider, 2003). Par exemple, envisageons un

scénario où la région des yeux est fixée, alors que l'attention est déployée de manière plus étendue sur le visage, permettant ainsi l'extraction et l'utilisation d'informations provenant d'autres régions (p. ex. les joues et la bouche) qui peuvent s'avérer tout aussi diagnostiques au processus de décodage de l'expression faciale.

Ainsi, afin de cerner l'importance conférée à certaines caractéristiques d'un stimulus dans une tâche donnée, les chercheurs ont développé des méthodes psychophysiques très rigoureuses, dont celles issues de la corrélation inverse. D'abord utilisées dans le contexte de la recherche sur l'audition (Ahumada & Lovell, 1971), puis appliquées au domaine de la psychophysique visuelle (Ahumada, 1996; Beard & Ahumada, 1998), ces méthodes permettent d'estimer la façon dont un individu se représente un stimulus en mémoire et ainsi révéler les attributs les plus saillants associés à ce stimulus. De ces méthodes a découlé la technique des bulles, introduite par Gosselin & Schyns (2001), qui permet de révéler l'utilisation de l'information contenue dans un stimulus pendant une tâche donnée. Plus précisément, cette approche consiste à masquer aléatoirement certaines parties d'un stimulus afin de déterminer lesquelles contribuent de manière optimale à sa reconnaissance. Grâce à cette méthode, il a été révélé que la région de la bouche est indiscutablement la plus utile pour discriminer les expressions faciales d'émotions de base entre elles (Blais et al., 2012). Les études utilisant cette méthode ont également révélé que les régions faciales diagnostiques varient en fonction du type d'expression faciale (Adolphs et al., 2005; Smith et al., 2005; Smith et al., 2009; Smith et Merlusca, 2014). Par exemple, plusieurs études suggèrent que la région des yeux joue un rôle prépondérant dans la reconnaissance de la peur (Smith et al., 2005; Adolphs et al., 2005; Fiset et al., 2017). Par ailleurs, les données issues de la neuropsychologie allant dans ce sens sont plutôt convaincantes alors que l'étude d'une patiente présentant des lésions amygdaliennes et un déficit de reconnaissance de la peur a révélé

une sous-utilisation de la région des yeux et une diminution des fixations oculaires vers cette région (Adolphs et al., 2005). De manière surprenante, lorsque la patiente était contrainte à fixer la région des yeux, sa capacité à reconnaître la peur redevenait normale, confirmant ainsi le rôle crucial de cette région pour la reconnaissance de la peur et soutenant la perspective selon laquelle l'amygdale permet d'orienter l'attention vers l'information saillante d'un stimulus (Adolphs, 2008). En ce qui concerne la reconnaissance des autres expressions faciales, les données suggèrent une plus grande importance de la région de la bouche pour la joie et la surprise, de l'arcade sourcilière pour la colère, de la bouche et des plis nasogéniens pour le dégoût, et enfin, de la commissure des lèvres et des plis du front pour la tristesse (p. ex. Smith et al., 2005). De manière intéressante, en comparant les performances humaines à celle d'un ordinateur, des chercheurs ont suggéré que la modulation des stratégies visuelles en fonction du type d'expression faciale vise à désambiguïser le signal de sorte que le cerveau humain accorde plus de poids à l'information qui distingue une expression faciale d'une autre (Smith et al., 2005).

Parallèlement à ces études, le domaine de la perception des visages et des expressions faciales a connu une croissance marquée en ce qui concerne le rôle des propriétés visuelles dites de bas niveau sous-tendant ces habiletés, telles que les fréquences et les orientations spatiales. La prochaine section se penchera donc sur le rôle de ces propriétés dans le contexte de la reconnaissance des expressions faciales.

2.2.3. L'information de bas niveau : orientations et fréquences spatiales

Notre compréhension de la manière dont notre cerveau décode et interprète les stimuli visuels environnants a été considérablement enrichie par les recherches portant sur les caractéristiques qualifiées « de bas niveau » de ces stimuli, faisant référence aux propriétés physiques et concrètes plutôt qu'à leurs aspects abstraits ou conceptuels. En fait, avant d'être

identifié et catégorisé de manière abstraite ou sémantique, un objet visuel est soumis à des analyses perceptives précoces par le cortex visuel primaire. Ces analyses se basent notamment sur les variations cycliques de luminance présentes dans l'objet (c.-à-d. les variations de luminosité entre les zones claires et sombres d'un stimulus; De Valois et al., 1979; Maffei & Fiorentini, 1973). Dans ce contexte, les propriétés de bas niveau réfèrent à la fois aux fréquences (FS) et aux orientations spatiales (OS) de ces contrastes, dont l'analyse serait effectuée par une combinaison de cellules simples et complexes du cortex visuel primaire (De Valois et al., 1982). Alors que les FS indiquent la largeur spatiale des contrastes, exprimées en cycles par unité de distance (p. ex. par degrés d'angle visuel, par image ou par visage), les orientations dénotent les contours du stimulus produits par les FS et sont exprimées en degrés. Bien que nous ne soyons aucunement conscients du déroulement de ces opérations visant à décomposer toute stimulation visuelle en ses FS et OS, une compréhension approfondie de leur rôle est primordiale alors qu'elles constituent le fondement de nombreux traitements perceptifs et cognitifs ultérieurs.

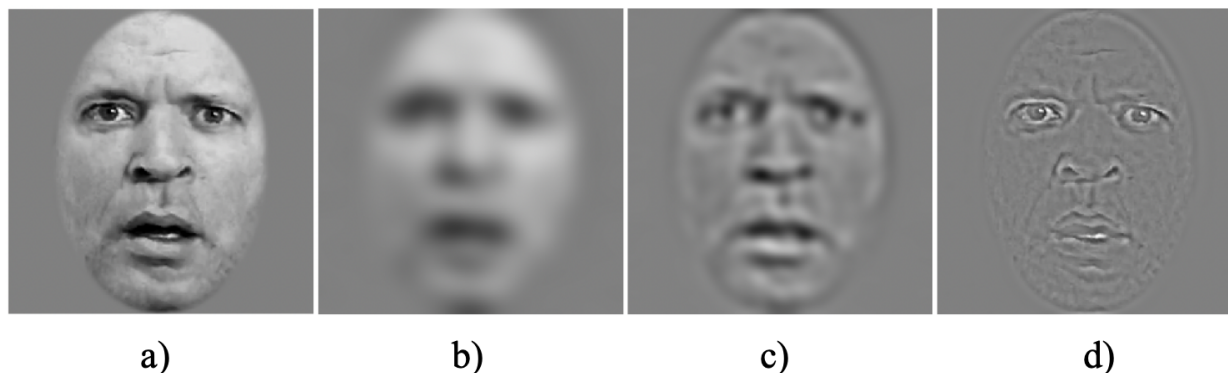
En ce qui a trait à la perception des visages, plusieurs études suggèrent que les yeux contiennent relativement plus de contours horizontaux et que ces caractéristiques jouent un rôle crucial dans la détection de visages, l'identification de visages ainsi que la reconnaissance des expressions faciales (Dakin & Watt, 2009; Duncan et al., 2017; Goffaux & Dakin, 2010; Pachai et al., 2013) en activant des régions clés du réseau de traitement des visages (Goffaux et al., 2016). Par ailleurs, une plus grande utilisation de ces orientations est liée à de meilleures habiletés en reconnaissance faciale et en reconnaissance d'expressions faciales d'émotions (Duncan et al., 2017; Duncan et al., 2019; Pachai et al., 2013), ainsi qu'à une plus grande utilisation de la région des yeux lors de la reconnaissance d'expressions faciales (Duncan et al., 2017).

Les FS, typiquement exprimées en nombre de cycles par image (cpi), cycles par visages (cpv) ou cycles par degrés d'angle visuel (cpd)¹, sont quant à elles généralement répertoriées en deux catégories : les basses (BFS) et les hautes (HFS). Alors que les premières transmettent de l'information grossière quant au stimulus (voir la Figure 1b), telle la forme globale d'un visage, les secondes fournissent de l'information en haute résolution spatiale (voir la Figure 1d), tels les détails fins contenus dans les traits faciaux (p. ex. les rides d'un visage). Les FS optimales pour le traitement des visages ont extensivement été étudiées, les recherches mettant en lumière l'importance d'une bande de fréquences que l'on peut qualifier de « moyennes » FS (MFS; voir la Figure 1c) pour une approximation) allant d'approximativement 8 à 20 cpv (p. ex. Costen et al., 1996; Collin et al., 2014; Gaspar et al., 2008; Gold, et al., 1999; Näsänen, 1999; Ojanpaa & Näsänen, 2003; Royer et al., 2017; Tardif et al., 2017; Willenbockel et al., 2010). Des données électrophysiologiques suggèrent également un rôle crucial des MFS pour l'activité cérébrale en réponses aux visages (Collin et al., 2012). Dans l'ensemble, ces résultats corroborent bien l'hypothèse selon laquelle la fonction de sensibilité au contraste (FSC), c'est-à-dire la capacité de l'oeil humain à détecter des variations de luminosité en fonction des FS et dont le pic maximum se situe dans les MFS (approximativement de 2 à 5 cpd; Campbell & Robson, 1968), soit en partie le résultat d'une adaptation du système visuel pour le traitement de l'information faciale (p. ex. Keil, 2009; Keil et al., 2008; Sowden & Schyns, 2006).

Figure 1

Exemples de Stimuli Filtrés selon Différentes Bandes de Fréquences Spatiales

¹ Une disparité méthodologique subsiste dans le choix des unités de distance utilisées dans les études. Bien que la conversion entre ces unités de mesure soit réalisable, certaines études manquent de précision méthodologique pour standardiser le rapport entre ces mesures. Afin d'assurer une présentation homogène des informations tout au long de l'essai, les données seront rapportées telles qu'elles ont été présentées dans leurs études d'origine, soit en cycles par image, par visages ou par degrés.



Note. La grande majorité des études portant sur les fréquences spatiales et les expressions faciales ont utilisé des méthodes de filtrage similaires à celle présentée dans cette figure. Le panneau a) représente un stimulus non filtré, b) un stimulus filtré en basses fréquences spatiales (< 8 cpv), c) un stimulus filtré contenant des moyennes fréquences spatiales (entre 8 et 32 cpv) et d) un stimulus filtré en hautes fréquences spatiales (> 32 cpv). Les moyennes fréquences spatiales comme présentées en c) ne sont généralement pas incluses dans les expériences menées sur le traitement des expressions faciales. Cette figure a été adaptée de la Figure 1 de « The role of spatial frequency for facial pain categorization » par Charbonneau et al., 2021, *Scientific Reports*, 11(1), 14357. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93776-7>

En outre, deux hypothèses sont proposées quant au traitement des FS, soit un usage flexible et un traitement dit « grossier-à-fin » (*coarse-to-fine*). Cette dernière hypothèse propose que l'extraction des informations fréquentielles suive un processus temporel spécifique : elle débute par la formation rapide d'une représentation grossière en BFS, suivie de l'intégration des HFS pour aboutir à la création d'une représentation détaillée du stimulus (p. ex. Bar, 2003; Goffaux et al., 2011; Hedge, 2008; Kauffmann et al., 2015; Musel et al., 2014; Schyns & Oliva, 1994). Selon cette perspective, le traitement des informations fréquentielles implique un mécanisme rétroactif : les informations en BFS traitées par le cortex visuel primaire parviennent rapidement aux aires corticales de haut niveau, lesquelles renvoient ensuite ces données vers le cortex visuel primaire pour orienter l'analyse basée sur les HFS (p. ex. Bullier, 2001; Kveraga et al., 2007). Quant à la première hypothèse, celle-ci fait référence à la modulation de l'utilisation des FS en fonction de plusieurs facteurs, dont l'attention (p. ex. Özgen et al., 2005), l'habituation

à certaines fréquences (p. ex. Oliva & Schyns, 1997) et les caractéristiques de la tâche (p. ex. Collin et al., 2006; Morrison & Schyns, 2001; Oliva et Schyns, 1997; Schyns et Oliva, 1999). Ainsi, certains proposent qu'un ensemble de FS puissent être utilisés au sein d'une même tâche et qu'un contrôle descendant (*top-down*), c'est-à-dire l'influence de processus cognitifs de haut niveau tels que les connaissances antérieures ou les attentes que nous avons face à un stimulus, guide l'utilisation spécifique des FS (p. ex. Schyns, 1998). Dans le contexte de la reconnaissance des expressions faciales, cette théorie a reçu plusieurs appuis empiriques qui seront abordés de manière plus approfondie dans les sections ultérieures. Toutefois, il est à préciser que ces deux hypothèses quant au traitement des FS ne sont pas mutuellement exclusives. Il est concevable qu'un traitement initial conforme à l'hypothèse *coarse-to-fine* soit mis en place par le système cognitif, sans empêcher la possibilité d'une modulation de l'utilisation des FS lors des niveaux de traitements supérieurs liés à la catégorisation ou la reconnaissance du stimulus. En effet, afin d'économiser de l'énergie et de gagner en efficacité, le cerveau aurait tout intérêt à s'adapter en fonction du contexte et des exigences auxquelles il est confronté.

Comme évoqué précédemment, comprendre le rôle des propriétés de bas niveau est essentiel pour saisir les mécanismes sous-jacents à la perception des visages. Bien que l'influence des orientations horizontales dans le traitement des expressions faciales soit bien établie, le rôle précis des FS dans cette tâche reste peu clair, en partie en raison de contraintes méthodologiques que nous examinerons ci-dessous en détail. Avant cela, nous nous intéresserons à la littérature traitant du lien entre les FS et la perception des émotions de manière générale, puis plus spécifiquement du lien établi avec les expressions faciales.

2.2.4. Fréquences spatiales et perception des émotions : existence d'une voie sous-corticale ?

La relation entre les FS et la perception des émotions a largement été étudiée à travers le prisme du modèle à double voie du traitement des émotions (LeDoux, 2000). Ce modèle postule l'existence de deux voies parallèles asymétriques: une voie sous-corticale (dont il a été mentionné dans la section 2.2.1.) – impliquant le colliculus, le pulvinar et l'amygdale – qui privilégie le traitement rapide et l'évaluation de stimuli évoquant la présence d'une potentielle menace, telle que des visages apeurés, en se basant sur l'information visuelle grossière en BFS (p. ex. Méndez-Bertolo et al., 2016; Morris, 1998; Pourtois et al., 2005; Tamietto & de Gelder, 2010; Vuilleumier et al., 2003), et une voie corticale qui transmet l'information en HFS (p. ex. Bar, 2003; Hedge, 2008; Goffaux et al., 2011; Kauffmann et al., 2014) aux cortex visuels, dont le FFA. Alors que la voie sous-corticale serait impliquée dans la détection rapide et même automatique de stimuli émotionnels (Öhman, 2005), la voie corticale, en revanche, permettrait une analyse plus détaillée des stimuli, bien qu'à une vitesse de traitement plus lente (p. ex., LeDoux, 2000; Öhman, 2005; Tamietto & De Gelder, 2010; Vuilleumier et al., 2003). Des données issues d'études computationnelles et en neuroimagerie suggèrent un avantage des BFS au détriment des HFS pour le traitement de stimuli émotionnels, et ce, en particulier pour ceux associés à la présence d'une menace (p. ex. Burra et al., 2019; Méndez-Bertolo et al., 2016; Mermillod et al., 2009, 2010; Vuilleumier et al., 2003). Par exemple, dans une étude phare du domaine, Vuilleumier et ses collaborateurs (2003) ont présenté des visages neutres ou apeurés sous différentes conditions de filtrage (c.-à-d. non filtrés, filtrés en BFS ou en HFS) à des participants soumis à une imagerie de résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Cette méthode de filtrage, couramment utilisée par les chercheurs, permet la création de stimuli similaires à ceux présentés dans la Figure 1 de cet essai. Cependant, il est à noter que le filtrage

des MFS (Figure 1c) ne fait habituellement pas partie des conditions expérimentales testées, alors que les chercheurs tentent d'isoler l'influence des BFS et des HFS sur le comportement ou l'activité cérébrale. Les résultats de l'équipe de Vuilleumier et al., (2003) ont indiqué une modulation de l'activité de diverses régions cérébrales en fonction de l'expression faciale et des conditions de filtrages. Plus précisément, l'activité du FFA était plus élevée lorsque les visages étaient non filtrés ou filtrés en HFS comparé aux BFS. L'activité de l'amygdale était plus élevée à la vue de visages apeurés que neutres, et davantage accrue lorsque les visages apeurés contenaient de l'information en BFS (c.-à-d. dans les conditions non filtrées et BFS). Ces résultats ont conduit les chercheurs à conclure à la spécificité de la voie sous-corticale pour les BFS, ce qui a notamment pavé le chemin à une myriade d'études visant à confirmer l'existence de cette voie et à alimenter l'idée d'une supériorité des BFS dans le traitement de stimuli émotionnels. Récemment, une étude en électrophysiologie intracrânienne a observé une réponse accrue de l'amygdale à la vue de visages apeurés comparé à des visages neutres ou joyeux, et ce, seulement 74 ms après la présentation du stimulus (Méndez-Bértolo et al., 2016). L'effet était observé seulement lorsque les visages apeurés étaient présentés en BFS ou n'étaient pas filtrés, soutenant l'hypothèse de l'existence d'une voie sous-corticale permettant l'évaluation rapide de signaux liés à la menace. Bien que ces résultats soient convaincants, plusieurs études n'ont pas réussi à démontrer une modulation de l'activité de l'amygdale en réponse aux expressions faciales et aux FS (p. ex. Corradi-Dell'Acqua et al. 2014; Ottaviani et al., 2012). Par ailleurs, les résultats des études comportementales et en neuroimagerie sont largement inconsistants et ne permettent pas de statuer sur l'existence et les caractéristiques exactes de cette voie (voir Pessoa & Adolphs, 2010; mais voir aussi de Gelder et al., 2011). Cette thématique de recherche continue ainsi de susciter des débats au sein de la communauté scientifique.

2.2.5. L'information fréquentielle utile à la reconnaissance des expressions faciales et critiques méthodologiques

Les études s'intéressant au rôle des FS en perception des visages, dont celles portant sur la reconnaissance d'expressions faciales, présentent une grande variabilité quant aux tâches expérimentales et aux méthodes utilisées afin de manipuler les FS. Par conséquent, la comparaison entre les études et l'interprétation des résultats est parfois difficile, voire limitée par ces disparités méthodologiques (De Cesarei & Codispoti, 2013; Jeantet et al., 2018). Dans le cadre de cet essai, nous proposons de distinguer ces études en trois catégories selon l'approche utilisée afin d'examiner le rôle des FS : 1) la comparaison des BFS aux HFS à l'aide de seuils, 2) la comparaison de plusieurs bandes fréquentielles à l'aide de seuils, et 3) l'évaluation de la contribution relative de chaque fréquence sans l'utilisation de seuils.

Les études issues de la première catégorie font généralement échos au modèle à double voie du traitement des émotions. En isolant l'influence des BFS et des HFS sur le comportement ou l'activité cérébrale à l'aide de techniques de filtrage fréquentiel similaires à celle présentée dans la Figure 1 de cet essai, ces études visent à démontrer l'existence d'une voie sous-corticale dans le traitement des stimuli émotionnels. Alors que la majorité de ces études se sont concentrées sur l'avantage des BFS pour l'expression faciale de peur (p. ex. Méndez-Bértolo et al., 2016; Vuilleumier et al., 2003), une étude comportementale a révélé un rôle prépondérant des BFS pour la reconnaissance de la joie et des HFS pour la reconnaissance de la tristesse (Kumar et Srinivasan, 2011). Une des principales critiques à cette catégorie d'études concerne le fait qu'elles excluent toute une gamme de fréquences, soit les MFS. Comme décrit précédemment, une très grande partie de la littérature attribue un rôle central à ces fréquences dans la reconnaissance des visages et des expressions faciales, en plus de considérer la FSC humaine,

qui est clairement orientée vers un traitement préférentiel de ces fréquences. Ainsi, il est possible d'envisager que le portrait dépeint par ces études limite grandement les conclusions que l'on peut tirer du rôle des FS dans ce type de tâche. En plus d'exclure toute une gamme de fréquences importantes, ces méthodes de filtrages exigent l'utilisation de seuils pour délimiter ce qui constitue les BFS et les HFS. Cependant, à notre connaissance, le choix de ces seuils repose sur des décisions arbitraires et varie fréquemment d'une étude à l'autre, tout comme le choix des unités de mesure pour rapporter les FS, rendant ainsi difficile la comparaison entre elles. Par exemple, dans l'étude de Kumar & Srinivasan (2011), les BFS représentent l'information sous 8 cpv, tandis qu'elles sont définies entre 2 et 8 cpv dans celle de Goffaux & Rossion (2006), et en dessous de 6 cpi dans celle de Vuilleumier et al. (2003). Quant aux HFS, elles sont définies au-dessus de 32 cpv dans l'étude de Kumar & Srinivasan (2011), alors qu'elles se situent au-dessus de 24 cpi dans celle de Vuilleumier et al. (2003). Par conséquent, ce que les chercheurs considèrent comme des BFS ou des HFS varie d'une étude à l'autre.

Un des principaux apports des études appartenant à la deuxième catégorie concerne l'implication des MFS dans les conditions de filtrage. Par exemple, des études ont mis en évidence l'importance des FS moyennes à élevées en reconnaissance d'expressions faciales en utilisant une technique de masquage consistant à superposer une plage de bruit fréquentiel à une image (Gao & Maurer, 2011), ou en appliquant un filtrage par bandes de fréquences incluant à la fois les basses, moyennes et hautes FS (Goren & Wilson, 2006). De plus, la méthode des bulles (Gosselin & Schyns, 2001), décrite précédemment (voir la section 2.2.2.), a permis d'approfondir cette question en révélant dans quelles bandes fréquentielles parmi cinq, les régions faciales étaient les plus utiles à la reconnaissance de chaque expression faciale de base. Précisément, les patrons de résultats indiquent que la peur repose principalement sur la région des yeux, et ce,

dans les FS moyennes à élevées, tandis que la joie et la surprise reposent principalement sur la région de la bouche dans des FS basses à moyennes. La reconnaissance de la colère repose sur une utilisation des sourcils dans les FS basses à moyennes, le dégoût sur une utilisation des plis nasogéniens dans les FS basses à moyennes, et la tristesse sur les plis du front et le coin de la bouche dans les FS moyennes à élevées (p. ex. Adolphs et al., 2005; Smith & Schyns, 2009; Smith et al., 2005; Smith & Merlusca, 2014; Schyns & Oliva, 1999). Par ailleurs, dans une série d'études utilisant la méthode des bulles menées par Smith & Merlusca (2014), il a été démontré que l'utilisation des FS varie non seulement en fonction de l'expression faciale, mais également en fonction de la tâche. Ils ont révélé que la reconnaissance de la peur, entre autres, dépendait des mêmes caractéristiques en HFS indépendamment de la tâche, tandis que les caractéristiques en BFS ne devenaient utiles que lors des tâches de détection (c.-à-d. neutralité versus peur) ou de discrimination avec une autre expression faciale (c.-à-d. colère versus peur, ou bien dégoût versus peur). L'ensemble de ces résultats plaide donc en faveur de l'hypothèse d'une utilisation flexible des FS. Malgré leur pertinence, ces méthodes font tout de même recours à l'utilisation de seuils prédéfinis regroupant les fréquences par bandes. Par ailleurs, une critique adressée à l'égard de la méthode des bulles concerne l'idée qu'elle modifie les stratégies perceptives utilisées en diminuant l'importance accordée aux BFS (p. ex. Goffaux & Rossion, 2006). Bien que cette critique ait été réfutée (Royer et al., 2015), la présentation de stimuli segmentés par bande de fréquences reste peu représentative des stimuli présents dans notre environnement visuel quotidien.

La troisième catégorie fait référence à une méthode spécifiquement développée pour répondre aux limites des approches précédentes. En effet, la méthode des bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010), dont le mode de fonctionnement exact sera abordé plus en détail

dans la section suivante, a pour objectif d'évaluer de façon paramétrique la contribution relative de chacune des FS contenues dans un stimulus, et ce, sans l'utilisation de seuils prédéfinis. Dans le domaine de la perception des émotions, cette approche a conduit à des découvertes importantes sur le rôle des FS lors de la perception consciente et inconsciente des expressions faciales émotionnelles (Willenbockel et al., 2012) qui n'auraient pu être révélées à l'aide d'autres techniques. Elle a d'ailleurs été utilisée afin d'analyser les caractéristiques des expressions faciales statiques par rapport aux expressions faciales dynamiques (Plouffe-Demers et al., 2019) de manière beaucoup plus précise que d'autres méthodes de filtrage, dont la méthode classique des bulles.

Enfin, nous pourrions ajouter une quatrième catégorie regroupant les approches qui étudient le rôle des FS en manipulant d'autres facteurs, tels que la distance (Smith & Schyns, 2009) ou l'emplacement dans le champ visuel où une expression faciale est perçue (Smith & Rossit, 2018). Ainsi, contrairement aux autres approches présentées jusqu'ici traitant de la manipulation des FS contenues dans le stimulus, les manipulations de distances et de localisation du stimulus dans le champ visuel (c.-à-d. en périphérie visuelle versus en vision centrale) altèrent l'information fréquentielle traitée par la rétine. Ces études revêtent un intérêt particulier, car elles reproduisent des conditions écologiques où le contenu fréquentiel du stimulus varie en fonction de l'augmentation de la distance ou l'éloignement du stimulus visuel dans la périphérie du champ visuel. En effet, l'accessibilité aux HFS contenues dans un stimulus diminue à mesure qu'un individu s'éloigne de celui-ci ou lorsque le stimulus est présenté en périphérie, de sorte qu'uniquement le contenu le plus grossier, soit les BFS demeurent accessibles. De manière intéressante, les deux études mentionnées ci-haut ont obtenu des résultats similaires : la joie et la

surprise sont les expressions faciales les mieux reconnues en vision périphérique et à une plus grande distance, c'est-à-dire en utilisant principalement les informations en BFS.

2.2.6. Méthode des bulles fréquentielles

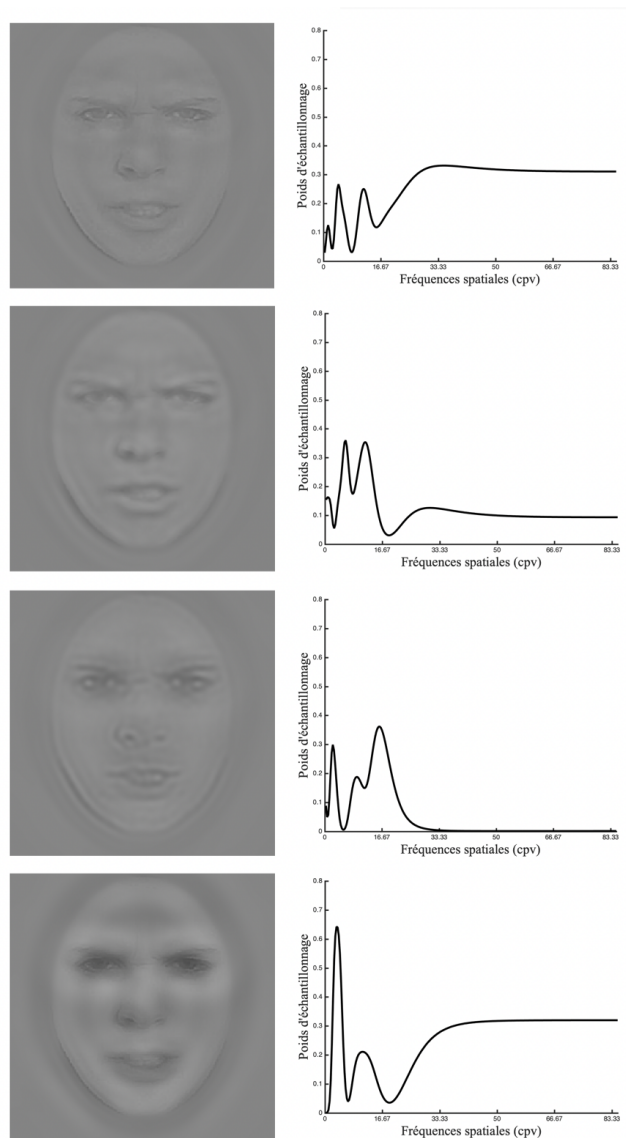
La méthode des bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010) trouve son origine dans la méthode classique des bulles (Gosselin & Schyns, 2001). Ainsi, les deux méthodes partagent des caractéristiques fondamentales : l'absence d'*a priori* quant à l'information utilisée dans une tâche donnée et l'échantillonnage aléatoire d'un aspect du stimulus visuel. Ces techniques exigent que les participants réalisent des centaines d'essais, au cours desquels certaines parties de l'information contenue dans le stimulus sont masquées ou révélées, permettant ainsi d'inférer leur contribution relative dans la tâche en question.

La distinction entre ces deux méthodes réside dans le type et la précision de l'information échantillonnée. Alors que la méthode classique des bulles permet d'échantillonner les régions d'un visage (p. ex. front, coin de la bouche, œil, sourcil, etc.) dans certaines bandes de FS prédéfinies à l'aide de seuils (c.-à-d. six bandes représentant une octave chacune, p. ex. : 2.81, 5.62, 11.25, 22.5, 45 et 90 cpv), la méthode des bulles fréquentielles échantillonne uniquement l'information issue du domaine fréquentiel, et ce, de manière continue en pondérant l'importance de chacune des FS à chaque essai. Ainsi, cette dernière permet de révéler avec précision la contribution précise de l'ensemble des FS contenues dans un stimulus, sans que celles-ci soient contraintes dans des bandes prédéfinies. Par exemple, dans un essai, il est possible que soient représentées en plus forte proportion des BFS et des MFS, alors que les HFS soient peu représentées. Dans un essai ultérieur, il est possible que le scénario inverse soit présent (voir la Figure 2 pour des exemples de stimuli). De manière cruciale, cette méthode élimine toute prise de décision *a priori* concernant les seuils arbitraires qui distinguent habituellement les BFS des

HFS. En plus, elle permet d'adresser la critique concernant le possible changement de stratégies perceptives induit par la méthode des bulles classique alors que les stimuli issus de la méthode des bulles fréquentielles sont plus similaires à ceux faisant partie de notre environnement naturel (c.-à-d. qui comprennent l'ensemble des FS contenues dans le stimulus original).

Figure 2

Exemples de Stimuli Filtrés avec la Méthode des Bulles Fréquentielles



Note. Des exemples de stimuli créés avec la méthode des bulles sont présentés dans la première colonne et les vecteurs d'échantillonnages utilisés pour filtrer les visages sont présentés dans la

deuxième colonne. Le poids attribué à chacune des fréquences varie d'un essai à l'autre de façon à ce que plusieurs fréquences soient présentes dans le stimulus, et ce, à des intensités différentes. Les détails concernant la création des stimuli sont décrits dans le chapitre III de cet essai.

2.3. Objectifs et hypothèses

Si les études mentionnées ci-dessus ont sans aucun doute contribué à faire progresser notre compréhension de la relation entre les FS et la reconnaissance des expressions faciales, aucune d'entre elles n'a dressé un portrait précis des FS les plus utiles pour la reconnaissance de chacune des expressions faciales de base. Toutefois, à plus grande échelle, il va de soi que le traitement efficace des FS est utile au bon déroulement des interactions sociales, alors que notre système doit rassembler en quelques millisecondes une pléthore d'informations visuelles en une perception cohérente afin de réagir de manière appropriée aux échanges sociaux (Ruiz-Soler et Beltran, 2006). Mieux comprendre les FS déterminantes pour la reconnaissance d'expressions faciales s'avère également pertinent alors que plusieurs situations de la vie quotidienne contraignent l'accessibilité aux FS. Par exemple, lorsqu'un objet se retrouve à une distance plutôt éloignée de nous ou lorsque celui-ci se retrouve en périphérie visuelle, les HFS et les MFS deviennent moins accessibles. Dans ces situations, on peut envisager un scénario où, si la reconnaissance des expressions faciales repose sur le traitement des MFS et des HFS, une accessibilité limitée aux BFS pourrait entraîner une reconnaissance moins optimale. Ainsi, afin de contourner ces contraintes et reconnaître les expressions faciales d'un individu, nous comprendrons, par exemple, qu'il sera nécessaire de se rapprocher à une distance spécifique d'un visage ou bien de déplacer notre regard vers celui-ci afin qu'il soit traité en vision centrale.

Par conséquent, l'objectif principal de cet essai est d'étudier de façon paramétrique le traitement des FS des expressions faciales d'émotions de base en combinant deux approches : la méthode des bulles fréquentielles et la méthode de manipulation des distances. Tel qu'utilisée

dans une étude par Smith & Schyns (2009) sur la catégorisation d'expressions faciales, la méthode de manipulation des distances est particulièrement utile dans un contexte expérimental en laboratoire alors qu'elle reflète, à un certain degré, des situations de la vie quotidienne, tels que lors d'interactions sociales rapprochées (p. ex. les conversations) ou d'observations plus distantes (p. ex. rencontrer un passant dans la rue ou dans un corridor). Un autre objectif du présent projet sera donc de répliquer les résultats précédemment obtenus avec cette méthode, malgré l'utilisation d'une banque de visages différente et d'un plus grand échantillon de participants, celui-ci étant restreint à six participants dans l'étude de Smith & Schyns (2009). En d'autres mots, alors que la méthode des bulles fréquentielles nous permettra de révéler avec précision la contribution des FS utiles à la reconnaissance des expressions faciales (Expérience 1), celle modifiant les distances perçues permettra d'examiner le rôle des FS, mais dans un contexte plus écologique (Expérience 2). À notre connaissance, aucune autre étude n'a exploré cette question en intégrant de manière complémentaire ces deux méthodes.

En nous appuyant sur l'ensemble des études présentées dans cet essai, nous émettons les hypothèses que : 1) les MFS seront les plus diagnostiques à la reconnaissance des expressions faciales de base considérant leur importance dans la reconnaissance de visages et la sensibilité à ces fréquences telle que conceptualisée par la FSC humaine, 2) les performances en reconnaissance se détérioreront à mesure que l'accessibilité des MSF diminuera avec l'augmentation de la distance, 3) un avantage des BFS s'effectuera au détriment des HFS considérant l'hypothèse de l'existence d'une voie sous-corticale, et 4) l'utilisation des FS sera modulée en fonction de l'expression faciale compte tenu de l'hypothèse de l'usage flexible des FS.

CHAPITRE III - ARTICLE

Running Head: SPATIAL FREQUENCIES FOR FACIAL EXPRESSION RECOGNITION

Facial expression categorization predominantly relies on mid-spatial frequencies

Isabelle Charbonneau¹, Justin Duncan¹, Caroline Blais¹, Joël Guérette^{1,2}, Marie-Pier Plouffe-Demers^{1,2}, Fraser Smith³, & Daniel Fiset¹

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

²Département de Psychologie, Université du Québec à Montréal

³School of Psychology, University of East Anglia

Author Note

This study was not preregistered. Data, analysis code, and research materials are available at:

https://osf.io/cm7qh/?view_only=2a60a49a474f4f26881ef2052db00330.

Address correspondence to:

Daniel Fiset, Ph.D.
Département de Psychoéducation et de Psychologie
Université du Québec en Outaouais
C.P. 1250, succursale Hull
Gatineau (Québec), Canada
J8X3X7
Fax: 819-595-2250
Phone: 819-595-3800 ext. 2357
Email: daniel.fiset@uqo.ca

3.1. Abstract

Facial expressions play a pivotal role in human nonverbal communication. In the last decades, there has been a growing interest in understanding the role of spatial frequencies (SFs) in emotion perception. While some studies have suggested a preferential treatment of low versus high SFs, a comprehensive understanding of optimal SFs for recognizing basic facial expressions has remained elusive. This study, conducted on a sample of Western participants, aims to close this gap with two complementary methods: a data-driven method (Exp. 1) that does not rely on typical arbitrary SF cut-offs, and a more naturalistic method (Exp. 2) that simulates the effect of variations in viewing distance. Although our results generally showed a preponderant role of low over high SFs, they also revealed that facial expression categorization relied mostly on a mid-range SF content (i.e., between 5.92 and 13.35 cycles per face), which is often overlooked in previous studies. Concurrently, optimal performance was observed at short to medium viewing distances (1.2 to 2.4 meters), sharply declining with increased distance, exactly when mid-range SFs were no longer available. Some facial expressions, notably happiness and surprise, were also clearly more tuned towards low SFs and better suited for more distant recognition. Additionally, our data suggest nuanced contributions from low and mid SFs in facial expression processing, but most importantly, suggests that any method that removes this latter range has the downfall of offering an incomplete account of SFs diagnosticity for facial expression recognition.

Keywords: Bubbles; Facial expressions; Psychophysics; Spatial Frequencies.

3.2. Introduction

It is widely recognized that facial expressions of emotions play a crucial role in social communication (e.g., Blair, 2003) by transmitting signals about internal emotional states and intentions. They can also indicate potential environmental threats, triggering an adaptive response (e.g., to escape) in both the expresser and observer (e.g., Schmidt & Cohn, 2001).

Extensive research efforts have been focused on facial features that drive facial expression recognition (e.g., Bassili, 1979; Blais et al., 2012; Smith et al., 2005). The eye region, for instance, was shown to play a critical role in fear recognition (e.g., Adolphs et al., 2005; Fiset et al., 2017), whereas the mouth plays a greater role in happy and surprised expressions (e.g., Blais et al., 2017; Duncan et al., 2017; Smith et al., 2005). Nevertheless, there emerges a consensus that the informativeness of features varies considerably across facial expressions. Concurrently, there has been a growing interest in the role played by low-level properties in higher-level visual categorization tasks. In early visual cortices, visual stimuli are decomposed into their constituent elements, i.e., cyclical luminance contrasts, not unlike Fourier analysis (De Valois et al., 1979; Maffei & Fiorentini, 1973). Importantly, these contrasts have a spatial frequency (SF) and orientation (SO). SF content denotes spatial coarseness of contrasts. For instance, low SFs (LSF) convey coarse contrasts (e.g., the global structure of a face) whereas high SFs (HSF) convey finer contrasts (e.g., face details such as wrinkles; see Figure 1 in Charbonneau et al., 2021 for examples of filtered stimuli in different SF bands).

The relationship between SFs and emotion perception has mainly been considered through the prism of a dual-route model of emotion processing. This model posits the existence of two parallel but asymmetrical pathways: a fast-subcortical route and a slow cortical route. The subcortical pathway is proposed to transit through the colliculus, pulvinar, and amygdala, and it

is hypothesized to support rapid processing and appraisal of threat-relevant stimuli (e.g., fearful faces) through the processing of coarse LSF visual input (e.g., Mendez-Bertolo et al., 2016; Morris, 1998; Pourtois et al., 2005; Tamietto & de Gelder, 2010; Vuilleumier et al., 2003). The cortical pathway, on the other hand, is hypothesized to process and deliver broader SF content along a coarse-to-fine gradient (e.g., Bar, 2003; Hedge, 2008; Goffaux et al., 2011; Kauffmann et al., 2014) to visual cortices, and importantly for faces, the fusiform cortex. Thus, the cortical pathway is hypothesized to support a more fine-grained analysis of stimuli, albeit at a slower processing speed (e.g., LeDoux, 2000; Öhman 2005; Tamietto & De Gelder, 2010; Vuilleumier et al., 2003). In this vein, emotional stimuli have been thought to be detected rapidly and perhaps automatically (e.g., Öhman, 2005) solely through LSF information. Several neuroimaging and computational studies have suggested a LSF advantage over HSF content for emotion processing, especially for threat-related stimuli such as fearful faces (e.g., Burra et al., 2019; Mendez-Bertolo et al., 2016; Mermillod et al., 2009, 2010; Vuilleumier et al., 2003). Due to the properties of the human visual system and face stimuli, LSFs are overrepresented in peripheral or distal viewing conditions compared to relatively higher SFs (e.g., Sowden & Schyns, 2006; Smith & Schyns, 2009; Smith & Rossit, 2018). It is therefore logical to infer a processing advantage of LSF over HSF content from this perspective.

However, peak contrast sensitivity of the human visual system is not achieved at the lower end of the SF spectrum, but at mid-range SFs (MSF) approximately 2 to 5 cycles per degree (cpd) of visual angle (e.g., Campbell & Robson, 1968). This corresponds to about 12 cycles per face (cpf) when viewed from a distance of about 1.5 m (6 deg) to 2 m (4 deg) (Owsley & Sloane, 1987; Oruc & Barton, 2010). Importantly, this MSF content is known to play a critical role for face identification (~8-20 cpf; e.g., Costen et al., 1994, 1996; Collin et al., 2014; Gaspar

et al., 2008; Gold et al., 1999; Willenbockel et al., 2010). Some authors have even hypothesized that this apparent tuning of the contrast sensitivity function to facial SF content reflects the adaptation of the visual system to this class of stimuli (Keil, 2009; Keil et al., 2008; Sowden & Schyns, 2006). Thus, from this standpoint, we might also expect recognition of facial expressions to rely on similar mid-range SF content.

The precise role of LSFs—let alone the subcortical pathway—in emotion perception remains debated, with mixed or inconclusive results from both behavioural and neuroimaging studies (e.g., Pessoa & Adolphs, 2010; but see de Gelder, 2011). Within non-clinical populations, only a few studies have aimed to investigate the role of diagnostic SF in facial expression recognition using a variety of procedures. Some have for instance highlighted the prevailing role of LSFs for happiness and HSFs for sadness recognition, but did so using low-pass and high-pass filters (Kumar & Srinivasan, 2011). Others have instead suggested that mid-to-high SF information better supports the detection and recognition of expressions either using SF noise masking (Gao & Maurer, 2011), or band-pass filtering (Goren & Wilson, 2006) that accounted for mid-range SFs. Work with Bubbles, which allows the investigation of both spatial information (i.e., regions of the face being used) and SF information (i.e., in which SF band a particular region of a face is used), revealed patterns of information processing that vary across facial expressions: fear categorization relies mostly on the wide-opened eye region in mid-to-high SFs, happiness and surprise rely on the mouth region in mid-to-low SFs, anger relies on the frown of the eyebrows in mid-to-low SFs, disgust on the nasolabial folds in mid-to-low SFs, and sadness on the crease of the forehead and corner of the mouth in mid-to-high SFs (e.g., Adolphs et al., 2005; Smith & Schyns, 2009; Smith et al., 2005; Smith & Merlusca, 2014). Other studies have indirectly investigated the role of SFs by manipulating the distance (Smith & Schyns, 2009)

or the location in the visual field at which a facial expression is perceived (Smith & Rossit, 2018). These studies are particularly interesting as they recreate naturalistic situations where signal degradation occurs on a fine-to-coarse gradient (i.e., increasing distance/periphery alters HSF content first, then MSF content, and so on) such that only the coarsest (i.e., LSFs) content of a scene or object remain accessible. These studies have shown a similar pattern of results, in which happiness and surprise were the best-recognized facial expressions in peripheral vision or at a further distance. Interestingly, however, the biggest drops in performance were observed when distance had the effect of removing MSF content, suggesting it also plays an important role in expression recognition.

Importantly, it has been demonstrated that SF use varies in a task-dependent way (e.g., Schyns & Oliva, 1999). For instance, fear categorization revealed a reliance on the same HSF features irrespective of the task, whereas LSF features were only useful in detection (e.g., neutrality vs. fear) or discrimination (e.g., anger vs. fear) tasks with one or two alternative emotion categories (Smith & Merlusca, 2014). These results argue in favour of the flexible and adaptive use of SF information for facial expression recognition, but they also stress the impact of task constraints on SF processing. Therefore, studies that show a bias towards LSF when only one or two response alternatives are present (fear vs. neutral or fear vs. happy vs. neutral), may overestimate the importance of this SF range, whereas a task with several emotional alternatives (e.g., 7 choices) would require finer visual discrimination, and thus the reliance on higher SFs.

While studies mentioned above have undoubtedly contributed to advancing our understanding of the relationship between SFs and facial expression recognition, none of them have provided an exact picture of the most diagnostic SFs for facial expression recognition. Previous reviews on the role of SF in both identity and facial expression recognition (De Cesarei

& Codispoti, 2013; Jeantet et al., 2018) have stressed, among other factors, the substantial methodological variability across studies regarding SF manipulation methods and task demands, possibly leading to conflicting results. Indeed, the vast majority of these studies, have used arbitrary cut-offs to define low and high SFs (e.g., LSF defined below 8 cpf in Kumar & Srinivasan, 2011; between 2 and 8 cpf in Goffaux & Rossion, 2006; below 6 cycles per image in Vuilleumier et al., 2003; and HSF defined above 32 cpf in Kumar & Srinivasan, 2011 or above 24 cycles per image Vuilleumier et al., 2003). However, employing such cut-offs overlooks the potentially crucial contribution of MSFs in facial expression processing.

Our primary objective was to parametrically investigate SF processing and establish precise tuning profiles for the recognition of all six basic facial expressions of emotions, along with neutrality and pain—though findings pertaining to pain are reported elsewhere (Charbonneau et al., 2021), and will not be further addressed unless otherwise pertinent. To establish SF tuning profiles, we used a variant of bubbles that treats SFs as a continuous variable, randomly sampling SFs on a trial basis, thereby allowing a much more precise assessment of their respective contributions (Willenbockel, Fiset et al., 2010; see also, for the original technique, Gosselin & Schyns, 2001). Importantly, SF bubbles make no a priori decisions regarding SF cut-offs. Recently, this method has led to interesting results on the role of SF during conscious and non-conscious perception of emotional facial expressions (Willenbockel et al., 2012) and the characteristics of static vs. dynamic facial expressions (Plouffe-Demers et al., 2019) that could have not been observed with other methods such as band-pass filtering/masking, cut-offs, or Bubbles.

Objectives were twofold. First, in Experiment 1 we used SF bubbles to measure tuning profiles that characterized accurate recognition of each basic facial expression, along with

painful and neutral expressions. Second, in Experiment 2 we manipulated the perceived distance at which expressions were recognized in an attempt to generalize SF tuning profiles (Exp. 1) to a more naturalistic context. Indeed, manipulation of perceived distance acts as a de facto and naturalistic low-pass filter, closely mirroring real-life conditions, from close-up interactions (e.g., conversations) to distant observations (e.g., observing someone across a hallway or encountering a passerby on the street; Smith & Schyns, 2009). Hence, our study distinguishes itself through its innovative approach, seamlessly fusing insights from two complementary methods to enhance our grasp of SFs' impact on facial expression recognition.

3.3. General Methods

3.3.1. Participants

Twenty healthy adult Canadian participants aged between 18 and 40 years old took part in each experiment for a total of 40 participants (Experiment 1: 10F, M = 26 yo, SD = 3.4; Experiment 2: 14F, M = 21.45 yo, SD = 3.52). Data were collected between 2016 and 2019. Sample size for Experiment 1 was chosen based on similar studies that used SF bubbles (with N ranging between 16 and 22 participants, e.g., Plouffe-Demers et al., 2019; Royer et al., 2017; Tardif et al., 2017). Sample size for Experiment 2 was simply intended to match Experiment 1, and in doing so, exceeds the sample size of previous work that employed this experimental procedure (N = 6 in Smith & Schyns, 2009). Participants provided their written consent to take part in the experiments and received a 12\$/hour financial compensation for their participation. They all had normal or corrected-to-normal vision as indicated by their score on the Snellen Visual Acuity Chart and Pelli-Robson Contrast Sensitivity Chart (Pelli, 1997). Procedures complied with relevant guidelines and regulations regarding the use of human participants and received approval from the research ethics committee at Université du Québec en Outaouais.

3.3.2. Material and stimuli

Stimuli came from the validated STOIC database (Roy et al., 2007; Simon et al., 2008, see, for validation, Krumhuber et al., 2021), and consisted of 80 images depicting the faces of 10 different White individuals. Each individual was pictured displaying a neutral or emotional (i.e., anger, disgust, fear, happiness, sadness, surprise, and pain) facial expression. All images were gray-scaled before mean luminance, contrast, and SF spectra were equated across images using the SHINE toolbox for Matlab (Willenbockel, Sadr, et al., 2010). A gray mask with an elliptic aperture was applied to each face to hide external features (e.g., hair, ears, facial outline, background). Stimuli were displayed on a 1080p calibrated LCD monitor with a 100 Hz refresh rate. Experimental programs were written in Matlab (Natick, MA), using custom code and functions from the Psychophysics Toolbox (Pelli, 1997; Brainard, 1997; Kleiner et al., 2007). The viewing distance was maintained at 46.5 cm using a chinrest.

3.3.3. Transparency and Openness

In accordance with the Journal Article Reporting Standards (JARS; Kazak, 2018), we reported how we determined sample size, data exclusions, manipulations, and measures used. Data, analysis code, and research materials are available at: https://osf.io/cm7qh/?view_only=2a60a49a474f4f26881ef2052db00330. Data were analyzed using Matlab version: 8.6 (R2015b), Natick Massachusetts: The MathWorks Inc., and IBM SPSS Statistics (Version 29.0.0.0.). The study design and analyses were not pre-registered. Informed consent for the publication of identifying images in an online open-access publication was obtained for all face stimuli presented in this article. Coloured figures were prepared adhering to guidelines to make them suitable for color-vision-deficiency (CVD) and black and white prints (Cramer, 2018; Cramer et al., 2020).

3.3.4. Procedure

Prior to the experiments, participants were instructed to look at the emotional and neutral faces displayed on a computer screen until they felt confident that they could accurately recognize all facial expressions. At this point, a practice session began. Each practice trial began with a centered fixation cross displayed 500ms. Then, one of the 80 face stimuli was randomly selected and presented for 300ms. Face width was 5.72 degrees of visual angle. Participants were tasked with choosing the appropriate emotion label using the assigned keyboard key. No time limit was imposed and no direct accuracy feedback was provided. After a response was entered, the next trial began. The practice phase ensured participants could accurately label facial expressions. The practice was repeated as many times as necessary and completed when performance reached at least 90% correct over two consecutive 160 trial blocks. After practice, participants then began their assigned experimental task (i.e., Experiment 1 or 2). Experiments were conducted across multiple sessions, with each session beginning with a practice phase. Participants were encouraged to take breaks as needed during the sessions.

3.4. Experiment 1: SF tuning profiles

Participants completed 26 blocks of 160 trials each for a total of 4,160 trials per participant. This is consistent with other studies using SF bubbles (Tadros et al., 2013; Willenbockel et al., 2010), and more generally, classification image procedures (Eckstein & Ahumada, 2002), since they typically favour large numbers of trials (e.g., ~2000 to 4000 trials/subject). Each trial began with a centered fixation cross displayed 500 ms. Then, one of the 80 face stimuli was randomly selected, “SF-bubbled”, and presented for 300 ms. Face width was the same as in the practice session. Participants were tasked with choosing the appropriate emotion label using the assigned keyboard key. Again, there was no time limit or accuracy

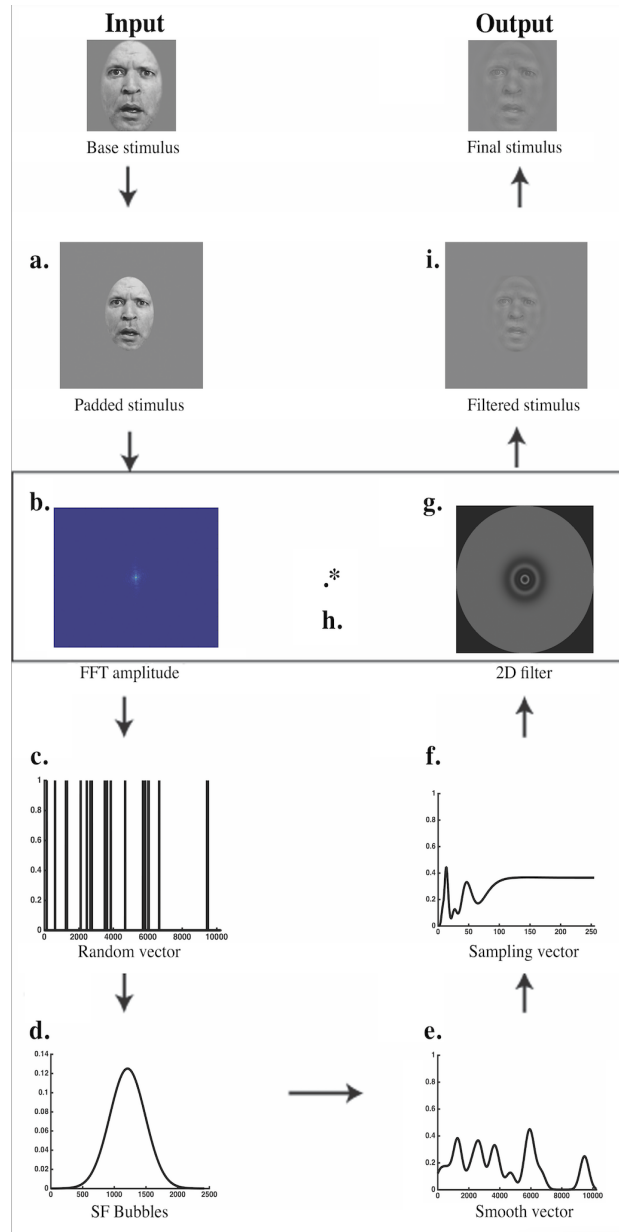
feedback. Immediately after a response was entered, the next trial began. To reveal visual information useful for the recognition of basic facial expressions, faces were sampled in Fourier space using spatial frequency (SF) bubbles (Royer et al., 2017; Willenbockel et al., 2010). SF bubbles randomly sample image SF content on a trial basis, and its effect on accuracy is revealed with classification image techniques, which are analogous to regression analysis (Eckstein & Ahumada 2002; Gosselin & Schyns, 2001). Across many trials, this method allows to independently assess the contribution of every SF to visual categorization (for more detail see Figure 4 in Willenbockel et al., 2010).

Figure 3 illustrates the creation process of “SF-bubblized” stimuli. First, the base stimulus was padded with a uniform gray background (Figure 3a) to minimize edge artifacts. Second, the padded stimulus was converted to Fourier space using Fast Fourier Transform (FFT; Figure 3b). A random SF filter was then created starting with a monotonous vector of size $2wk$ elements, where w is the original stimulus width (i.e., 256 pixels) and k (i.e., 20) is a constant that determines sampling smoothness. On each trial, 10 SF samples (i.e., ones) were randomly dispersed across the 10,240 elements, creating a binary SF sampling vector (Figure 3c). The binary sampling vector was then convolved with a Gaussian kernel, or bubble (Figure 3d) with FWHM equal to 1.8 cycles per image, resulting in a smooth sampling vector (Figure 3e). This smooth sampling vector was then log-scaled (Figure 3f) to adjust for human contrast sensitivity (De Valois & De Valois, 1990). The resulting w -elements filter was then rotated on its DC origin to create an isotropic two-dimensional smooth sampling matrix (i.e., SF bubbles) of size $w \times w$ (Figure 3g). Finally, the padded stimulus Fourier spectrum was sampled with SF bubbles by dot-multiplication (Figure 3h), and the product was converted back to the image domain by applying inverse FFT (Figure 3i). Finally, the padded region was cropped, preserving only the initial $w \times$

w central region. To adjust task difficulty and maintain 56.25% correct responses (i.e., halfway between floor and ceiling), a proportion of Gaussian white noise was added to the SF-filtered stimulus. This proportion was manipulated on a trial basis using QUEST (Watson & Pelli, 1963).

Figure 3

Creation of a “SF-bubbled” Stimulus



Note. This panel provides a visual representation of the step-by-step SF bubbles sampling procedure. Refer to the main text for detailed explanations of each step.

3.4.1. Analysis and Results for SF Tuning Profiles

SFs for accurate facial expression categorization were analyzed by computing classification images which represent the strength and direction of association between SF and performance. Classification image analysis amounts to a multiple regression analysis of SF sampling vectors on accuracies across trials. Specifically, classification vectors (i.e., weighted sums of SF sampling vectors) were calculated individually and for each emotional expression by allocating positive weights to filters that led to correct responses and negative weights to incorrect responses. Weights were calculated by standardizing (converting into z-scores) raw accuracy scores (ones and zeros) on a subject basis; thus, equal weight was given to correct and incorrect responses. In so doing, it is assumed that filters presented on correct trials contained at least some useful SF content, and inversely, filters presented on incorrect trials contained useless or even detrimental SF content. Classification vectors were then smoothed using a Gaussian kernel with a standard deviation equal to 2.5 cycles per image. Resulting individual classification vectors were standardized using the mean and standard deviation of the null hypothesis, which were calculated using the Stat4Ci toolbox (Chauvin et al., 2005). To assess statistical significance, t -scores were first computed, for each SF and each expression. To carry this, we divided averaged individual z-scores by their corresponding standard error. This allows for the consideration of between-subjects variance, effectively applying a correction that is proportional to this variance. Statistical significance of the resulting classification vectors (in t -scores) was assessed by applying a pixel test from the Stat4Ci toolbox, $t_{\text{crit}} = 3.98$, $p < 0.05$ (see the dashed line in Figure 4). The pixel test corrects for multiple comparisons across SFs but also takes into account the spatial correlation inherent to smoothed classification images. SF tuning peaks for individual expressions were estimated on t -score vectors using a “50 % area frequency measure”

(50% *AFM*), which is less sensitive to the shape of tuning curves (see, for similar applications across spatial frequency bubbles and spatial orientation bubbles, Duncan et al., 2017; Tadros et al., 2013). In essence, this 50% *AFM* corresponds to the SF that splits the total area under the curve (AUC) of statistically significant SFs (i.e., $t > t_{crit}$) in two 50% sub-AUCs. It can therefore be seen as the median statistically significant SF.

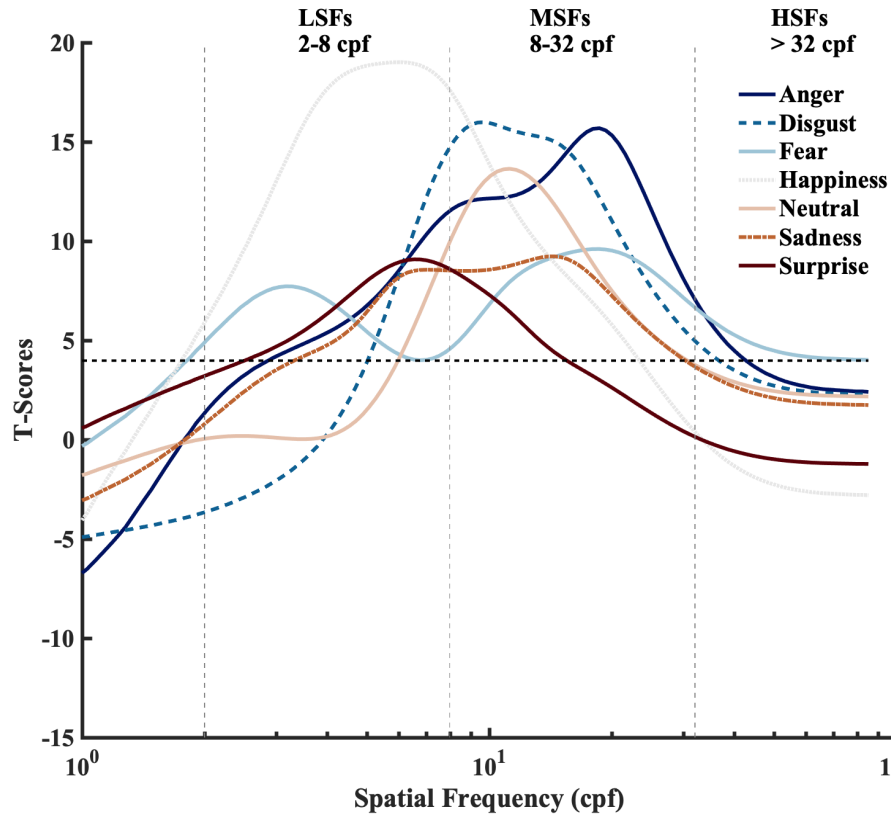
Figure 4 shows SF tuning for each facial expression. More precisely, SFs that are significantly and positively associated with accurate categorization of facial expression are as follows: anger (3.33 - 42.67 cpf, $t_{Max} = 15.69$), disgust (5.33 - 36.67 cpf, $t_{Max} = 15.99$), fear (2 - 85 cpf, $t_{Max} = 9.60$) happiness (2 - 23.33 cpf, 50% *AFM* = 5.92 cpf, $t_{Max} = 19.01$), neutral (6.33 - 30.67 cpf, $t_{Max} = 13.64$, sadness (3.67 - 30.33 cpf, $t_{Max} = 9.23$) and surprise (3 - 15.67 cpf, $t_{Max} = 9.08$), all $ps < 0.001$. Furthermore, 50% *AFM* measures reflected a predominant contribution of MSF facial content across most expressions: anger (50% *AFM* = 13.01 cpf), disgust (12.2 cpf), fear (13.35 cpf), neutrality (12.31 cpf), and sadness (10.37 cpf). Only happy (50% *AFM* = 5.92 cpf) and surprised (6.42 cpf) expressions reflected a predominant contribution of LSF facial content.

To better compare our results with previous studies that used arbitrary cut-offs, we quantified usefulness of LSFs, MSFs, and HSFs by applying similar cut-offs to the data. Specifically, we conducted, for each expression, a bootstrap analysis of classification vectors (t -scores) that consisted of 10,000 Monte Carlo simulations, i.e., resamples of size $n = 20$ with replacement. For each simulation and expression, we calculated the trapezoidal numerical integration of significant t -scores cumulated between 2 and 8 cpf (LSF), between 8 and 32 cpf (MSF), and at or above 32 cpf (HSF). Note that classification vectors were log-scaled, such that LSFs and MSFs, which spanned exactly 2 octaves, were equally represented in this analysis.

Finally, we divided each outcome by the sum of all significant t -scores to obtain a proportion of total diagnostic information. The use of these SF ranges ensures that the comparison is constant over the entire SF range, so that each range represents two octaves of SF information. Table 1 presents these proportions (expressed in percentages). First, we note that the contribution of LSFs was statistically greater than the contribution of HSFs for all expressions (all $ps < 0.034$), except for fear ($p = 0.119$). Second, for every expression except happiness and surprise, the contribution of MSFs was statistically greater than the contribution of LSFs, all $ps < 0.042$ (the effect was marginally significant for sadness, $p = 0.079$). Note that for happiness and surprise, the contribution of LSFs and MSFs was statistically similar, $ps > 0.856$. Finally, the contribution of MSFs was statistically greater than the contribution of HSFs for all expressions (all $ps < 0.002$).

Figure 4

SF Tuning for Basic Facial Expression Categorization as Revealed by the SF Bubble's Method



Note. Spatial frequency tuning in cycles per face (cpf) is shown for each basic facial expression. The black dotted line represents the statistical threshold for significance ($p < 0.05$; see text for details). The vertical lines represent arbitrary cutoffs that delimit the divisions between low (2-8 cpf), mid (8-32 cpf) and high (>32 cpf) SFs. Note that in this context, visual representation on a logarithmic axis over-represent AUC of lower SF values.

Table 1

Proportion (in %) of Useful Information Across Different Spatial Frequency Cut-Offs

Facial expression	LSF	MSF	HSF	p value LSF > HSF	p value MSF > LSF	p value MSF > HSF
Anger	19.00 (6.18)	77.78 (5.99)	3.22 (2.37)	0.014	< 0.001	< 0.001
Disgust	16.59 (4.48)	82.69 (4.64)	1.2 (2.72)	0.013	< 0.001	< 0.001
Fear	29.71 (9.39)	61.19 (9.35)	8.70 (8.07)	0.119	0.042	0.002
Happiness	68.84 (8.10)	30.70 (8.32)	0 (0.02)	< 0.001	0.984	< 0.001
Neutral	8.59 (3.24)	91.41 (3.63)	0 (2.18)	0.034	< 0.001	< 0.001

Sadness	30.63 (10.76)	69.37 (10.15)	0 (2.33)	< 0.004	0.079	< 0.001
Surprise	66.28 (14.07)	33.72 (14.45)	0 (0.04)	< 0.001	0.856	< 0.001

Note. The proportion values presented in this table are expressed as percentages (with one standard deviation in parentheses) for each facial expression. Cut-off represents information between 2 and 8 cpf (LSFs), between 8 and 32 cpf (MSFs), and above 32 cpf (HSFs).

3.4.2. Discussion

Using SF bubbles, we highlighted the importance of a wide range of SFs for accurate recognition of facial expressions, spanning from very low (~2 cpf) to high (~85 cpf) SFs.

Importantly, however, the 50% area frequency measure (AFM) revealed that recognition of all facial expressions was tuned to low-to-mid SFs, i.e., between 5.92 and 13.35 cpf, though 5 out of 7 expressions were clearly tuned to MSF content. Furthermore, analyzing the proportion of cumulative information at various cut-off points provided insights into the predominant reliance on MSF content (on average, 63.8% across expressions) compared to LSF (34.2%) and HSF (4.7%) information. The only exceptions were surprise and happiness, and marginally so for sadness, for which the contribution of LSF and MSF content was statistically similar.

Additionally, the contribution of LSFs was statistically greater than the contribution of HSFs for all expressions, except for fear ($p = 0.119$). Our findings reveal considerable heterogeneity across expressions, but they also highlight the overall and overwhelming importance of MSFs to recognition of facial expressions. This is important because it fundamentally highlights a range that is often overlooked in this type of research. Based on these results, we can predict that, when manipulating the distance at which a facially expressive face is viewed, the most consequential drops in recognition accuracy should occur at distances that prevent processing of MSF content. Furthermore, when distances are greatest (i.e., only LSF content can be processed), expressions with a relatively higher contribution of LSFs, such as surprise and happiness, should be better

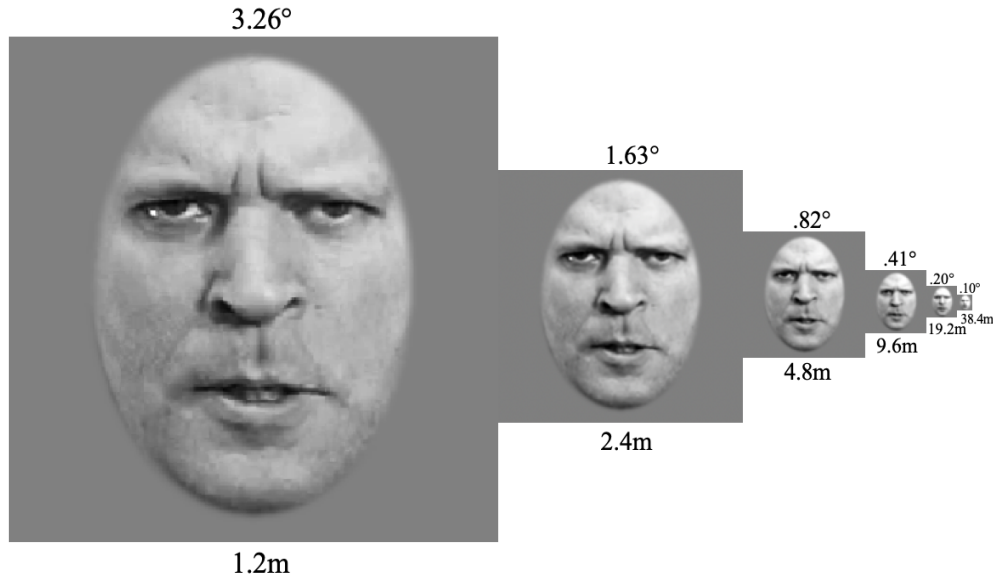
recognized relative to other expressions. Experiment 2 will test these predictions with a manipulation that simulates variations in perceived distance, similar to previous work (Smith & Schyns, 2009).

3.5. Experiment 2: Perceived distance

In Experiment 2, participants completed 15 blocks of 160 trials for a total of 2,400 trials per participant. Each trial began with a centered fixation cross displayed 500 ms. Then, one of the 80 face stimuli was randomly selected and presented for 300 ms. A random noise mask was subsequently presented for 150 ms. Participants were tasked with choosing the appropriate emotion label (out of eight) using the assigned keyboard key. No time limit was imposed. Feedback was not provided. Immediately after a response was registered, the next trial began. Stimuli were created using the Laplacian Pyramid toolbox (Burt & Adelson, 1983), a method that recursively applies low-pass filters to images, each time removing their highest SF octave, and down-sampling the outcome by a factor of two. This resulted, for each face and expression combination, in a series of six images that progressively decreased in size (face widths corresponded to 3.26, 1.63, 0.82, 0.41, 0.2, 0.1 degrees of visual angle), thereby simulating a doubling of viewing distance with each size reduction (i.e., 1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, and 38.4 meters, respectively; see Figure 5). Available SF content thus corresponded to applying low-pass filters of 128, 64, 32, 16, 8, and 4 cycles per face, respectively. The original image size was 384 x 384 pixels (~6.9 cm), which corresponds to 3.26 degrees of visual angle at a viewing distance of 122 cm from the screen.

Figure 5

Examples of Stimuli Created with the Distance Manipulation Method



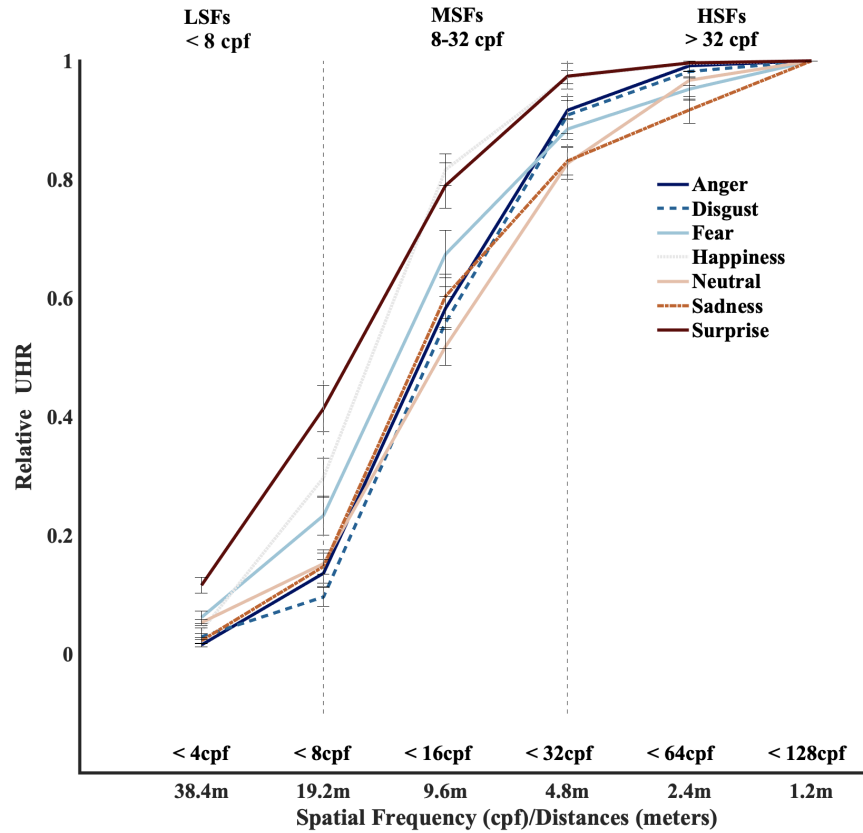
Note. Faces stimuli were created with the Laplacian Pyramid toolbox (Burt & Adelson, 1983) simulating increasing viewing distances.

3.5.1. Analysis and Results for Facial Expression Categorization across Distances

Performance on the categorization task was calculated using unbiased hit rates (UHR; Figure 6). This modified measure of sensitivity, from signal detection theory, is advised for facial expression recognition tasks since it is independent from response biases (Armistead, 2013), which are pervasive with facial expressions of emotions (e.g., systematically confusing surprise with fear; Elfenbein et al., 2002). Statistical analyses were carried out on relative UHRs (though absolute UHRs are also reported in the supplementary materials), which consisted of expressing performance at each simulated distance as a proportion of maximum performance, achieved at the shortest distance (1.2 m). This provided a clearer picture of the extent of performance degradation as a function of increases in perceived distance, and facilitated direct comparison of this effect across emotions.

Figure 6

Relative Unbiased Hit Rates for Emotion Categorization as a Function of Viewing Distance



Note. Unbiased hit rates for each facial expression as a function of viewing distance in meters and spatial frequency content are presented in various colours (see the legend for details). Error bars represent the standard error. The vertical lines represent arbitrary thresholds that delimit the divisions between low (<8 cpf), medium (8-32 cpf), and high (>32 cpf) SFs.

A 6 (Distance) x 7 (Emotion) repeated measures ANOVA was performed. A

Greenhouse-Geisser correction was applied whenever the sphericity assumption was violated.

Note that we did not consider the main effect of *Emotion* on relative UHR as it is confounded with distance. The effect of *Distance* was significant, $F(1.81, 34.41) = 868.28, p < .001$ ($\eta^2_p = 0.98$), which globally showed better proximal vs. distal performances. However, this effect was not uniform across distances. Most notably, increasing distance from 9.6 to 19.2 m (equivalent to removing MSF content between 8 cpf and 16 cpf) had the largest negative impact on expression

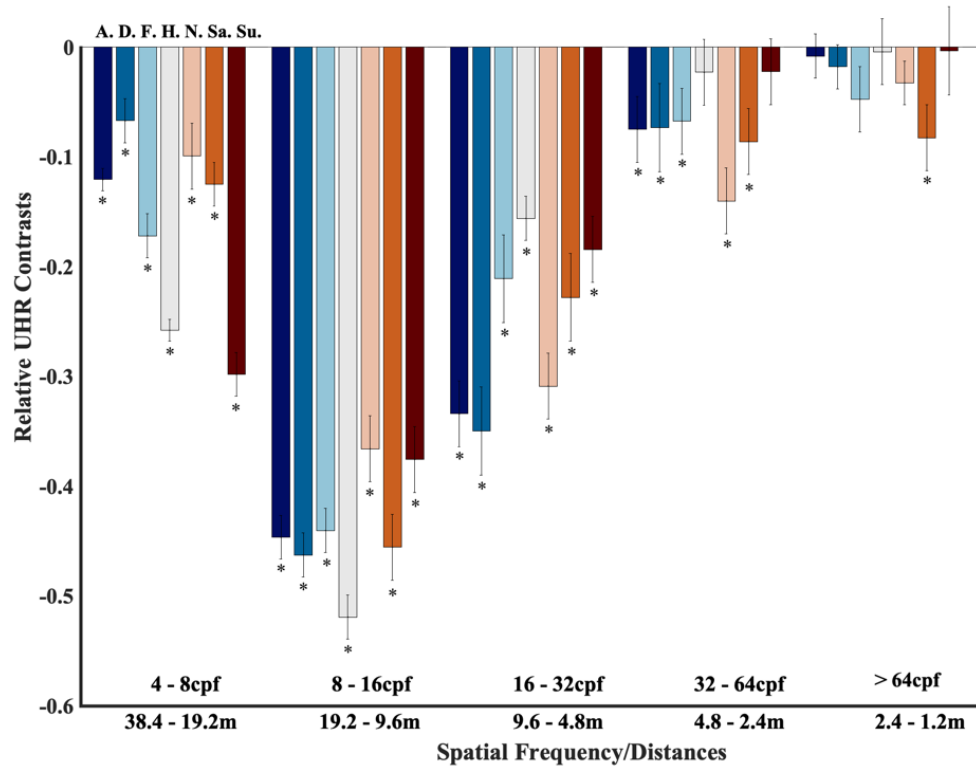
recognition performance (see Table 3 in supplemental materials for full results). The *Distance* by *Emotion* interaction was also significant, $F(8.62, 163.78) = 11.73, p < .001$ ($\eta^2p = 0.38$).

The interaction was decomposed by computing separate one-way repeated measures ANOVAs (i.e., one per facial expression), each time testing the effect of *Distance*. Every expression showed a significant effect of distance, with better proximal vs. distal performance (anger: $F(1.91, 36.22) = 684.62, p < .001$ ($\eta^2p = 0.97$); disgust: $F(2.28, 43.39) = 396.60, p < .001$ ($\eta^2p = 0.95$); fear: $F(2.67, 50.82) = 326.03, p < .001$ ($\eta^2p = 0.95$); happiness: $F(2.28, 43.22) = 570.62, p < .001$ ($\eta^2p = 0.97$); neutral: $F(3.04, 57.69) = 446.04, p < .001$ ($\eta^2p = 0.96$); sadness: $F(2.93, 55.62) = 364.83, p < .001$ ($\eta^2p = 0.95$); surprise: $F(2.66, 50.53) = 254.77, p < .001$ ($\eta^2p = 0.93$).

Follow-up paired samples *t*-tests were performed for five pairs of adjacent distances (i.e., 1.2 m with 2.4 m, 2.4 m with 4.8 m, and so forth; $p = 0.05/5$). Figure 7 charts every contrast (see also Table S2-S6 in supplemental materials for full follow-up *t*-tests results). First, we note that sadness was the only expression for which relative UHRs statistically differed between the two most proximal distances (1.2 m and 2.4 m). However, several facial expressions saw a considerable performance decline as distance further increased. Despite differences in distance effects across facial expressions, the most substantial drop in performance for all facial expressions occurred between 9.6m and 19.2 m (see also Figure 6). Finally, Figure 8 shows the full confusion matrices underlying absolute UHR as a function of distance.

Figure 7

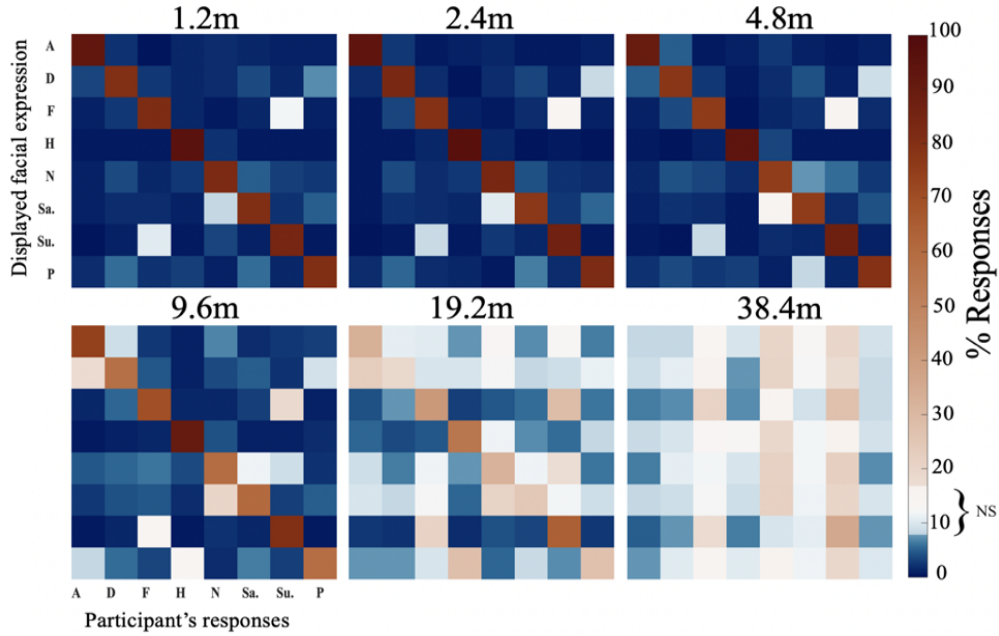
Relative Unbiased Hit Rates Contrasts



Note. Mean unbiased hit rates (UHR) contrasts are shown for each facial expression for each contrast. A = anger, D = disgust, F = fear, H = happiness, N = neutral, Sa. = sadness, Su. = surprise. Contrasts that were statistically different from 0 are denoted with an asterisk (all $ps < .05$, corrected). Mean standard errors are represented by the error bars.

Figure 8

Full Confusion Matrices Underlying Performance at each Distance



Note. Full confusion matrices underlying performance (in % responses) at each distance in Experiment 2. Rows correspond to expressions presented, and columns correspond to participant responses (A = anger, D = disgust, F = fear, H = happiness, N = neutral, Sa. = sadness, Su. = surprise, P = pain). Note that pain facial expression has been included in these matrices to better account for the confounding of all facial expressions. To estimate the distribution of random responses, we simulated 10,000 samples (20 participants, 50 trials per expression per distance) worth of purely random responses in a categorization task with 8 facial expressions (i.e., average success rate of 1/8, or 0.125). Group-averaged data were then compared to these estimated random distributions, and percent responses that fell within ± 4 SDs relative to 12.5% (represented by the *ns* caption) were color-desaturated relative to those that fell outside this range.

To better quantify distance thresholds across expressions, we applied curve-fitting using the Palamedes toolbox (Prins & Kingdom, 2018). The distance threshold for a given expression corresponds to the distance at which relative UHR reaches 50% (i.e., halfway between floor and ceiling performance) for that expression, such that a higher distance threshold implies this expression can be recognized from further away. It is inversely proportional to cpf threshold, such that a high distance threshold amounts to a lower cpf threshold. Results are reported in Table 2 and details on curve-fitting analysis are reported in supplemental materials. Results were largely consistent with predictions drawn from Experiment 1. For instance, every distance

threshold fell within 9.63 m to 16.82 m; these correspond to mid-spatial frequencies, with cpf thresholds ranging between 9.13cpf to 15.67cpf. Furthermore, thresholds for happiness and surprise were at a farther distance (14.81-16.82 m) and lower SF (9.13-10.37cpf), compared to expressions of anger, disgust, neutrality, and sadness (9.63-10.61 m; 14.47-15.94cpf). This indicates happy and surprised expressions were better recognized from farther away, using relatively lower SF face content, and is again consistent with the results of Experiment 1.

Seeing as every SF threshold measured in Exp. 2 fell within the range of MSFs, we wondered whether proximity to the MSF mid-point (i.e., 16 cpf) would concord with usefulness of MSFs in Exp. 1, such that for instance sadness (threshold at 15.94 cpf) would manifest greater MSF usefulness than surprise (threshold at 9.13cpf). Seeing as every threshold fell below 16 cpf, we simply performed an exploratory correlation analysis between group-averaged SF thresholds (Exp. 2) and percent contributions of MSFs (Exp. 1) across expressions. Results showed this was indeed the case, $r = 0.963$, $p = 0.0023$: Expressions for which the threshold was higher and thus closer to the MSF mid-point in Exp. 2 were more likely to show greater reliance on MSF information in Exp. 1. Furthermore, a bootstrap analysis that consisted of 10,000 Monte Carlo resamples showed this result was reliable, 95% CI = [0.343, 0.999]. As for slopes, there was a general steepness indicative of an inflection point (i.e., non-linearity). In other words, sensitivity to information increased as it got closer to the threshold and decreased as it got farther from it. However, some slopes (e.g., anger, disgust, and happiness) did appear steeper than others (e.g., sadness, neutrality and fear). Seeing as peak SF tuning (t -score) is also a measure of sensitivity to information--in that it represents the inflection point in the cumulative SF tuning profile--we wondered whether expressions with steeper slope parameters (Exp. 2) would concord with higher peak t -scores (Exp. 1). A second exploratory correlation analysis between slopes and peak

t -scores showed this was indeed the case, $r = 0.85$, $p = 0.015$ (CI 95% = [0.328, 0.992], estimated with 10,000 Monte Carlo simulations).

Table 2

Curve Fitting Parameters Characterizing the Relationship Between Facial Expression Categorization and Distances

Facial expression	α (meters/cpf)	β	Deviation (p Dev)	R^2
Anger	2.86 (10.61/14.47)	1.21	.01(.65)	1
Disgust	2.92 (10.14/15.15)	1.15	.05(.12)	.99
Fear	2.69 (11.88/12.93)	0.88	.06(.25)	.99
Happiness	2.38 (14.81/10.37)	1.29	.02(.10)	.99
Neutral	2.97 (9.81/15.67)	0.92	.02(.22)	.99
Sadness	2.99 (9.63/15.94)	0.89	.11(.24)	.98
Surprise	2.19 (16.82/9.13)	1.03	.01(.99)	1

Note. Threshold (α) corresponds to the distance at which relative UHR for a given expression reaches 50% (i.e., halfway between floor and ceiling). Equivalents for that parameter, in both meters and cpf, are also displayed. Slope (β) represents the function's steepness, indicating sensitivity and selective use of information near this threshold. Goodness of fit was evaluated with the estimation of the deviance (1,000 bootstrap iterations). p Dev represents the proportion of simulation deviance that was greater than in the actual data; higher equals better fit). The coefficient of determination (R^2) for each facial expression is reported in the last row.

3.5.2. Discussion

We provided an exploration of the role of SFs in facial expression recognition using a manipulation that more closely mirrors real-life situations, replicating the findings of Smith & Schyns (2009), despite the use of different stimuli and a larger sample. Furthermore, we identified several parallels with the results from Experiment 1. First, our results consistently showed that the most consequential drops in performance occurred when distance was such that

it made MSF information between 8 cpf and 32 cpf unavailable to the observer. This was reflected in distance threshold estimates which corresponded to MSF content (9.13 cpf to 15.95 cpf). Furthermore, recognition of happy and surprised expressions was generally more resilient to increases in perceived viewing distance which was consistent with predictions drawn from Exp. 1. This was further supported by the fact that greater reliance on MSF content (Exp. 1) was associated with distance thresholds (Exp. 2) that were more centered on MSFs (i.e., nearer to 16 cpf, which is the mid-point of two-octaves wide SF band typically referred to as MSF). Second, slope estimates captured non-linearity of sensitivity to information, and the extent of this non-linearity was associated with absolute peak SF tuning t scores, such that expressions with relatively more linear slopes (e.g., sadness, neutrality and fear) were generally characterized by flatter SF tuning profiles.

3.6. General Discussion

We investigated how spatial frequency (SF) influences the recognition of six basic facial expressions and neutrality across two experiments. In Experiment 1, we utilized SF bubbles, a technique that avoids assuming which SFs are most valuable (Willenbockel, Fiset et al., 2010). We revealed that the key SF content for facial expression recognition predominantly falls within a narrow band, spanning from 5.92 cpf to 13.35 cpf, covering low-to-mid range SF content. Remarkably, 5 out of 7 expressions were attuned to mid-range SF content (MSF), contributing nearly two-thirds (63.8%) of the total diagnostic information, compared to about a third (34%) for low-frequency (LSF) content and less than 5% for high-frequency (HSF) content. In Experiment 2, we manipulated perceived distance, effectively applying a naturalistic low-pass filter. Performance was affected at both short and long distances, but the most significant impact occurred when perceived distance led to the loss of MSF content (between 8 cpf and 32 cpf).

Both experiments consistently underscored the pivotal role of MSF content in recognizing basic facial expressions, with LSF content also contributing more significantly than HSF content.

3.6.1. Importance of mid-range spatial frequencies

Our results show that expression recognition heavily rests on the processing of MSFs. As far as individual expressions were concerned, MSFs contributed more than LSFs to expression recognition—except for happiness and surprise. Similarly, MSFs contributed more than HSFs for every expression. Interestingly, the contribution of LSFs was significantly larger than HSFs across all facial expressions but fear, for which the difference was marginal. Moreover, there was no evidence of LSF advantage over MSF content for fear, seeing as its recognition predominantly relied on MSFs (>60% of diagnostic information). Fear recognition also distinguishes itself as being subjectively the most reliant on higher SFs, compared to other expressions, which is consistent with previous bubbles' work suggesting a greater reliance on the eye region in mid-to-high SFs (Smith & Schyns, 2005). These results resonate with recent evidence that HSFs might also play a key role in fear processing (e.g., Gao and Maurer, 2011; Morawetz et al., 2011; Plouffe-Demers et al., 2019; Stein et al. 2014; Van der Donk, 2020).

At first glance, our results, which highlight the crucial role of MSFs in facial expression recognition, might appear inconsistent with the commonly reported view that low SF plays a crucial role in the processing of certain facial expressions (e.g., as in the case of fear; Vuilleumier et al., 2003; Mendez-Bertolo et al., 2016; Pourtois et al., 2005; Vlamings et al., 2009). However, these data can be reconciled as we consider important methodological details that influence our understanding of the visual strategies used in facial expression categorization.

De Cesarei & Codispoti (2013), highlighted methodological differences in studies about SFs in emotion perception, which pose challenges in making accurate comparisons and

interpretations across studies. In light of this study, we suggest that at least two methodological details are important to consider. First, and most notably, there is the fact that a majority of studies use arbitrary cut-offs that often overlook MSFs entirely, opting instead to compare contributions of LSFs (often <8 cpf) and HSFs (often >32 cpf) exclusively. Second, the task itself can also influence the perception of facial expressions (Schyns & Oliva, 1999). For instance, it has been shown that the number of expression alternatives (e.g., 2 vs. 7 choices) and types of expressions used (e.g., neutrality and fear, vs. anger and fear) influence the use of SF information. Specifically, detection (e.g., neutrality vs. fear) tasks tend to favor reliance on lower SF information compared to categorization (e.g., 7 choices) tasks (Smith & Merlusca, 2014; Smith & Rossit, 2018). These two factors can also have a compounding effect, further inflating the contribution of LSFs, e.g., by using arbitrary LSF and HSF cut-offs in conjunction with an emotion detection task (e.g. neutral vs. fear). Thus, overlooking these important factors can limit or even warp our understanding of perceptual mechanisms involved in facial expression processing.

While there is no optimal decision regarding the number of expressions to include in any experimental design, our selection was made with the aim of aligning with certain real-life scenarios. For instance, while we might have predetermined expectations about facial expressions in specific contexts (e.g., sadness at a funeral home), in our day-to-day experiences, it is rather uncommon to know in advance what facial expressions those around us will express. For instance, picture yourself strolling through a hospital. Here, we may not only encounter pain but also witness expressions of joy (e.g., celebrating the birth of a child), fear (e.g., arising from concerns about a loved one's condition), or even disgust (e.g., perhaps in response to some dubious canteen meal). In experimental settings, such as in a fear detection task (e.g., fear or

neutral), the absence of neutrality necessarily implies the presence of fear, and vice versa. Real-life observers, however, cannot rely on shortcuts of this sort, seeing as the absence of neutrality does not necessarily imply the presence of fear, and the absence of fear does not necessarily imply the presence of neutrality.

Moreover, the human contrast sensitivity function (CSF) typically shows peak sensitivity at about 2 to 5 cycles per degree of visual angle (cpd; Campbell & Robson, 1968). Though faces can be viewed at varying distances, our face diet is nonetheless mostly shaped by interpersonal interactions, and these usually occur at distances of about 2 meters (Oruc & Barton, 2010; Oruc et al., 2019). At this distance, facial MSF content roughly matches the peak sensitivity of the human CSF. It, therefore, makes sense that these facial MSFs are often the most relied-upon content at interpersonal distances (Owsley & Sloane, 1987), but also that performance plummets when this information becomes inaccessible (Schyns & Oliva, 1999; Smith & Schyns, 2009). Our results are consistent with other investigations which have considered SFs in a more continuous way and allowed for more expression alternatives (e.g., Gao and Maurer, 2011; Plouffe-Demers et al., 2019). Building upon this study's findings and given the flexible use of SF regarding task demands (e.g., Smith & Merlusca, 2014), we underscore the importance of exploring the complete spatial frequency spectrum instead of merely focusing on its extremes and carefully interpret results in regard to which facial expressions were included in the experimental designs.

3.6.2. Reappraising the role of low spatial frequencies

Our findings are consistent with previous studies, highlighting a greater role of LSFs compared to HSFs during the recognition of facial expressions. However, the disproportionate reliance on MSFs invites us to reconsider the prominent role so often attributed to LSF only. As

evidenced in Experiment 2, performance reached very low levels when only LSF content was accessible to observers. This is not to say LSF content plays no role whatsoever in the perception of facial expressions. Beyond impoverished performance, there emerged a very interesting pattern when available information was restricted to LSF content. When the distance was the largest (38.4 m), surprise was the most likely perceived expression across the board. Indeed, surprise was perceived nearly twice more often than it was presented (Figure 8; see also, for analogous results in the visual periphery, Smith & Rossit, 2018), despite the fact that UHRs compensate for response biases (see, for more details, Armistead, 2013). Neutrality, on the other hand, was the second most likely response, as it was perceived about one and a half times more often than it was presented.

In other words, participants were not simply guessing when only very low SF content was available: Either participants perceived emotionality (and more often than not labelled it as surprise), or they did not perceive emotionality (and labelled it as neutrality). Results suggest that, rather than supporting recognition of facial expressions, LSF content instead supports their detection. In fact, surprise is inherently ambiguous and often acts as a transitory expression, quickly transforming into another, such as for instance "fearfully surprised" (Du et al., 2014). Given its rich but ambiguous LSF content, it is possible that the primary function of surprise has more to do with drawing observer attention (either distally or in the visual periphery), swiftly refocusing the observer and engaging more fine-grained discrimination processes. In that sense, it might explain why, at the greatest distance which precluded more fine-grained discrimination, detection of emotional content was possible, but it more than likely led to the emotion being labelled as surprise. Relatedly, a previous study found that detection is more resilient in the visual periphery (i.e., where higher SF content is inaccessible), compared to expression

recognition (Smith & Rossit, 2018), again suggesting that detection relies on relatively lower SF content, and recognition relies on relatively higher SF content (see also, Smith & Merlusca, 2014). Thus, one interesting avenue would be to investigate the possibility that LSF information plays a role in supporting visuospatial processes in detecting emotionally expressive faces in the visual periphery and bringing them into focus for more fine-grained processing, rather than in supporting recognition itself, as this process is clearly better supported by MSF content.

3.6.3. Differences Across Facial Expressions

Comparing SF tuning curves highlighted distinct perceptual strategies across facial expressions. These variations could reflect heterogeneity in facial movements and facial features involved in producing facial expressions. Extension movements, for instance, tend to produce broadening (e.g., opening, widening) of facial features. These movements are typical of expressions tuned toward relatively lower SFs, such as surprise (mouth opening) and happiness (mouth widening). Contraction movements, on the other hand, tend to produce narrowing (e.g., squinting, frowning) of facial features. They are often found in expressions tuned toward relatively higher SFs, such as disgust (nose wrinkling), anger (frowning), and sadness (squinting).

Let us now consider fear, which is a somewhat paradoxical expression. On the one hand, it is easily and perhaps even automatically detected (e.g., Öhman, 2005), compared to expressions such as anger, disgust and sadness (Smith & Rossit, 2018). On the other hand, it is also relatively difficult to recognize, often being confused with surprised expressions (see Figure 8). In fact, fear is generally better detected than it is recognized, which is not the case for other expressions (Smith & Rossit, 2018). As information processing is concerned, fear seems to be associated with a bimodal SF tuning profile, with one peak in the LSF (3.67 cpf) range and one

peak in the MSF (17.33 cpf) range. This could reflect how fear is associated with extension and contraction movements involving both upper and lower facial features (e.g., mouth and eyes widening, eyebrows being pulled together). Indeed, both psychophysical and neuropsychological studies suggest a preponderant role of these features when processing fearful expressions (Adolphs et al., 2005; Smith et al., 2005; Smith et al., 2009). Importantly, however, selective failure to process the eye region and its higher SF content profoundly impairs fear recognition ability, suggesting a critical role for these features specifically (Adolphs et al., 2005; Fiset et al., 2017). LSF content in the mouth area, on the other hand, might be better suited for fear detection rather than recognition (e.g., Vuilleumier et al., 2003), but it might also increase confusion if not complemented by in-depth processing of more detailed information (e.g., Sweeny et al., 2013). Interestingly, work on the dynamics of facial movement suggests that fear and surprise are initially reduced into a single expression category that might signal “fast-approaching danger” (Jack et al., 2014), presumably by relying on a common perceptual strategy (i.e., lower SF content; Smith & Schyns, 2009). In fact, this might generalize to other negative valence expressions, as mentioned above. Such a strategy is adaptive because it improves signal transmission in peripheral/distal viewing conditions as well as brief viewing times. As we have seen, however, it is also more prone to confusion if not complemented by higher SF content processing (Smith & Rossit, 2018; Sweeny et al., 2013).

3.6.4. Limitations, Constraints on Generality, and Future Directions

One potential limit on generalization concerns the stimuli that were presented, which consisted of static (as opposed to dynamic) and posed (as opposed to spontaneous) expressions, and may lack ecological validity. In fact, there is evidence suggesting that perceptual strategies might differ compared to dynamic expressions (Plouffe-Demers et al., 2019). Indeed, a subtle

shift toward lower SF information was observed for dynamic expressions, compared to static ones. The authors propose that this shift is induced by the presence of motion in general since they observed the same shift when dynamic facial expression frames were shuffled. Concerning posed expressions, emotions are indeed generally expressed more homogeneously across actors when posed compared to spontaneously. Nonetheless, perceptual strategies seem to be constant across posed and spontaneous expressions (Saumure et al., 2018). Thus, we do not believe these limits should affect the generalizability of our results. Nevertheless, investigating the effect of perceived distance on perception of spontaneous and dynamic expressions has to our knowledge never been done and would constitute another step toward increasing ecological validity.

A second potential limit to generalization is our reliance on a uniformly Western sample. Indeed, cross-cultural studies on face perception and emotion perception have uncovered differences in visual strategies, ranging from eye movements to mental representations, and importantly, SF processing (e.g., Blais et al., 2008; Caldara et al., 2010; Jack et al., 2009, 2012). Notably, Easterners generally exhibit greater reliance on lower SF content relative to Westerners (Tardif et al., 2017; Estéphan et al., 2018). Based on these findings, we might expect Easterners to be less impacted by distance increases compared to Westerners. However, this remains speculative, as no study has, to our knowledge, systematically investigated the effect of culture on SF tuning during emotion recognition. Though there may exist cultural differences in perceptual strategies which warrant investigation, we do not think these would alter the relationships we found between tuning profiles (e.g., that happiness and surprise are tuned to relatively lower SFs compared to other expressions). We also believe the correspondences we found across SF tuning profiles and distance manipulations would be preserved. In these regards, sample homogeneity should therefore have minimal impact on the generalization of our results.

3.7. Conclusion

Our results obtained using filtering-based (Exp. 1) and distance-based (Exp. 2) SF manipulations generally supported the advantage of LSF over HSF information during emotion perception. Importantly, however, our results show this portrait often pictured in the literature is reductive in that it entirely overlooks how recognition of a majority of expressions rely on mid-range SF content to an even greater extent. Importantly, investigations into facial expression perception should ideally consider the whole SF spectrum and results should carefully be interpreted in regard to task demands. This would avoid the possible pitfalls of distorted understanding of how these processes operate, and lead to more generalizable results.

3.8. Acknowledgments

We are grateful to all the participants who took part in these experiments. The present work was supported by grants from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) to Daniel Fiset as well as by a Canada Research Chair in Cognitive and Social Vision (#950-232282) held by Caroline Blais. Isabelle Charbonneau and Marie-Pier Plouffe-Demers are supported by a graduate scholarship from SSHRC. Joël Guérette is supported by a graduate scholarship from FRQSC.

3.9. Author Contributions

D.F., C.B. and I.C. conceptualized the study; I.C., C.B., D.F. and F.S. designed the experiments; I.C. and J.G. conducted the experiments; I.C., J.D., D.F., analyzed the data, created the figures, and wrote the manuscript draft. All authors reviewed the manuscript.

3.10. Additional Information

Competing Interests: The authors declare that they have no competing interests.

3.11. Supplementary Materials

Table 3

Results of Paired-Sample t-tests Between each Distance for all Facial Expressions Combined

Distances (meters)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
1.2 – 2.4 m	.03	.04	3.341	.003	[.010, .044]	.747
2.4 – 4.8 m	.07	.04	7.289	<.001	[.052, .094]	1.630
4.8 – 9.6 m	.26	.10	11.179	<.001	[.208, .304]	2.500
9.6 – 19.2 m	.44	.09	20.718	<.001	[.394, .482]	4.633
19.2 – 38.4 m	.16	.10	7.555	<.001	[.118, .208]	1.689

Table 4

Results of Paired-Sample t-tests Between 1.2 m (<128 cpf) and 2.4 m (<64 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	1.2 m		2.4 m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	1	0	.993	.045	.717	.482	[-.140, .029]	.160
Disgust	1	0	.991	.103	.379	.709	[-.096, .057]	.085
Fear	1	0	.953	.088	2.370	.029	[-.005, .088]	.530
Happiness	1	0	.997	.059	.263	.795	[-.024, .031]	.059
Neutral	1	0	.968	.143	1.002	.329	[-.035, .099]	.224
Sadness	1	0	.912	.098	4.028	<.001	[.042, .013]	.901
Surprise	1	0	.999	.110	0.047	.963	[-.050, .053]	.010

Table 5

Results of Paired-Sample t-tests Between 2.4 m (<64 cpf) and 4.8 m (<32 cpf) for Facial Expression

Facial expression	2.4 m		4.8 m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% <i>CI</i>	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.993	.045	.910	.073	5.486	<.001	[.051, .115]	1.227
Disgust	.991	.103	.905	.143	3.535	.002	[.035, .123]	.790
Fear	.953	.088	.876	.084	3.166	.005	[.026, .128]	.708
Happiness	.997	.059	.974	.050	1.448	.164	[-.010, .055]	.324
Neutral	.968	.143	.818	.121	5.696	<.001	[.094, .205]	1.274
Sadness	.912	.098	.843	.112	2.680	.015	[.015, .123]	.599
Surprise	.999	.110	.977	.098	.746	.465	[-.040, .084]	.167

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 6

Results of Paired-Sample t-tests Between 4.8 m (<32 cpf) and 9.6 m (<16 cpf) for Facial Expression

Facial expression	4.8 m		9.6 m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% <i>CI</i>	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.910	.073	.575	.161	10.97	<.001	[.271, .399]	2.545
Disgust	.905	.143	.551	.198	9.621	<.001	[.272, .430]	2.151
Fear	.876	.084	.665	.181	5.585	<.001	[.132, .290]	1.249
Happiness	.974	.050	.815	.124	6.828	<.001	[.110, .208]	1.527

Neutral	.818	.121	.520	.147	10.682	<.001	[.240, .357]	2.388
Sadness	.843	.112	.594	.169	6.141	<.001	[.164, .334]	1.373
Surprise	.977	.098	.790	.172	7.170	<.001	[.132, .241]	1.603

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 7

Results of Paired-Sample t-tests between 9.6 m (<16 cpf) and 19.2 m (<8 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	9.6 m		19.2 m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% <i>CI</i>	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.575	.161	.133	.104	17.297	<.001	[.389, .496]	3.868
Disgust	.551	.198	.094	.075	12.362	<.001	[.379, .534]	2.764
Fear	.665	.181	.226	.151	12.893	<.001	[.368, .510]	2.883
Happiness	.815	.124	.294	.151	16.243	<.001	[.454, .588]	3.632
Neutral	.520	.147	.149	.081	11.886	<.001	[.306, .436]	2.658
Sadness	.594	.169	.140	.128	14.242	<.001	[.387, .520]	3.185
Surprise	.790	.172	.407	.178	11.074	<.001	[.311, .456]	2.476

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 8

Results of Paired-Sample t-tests between 19.2 m (<8 cpf) and 38.4 m (<4 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	19.2m	38.4m	<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% <i>CI</i>	Cohen's <i>d</i>
-------------------	-------	-------	---------------	----------	---------------	------------------

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.133	.104	.013	.014	4.957	<.001	[.069, .170]	1.108
Disgust	.094	.075	.025	.024	3.709	<.001	[.030, .109]	.829
Fear	.226	.151	.058	.053	6.015	<.001	[.110, .227]	1.345
Happiness	.294	.151	.029	.024	8.699	<.001	[.201, .329]	1.945
Neutral	.149	.081	.045	.041	6.298	<.001	[.085, .155]	1.408
Sadness	.140	.128	.025	.025	3.983	<.001	[.055, .176]	.891
Surprise	.407	.178	.108	.060	8.041	<.001	[.222, .378]	1.798

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Details on curve-fitting analysis

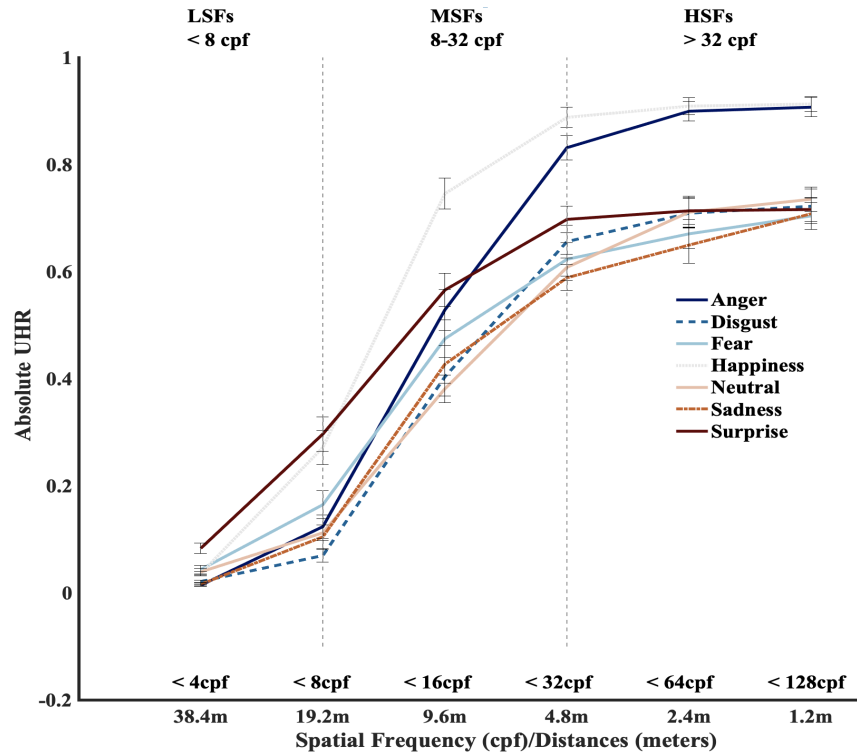
We used the Palamedes toolbox (Prins & Kingdom, 2018) to fit a cumulative normal distribution to determine threshold (α) and slope (β) parameters of psychometric functions characterizing the relationships between individual facial expressions and distances. Threshold corresponds to the distance at which a facial expression is equally likely to be correctly/incorrectly categorized. It was converted to meters using the formula $\frac{2^{7-\alpha}}{2^6/38.4}$ since psychometric functions were fitted to log-scaled distances. Slope corresponds to function steepness, which broadly amounts to sensitivity to and selective use of information near the threshold. Threshold and slope were set as free parameters; guess rate (0) and lapse rate (0.001) were set as fixed parameters. Curve-fitting was done using a maximum likelihood estimation procedure. Goodness of fit was established using deviance (1,000 iterations) as well as R² coefficient of determination.

Analyses of absolute values

In experiment 2, we presented unbiased hit rates (UHR) by dividing distance-specific UHRs by maximum UHR, which was achieved most proximally (i.e., 1.2 m). This allowed for a clearer understanding of the extent of performance degradation associated with increases in perceived distance, while also allowing better comparability of these effects across emotions. In this supplemental material section, we present the same analysis as in the manuscript, but with absolute values instead of relative ones (i.e., values that have not been divided by maximum UHR). Of note, the examination of absolute values reveals that not all facial expressions are recognized at the same level of precision at the most proximal distance. Notably, a visual assessment of Figure 9 underscores a notable advantage for anger and happiness recognition. These findings align with previous studies suggesting an advantage for swift and accurate discrimination of happy faces (Du & Martinez, 2011; Kirita, 1995; Leppänen, 2004; Srivastava & Srinivasan, 2010) and smiles (Calvo et al., 2014). At the same time, these results are consistent with a perceptual advantage for processing threatening faces, such as angry expressions, which are known to rapidly capture attention (and more so than positive or neutral faces; Esteves et al., 1994; Bannerman et al., 2010; Feldmann-Wüstefeld et al., 2011; Huang et al., 2011). Interestingly, both anger and happiness emotions have been characterized as highly arousing approach signals (Wylie et al., 2022; Harmon-Jones, 2019), a factor that might have contributed to their perceptual recognition advantage.

Figure 9

Absolute Values of Unbiased Hit Rates for Emotion Categorization as a Function of Viewing Distance



Note. Absolute values of unbiased hit rates for each facial expression as a function of viewing distance in meters and spatial frequency content are presented in various colours (see the legend for details). Error bars represent the standard error. The vertical lines represent arbitrary thresholds that delimit the divisions between low (<8 cpf), medium (8-32 cpf), and high (>32 cpf) SFs.

We computed a 6 (Distance) x 7 (Emotion) repeated measures ANOVA on absolute values. A Greenhouse-Geisser correction was applied whenever the sphericity assumption was violated. For the purpose of quantifying the impact of distance on each facial expression, only this specific effect will be reported and interpreted. The effect of *Distance* was significant, $F(2.57, 48.81) = 650.18, p < .001$ ($\eta^2_p = 0.97$), which globally showed better performance at more proximal distances. Interestingly, when all expressions were considered together, the effect of distance was not uniform: Increasing distance from 9.6 to 19.2 m, which was equivalent to removing MSF content between 8 and 16 cpf, had the largest negative impact on expression recognition performance (see table S7 for full results). There was, however, a significant

Distance by *Emotion* interaction, $F(9.30, 176.66) = 24.44, p < .001$ ($\eta^2p = 0.56$). These findings are consistent with the results presented in the manuscript.

Table 9

Results of Paired-Sample t-tests Between each Distance for all Facial Expressions Combined

Distances (meters)	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
1.2 – 2.4 m	.02	.02	3.707	.001	[.008, .032]	.829
2.4 – 4.8 m	.06	.03	7.639	<.001	[.040, .071]	1.708
4.8 – 9.6 m	.19	.07	12.383	<.001	[.160, .225]	2.769
9.6 – 19.2 m	.34	.08	18.632	<.001	[.302, .379]	4.166
19.2 – 38.4 m	.13	.08	7.069	<.001	[.093, .170]	1.581

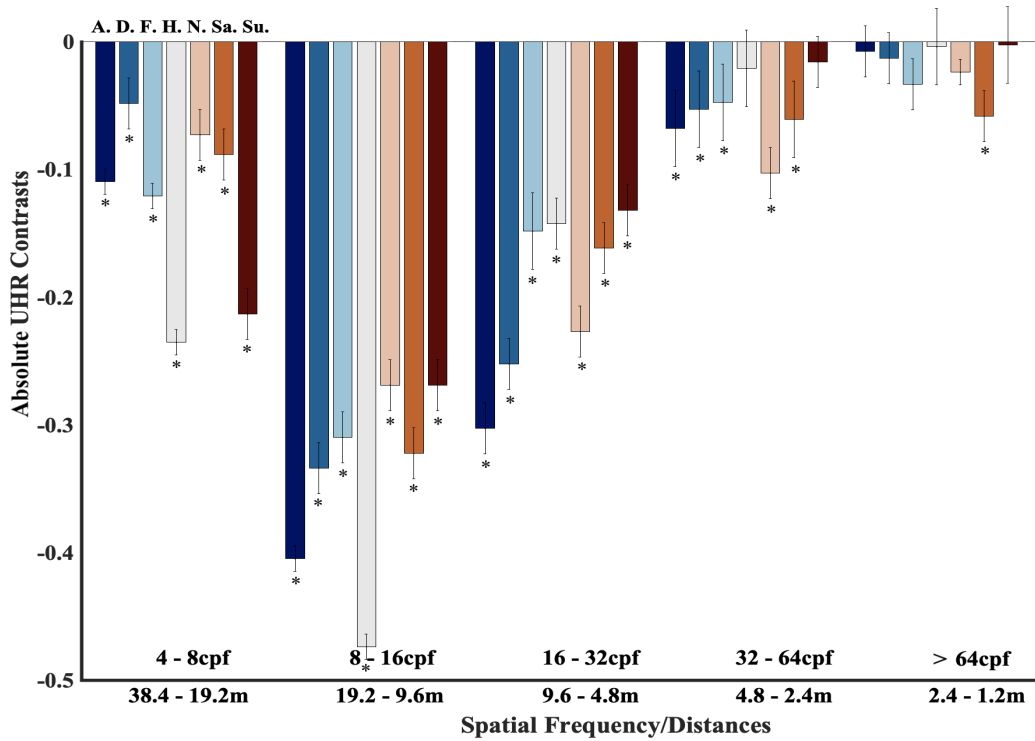
Note. Significant p-values are shown in bold.

As presented in the manuscript, the interaction was decomposed by computing separate one-way repeated measures ANOVAs (i.e., one per facial expression), each time testing the effect of *Distance*. Unsurprisingly, all facial expressions showed a significant effect of distance, which again, showed better performance at proximal distances (anger: $F(2.35, 44.63) = 611.05, p < .001$ ($\eta^2p = 0.97$); disgust: $F(2.57, 48.86) = 288.75, p < .001$ ($\eta^2p = 0.94$); fear: $F(2.97, 56.50) = 243.08, p < .001$ ($\eta^2p = 0.93$); happiness: $F(2.65, 50.34) = 552.91, p < .001$ ($\eta^2p = 0.97$); neutral: $F(5, 95) = 344.58, p < .001$ ($\eta^2p = 0.95$); sadness: $F(2.92, 55.54) = 246.80, p < .001$ ($\eta^2p = 0.93$); surprise: $F(5, 95) = 240.46, p < .001$ ($\eta^2p = 0.93$). Finally, follow-up paired samples *t*-tests (corrected $p = 0.05/5$) were performed to compare adjacent distances (i.e. 1.2 m and 2.4 m, 2.4 m and 4.8 m, 4.8 m, and 9.6 m, and so on). Once again, results with absolute values are highly

similar to those obtained with relative values, as presented in the manuscript (see Figures 9 - 10 and Tables 10-14 for full results).

Figure 10

Unbiased Hit Rates Contrasts with Absolute Values



Note. Mean unbiased hit rates (UHR) contrasts are shown for each facial expression for each contrast. A = anger, D = disgust, F = fear, H = happiness, N = neutral, Sa. = sadness, Su. = surprise, P = pain. Contrasts that reached statistical significance are denoted with an asterisk (all p s < .005). Mean standard errors are represented by the error bars.

Table 10

Results of Paired-Sample t -tests with Absolute Values Between 1.2m (<128 cpf) and 2.4m (<64 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	1.2 m		2.4m		$t(19)$	p	95% CI	Cohen's d
	M	SD	M	SD				

Anger	.901	.082	.900	.084	.804	.431	[-.011, .026]	.180
Disgust	.723	.144	.709	.125	.800	.433	[-.020, .046]	.179
Fear	.705	.114	.671	.123	2.547	.020	[.006, .061]	.570
Happiness	.912	.063	.909	.073	.253	.803	[-.022, .027]	.056
Neutral	.736	.104	.710	.137	1.186	.250	[-.019, .070]	.265
Sadness	.709	.130	.650	.153	3.671	.002	[.025, .092]	.821
Surprise	.717	.103	.715	.114	.123	.904	[-.032, .123]	.027

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 11

Results of Paired-Sample t-tests with Absolute Values Between 2.4m (<64 cpf) and 4.8m (<32 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	2.4 m		4.8m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.900	.084	.826	.106	5.266	<.001	[.045, .103]	1.178
Disgust	.709	.125	.647	.139	3.617	.002	[.026, .098]	.809
Fear	.671	.123	.621	.143	3.176	.005	[.017, .084]	.710
Happiness	.909	.073	.891	.086	1.351	.192	[-.009, .046]	.302
Neutral	.710	.137	.598	.111	5.770	<.001	[.071, .153]	1.290
Sadness	.650	.153	.593	.120	3.471	.003	[.022, .091]	.776
Surprise	.715	.114	.697	.112	.898	.381	[-.023, .060]	.201

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 12

Results of Paired-Sample t-tests with Absolute Values Between 4.8m (< 32 cpf) and 9.6m (<16 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	4.8 m		9.6m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.826	.106	.529	.173	12.636	<.001	[.248, .346]	2.825
Disgust	.647	.139	.404	.162	12.639	<.001	[.203, .283]	2.826
Fear	.621	.143	.475	.160	5.574	<.001	[.091, .200]	1.246
Happiness	.891	.086	.747	.130	6.691	<.001	[.099, .190]	1.496
Neutral	.598	.111	.381	.118	10.773	<.001	[.175, .259]	2.409
Sadness	.593	.120	.427	.157	6.966	<.001	[.117, .217]	1.558
Surprise	.697	.112	.565	.142	7.516	<.001	[.095, .168]	1.681

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 13

Results of Paired-Sample t-tests with Absolute Values Between 9.6m (<16 cpf) and 19.2m (<8 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	9.6 m		19.2m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.529	.173	.124	.099	14.595	<.001	[.346, .462]	3.264
Disgust	.404	.162	.070	.057	11.202	<.001	[.271, .396]	2.505
Fear	.475	.160	.166	.119	11.737	<.001	[.254, .396]	2.624
Happiness	.747	.130	.271	.145	16.875	<.001	[.417, .535]	3.773

Neutral	.381	.118	.112	.071	12.196	<.001	[.223, .315]	2.727
Sadness	.427	.157	.105	.103	12.193	<.001	[.267, .377]	2.726
Surprise	.565	.142	.296	.146	11.388	<.001	[.213, .319]	2.526

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

Table 14

Results of Paired-Sample t-tests with Absolute Values Between 19.2m (<8 cpf) and 38.4m (<4 cpf) for each Facial Expression

Facial expression	19.2m		38.4m		<i>t</i> (19)	<i>p</i>	95% CI	Cohen's <i>d</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Anger	.124	.099	.012	.099	4.907	<.001	[.064, .159]	1.097
Disgust	.070	.057	.017	.014	3.850	.001	[.024, .082]	.861
Fear	.166	.119	.041	.037	5.689	<.001	[.078, .170]	1.272
Happiness	.271	.145	.026	.021	8.392	<.001	[.184, .306]	1.876
Neutral	.112	.071	.033	.029	5.689	<.001	[.050, .108]	1.259
Sadness	.105	.103	.016	.015	3.833	.001	[.040, .137]	.857
Surprise	.296	.146	.077	.048	7.47	<.001	[.157, .280]	1.671

Note. Significant *p*-values are shown in bold.

CHAPITRE IV – DISCUSSION GÉNÉRALE

Il est indéniable que les expressions faciales d'émotions constituent des signaux d'une grande richesse, tant sur le plan biologique que social. En effet, au-delà de leur rôle essentiel à la survie, les expressions faciales ont évolué afin de soutenir la communication entre les membres d'une même espèce (Andrew, 1963; Darwin, 1872; Susskind et al., 2008). Afin de remplir leur fonction de communication, ces expressions doivent toutefois être adéquatement décodées par un observateur. Ainsi, une partie substantielle de la littérature s'est penchée sur l'information visuelle contenue dans les expressions faciales permettant leur reconnaissance (p. ex. Smith et al., 2005; Blais et al., 2012; 2017). Certaines études ont mis en évidence l'importance de divers traits faciaux (p. ex. yeux et bouche), alors que d'autres se sont intéressées à l'utilisation des propriétés visuelles de bas niveau, telles que les orientations et les fréquences spatiales. Alors que le rôle des orientations est plutôt bien établi en reconnaissance d'expressions faciales (Duncan et al., 2017; Duncan et al., 2019; Pachai et al., 2013), celui des fréquences spatiales demeure débattu. Ainsi, certaines études suggèrent un avantage des BFS au détriment des HFS (p. ex. Burra et al., 2019; Méndez-Bertolo et al., 2016; Mermillod et al., 2009, 2010; Vuilleumier et al., 2003), alors que d'autres révèlent l'importance d'une gamme plus étendue de FS, incluant les moyennes (p. ex. Gao & Maurer, 2011; Goren & Wilson, 2006; Plouffe-Demers et al., 2019). Toutefois, il s'avère important de souligner la présence d'une grande variabilité quant aux tâches expérimentales et aux méthodes utilisées afin de manipuler les FS (De Cesarei & Codispoti, 2013; Jeantet et al., 2018) puisque celle-ci contribue fort probablement aux disparités observées dans la littérature jusqu'à présent. Ainsi, l'objectif fondamental de cet essai était de mettre en lumière les FS les plus diagnostiques à la reconnaissance d'expressions faciales, soit une habileté cruciale pour la survie humaine et indispensable afin de naviguer au sein de la complexité de nos interactions sociales quotidiennes. Pour ce faire, dans la première expérience, nous avons utilisé

une méthode sans *a priori* quant aux FS les plus utiles à la reconnaissance d'expressions faciales de base. Dans la seconde expérience, nous avons employé la méthode de Schyns & Smith (2009) permettant de moduler la distance perçue des expressions faciales, offrant ainsi un contexte expérimental plus proche des situations de la vie quotidienne (p. ex. lors d'interactions sociales plus ou moins rapprochées). À notre connaissance, aucune autre étude n'a exploré cette question en intégrant de manière complémentaire ces deux méthodes.

4.1. Retour sur les hypothèses et résultats

Dans le cadre de ce projet, nous avons formulé quatre hypothèses basées sur les données de la littérature traitant du lien entre les FS et le traitement des expressions faciales. D'abord, les deux premières hypothèses ont été corroborées. C'est-à-dire que la première expérience, en ce qui concerne l'information diagnostique, a permis de mettre en lumière une utilisation prépondérante des MFS dans la reconnaissance des expressions faciales de base. Ensuite, la deuxième expérience, examinant l'effet de distance, a permis de révéler une diminution marquée des performances en reconnaissance d'expressions faciales alors que les MFS n'étaient plus accessibles (c.-à-d. entre 4,8 m et 19,2 m). Ces résultats, ainsi que leurs implications, seront étayés dans la section suivante. Notre troisième hypothèse visait à examiner la contribution relative des BFS par rapport aux HFS compte tenu de l'hypothèse d'une voie sous-corticale privilégiant le traitement des BFS pour les stimuli émotionnels. Nos résultats répliquent l'avantage des BFS pour toutes les expressions faciales, à l'exception de la peur, une expression faciale somme toute paradoxale à laquelle nous nous attarderons plus en détail dans la section 4.5.1. Enfin, nos résultats sont cohérents avec notre quatrième hypothèse concernant le caractère flexible de l'utilisation des FS, alors que nous observons des variations dans les profils fréquentiels en fonction de l'expression faciale. Dans les paragraphes suivants, nous considérons

la façon dont certains facteurs méthodologiques (p. ex. type de tâches, manipulation des FS, etc.) ont pu influencer ces résultats et proposerons des hypothèses quant au rôle des BFS, MFS et HFS en reconnaissance d'expressions faciales.

4.2. Rôle des MFS et implications méthodologiques

Les conclusions tirées des deux expériences de ce projet mettent en lumière l'importance des MFS dans le traitement des expressions faciales, confirmant ainsi les observations rapportées par les études issues de la deuxième et troisième catégorie (p. ex. Gao & Maurer, 2011; Goren & Wilson, 2006; Plouffe-Demers et al., 2019; Smith et al., 2005). Il est à souligner que, dans le cadre de cet essai, nous avons catégorisé les études en fonction de l'approche adoptée pour examiner le rôle des FS : 1) la comparaison entre les BFS et les HFS à l'aide de seuils, 2) la comparaison de plusieurs bandes fréquentielles au moyen de seuils, et 3) l'évaluation de la contribution relative de chaque fréquence sans l'utilisation de seuils. Enfin, une quatrième catégorie a été ajoutée pour rendre compte des études examinant le rôle des FS tout en manipulant d'autres facteurs, tels que la distance (Smith & Schyns, 2009) ou l'emplacement dans le champ visuel où une expression faciale est perçue (Smith & Rossit, 2018).

Les deux expériences menées dans ce projet s'inscrivent respectivement dans la troisième et la quatrième catégorie. La première expérience, réalisée avec la méthode des bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010), a révélé que les MFS représentent près de deux tiers des informations les plus discriminantes pour la reconnaissance des expressions faciales, tandis que les BFS en constituent un tiers, et les HFS moins de 5%. La seconde expérience, où nous avons manipulé la distance perçue, a démontré une baisse significative des performances lorsque les MFS n'étaient plus disponibles, soit entre 8 et 32 cpv. De manière importante, ces résultats reproduisent fidèlement ceux obtenus par Smith & Schyns (2009), malgré l'utilisation d'une

banque de visages différente et d'un échantillon de participants plus important. Dans le contexte actuel de la crise de réplication des résultats scientifiques, il est fondamental que les chercheurs parviennent à reproduire leurs résultats à travers différentes méthodologies, et que ceux-ci soient également répliqués par d'autres groupes de chercheurs.

De nombreuses observations scientifiques appuient l'importance attribuée aux MFS dans le contexte général de la perception visuelle et également dans le traitement spécifique des visages. En effet, plusieurs études convergent pour mettre en lumière le rôle crucial de ces fréquences, situées approximativement entre 8 à 20 cpv pour le traitement de l'identité (Costen et al., 1996; Collin et al., 2014; Gaspar et al., 2008; Gold et al., 1999; Näsänen, 1999; Ojanpää & Näsänen, 2003; Royer et al., 2017; Tardif et al., 2017; Willenbockel et al., 2010). Par ailleurs, considérons la fonction de sensibilité au contraste (FSC) de l'œil humain qui atteint son amplitude maximale dans cette même gamme de fréquences (Campbell & Robson, 1968). Il a été proposé que cette sensibilité du système visuel découle d'une adaptation spécifique au traitement des visages (p. ex. Keil, 2009; Keil et al., 2008; Sowden & Schyns, 2006), potentiellement en raison de la valeur adaptative de ce stimulus visuel et de notre fréquence élevée d'exposition à celui-ci tout au long de notre vie. En effet, étant donné nos interactions interpersonnelles généralement établies à une proximité d'environ un à deux mètres (Oruc & Barton, 2010; Oruc et al., 2019), les informations en MFS présentes dans les visages coïncident approximativement avec le pic de sensibilité de la FSC humaine. Il n'est donc pas surprenant que cette gamme de fréquences constitue l'information visuelle la plus pertinente pour le système visuel dans des contextes interpersonnels (Owsley & Sloane, 1987), mais également que les performances déclinent lorsque ces informations deviennent inaccessibles (Schyns & Oliva, 1999; Smith & Schyns, 2009).

Les résultats obtenus revêtent une importance cruciale pour les chercheurs explorant le rôle des FS dans la perception des visages et des émotions. En effet, les études qui excluent les MFS des conditions expérimentales négligent certaines propriétés essentielles du système visuel humain et risquent de présenter un portrait biaisé, potentiellement moins représentatif du rôle des FS dans ce type de traitement. Par exemple, en se limitant à la comparaison entre les BFS et les HFS, il serait possible d'attribuer aux premières un rôle bien plus crucial qu'elles n'ont réellement, conduisant ainsi à des conclusions partielles sur les mécanismes perceptifs des sujets humains. Enfin, il est également important de rappeler que le choix arbitraire des seuils pour délimiter les BFS et les HFS varie d'une étude à l'autre, réduisant ainsi la possibilité de comparer de manière rigoureuse les différentes recherches. Il est donc impératif pour les chercheurs de prendre en considération ces facteurs lors de la conception d'expériences et dans l'interprétation des résultats.

4.3. Quel est le rôle des BFS en reconnaissance d'expressions faciales ?

Contrairement aux études de la première catégorie, qui réalisent l'échantillonnage et la segmentation des BFS et des HFS dès la création des stimuli, notre approche a consisté à évaluer la contribution relative des BFS, MFS et HFS par le biais d'analyses menées a posteriori sur les profils fréquentiels de chacune des expressions faciales de base. Ainsi, nos résultats suggèrent que la majorité des informations essentielles à la reconnaissance des expressions faciales réside dans les MFS, bien que l'apport des BFS demeure considérable, constituant près d'un tiers de l'information diagnostique. En revanche, les HFS contribuent de manière marginale, représentant approximativement 5% de la contribution totale. Ces résultats plaident en faveur d'un avantage des BFS aux dépens des HFS dans le traitement des stimuli émotionnels, comme prédit par l'hypothèse de la voie sous-corticale.

Bien que notre étude ne puisse ni confirmer ni infirmer l'existence d'une telle voie de traitement, étant donné que cette question nécessite inévitablement une exploration des mécanismes neurophysiologiques sous-jacents, nos résultats permettent néanmoins de concilier diverses données de la littérature concernant les FS et la perception des émotions. Ainsi, dans les situations où seule la comparaison entre les BFS et les HFS est réalisée, tel qu'il est le cas des études issues de la première catégorie, il est envisageable de postuler un avantage des BFS aux dépens des HFS. Cependant, nos résultats suggèrent que lorsque les MFS sont prises en compte dans les conditions expérimentales, celles-ci sont effectivement les plus utiles pour la reconnaissance de la plupart des expressions faciales de base.

Il convient alors de se demander quel rôle attribuer aux BFS. Une hypothèse plausible concerne son implication dans le processus de détection du contenu émotionnel. Alors que la reconnaissance implique l'identification d'une expression faciale en la catégorisant (p. ex., colère, joie, peur, tristesse, etc.), la détection permet d'identifier la présence d'une expression sans nécessairement en préciser sa nature. Certains avancent l'idée d'une dissociation entre ces deux processus, suggérant une utilisation plus importante des HFS dans le processus de reconnaissance par rapport à la détection (p. ex. Smith & Rossit, 2018; Sweeny et al., 2013). Par exemple, lorsque les expressions faciales sont présentées en périphérie visuelle, là où le contenu en HFS est moins accessible, la détection d'une expression s'effectue généralement plus aisément que sa reconnaissance (Smith & Rossit, 2018). Ceci indique une préférence pour les BFS dans le processus de détection, tandis que les HFS se révèlent plus utiles dans la reconnaissance des expressions faciales (voir également Smith & Merlusca, 2014 pour des résultats similaires). Nos données s'inscrivent en continuité avec ces résultats alors qu'à des distances éloignées (p. ex. à 38,4 m) où l'information disponible est limitée au contenu en BFS, la surprise et la neutralité

étaient les expressions faciales les plus fréquemment perçues, et ce, près d'une fois et demie à deux fois plus souvent qu'elles n'étaient présentées. Autrement dit, lorsque seul le contenu en BFS était disponible, les participants détectaient la présence d'une expression faciale, qu'ils identifiaient plus souvent comme de la surprise, ou ils percevaient l'absence d'expression, qu'ils identifiaient comme de la neutralité. Ces résultats plaident donc en faveur d'un rôle plus important des BFS dans le processus de détection que dans celui de la reconnaissance des expressions faciales.

Il est particulièrement intéressant de noter que parmi toutes les expressions faciales, celle de la surprise était la plus fréquemment identifiée à des distances plus éloignées (c.-à-d. entre 9,6 m et 38,4 m). Il est légitime de se questionner quant aux éléments qui la distinguent des autres expressions faciales. En fait, l'expression de surprise est considérée comme intrinsèquement ambiguë alors qu'elle agit comme une expression transitoire, se transformant généralement rapidement en peur ou en joie (Du et al., 2014). La surprise se distingue également dans nos résultats en étant l'une des deux seules expressions faciales où l'utilisation des BFS prédomine par rapport aux MFS. Il s'agit ainsi d'une expression avec un signal en BFS très robuste, tout en étant simultanément très ambiguë. Ainsi, il est possible que la fonction principale de la surprise soit étroitement liée au fait d'attirer l'attention de l'observateur vers ce stimulus, facilitant ainsi l'engagement ultérieur de processus de discrimination plus fins. Dans cette perspective, cela pourrait expliquer pourquoi, à la distance la plus éloignée, une détection du contenu expressif était possible et que celui-ci était plus souvent catégorisé comme représentant de la surprise. Sur la base de ces résultats, il serait pertinent d'explorer la possibilité que l'information en BFS soit impliquée dans la mise en place de processus visuospatiaux permettant d'orienter l'attention vers les visages expressifs. Cela pourrait inclure, par exemple, le déplacement du regard de manière à

traiter les visages expressifs en vision centrale plutôt qu'en vision périphérique. Un tel traitement initial en BFS pourrait alors faciliter le traitement ultérieur des MFS en vision centrale, permettant ainsi au système de reconnaître et discriminer les expressions faciales entre elles.

4.3.1. BFS et temporalité

Rappelons que, conformément à l'hypothèse d'un traitement de l'information visuelle *coarse-to-fine*, l'extraction des informations fréquentielles suit une temporalité spécifique, priorisant le traitement des BFS sur celui des HFS (p. ex. Bar, 2003; Hedge, 2008; Kauffman et al., 2014). En effet, les BFS transigent par une voie très rapide, dite « magnocellulaire » en raison de la grande taille des cellules ganglionnaires rétiniennes qui la composent. Par ailleurs, celle-ci s'avère particulièrement sensible aux contrastes et aux mouvements (Livingstone & Hubel, 1988). À l'inverse, la voie « parvocellulaire » est davantage associée à l'analyse de la forme et des couleurs et montre une sensibilité accrue aux HFS (Livingstone & Hubel, 1988). Plusieurs données empiriques appuient l'idée d'une analyse visuelle basée sur l'information grossière, en BFS, suivie par une analyse plus fine en HFS (p. ex. Kauffman et al., 2014, Schyns et Oliva, 1994). Par exemple, dans une étude phare du domaine, Schyns et Oliva (1994) ont utilisé des stimuli hybrides, créés en superposant deux images de scènes différentes (p. ex. un paysage de ville et une autoroute) dont l'une était filtrée en BFS et l'autre était filtrée en HFS. Lorsque les stimuli hybrides étaient présentés très brièvement (30 ms), les participants basaient leur interprétation sur l'image en BFS alors qu'un temps de présentation plus long (150 ms) entraînait une perception basée sur l'image en HFS. En perception de visage, il a également été suggéré que le temps de présentation influence le traitement des FS dans les aires sélectives aux visages (Goffaux et al., 2011). En ce sens, on retrouve une réponse accrue du FFA lorsque des visages filtrés en BFS sont présentés brièvement (75 ms) et lorsque des visages filtrés en HFS

sont présentés sur une plus longue période de temps (150 ms). Ainsi, en raison des propriétés du système visuel, il est proposé que le temps de présentation des stimuli module la sensibilité aux FS, influençant par ailleurs la manière dont les aires sélectives aux visages extraient ces informations. Dans le cadre du présent projet, les stimuli étaient présentés pendant une durée de 300 ms, ce qui pourrait avoir favorisé le traitement des plus HFS. Il serait ainsi pertinent d'examiner l'influence du temps de présentation sur la reconnaissance et la détection des expressions faciales. Cette approche expérimentale présente d'ailleurs l'avantage de moduler de manière plus écologique la sensibilité aux fréquences spatiales, à l'instar des techniques de manipulation de la distance et de la présentation des stimuli en périphérie visuelle. Nos données prédiraient que les expressions faciales reposant davantage sur les BFS, telles que la surprise et la joie, seraient plus facilement identifiables que les autres expressions faciales de base lors de temps de présentation plus brefs (<150 ms).

4.4. Types de tâches et choix alternatifs

La distinction entre les processus de détection et de reconnaissance des expressions faciales nous amène inévitablement à considérer l'influence du type de tâche et des choix de réponses possibles sur les résultats obtenus (p. ex. Oliva & Schyns, 1999; Smith & Merlusca, 2014; Smith & Rossit, 2018). En effet, notre système perceptif distingue les stimuli visuels hautement similaires en se basant sur des détails fins, perceptibles grâce à l'extraction des HFS (p. ex. Norman & Ehrlich, 1987). En revanche, lorsqu'une telle discrimination n'est pas nécessaire, les informations grossières en BFS sont suffisantes pour permettre la reconnaissance d'un objet ou d'un visage (p. ex. Wenger & Townsend, 2000). Ainsi, dans le cas d'une tâche de reconnaissance d'expressions faciales impliquant plusieurs alternatives de choix, il est probable que l'information visuelle en HFS soit davantage nécessaire pour différencier les stimuli (p. ex.

Norman & Ehrlich, 1987; Smith & Merlusca, 2014; Smith & Rossit, 2018), surtout lorsqu'ils présentent un haut niveau de confusion entre eux (p. ex. la colère, le dégoût et la douleur; Charbonneau et al., 2021).

Cependant, dans les tâches nécessitant la discrimination entre deux expressions moins similaires (p. ex. la peur et la joie; Charbonneau et al., 2021) ou la détection d'une expression faciale (p. ex. la peur et la neutralité; Smith & Rossit, 2018), l'absence de neutralité ou de joie suggère automatiquement la présence de la peur, et vice-versa. Ainsi, les contraintes liées à la tâche et aux choix de réponses influencent directement les informations sur lesquelles le système perceptif s'appuiera pour accomplir sa tâche.

Il est intéressant de noter que la plupart des expériences démontrant un avantage des BFS pour le traitement de la peur ont utilisé un type de paradigme expérimental où la peur était comparée à la neutralité ou à la joie (p. ex. Méndez-Bertolo et al., 2016; Pourtois et al., 2005; Vlamings et al., 2009; Vuilleumier et al., 2003). Il est également pertinent de se questionner quant à la validité écologique de ces choix de réponses, étant donné que dans la vie quotidienne, il est rare de pouvoir prédire à l'avance quelle expression faciale sera observée et que l'absence de neutralité ou de joie n'implique pas nécessairement la présence de la peur, et vice-versa (voir Smith et Merlusca, 2014 pour une critique similaire). Dans l'ensemble, les caractéristiques de ce type de paradigme expérimental pourraient avoir conduit les chercheurs à surestimer l'importance des BFS, une théorie largement représentée dans les écrits contemporains.

4.5. Variabilité au sein des expressions faciales de base

À l'analyse des profils fréquentiels de chaque expression faciale, trois expressions se distinguent nettement des autres, soit la surprise, la joie et la peur. Plus précisément, la joie et la surprise présentent une utilisation plus prononcée des BFS comparées aux MFS, tandis que les

MFS se sont avérées être les informations les plus diagnostiques pour toutes les autres expressions faciales. Parallèlement, toutes les expressions faciales montrent un biais systématique en faveur des BFS au détriment des HFS, à l'exception de la peur suggérant une contribution relativement plus marquée des HFS par rapport aux autres expressions faciales. Ces patrons de résultats sont en continuité avec l'hypothèse d'une utilisation flexible des FS, suggérant que divers facteurs, tels que l'attention (p. ex. Özgen et al., 2005), l'habituation à certaines fréquences (p. ex. Oliva & Schyns, 1997) et les caractéristiques de la tâche (p. ex. Collin et al., 2006; Morrison & Schyns, 2001; Oliva et Schyns, 1997; Schyns et Oliva, 1999), peuvent influencer l'utilisation des FS. Dans ce sens, nos résultats suggèrent en effet une modulation de l'utilisation des FS en fonction de l'expression faciale.

En plus de l'influence de la tâche, il est légitime de se questionner sur la manière dont les expressions faciales influencent l'utilisation des FS. D'un point de vue évolutionniste, certains ont proposé que les expressions faciales, en raison de leurs configurations physiques, aient évolué de manière à conférer des avantages à l'expresseur (Susskind et al., 2008). Par exemple, l'action d'écarter les yeux en situation de peur permet d'élargir le champ visuel, améliorant ainsi la détection rapide des menaces dans l'environnement. Cependant, cette explication ne tient pas compte du rôle de l'expression faciale en tant qu'outil communicatif. Ainsi, d'autres auteurs ont plutôt suggéré qu'elles auraient évolué de manière à favoriser la transmission d'un signal émotionnel à différentes distances où les interactions sociales prennent place (Smith et Schyns, 2009). Par exemple, afin d'avertir un observateur de l'approche d'une menace, il serait bénéfique que la peur et la colère soient reconnues de plus loin. En revanche, il est convenable que l'expression faciale de tristesse soit mieux reconnue de près étant donné qu'elle signale habituellement un besoin de soutien et de réconfort qui prennent place dans des contextes

sociaux rapprochés. Bien que ces prédictions soient intéressantes, elles ne semblent pas prédire quelles expressions faciales seront mieux reconnues de près ou de loin. Plutôt, les chercheurs révèlent que les traits faciaux, représentés dans certaines bandes de FS (p. ex. la bouche en BFS), prédisent la performance en reconnaissance d'expressions faciales à différentes distances (Smith & Schyns, 2009). Ainsi, contrairement à leur hypothèse de départ, la peur n'est pas bien reconnue à une distance éloignée, alors que sa reconnaissance repose sur le traitement de la région des yeux en moyennes et hautes FS. Ces résultats, très similaires aux nôtres, nous amènent à proposer que les différences observées entre les expressions faciales reflètent possiblement l'hétérogénéité des mouvements faciaux et des caractéristiques faciales impliquées dans la production des expressions faciales. Par exemple, les mouvements d'extension ont tendance à produire un élargissement des traits faciaux, tandis que les mouvements de contraction produisent un rétrécissement des traits faciaux. Selon cette hypothèse, l'ouverture de la bouche en forme de « O » ou son élargissement pour former un sourire contiennent des signaux riches en BFS, ce qui pourrait expliquer la grande importance conférée aux BFS dans leur reconnaissance. En effet, nos résultats révèlent que les BFS sont les informations les plus diagnostiques pour la reconnaissance de la surprise et de la joie, en plus d'être les expressions les mieux reconnues de loin (voir également Smith & Schyns, 2009) ou en périphérie visuelle (Smith & Rossit, 2018). En revanche, la contraction des sourcils ou de la bouche, le plissement du nez ou du front, contiendrait des informations plus riches en moyennes et hautes FS, ce qui prédirait une plus grande utilisation de ces fréquences pour les expressions telles que la tristesse, la colère, le dégoût, et une moins bonne reconnaissance, lorsque perçus à une distance plus éloignée. Nos résultats, tout comme ceux de Smith & Schyns (2009), confirment ces prédictions. Enfin, il a récemment été proposé que certains traits faciaux fournissent des informations

spécifiques sur la catégorisation des expressions faciales (p. ex. l'élévation des paupières dans la reconnaissance de la peur et de la surprise), alors que d'autres traits (p. ex. l'élévation des joues et l'ouverture de la bouche) fournissent des informations sur les dimensions qui caractérisent les expressions faciales d'émotions, soit la valence et le niveau d'activation/*arousal* (Liu et al., 2022). D'un point de vue adaptatif, les signaux liés à la valence émotionnelle d'un stimulus sont hautement pertinents alors qu'ils modulent les réponses d'approche ou d'évitement d'un observateur (p. ex. Krieglmeyer et al., 2010). Ainsi, il est plausible que l'information en BFS, robuste à la présence de conditions perceptives dégradées (p. ex. en présence de brouillard, en vision périphérique, à une distance éloignée, etc.) permettent le traitement des traits faciaux impliqués dans l'évaluation de la valence permettant ainsi à l'observateur de moduler son comportement d'approche/évitement. Toutefois, afin d'identifier précisément l'expression faciale perçue, un traitement des traits liés à la catégorisation s'impose, celui-ci étant possiblement basé sur l'extraction des HFS. Davantage de recherches seront nécessaires afin de vérifier cette hypothèse.

4.5.1. L'expression faciale de peur : un profil paradoxal

À première vue, il est surprenant de constater que l'expression faciale de peur est celle qui se démarque quant à son utilisation subjectivement plus grande des HFS (évaluée à près de 9% alors que toutes les autres expressions faciales se situent sous 3%). En effet, compte tenu de sa valeur adaptative, il est suggéré que la peur soit facilement détectée, et ce, même de façon automatique et involontaire (p. ex. Öhman, 2005). Les données neurophysiologiques suggèrent également un avantage des BFS dans le traitement de la peur, compte tenu de l'hypothèse d'une voie sous-corticale pour la détection rapide de menaces (p. ex. Bannerman et al., 2010; Méndez-Bertolo et al., 2016; Pourtois et al., 2005; Vlamings et al., 2009; Vuilleumier et al., 2003;

Winston et al., 2003; voir toutefois Holmes et al., 2005; Morawetz et al., 2011; Stein et al., 2014 qui n'ont pas trouvé davantage pour les BFS avec la peur). Selon cette perspective, on devrait anticiper un profil nettement orienté vers le traitement des BFS pour la peur. Toutefois, notons le fort degré de confusion de la peur avec la surprise, et vice-versa (voir la Figure 8). En fait, la peur se démarque des autres expressions faciales de base par le fait qu'elle est souvent mieux détectée qu'elle n'est reconnue (Smith & Rossit, 2018). Par ailleurs, les études appartenant à la deuxième et troisième catégorie (c.-à-d. celles qui examinent l'ensemble du spectre fréquentiel) suggèrent un rôle crucial des fréquences moyennes et élevées dans le traitement de la peur (p. ex. Gao & Maurer, 2011; Goren & Wilson, 2006; Plouffe-Demers et al., 2019; Van der Donk, 2020). Rappelons à cet effet, l'importance de la région des yeux dans cette même gamme de fréquences afin de reconnaître la peur (Adolphs et al., 2005; Smith et al., 2005; Smith et Merlusca, 2014).

De manière intéressante, le profil fréquentiel de la peur se distingue particulièrement de celui des autres expressions faciales de base. En effet, à l'analyse de celui-ci, on observe la présence d'une courbe bimodale, c'est-à-dire que deux pics d'utilisation de FS se distinguent, soit un premier dans les BFS (approximativement à 4 cpv) et un deuxième dans les MFS (approximativement à 17 cpv). Tel qu'énoncé plus haut, il est plausible que ce patron d'utilisation des FS reflète l'utilisation des divers traits faciaux associés à des mouvements d'extension et de contraction. Par exemple, l'élargissement de la bouche et des yeux pourrait transmettre un signal en BFS suffisant pour détecter la présence de la peur, mais ne pas être assez discriminant pour permettre sa reconnaissance parmi d'autres expressions faciales, en particulier celle de la surprise. Ainsi, un traitement plus approfondi de l'information détaillée, c'est-à-dire en moyennes et hautes FS de la région des yeux et des sourcils serait nécessaire pour

sa reconnaissance. Les études sur une patiente présentant des lésions amygdaliennes corroborent cette hypothèse, puisqu'un déficit dans le traitement de la région des yeux et de son contenu en moyennes et hautes FS altère profondément la capacité à reconnaître la peur (Adolphs et al., 2005; Fiset et al., 2017). Par ailleurs, des travaux sur la dynamique des mouvements faciaux suggèrent que la peur et la surprise soient initialement regroupées sous une seule catégorie d'expression faciale, signalant à l'observateur l'approche d'un danger imminent (Jack et al., 2014), probablement lié à la mise en place d'une stratégie perceptive similaire recrutant l'information en BFS (Smith et Schyns, 2009). Cette stratégie perceptive s'avère notamment adaptative, car elle améliore la transmission du signal dans de multiples conditions perceptives, telles qu'à une distance éloignée, en vision périphérique, et même lors de temps de présentation très brefs. Toutefois, cette stratégie est également plus sujette à la confusion si un traitement ultérieur des informations en MFS et HFS n'est pas effectué (p. ex. Sweeny et al., 2013; Smith & Rossit, 2018). Ainsi, lorsque l'accès aux détails est restreint, l'observateur pourrait davantage tirer profit de l'utilisation d'autres sources d'informations accompagnant les expressions faciales, telles que les mouvements du corps (p. ex. Aviezer et al., 2012) et les vocalisations (p. ex. Sauter et al., 2010).

4.6. Application clinique

Bien que ce projet se concentre sur des aspects fondamentaux du traitement perceptif des expressions faciales, il en découle des applications potentielles dans les situations de la vie quotidienne et dans des contextes cliniques. D'une part, les résultats de la deuxième expérience suggèrent sans équivoque une meilleure reconnaissance des expressions faciales lorsque perçus de proche (c.-à-d. entre 1,2 m à 4,8 m), plutôt que de loin (c.-à-d. au-dessus de 4,8 m), ce qui est cohérent avec la distance à laquelle nous entretenons la majorité de nos interactions sociales et

de nos conversations. À de telles distances, nous pouvons à la fois intégrer le discours et les expressions faciales de notre interlocuteur, favorisant ainsi le décodage du message transmis. Toutefois, en l'absence de discours, nos résultats suggèrent que certaines expressions faciales résistent mieux à l'effet de la distance, tandis que d'autres sont plus susceptibles d'être confondues. Par exemple, certaines expressions telles que la colère et le dégoût exigent une observation plus rapprochée afin de les discriminer entre elles, tandis que d'autres, comme la surprise et la joie, peuvent être identifiées même à une distance plus éloignée. Ainsi, il est fort possible que nous puissions aisément distinguer le sourire d'un collègue au bout d'un couloir, alors que nous devons nous rapprocher de celui qui exprime de la colère, du dégoût, ou bien de la tristesse.

Cette analyse devient d'autant plus intéressante lorsque l'on considère les résultats obtenus avec l'expression faciale de la douleur et son incidence dans un contexte de soins. En fait, l'expression faciale de la douleur se révèle être l'un des signaux les plus puissants pour communiquer l'expérience de la douleur (p. ex. Hill & Craig, 2002; Prkachin, 1992), surtout dans le contexte des populations non-verbales, telles que chez les très jeunes enfants (p. ex. Chambers et al., 2005; Lilley et al., 1997) ou les adultes présentant des problèmes neurocognitifs (p. ex. Beach et al., 2016; Hadjistavropoulos et al., 2014). Les études suggèrent par ailleurs que l'expression de la douleur repose sur des régions faciales similaires à travers les cultures (p. ex. Chen et al., 2018; Cordaro et al., 2018), bien que des différences culturelles soient observées dans l'intensité avec laquelle la douleur est exprimée, influençant en retour les stratégies de décodage utilisées avec des visages d'une autre culture (Saumure et al., 2023). Parallèlement, les études quant au rôle des FS en reconnaissance de douleur ont produit jusqu'à présent des résultats inconsistants. Alors que certaines supportent le rôle des MFS et HFS (Roy et al., 2015;

Roy et al., 2013), d'autres révèlent une préférence pour les BFS (Wang et al., 2015; 2017) pour sa reconnaissance. À l'aide de la méthode des bulles fréquentielles, Charbonneau et ses collaborateurs (2021) ont permis de concilier les résultats divergents des études précédentes, mettant en évidence l'importance des MFS en reconnaissance de douleur, tout en confirmant la préférence relative des BFS par rapport aux HFS. De plus, en examinant l'effet de la distance sur la reconnaissance de la douleur, celle-ci s'est révélée tout aussi efficace à des distances allant de 1,2 m à environ 4,8 m. Ces résultats ont des implications significatives dans un contexte hospitalier, où l'évaluation de la présence de douleur chez un patient est un processus continu et doit parfois s'effectuer rapidement en raison de contraintes de temps ou de ressources. Ainsi, ces données suggèrent qu'il est possible pour un intervenant de reconnaître la présence de douleur dans le visage d'un patient même s'il se trouve à une distance d'environ 5 mètres, soit l'équivalent d'une distance approximative entre le lit d'un patient et le cadre d'une porte. Ces stratégies perceptives sont d'ailleurs compatibles avec les bénéfices en termes de survie liée à l'expression de la douleur par le biais d'une expression faciale (p. ex. Williams, 2002), qui nécessite qu'un observateur soit à une distance suffisamment proche de l'individu exprimant la douleur pour la reconnaître et lui porter assistance rapidement.

D'autre part, il est plutôt bien établi que les populations cliniques confrontées à des défis dans le domaine des interactions sociales, telles que la schizophrénie, l'anxiété sociale et le trouble du spectre de l'autisme, présentent des atteintes au niveau de la cognition sociale, touchant les habiletés à comprendre et percevoir les émotions (p. ex. Chan et al., 2010; Staugaard, 2010; Yeung; 2022). Parallèlement, les études en perception des émotions s'étant intéressées au traitement des FS chez ces populations ont récemment mis en lumière des patrons différents de ceux des sujets contrôles. Par exemple, un biais en faveur des BFS a été observé

chez des individus souffrant d'anxiété sociale (p. ex. Langner et al., 2009, 2015) et de schizophrénie (p. ex. Laprévote, 2010), tandis qu'un biais en faveur des HFS a été noté chez des individus atteints du trouble du spectre de l'autisme (p. ex. Deruelle et al., 2008; Vlamings et al., 2010; mais voir aussi Santos et al., 2008 pour un biais en faveur des BFS). Par ailleurs, une récente étude de Faghel-Soubeyrand et ses collaborateurs (2020) a exploré les stratégies visuelles dans la reconnaissance des expressions faciales au sein d'une population présentant de façon concomitante une schizophrénie et de l'anxiété sociale. À l'aide de la méthode des bulles (Gosselin et Schyns, 2001), celle-ci a mis en lumière une préférence presque exclusive pour la région de la bouche au sein de ce groupe de participants par rapport aux sujets contrôles. De plus, en comparaison avec les sujets contrôles, les participants ont démontré une utilisation plus marquée des BFS au détriment des HFS, corroborant des résultats antérieurs (Langner et al., 2009, 2015; Laprévote, 2010). Compte tenu de la présence de différences perceptives au sein de ces populations cliniques, il serait intéressant d'approfondir cette piste de recherche en exploitant, par exemple, les méthodes exposées dans ce présent projet. Ces données pourraient nous permettre de mieux contextualiser les particularités observées au sein de ces populations et potentiellement permettre la conception de programmes d'entraînement visant à cibler des stratégies perceptives efficaces pour reconnaître les expressions faciales, et ainsi accroître le fonctionnement social de ces individus.

Enfin, la pandémie de la COVID-19 a engendré une transformation significative des modèles de soins, notamment dans le domaine de la santé mentale. En réponse aux besoins croissants de la population en cette période de crise, de nombreux services ont opté pour la télépratique, marquant ainsi un changement notable dans la prestation des services de santé mentale (Zangani et al., 2022). Cependant, bien avant l'avènement de la pandémie, de

nombreuses données empiriques étayaient déjà les avantages de la télépratique, particulièrement en ce qui concerne la prestation de thérapies par vidéoconférences (voir Simpson, 2009, et Thomas et al., 2021, pour des revues de la littérature à ce sujet). Malgré leurs avantages inestimables en termes d'accessibilité, la littérature scientifique souligne certains défis associés à cette pratique, notamment en ce qui concerne la pertinence clinique en fonction des caractéristiques des patients, ainsi que des enjeux de sûreté et de sécurité (voir à cet égard les lignes directrices de la Société Canadienne de Psychologie sur la télépsychologie, 2023). Par exemple, lorsqu'il s'agit de jeunes enfants, il n'est pas toujours possible d'évaluer de manière adéquate certains comportements non verbaux, tels que la qualité du contact visuel, un élément crucial à prendre en compte dans le développement de l'enfant (Myers et al., 2017). Ces préoccupations nous conduisent naturellement à réfléchir à l'impact de la télépratique sur notre capacité à extraire l'ensemble des informations transmises par un visage. En effet, les vidéoconférences interactives peuvent altérer la taille naturelle des visages, créant une perception trompeuse de la distance à laquelle notre interlocuteur est situé. La taille de l'écran, la distance entre l'observateur et celui-ci, ainsi que la qualité vidéo sont des facteurs susceptibles d'induire ce type de distorsions. Ainsi, les visages peuvent être affichés en grande taille, créant une distorsion de l'espace personnel qui diffère de la distance habituelle à laquelle nous entretenons nos relations interpersonnelles (p. ex. Oruc & Barton, 2010; Oruc et al., 2019). À l'inverse, les visages peuvent apparaître plus petits à l'écran ou embrouillés dû à une qualité vidéo réduite impactant de ce fait même l'accès à certaines FS. Dans ces conditions, nos données laissent entendre que les thérapeutes pourraient être moins sensibles à la reconnaissance de certaines expressions faciales, particulièrement celles reposant sur des détails en moyennes et hautes FS, telles que la colère, le dégoût, la peur et la tristesse. Ceci est d'autant plus pertinent

alors que nous considérons les micro-expressions faciales, qui induisent des changements subtils, mais importants à percevoir dans un contexte clinique (p. ex. Gheorghe et al., 2023). En somme, ces constatations soulignent l'importance pour les thérapeutes de demeurer attentifs aux éventuels défis engendrés par la télépratique lorsqu'il s'agit de la reconnaissance des expressions faciales.

4.7. Limites et perspectives futures

Les résultats de la présente étude doivent être interprétés dans le contexte de certaines limites. Parmi celles-ci, le choix des stimuli et les caractéristiques des participants émergent comme des aspects cruciaux à considérer. Afin d'approfondir notre compréhension quant à l'influence de ces facteurs, des pistes d'explorations futures seront discutées pour chaque limite identifiée.

4.7.1. Choix des stimuli

Au quotidien, les expressions faciales d'émotions se manifestent de manière transitoire, étant ainsi de nature dynamique et spontanée (c.-à-d. produites dans un contexte écologique). Ainsi, dans ce projet, le recours à des stimuli statiques représentant des expressions faciales à leur apex (c.-à-d. à leur intensité maximale) et posées (c.-à-d. des expressions produites sous demande par des acteurs) peut nécessairement influencer la validité écologique des résultats. D'une part, plusieurs évidences empiriques suggèrent un avantage dans la reconnaissance des stimuli dynamiques comparés à ceux statiques (p. ex. Wehrle et al., 2000; Kamachi et al., 2013; Ambadar et al., 2005; Bould & Morris, 2008; Hammal et al., 2009; Cunningham & Wallraven, 2009; voir toutefois Kätsyri & Sams, 2008; Fiorentini & Viviani, 2011; Gold et al., 2013; Widen & Russell, 2015). Ainsi, il est plausible d'envisager que les mécanismes perceptifs en reconnaissance d'expressions faciales se soient initialement développés pour extraire rapidement

l'information visuelle utile à la reconnaissance des expressions faciales dynamiques. En fait, plusieurs données suggèrent que des mécanismes perceptifs différents puissent être à l'œuvre lors du traitement de ces deux types de stimuli. D'abord, bien que les régions clés pour la catégorisation des expressions faciales statiques et dynamiques soient les mêmes, à savoir l'utilisation des yeux et de la bouche (Blais et al., 2012), les patrons de fixations oculaires diffèrent de sorte que davantage de temps est passé à fixer le centre du visage des stimuli dynamiques que statiques, tandis que les stimuli statiques impliquent davantage de fixations vers les yeux et la bouche (Buchan et al., 2007; Blais et al., 2017). Sur le plan cérébral, plusieurs données suggèrent une différence de traitement entre ces stimuli (p. ex. Haxby et al. 2000; 2002). Parmi celles-ci, les expressions faciales dynamiques, comparées à celles statiques, mobilisent davantage les aires liées à la voie dorsale magnocellulaire (p. ex. aires médianes temporales; Schultz & Pilz, 2009), une voie de traitement visuelle associée à l'analyse du mouvement et sensible aux BFS (Livingstone & Hubel, 1988). En raison de ces différences, il est justifié de remettre en question les résultats que nous aurions obtenus si nous avions choisi des stimuli dynamiques plutôt que statiques. De manière intéressante, une étude de Plouffe-Demers et ses collaborateurs (2019) apporte des éléments de réponse à cette question, alors qu'elle révèle une plus grande utilisation des BFS et une moindre utilisation des HFS lors de la catégorisation de stimuli dynamiques comparés à ceux statiques. Les auteurs suggèrent d'ailleurs que ce décalage vers les BFS pour le traitement des stimuli dynamiques soit lié à la présence du mouvement en soi, puisque des stimuli dynamiques dont les séquences vidéo ont été randomisées ont également révélé un décalage vers l'utilisation des BFS. Par conséquent, ces données suggèrent que les résultats de la présente étude auraient probablement montré une préférence accrue pour les BFS avec l'utilisation de stimuli dynamiques, soulignant une fois de plus l'importance du contexte de

la tâche et des choix de stimuli. En guise de perspective future, il serait intéressant d'explorer les variations entre les expressions faciales dans ce contexte. Il est plausible, par exemple, que l'amplitude des mouvements des traits faciaux ou la valeur adaptative de l'expression faciale en question influent de manière distincte sur l'utilisation des FS en fonction de sa présentation, qu'elle soit statique ou dynamique.

D'autre part, le choix de stimuli représentant des expressions faciales posées plutôt que spontanées est matière à débat dans la littérature (Kayyal & Russell, 2013; Nelson & Russell, 2013; Russell, 1994). En fait, la définition même d'une expression spontanée demeure complexe à établir, étant donné que même les expressions faciales produites involontairement dans un contexte écologique sont sujettes à l'influence de facteurs externes, tels que des normes culturelles ou sociales (*display rules*; Ekman, 1972) qui régissent l'expression ou la suppression des émotions. Une fois ces normes internalisées, il est proposé qu'elles opèrent de façon automatique et inconsciente dans la façon dont nous exprimons une expression faciale (Matsumoto & Lee, 1993). Toutefois, il est possible de distinguer parmi les études celles utilisant des photographies d'individus à qui il est explicitement demandé de produire une expression faciale, de celles utilisant des photographies d'individus produisant une expression faciale dans un contexte plus naturel (p. ex. enregistrer sur caméra une expression faciale de peur pendant le visionnement d'un film d'horreur). Les études à ce sujet ont d'ailleurs soulevé des différences, par exemple, en termes d'intensité (Kayyal & Russell, 2013), de clarté de signal (Matsumoto et al., 2009) et de stratégie perceptives (Saumure et al., 2018) entre les expressions posées et spontanées. Ces dernières sont caractérisées par un signal moins intense et davantage diffus, possiblement lié à la présence d'activité musculaire associée à la production simultanée de plus d'une expression faciale. De manière intéressante, il a été établi que les expressions faciales

spontanées, en comparaison avec celles posées, mobilisent des stratégies perceptives plus hétérogènes et dépendent moins de l'utilisation de la bouche (Saumure et al., 2018). Cette observation suggère que la région de la bouche, potentiellement moins informative en présence de stimuli ambigus caractéristiques des expressions spontanées, joue un rôle différent dans la perception de ces expressions. Enfin, considérant que les expressions faciales spontanées et dynamiques surviennent probablement à une fréquence plus élevée dans notre environnement quotidien, ce qui peut ultimement avoir influencé la façon dont nos stratégies visuelles se sont développées, il s'avère pertinent d'examiner les propriétés visuelles de bas niveau, tel que les FS, impliqués dans leur reconnaissance.

Finalement, la complexité des interactions sociales dans laquelle nous naviguons implique habituellement l'expérience d'émotions complexes (p. ex. honte, confusion, mépris, etc.) pouvant se traduire par des expressions faciales subtiles et nuancées (p. ex. Demoulin et al., 2004). En fait, au-delà des expressions faciales de base, il est recensé que près d'une vingtaine de patrons d'expressions faciales reflétant des états émotionnels complexes (p. ex. l'amusement, l'émerveillement, la fierté, le soulagement, l'ennui, le désir; Cordaro et al., 2018) sont partagées jusqu'à un certain degré à travers plusieurs cultures. Par ailleurs, deux études récentes se sont intéressées au rôle des FS dans le traitement des expressions faciales d'émotions complexes. Prises conjointement, ces études suggèrent que bien que les BFS et les HFS contiennent toutes les deux suffisamment d'information afin de juger de la valence (c.-à-d. un contenu émotionnel positif ou négatif) et du niveau d'activation/*arousal* (c.-à-d. l'intensité du contenu émotionnel) d'une expression faciale d'émotion complexe (Jennings et al., 2017), les HSF permettent généralement une meilleure discrimination de ces expressions faciales que les BFS (Cassidy et al., 2021). Conformément aux éléments discutés dans la section 4.4. et considérant que les

expressions faciales d'émotions complexes tendent à être plus subtiles, il est plausible qu'elles partagent davantage d'informations, nécessitant ainsi l'extraction de FS plus élevées pour les discriminer les unes des autres. Ces résultats font notamment échos à ceux d'autres domaines, alors que plus un objet augmente en complexité visuelle (p. ex. lettres ou caractères complexes; Wang & Legge, 2018) plus le traitement des détails fins, et par le fait même des HFS sera requis. Dans le cadre de ce projet, il serait intéressant d'explorer la possibilité d'observer un décalage vers l'utilisation de plus HFS en présence d'expressions faciales d'émotions complexes. En outre, analyser les patrons de confusabilité entre ces expressions pourrait permettre de prédire dans quelle mesure les HFS seront utilisées pour leur reconnaissance.

4.7.2. Caractéristiques des participants

L'émergence des études en psychologie culturelle a remis en question la pratique consistant à généraliser à l'ensemble des individus les conclusions des études sur le comportement humain et les processus psychologiques, principalement basées sur des échantillons de participants très homogènes (*WEIRD*). Cet acronyme désigne en fait les échantillons issus de sociétés occidentales (*Western*), éduquées, industrialisées, riches et démocratiques, qui reflètent très peu la diversité culturelle mondiale (Henrich et al., 2010). Motivés par ce constat, plusieurs chercheurs s'intéressent désormais à recueillir des données sur des populations plus diversifiées, permettant d'élargir nos connaissances sur la cognition humaine, y compris celles liées à la reconnaissance des expressions faciales d'émotions. Bien que certaines émotions puissent être reconnues à un niveau supérieur du hasard par des individus issus de différentes cultures (p. ex. colère, joie, dégoût, tristesse, surprise et peur), les données sont plutôt claires quant à l'influence de la culture dans l'expression et la reconnaissance des expressions faciales d'émotions (p. ex. Cordaro et al., 2018; Elfenbein & Ambady, 2002;

Matsumoto et al., 2008; Yamamoto et al., 2020; Yuki et al., 2007). Rappelons à cet effet, les différences culturelles observées au sein des patrons de fixations oculaires en reconnaissance d'expressions faciales (Jack et al., 2009), ou bien la façon dont les individus issus de différentes cultures se représentent ces expressions (Jack et al., 2012). À notre connaissance, aucune étude n'a spécifiquement investigué le rôle des FS en reconnaissance d'expressions faciales à travers différentes cultures. Toutefois, des données issues du domaine de la reconnaissance des visages nous permettent de spéculer quant à leur contribution. En fait, on retrouve une plus grande utilisation des BFS par les individus issus de la culture orientale (participants chinois) comparés à ceux issus de la culture occidentale (participants canadiens), et ce, dès 30 ms après la présentation d'un visage (Tardif et al., 2017; Estéphan et al., 2018). Ces résultats sont intéressants puisqu'ils suggèrent la présence de différences culturelles dès les processus précoces d'extraction de l'information visuelle. Ainsi, selon le contexte culturel dans lequel un individu évolue, on pourrait s'attendre à un biais dans l'utilisation des FS qui se reflèterait notamment dans la distance à laquelle les expressions faciales peuvent être reconnues. Dans ce contexte, considérer la distance à laquelle les individus préfèrent entretenir leurs relations interpersonnelles, ainsi que la façon dont la culture module ce facteur (p. ex. Sorokowska et al., 2017) nous apparaît une piste fort intéressante.

Outre l'influence de la culture, les chercheurs sont également encouragés à explorer le rôle du sexe et du genre dans l'étude des processus psychologiques. Ainsi, tout un pan de la recherche scientifique s'est intéressé à l'influence du sexe biologique dans les habiletés à percevoir, interpréter et exprimer les émotions. Par exemple, la littérature scientifique appuie généralement les croyances populaires voulant que les femmes soient plus expressives que les hommes (p. ex. Kret & De Gelder, 2012; Krumhuber et al., 2007). Précisément, il existe une

association entre le genre féminin et l'expression de joie, de peur et de tristesse, alors qu'on retrouve une association entre le genre masculin et l'expression de colère et de neutralité (p. ex. Adams Jr et al., 2015; McDuff et al., 2017). Sur le plan cérébral, on retrouve également des différences au niveau de l'activité amygdalienne entre les hommes et les femmes à la vue de visages émotionnels (p. ex. Fusar-Poli et al., 2009; Kempton et al., 2009; McClure et al., 2004). Par exemple, on recense une plus grande réactivité de l'amygdale des femmes comparée aux hommes à la vue de stimuli émotionnels à valence négative (p. ex. colère) alors que le patron inverse est retrouvé pour les stimuli à valence positive (Lang et al., 1998; Wrase et al., 2003; McClure et al., 2004; Stevens & Hamann, 2012). En termes d'habiletés à reconnaître les expressions faciales, les études révèlent généralement une supériorité des femmes par rapport aux hommes (p. ex. Hall, 1978; Kret & De Gelder, 2012; McClure, 2000; Olderback et al., 2019; Thompson et Voyer 2014; voir cependant Grimshaw et al., 2004; Palermo & Coltheart, 2004), un avantage dont les explications trouvent leurs origines dans diverses théories, dont certaines évolutionnistes, hormonales, génétiques et sociales (voir Kret & De Gelder, 2012, pour une revue de ces théories). Les rares études ayant exploré les stratégies perceptives ont d'ailleurs montré des différences quant aux patrons de fixations oculaires. En effet, il semble y avoir une préférence des femmes pour la région des yeux (Hall et al., 2010) et un biais vers le nez et la bouche pour les hommes (Vassallo et al. 2009). Toutefois, davantage d'études sont nécessaires afin de mieux comprendre ces biais puisqu'ils ne sont pas systématiquement retrouvés dans la littérature (p. ex. Coutrot et al., 2016; Rogers et al., 2018; Sokhn et al., 2017). Dans une tâche de perception de visages n'impliquant pas de reconnaissance émotionnelle, une étude suggère que les femmes démontrent un patron de fixation oculaire plus exploratoire que celui des hommes, se traduisant par de moins longues fixations et de plus grandes saccades oculaires (Coutrot et al.,

2016). En accord avec ces stratégies exploratoires, une récente étude sur la douleur a révélé que bien que les hommes et les femmes utilisent la même information visuelle pour établir des jugements d'intensité de douleur, les femmes exploitent cette information de manière plus efficace, en s'appuyant sur de plus grandes régions du visage (Plouffe-Demers et al., 2023). Ces résultats laissent entrevoir la possibilité que, grâce à leurs stratégies visuelles plus exploratoires, les femmes intègrent plus aisément l'information provenant de zones plus étendues du visage, suggérant qu'elles déploient plus largement leur attention. Étant donné l'impact de l'attention sur la résolution spatiale (p. ex., Balz & Hock, 1997; Goto et al., 2001), il est envisageable qu'une telle stratégie perceptive implique que les femmes traitent l'information des visages expressifs en plus BFS que les hommes. En revanche, des études ont démontré que les hommes exhibent une meilleure acuité visuelle (Burg, 1966; McGuinness, 1976; Ishigaki & Miyao, 1994; Abramov et al., 2012) ainsi qu'une plus grande sensibilité au contraste, particulièrement dans les HFS (Abramov et al., 2012). L'étude de Plouffe-Demers et al., (2019) s'intéressant principalement aux différences entre les expressions faciales statiques et dynamiques a d'ailleurs conduit des analyses préliminaires suggérant l'absence de lien entre l'utilisation des FS et le genre. Toutefois, cette étude comportait des limites importantes ayant pu empêcher de révéler un tel lien, alors que l'échantillon était non balancé en fonction du genre et ne permettait pas d'explorer les effets sur chacune des expressions faciales de base. Selon les études précédentes, il est plausible que la valence émotionnelle des stimuli soit également un facteur important à considérer dans les différences de genre. Le nombre de participants étant trop petit dans notre étude s'il était divisé en fonction du genre, il est impossible de procéder à des analyses formelles de différences de traitement entre les hommes et femmes. Ainsi, davantage de recherches seront

nécessaires afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux différences de genre et du sexe dans le traitement des expressions faciales.

CHAPITRE V - CONCLUSION

En conclusion, la présente étude a examiné le rôle des FS en reconnaissance d'expressions faciales en combinant deux méthodes : les bulles fréquentielles (Willenbockel et al., 2010) et la manipulation des distances (c.-à-d. la modification de la taille des stimuli; Smith & Schyns, 2009). D'une part, l'utilité de ces méthodes réside dans leur capacité à explorer la contribution de l'ensemble des FS contenues dans un visage expressif, sans avoir à statuer *a priori* sur celles qui seront les plus utiles. D'autre part, elles permettent d'étudier les FS dans des conditions reflétant des situations de la vie quotidienne. D'abord, nos résultats confirment l'avantage des BFS aux dépens des HSF dans la reconnaissance des expressions faciales de base. Toutefois, ce patron de résultats, tel que souvent décrit dans la littérature, est hautement réducteur puisqu'il néglige l'apport crucial des MFS dans ce processus. Précisément, nous révélons que les MFS constituent près de deux tiers des informations les plus discriminantes et que les performances en reconnaissance chutent drastiquement lorsque l'accessibilité aux MFS diminue avec l'augmentation de la distance perçue. À la lumière de ces résultats, nous soulevons la possibilité que les BFS soient davantage impliquées dans les processus de détection émotionnelle, plutôt que de reconnaissance en soi. Par ailleurs, nous suggérons que les variations observées entre les expressions faciales pourraient être le reflet des mouvements faciaux impliqués dans leur production (p. ex. mouvements de contractions versus d'extensions signalant des changements dans les HFS et BFS, respectivement). Bien que davantage d'études seront nécessaires pour explorer plus en détail ces hypothèses, les résultats obtenus suggèrent qu'un intérêt particulier doit être porté aux choix méthodologiques des études examinant les FS dans le domaine de la perception des émotions, et que les résultats devraient toujours être interprétés en fonction des exigences de la tâche.

RÉFÉRENCES

- Abramov, I., Gordon, J., Feldman, O., & Chavarga, A. (2012). Sex & vision I: Spatio-temporal resolution. *Biology of Sex Differences*, 3(1), 20. <https://doi.org/10.1186/2042-6410-3-20>
- Adams, R. B., Ambady, N., Macrae, C. N., & Kleck, R. E. (2006). Emotional expressions forecast approach-avoidance behavior. *Motivation and Emotion*, 30(2), 177–186. <https://doi.org/10.1007/s11031-006-9020-2>
- Adams, R. B., Hess, U., & Kleck, R. E. (2015). The Intersection of Gender-Related Facial Appearance and Facial Displays of Emotion. *Emotion Review*, 7(1), 5–13. <https://doi.org/10.1177/1754073914544407>
- Adolphs, R. (2002). Recognizing Emotion from Facial Expressions: Psychological and Neurological Mechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1(1), 21–62. <https://doi.org/10.1177/1534582302001001003>
- 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>
- Ahumada, A. J. (1996). Perceptual Classification Images from Vernier Acuity Masked by Noise. *Perception*, 25(1_suppl), 2–2. <https://doi.org/10.1068/v96l0501>

- Ahumada, A., & Lovell, J. (1971). Stimulus Features in Signal Detection. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49(6B), 1751–1756. <https://doi.org/10.1121/1.1912577>
- Ambadar, Z., Schooler, J. W., & Cohn, J. F. (2005). Deciphering the Enigmatic Face: The Importance of Facial Dynamics in Interpreting Subtle Facial Expressions. *Psychological Science*, 16(5), 403–410. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01548.x>
- Anderson, A. K., & Phelps, E. A. (2001). Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. *Nature*, 411(6835), 305–309. <https://doi.org/10.1038/35077083>
- Andrew, R. J. (1963). The Origin and Evolution of the Calls and Facial Expressions of the Primates. *Behaviour*, 20(1/2), 1–109. JSTOR.
- Arizpe, J., Kravitz, D. J., Yovel, G., & Baker, C. I. (2012). Start Position Strongly Influences Fixation Patterns during Face Processing: Difficulties with Eye Movements as a Measure of Information Use. *PLoS ONE*, 7(2), e31106. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031106>
- Armistead, T. W. (2013). H. L. Wagner's Unbiased Hit Rate and the Assessment of Categorical Forecasting Accuracy. *Weather and Forecasting*, 28(3), 802–814. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-12-00047.1>
- Aviezer, H., Trope, Y., & Todorov, A. (2012). Body Cues, Not Facial Expressions, Discriminate Between Intense Positive and Negative Emotions. *Science*, 338(6111), 1225–1229. <https://doi.org/10.1126/science.1224313>
- Balz, G. W., & Hock, H. S. (1997). The Effect of Attentional Spread on Spatial Resolution. *Vision Research*, 37(11), 1499–1510. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(96\)00296-9](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(96)00296-9)

- Bannerman, R. L., Milders, M., & Sahraie, A. (2010). Attentional bias to brief threat-related faces revealed by saccadic eye movements. *Emotion, 10*(5), 733–738.
<https://doi.org/10.1037/a0019354>
- Bar, M. (2003). A Cortical Mechanism for Triggering Top-Down Facilitation in Visual Object Recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(4), 600–609.
<https://doi.org/10.1162/089892903321662976>
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., Dale, A. M., Hämäläinen, M. S., Marinkovic, K., Schacter, D. L., Rosen, B. R., & Halgren, E. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 103*(2), 449–454. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507062103>
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional Expressions Reconsidered: Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements. *Psychological Science in the Public Interest, 20*(1), 1–68.
<https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- Barrett, L. F., Mesquita, B., & Gendron, M. (2011). Context in Emotion Perception. *Current Directions in Psychological Science, 20*(5), 286–290.
<https://doi.org/10.1177/0963721411422522>
- 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>
- Beach, P. A., Huck, J. T., Miranda, M. M., Foley, K. T., & Bozoki, A. C. (2016). Effects of Alzheimer Disease on the Facial Expression of Pain. *The Clinical Journal of Pain, 32*(6), 478–487. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000302>

- Beard, B. L., & Ahumada, Jr., A. J. (1998). *Technique to extract relevant image features for visual tasks* (B. E. Rogowitz & T. N. Pappas, Eds.; pp. 79–85).
<https://doi.org/10.1117/12.320099>
- 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>
- Blair, R. J. R. (2003). Facial expressions, their communicatory functions and neuro–cognitive substrates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431), 561–572. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1220>
- 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. (2012). The eyes are not the window to basic emotions. *Neuropsychologia*, 50(12), 2830–2838.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.08.010>
- Bould, E., & Morris, N. (2008). Role of motion signals in recognizing subtle facial expressions of emotion. *British Journal of Psychology*, 99(2), 167–189.
<https://doi.org/10.1348/000712607X206702>
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433–436.

- Broks, P., Young, A. W., Maratos, E. J., Coffey, P. J., Calder, A. J., Isaac, C. L., Mayes, A. R., Hodges, J. R., Montaldi, D., Cezayirli, E., Roberts, N., & Hadley, D. (1998). Face processing impairments after encephalitis: Amygdala damage and recognition of fear. *Neuropsychologia*, 36(1), 59–70. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00105-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00105-X)
- Buchan, J. N., Paré, M., & Munhall, K. G. (2007). Spatial statistics of gaze fixations during dynamic face processing. *Social Neuroscience*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/17470910601043644>
- Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*, 36(2–3), 96–107. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(01\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00085-6)
- Burg, A. (1966). Visual acuity as measured by dynamic and static tests: A comparative evaluation. *Journal of Applied Psychology*, 50(6), 460–466. <https://doi.org/10.1037/h0023982>
- Burra, N., Hervais-Adelman, A., Celeghin, A., De Gelder, B., & Pegna, A. J. (2019). Affective blindsight relies on low spatial frequencies. *Neuropsychologia*, 128, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.10.009>
- Burt, P., & Adelson, E. (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>
- Calder, A. J. (1996). Facial Emotion Recognition after Bilateral Amygdala Damage: Differentially Severe Impairment of Fear. *Cognitive Neuropsychology*, 13(5), 699–745. <https://doi.org/10.1080/026432996381890>

- Calvo, M. G., Beltrán, D., & Fernández-Martín, A. (2014). Processing of facial expressions in peripheral vision : Neurophysiological evidence. *Biological Psychology*, 100, 60-70.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.05.007>
- Campbell, F. W., & Robson, J. G. (1968). Application of fourier analysis to the visibility of gratings. *The Journal of Physiology*, 197(3), 551–566.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1968.sp008574>
- Canli, T., Sivers, H., Whitfield, S. L., Gotlib, I. H., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Amygdala Response to Happy Faces as a Function of Extraversion. *Science*, 296(5576), 2191–2191. <https://doi.org/10.1126/science.1068749>
- Cassidy, B., Wiley, R., Sim, M., & Hugenberg, K. (2021). Spatial frequency and valence interact in complex emotion perception. *Cognition and Emotion*, 35(8), 1618–1625.
<https://doi.org/10.1080/02699931.2021.1979474>
- Chambers, C. T., Hardial, J., Craig, K. D., Court, C., & Montgomery, C. (2005). Faces Scales for the Measurement of Postoperative Pain Intensity in Children Following Minor Surgery: *The Clinical Journal of Pain*, 21(3), 277–285.
<https://doi.org/10.1097/00002508-200505000-00011>
- Chan, R. C. K., Li, H., Cheung, E. F. C., & Gong, Q. (2010). Impaired facial emotion perception in schizophrenia: A meta-analysis. *Psychiatry Research*, 178(2), 381–390.
<https://doi.org/10.1016/j.psychres.2009.03.035>
- Chapman, H. A., Kim, D. A., Susskind, J. M., & Anderson, A. K. (2009). In Bad Taste: Evidence for the Oral Origins of Moral Disgust. *Science*, 323(5918), 1222–1226.
<https://doi.org/10.1126/science.1165565>

- Charbonneau, I., Guérette, J., Cormier, S., Blais, C., Lalonde-Beaudoin, G., Smith, F. W., & Fiset, D. (2021). The role of spatial frequencies for facial pain categorization. *Scientific Reports*, 11(1), 14357. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93776-7>
- 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), 1. <https://doi.org/10.1167/5.9.1>
- Chen, C., Crivelli, C., Garrod, O. G. B., Schyns, P. G., Fernández-Dols, J.-M., & Jack, R. E. (2018). Distinct facial expressions represent pain and pleasure across cultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(43). <https://doi.org/10.1073/pnas.1807862115>
- Coleman, J. C. (1949). Facial expressions of emotion. *Psychological Monographs: General and Applied*, 63(1), i–36. <https://doi.org/10.1037/h0093573>
- Collin, C. A., Therrien, M. E., Campbell, K. B., & Hamm, J. P. (2012). Effects of band-pass spatial frequency filtering of face and object images on the amplitude of N170. *Perception*, 41(6), 717–732. <https://doi.org/10.1068/p7056>
- Collin, C. A., Therrien, M., Martin, C., & Rainville, S. (2006). Spatial frequency thresholds for face recognition when comparison faces are filtered and unfiltered. *Perception & Psychophysics*, 68(6), 879–889. <https://doi.org/10.3758/BF03193351>
- Collin, C. A., Rainville, S., Watier, N., & Boutet, I. (2014). Configural and Featural Discriminations Use the Same Spatial Frequencies: A Model Observer versus Human Observer Analysis. *Perception*, 43(6), 509–526. <https://doi.org/10.1068/p7531>

- Cordaro, D. T., Sun, R., Keltner, D., Kamble, S., Huddar, N., & McNeil, G. (2018). Universals and cultural variations in 22 emotional expressions across five cultures. *Emotion*, 18(1), 75–93. <https://doi.org/10.1037/emo0000302>
- Corradi-Dell’Acqua, C., Schwartz, S., Meaux, E., Hubert, B., Vuilleumier, P., & Deruelle, C. (2014). Neural responses to emotional expression information in high- and low-spatial frequency in autism: Evidence for a cortical dysfunction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00189>
- 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>
- Coutrot, A., Binetti, N., Harrison, C., Mareschal, I., & Johnston, A. (2016). Face exploration dynamics differentiate men and women. *Journal of Vision*, 16(14), 16. <https://doi.org/10.1167/16.14.16>
- Crameri, F. (2018), Scientific colour maps, Zenodo, doi: 10.5281/zenodo.1243862
- Crameri, F., G.E. Shepard, and, P.J. Heron (2020), The misuse of colour in science communication, *Nature Communications*, 11, 5444. doi: 10.1038/s4146702019607
- Crivelli, C., Jarillo, S., Russell, J. A., & Fernández-Dols, J.-M. (2016). Reading emotions from faces in two indigenous societies. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(7), 830–843. <https://doi.org/10.1037/xge0000172>

- Cunningham, D. W., & Wallraven, C. (2009). Dynamic information for the recognition of conversational expressions. *Journal of Vision*, 9(13), 7–7. <https://doi.org/10.1167/9.13.7>
- Dakin, S. C., & Watt, R. J. (2009). Biological “bar codes” in human faces. *Journal of Vision*, 9(4), 2–2. <https://doi.org/10.1167/9.4.2>
- Darwin, C., (1965). *The expression of the emotions in man and animals*. (Chicago: University of Chicago Press. (Original work published 1872).).
- De Cesarei, A., & Codispoti, M. (2013). Spatial frequencies and emotional perception. *Reviews in the Neurosciences*, 24(1). <https://doi.org/10.1515/revneuro-2012-0053>
- De Gelder, B., Van Honk, J., & Tamietto, M. (2011). Emotion in the brain: Of low roads, high roads and roads less travelled. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(7), 425–425. <https://doi.org/10.1038/nrn2920-c1>
- De Valois, K. K., De Valois, R. L., & Yund, E. W. (1979). Responses of striate cortex cells to grating and checkerboard patterns. *The Journal of Physiology*, 291(1), 483–505. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1979.sp012827>
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G., & Thorell, L. G. (1982). Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. *Vision Research*, 22(5), 545–559. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(82\)90113-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(82)90113-4)
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1980). Spatial Vision. *Annual Review of Psychology*, 31(1), 309–341. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.31.020180.001521>
- Demoulin, S., Leyens, J., Paladino, M., Rodriguez-Torres, R., Rodriguez-Perez, A., & Dovidio, J. (2004). Dimensions of “uniquely” and “non-uniquely” human emotions. *Cognition & Emotion*, 18(1), 71–96. <https://doi.org/10.1080/02699930244000444>

- Deruelle, C., Rondan, C., Salle-Collemiche, X., Bastard-Rosset, D., & Da Fonséca, D. (2008). Attention to low- and high-spatial frequencies in categorizing facial identities, emotions and gender in children with autism. *Brain and Cognition*, 66(2), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.06.001>
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (2003). Delayed Saccades, but Not Delayed Manual Aiming Movements, Require Visual Attention Shifts. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1004(1), 289–296. <https://doi.org/10.1196/annals.1303.026>
- Du, S., & Martinez, A. M. (2011). The resolution of facial expressions of emotion. *Journal of Vision*, 11(13), 24-24. <https://doi.org/10.1167/11.13.24>
- Du, S., Tao, Y., & Martinez, A. M. (2014). Compound facial expressions of emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(15). <https://doi.org/10.1073/pnas.1322355111>
- Duchaine, B., & Yovel, G. (2015). A Revised Neural Framework for Face Processing. *Annual Review of Vision Science*, 1(1), 393–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-082114-035518>
- 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), 7. <https://doi.org/10.1167/17.14.7>
- Duncan, J., Royer, J., Dugas, G., Blais, C., & Fiset, D. (2019). Revisiting the link between horizontal tuning and face processing ability with independent measures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(11), 1429–1435. <https://doi.org/10.1037/xhp0000684>

- Eckstein, M. P., & Ahumada, A. J. (2002). Classification images: A tool to analyze visual strategies. *Journal of Vision*, 2(1), i. <https://doi.org/10.1167/2.1.i>
- Eimer, M., & Holmes, A. (2002). An ERP study on the time course of emotional face processing: *Neuroreport*, 13(4), 427–431. <https://doi.org/10.1097/00001756-200203250-00013>
- Eisenbarth, H., & Alpers, G. W. (2011). Happy mouth and sad eyes: Scanning emotional facial expressions. *Emotion*, 11(4), 860–865. <https://doi.org/10.1037/a0022758>
- Ekman, P. (1972). Universals and Cultural Differences in Facial Expressions of Emotions. In Cole, J. (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation* (Pp. 207-282). Lincoln, NB: University of Nebraska Press.
- Ekman, P. (1982). Methods for measuring facial action. In Scherer, K. R. & Ekman, P. (Eds.), *Handbook of methods in nonverbal behavior research*. New York : Cambridge University Press, p. 45-135.
- Ekman, P. (1997). Should we call it expression or communication? *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 10(4), 333–344. <https://doi.org/10.1080/13511610.1997.9968538>
- Ekman, P., & Cordaro, D. (2011). What is Meant by Calling Emotions Basic. *Emotion Review*, 3(4), 364–370. <https://doi.org/10.1177/1754073911410740>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 17(2), 124–129. <https://doi.org/10.1037/h0030377>
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1975). *Unmasking the face*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial Action Coding System* [dataset].
<https://doi.org/10.1037/t27734-000>
- Elfenbein, H. A., & Ambady, N. (2002). On the universality and cultural specificity of emotion recognition: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 128(2), 203–235.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.128.2.203>
- Elfenbein, H. A., Mandal, M. K., Ambady, N., Harizuka, S., & Kumar, S. (2002). Cross-cultural patterns in emotion recognition: Highlighting design and analytical techniques. *Emotion*, 2(1), 75–84. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.2.1.75>
- Estéphan, A., Fiset, D., Saumure, C., Plouffe-Demers, M.-P., Zhang, Y., Sun, D., & Blais, C. (2018). Time Course of Cultural Differences in Spatial Frequency Use for Face Identification. *Scientific Reports*, 8(1), 1816. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19971-1>
- Esteves, F., Dimberg, U., & Öhman, A. (1994). Automatically elicited fear: Conditioned skin conductance responses to masked facial expressions. *Cognition & Emotion*, 8(5), 393–413. <https://doi.org/10.1080/02699939408408949>
- Faghel-Soubeyrand, S., Lecomte, T., Bravo, M. A., Lepage, M., Potvin, S., Abdel-Baki, A., Villeneuve, M., & Gosselin, F. (2020). Abnormal visual representations associated with confusion of perceived facial expression in schizophrenia with social anxiety disorder. *Npj Schizophrenia*, 6(1), 28. <https://doi.org/10.1038/s41537-020-00116-1>
- Feldmann-Wüstefeld, T., Schmidt-Daffy, M., & Schubö, A. (2011). Neural evidence for the threat detection advantage : Differential attention allocation to angry and happy faces. *Psychophysiology*, 48(5), 697-707. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01130.x>

Fiorentini, C., & Viviani, P. (2011). Is there a dynamic advantage for facial expressions?

Journal of Vision, 11(3), 17–17. <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>

Frijda, N. H., & Tcherkassof, A. (1997). Facial expressions as modes of action readiness. In J. A. Russell & J. M. Fernández-Dols (Eds.), *The Psychology of Facial Expression* (1st ed., pp. 78–102). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511659911.006>

Frith, C. (2009). Role of facial expressions in social interactions. *Philosophical*

Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1535), 3453–3458.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0142>

Fusar-Poli, P., Placentino, A., Carletti, F., Landi, P., Allen, P., Surguladze, S., Benedetti, F.,

Abbamonte, M., Gasparotti, R., Barale, F., Perez, J., McGuire, P., & Politi, P. (2009).

Functional atlas of emotional faces processing: A voxel-based meta-analysis of 105

functional magnetic resonance imaging studies. *Journal of Psychiatry & Neuroscience:*

JPN, 34(6), 418–432.

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>

- Gao, X., & Maurer, D. (2011). A comparison of spatial frequency tuning for the recognition of facial identity and facial expressions in adults and children. *Vision Research*, 51(5), 508–519. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.01.011>
- Gaspar, C., Sekuler, A. B., & Bennett, P. J. (2008). Spatial frequency tuning of upright and inverted face identification. *Vision Research*, 48(28), 2817–2826. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.09.015>
- Gendron, M., Roberson, D., Van Der Vyver, J. M., & Barrett, L. F. (2014). Perceptions of emotion from facial expressions are not culturally universal: Evidence from a remote culture. *Emotion*, 14(2), 251–262. <https://doi.org/10.1037/a0036052>
- Gheorghe, R. M., Tarshis, S., & Asakura, K. (2023). Clinician Perceptions of Online Therapy During the COVID-19 Pandemic : A Qualitative Study. *Families in Society: The Journal of Contemporary Social Services*, 10443894231193058. <https://doi.org/10.1177/10443894231193058>
- Goffaux, V. (2010). Horizontal information drives the behavioral signatures of face processing. *Frontiers in Psychology*, 1. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00143>
- Goffaux, V., Duecker, F., Hausfeld, L., Schiltz, C., & Goebel, R. (2016). Horizontal tuning for faces originates in high-level Fusiform Face Area. *Neuropsychologia*, 81, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.12.004>
- Goffaux, V., Peters, J., Haubrechts, J., Schiltz, C., Jansma, B., & Goebel, R. (2011). From Coarse to Fine? Spatial and Temporal Dynamics of Cortical Face Processing. *Cerebral Cortex*, 21(2), 467–476. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq112>
- Goffaux, V., & Rossion, B. (2006). Faces are “spatial”—Holistic face perception is supported by low spatial frequencies. *Journal of Experimental Psychology: Human*

Perception and Performance, 32(4), 1023–1039. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.4.1023>

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., 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), 23–23. <https://doi.org/10.1167/13.5.23>

Goren, D., & Wilson, H. R. (2006). Quantifying facial expression recognition across viewing conditions. *Vision Research*, 46(8–9), 1253–1262.

<https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.10.028>

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)

Goto, M., Toriu, T., & Tanahashi, J. (2001). Effect of size of attended area on contrast sensitivity function. *Vision Research*, 41(12), 1483–1487.

[https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00032-3)

Grimshaw, G. M., Bulman-Fleming, M. B., & Ngo, C. (2004). A signal-detection analysis of sex differences in the perception of emotional faces. *Brain and Cognition*, 54(3), 248–

250. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.02.029>

Hadjistavropoulos, T., Herr, K., Prkachin, K. M., Craig, K. D., Gibson, S. J., Lukas, A., & Smith, J. H. (2014). Pain assessment in elderly adults with dementia. *The Lancet*

Neurology, 13(12), 1216–1227. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70103-6](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70103-6)

- Hall, J. A. (1978). Gender effects in decoding nonverbal cues. *Psychological Bulletin*, 85(4), 845–857. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.85.4.845>
- Hall, J. K., Hutton, S. B., & Morgan, M. J. (2010). Sex differences in scanning faces: Does attention to the eyes explain female superiority in facial expression recognition? *Cognition & Emotion*, 24(4), 629–637. <https://doi.org/10.1080/02699930902906882>
- Hammal, Z., Gosselin, F., & Fortin, I. (2009). How efficient are the recognition of dynamic and static facial expressions? *Journal of Vision*, 9(8), 499–499. <https://doi.org/10.1167/9.8.499>
- Harmon-Jones, E. (2019). On motivational influences, moving beyond valence, and integrating dimensional and discrete views of emotion. *Cognition and Emotion*, 33(1), 101-108. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1514293>
- Hassin, R. R., Aviezer, H., & Bentin, S. (2013). Inherently Ambiguous: Facial Expressions of Emotions, in Context. *Emotion Review*, 5(1), 60–65. <https://doi.org/10.1177/1754073912451331>
- 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)
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2002). Human neural systems for face recognition and social communication. *Biological Psychiatry*, 51(1), 59–67. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01330-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01330-0)
- Hegde, J. (2008). Time course of visual perception: Coarse-to-fine processing and beyond. *Progress in Neurobiology*, 84(4), 405–439. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2007.09.001>

- Henrich, J., Heine, S. J., & Norenzayan, A. (2010). Most people are not WEIRD. *Nature*, 466(7302), 29–29. <https://doi.org/10.1038/466029a>
- Hill, M. L., & Craig, K. D. (2002). Detecting deception in pain expressions: The structure of genuine and deceptive facial displays. *Pain*, 98(1), 135–144. [https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(02\)00037-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(02)00037-4)
- Holmes, A., Green, S., & Vuilleumier, P. (2005). The involvement of distinct visual channels in rapid attention towards fearful facial expressions. *Cognition and Emotion*, 19(6), 899–922. <https://doi.org/10.1080/02699930441000454>
- Howell, R. J., & Jorgensen, E. C. (1970). Accuracy of Judging Unposed Emotional Behavior in a Natural Setting: A Replication Study. *The Journal of Social Psychology*, 81(2), 269–270. <https://doi.org/10.1080/00224545.1970.9922450>
- Huang, S.-L., Chang, Y.-C., & Chen, Y.-J. (2011). Task-irrelevant angry faces capture attention in visual search while modulated by resources. *Emotion*, 11(3), 544–552. <https://doi.org/10.1037/a0022763>
- Ishigaki, H., & Miyao, M. (1994). Implications for Dynamic Visual Acuity with Changes in Age and Sex. *Perceptual and Motor Skills*, 78(2), 363–369. <https://doi.org/10.2466/pms.1994.78.2.363>
- Izard, C. E. (1994). Innate and universal facial expressions: Evidence from developmental and cross-cultural research. *Psychological Bulletin*, 115(2), 288–299. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.2.288>
- Jack, R. E., Blais, C., Scheepers, C., Schyns, P. G., & Caldara, R. (2009). Cultural Confusions Show that Facial Expressions Are Not Universal. *Current Biology*, 19(18), 1543–1548. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.07.051>

- Jack, R. E., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2012). Internal representations reveal cultural diversity in expectations of facial expressions of emotion. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(1), 19–25. <https://doi.org/10.1037/a0023463>
- Jack, R. E., Garrod, O. G. B., & Schyns, P. G. (2014). Dynamic Facial Expressions of Emotion Transmit an Evolving Hierarchy of Signals over Time. *Current Biology*, 24(2), 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.11.064>
- Jack, R. E., Garrod, O. G. B., Yu, H., Caldara, R., & Schyns, P. G. (2012). Facial expressions of emotion are not culturally universal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(19), 7241–7244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200155109>
- Jack, R. E., & Schyns, P. G. (2015). The Human Face as a Dynamic Tool for Social Communication. *Current Biology*, 25(14), R621–R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.05.052>
- Jeantet, C., Caharel, S., Schwan, R., Lighezzolo-Alnot, J., & Laprevote, V. (2018). Factors influencing spatial frequency extraction in faces: A review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 93, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.03.006>
- Jennings, B. J., Yu, Y., & Kingdom, F. A. A. (2017). The role of spatial frequency in emotional face classification. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(6), 1573–1577. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1377-7>
- Johnson, M. H. (2005). Subcortical face processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 766–774. <https://doi.org/10.1038/nrn1766>
- Kamachi, M., Bruce, V., Mukaida, S., Gyoba, J., Yoshikawa, S., & Akamatsu, S. (2013). Dynamic Properties Influence the Perception of Facial Expressions. *Perception*, 42(11), 1266–1278. <https://doi.org/10.1068/p3131n>

- 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>
- Kauffmann, L., Ramanoël, S., & Peyrin, C. (2014). The neural bases of spatial frequency processing during scene perception. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00037>
- Kayyal, M. H., & Russell, J. A. (2013). Americans and Palestinians judge spontaneous facial expressions of emotion. *Emotion*, 13(5), 891–904. <https://doi.org/10.1037/a0033244>
- Kazak, A. E. (2018). Editorial: Journal article reporting standards. *American Psychologist*, 73(1), 1–2. <https://doi.org/10.1037/amp0000263>
- Keil, M. S. (2009). “I Look in Your Eyes, Honey”: Internal Face Features Induce Spatial Frequency Preference for Human Face Processing. *PLoS Computational Biology*, 5(3), e1000329. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000329>
- Keil, M. S., Lapedriza, A., Masip, D., & Vitria, J. (2008). Preferred Spatial Frequencies for Human Face Processing Are Associated with Optimal Class Discrimination in the Machine. *PLoS ONE*, 3(7), e2590. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002590>
- Kempton, M. J., Haldane, M., Jogia, J., Christodoulou, T., Powell, J., Collier, D., Williams, S. C. R., & Frangou, S. (2009). The effects of gender and COMT Val158Met polymorphism on fearful facial affect recognition: A fMRI study. *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, 12(03), 371. <https://doi.org/10.1017/S1461145708009395>

- Kim, H., Somerville, L. H., Johnstone, T., Polis, S., Alexander, A. L., Shin, L. M., & Whalen, P. J. (2004). Contextual Modulation of Amygdala Responsivity to Surprised Faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(10), 1730–1745.
<https://doi.org/10.1162/0898929042947865>
- Kirita, T., & Endo, M. (1995). Happy face advantage in recognizing facial expressions. *Acta Psychologica*, 89(2), 149-163. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(94\)00021-8](https://doi.org/10.1016/0001-6918(94)00021-8)
- Kleiner, M., Brainard, D., Pelli, D., Ingling, A., Murray, R., and Broussard, C. (2007). What's new in psychtoolbox-3. *Perception* 36, 1–16.
- Kret, M. E., & De Gelder, B. (2012). A review on sex differences in processing emotional signals. *Neuropsychologia*, 50(7), 1211–1221.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.12.022>
- Krieglmeyer, R., Deutsch, R., De Houwer, J., & De Raedt, R. (2010). Being Moved : Valence Activates Approach-Avoidance Behavior Independently of Evaluation and Approach-Avoidance Intentions. *Psychological Science*, 21(4), 607-613.
<https://doi.org/10.1177/0956797610365131>
- Krumhuber, E. G., Küster, D., Namba, S., & Skora, L. (2021). Human and machine validation of 14 databases of dynamic facial expressions. *Behavior Research Methods*, 53(2), 686–701. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01443-y>
- Krumhuber, E., Manstead, A. S. R., & Kappas, A. (2007). Temporal Aspects of Facial Displays in Person and Expression Perception: The Effects of Smile Dynamics, Head-tilt, and Gender. *Journal of Nonverbal Behavior*, 31(1), 39–56.
<https://doi.org/10.1007/s10919-006-0019-x>

- Kumar, D., & Srinivasan, N. (2011). Emotion perception is mediated by spatial frequency content. *Emotion, 11*(5), 1144–1151. <https://doi.org/10.1037/a0025453>
- Kveraga, K., Boshyan, J., & Bar, M. (2007). Magnocellular Projections as the Trigger of Top-Down Facilitation in Recognition. *The Journal of Neuroscience, 27*(48), 13232–13240. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3481-07.2007>
- Laeng, B., Profeti, I., Sæther, L., Adolfsdottir, S., Lundervold, A. J., Vangberg, T., Øvervoll, M., Johnsen, S. H., & Waterloo, K. (2010). Invisible expressions evoke core impressions. *Emotion, 10*(4), 573–586. <https://doi.org/10.1037/a0018689>
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., & Nangia, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology, 35*(2), 199–210. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3520199>
- Langner, O., Becker, E. S., & Rinck, M. (2009). Social Anxiety and Anger Identification: Bubbles Reveal Differential Use of Facial Information With Low Spatial Frequencies. *Psychological Science, 20*(6), 666–670. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02357.x>
- Langner, O., Becker, E. S., Rinck, M., & Van Knippenberg, A. (2015). Socially anxious individuals discriminate better between angry and neutral faces, particularly when using low spatial frequency information. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 46*, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2014.06.008>
- Lanzetta, J. T., & Kleck, R. E. (1970). Encoding and decoding of nonverbal affect in humans. *Journal of Personality and Social Psychology, 16*(1), 12–19. <https://doi.org/10.1037/h0029850>

- LaPrévôté, V., Oliva, A., Delerue, C., Thomas, P., & Boucart, M. (2010). Patients with schizophrenia are biased toward low spatial frequency to decode facial expression at a glance. *Neuropsychologia*, 48(14), 4164–4168.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.10.017>
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion Circuits in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), 155–184. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.155>
- Leppänen, J. M., & Hietanen, J. K. (2004). Positive facial expressions are recognized faster than negative facial expressions, but why? *Psychological Research Psychologische Forschung*, 69(1-2), 22-29. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0157-2>
- Lilley, C. M., Craig, K. D., & Grunau, R. E. (1997). The expression of pain in infants and toddlers: Developmental changes in facial action: *Pain*, 72(1), 161–170.
[https://doi.org/10.1016/S0304-3959\(97\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(97)00034-1)
- Liu, M., Liu, C. H., Zheng, S., Zhao, K., & Fu, X. (2021). Reexamining the neural network involved in perception of facial expression: A meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 131, 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.09.024>
- Liu, M., Duan, Y., Ince, R. A. A., Chen, C., Garrod, O. G. B., Schyns, P. G., & Jack, R. E. (2022). Facial expressions elicit multiplexed perceptions of emotion categories and dimensions. *Current Biology*, 32(1), 200-209.e6.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.10.035>
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988). Segregation of Form, Color, Movement, and Depth: Anatomy, Physiology, and Perception. *Science*, 240(4853), 740–749.
<https://doi.org/10.1126/science.3283936>

- Maffei, L., & Fiorentini, A. (1973). The visual cortex as a spatial frequency analyser. *Vision Research*, 13(7), 1255–1267. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(73\)90201-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(73)90201-0)
- Martin, J., Rychlowska, M., Wood, A., & Niedenthal, P. (2017). Smiles as Multipurpose Social Signals. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(11), 864–877. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.08.007>
- Matsumoto, D., & Hwang, H. S. (2011). Judgments of facial expressions of emotion in profile. *Emotion*, 11(5), 1223–1229. <https://doi.org/10.1037/a0024356>
- Matsumoto, D., & Lee, M. (1993). Consciousness, Volition, and the Neuropsychology of Facial Expressions of Emotion. *Consciousness and Cognition*, 2(3), 237–254. <https://doi.org/10.1006/ccog.1993.1022>
- Matsumoto, D., Olide, A., Schug, J., Willingham, B., & Callan, M. (2009). Cross-Cultural Judgments of Spontaneous Facial Expressions of Emotion. *Journal of Nonverbal Behavior*, 33(4), 213–238. <https://doi.org/10.1007/s10919-009-0071-4>
- Matsumoto, D., Seung Hee Yoo, & Fontaine, J. (2008). Mapping Expressive Differences Around the World: The Relationship Between Emotional Display Rules and Individualism Versus Collectivism. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 39(1), 55–74. <https://doi.org/10.1177/0022022107311854>
- McArthur, L. Z., & Baron, R. M. (1983). Toward an ecological theory of social perception. *Psychological Review*, 90(3), 215–238. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.90.3.215>
- McClure, E. B. (2000). A meta-analytic review of sex differences in facial expression processing and their development in infants, children, and adolescents. *Psychological Bulletin*, 126(3), 424–453. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.3.424>

- McClure, E. B., Monk, C. S., Nelson, E. E., Zarahn, E., Leibenluft, E., Bilder, R. M., Charney, D. S., Ernst, M., & Pine, D. S. (2004). A developmental examination of gender differences in brain engagement during evaluation of threat. *Biological Psychiatry*, 55(11), 1047–1055. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2004.02.013>
- McDuff, D., Kodra, E., Kaliouby, R. E., & LaFrance, M. (2017). A large-scale analysis of sex differences in facial expressions. *PLOS ONE*, 12(4), e0173942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173942>
- McGuinness, D. (1976). Away from a Unisex Psychology: Individual Differences in Visual Sensory and Perceptual Processes. *Perception*, 5(3), 279–294. <https://doi.org/10.1068/p050279>
- 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>
- Mermillod, M., Bonin, P., Mondillon, L., Alleysson, D., & Vermeulen, N. (2010). Coarse scales are sufficient for efficient categorization of emotional facial expressions: Evidence from neural computation. *Neurocomputing*, 73(13–15), 2522–2531. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2010.06.002>
- Mermillod, M., Vuilleumier, P., Peyrin, C., Alleysson, D., & Marendaz, C. (2009). The importance of low spatial frequency information for recognising fearful facial expressions. *Connection Science*, 21(1), 75–83. <https://doi.org/10.1080/09540090802213974>

- Morawetz, C., Baudewig, J., Treue, S., & Dechent, P. (2011). Effects of spatial frequency and location of fearful faces on human amygdala activity. *Brain Research*, 1371, 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.10.110>
- Morris, J. (1998). A neuromodulatory role for the human amygdala in processing emotional facial expressions. *Brain*, 121(1), 47–57. <https://doi.org/10.1093/brain/121.1.47>
- Morris, J. S., Frith, C. D., Perrett, D. I., Rowland, D., Young, A. W., Calder, A. J., & Dolan, R. J. (1996). A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions. *Nature*, 383(6603), 812–815. <https://doi.org/10.1038/383812a0>
- Morris, J. S., Öhman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4), 1680–1685. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1680>
- Morrison, D. J., & Schyns, P. G. (2001). Usage of spatial scales for the categorization of faces, objects, and scenes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(3), 454–469. <https://doi.org/10.3758/BF03196180>
- Musel, B., Kauffmann, L., Ramanoël, S., Giavarini, C., Guyader, N., Chauvin, A., & Peyrin, C. (2014). Coarse-to-fine Categorization of Visual Scenes in Scene-selective Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(10), 2287–2297. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00643
- Myers, K., Nelson, E.-L., Rabinowitz, T., Hilty, D., Baker, D., Barnwell, S. S., Boyce, G., Bufka, L. F., Cain, S., Chui, L., Comer, J. S., Cradock, C., Goldstein, F., Johnston, B., Krupinski, E., Lo, K., Luxton, D. D., McSwain, S. D., McWilliams, J., ... Bernard, J. (2017). American Telemedicine Association Practice Guidelines for Telemental Health with Children and Adolescents. *Telemedicine and E-Health*, 23(10), 779-804.

<https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0177>

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)

Nelson, N. L., & Russell, J. A. (2013). Universality Revisited. *Emotion Review*, 5(1), 8–15.

<https://doi.org/10.1177/1754073912457227>

Norman, J., & Ehrlich, S. (1987). Spatial frequency filtering and target identification. *Vision*

Research, 27(1), 87-96. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(87\)90145-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(87)90145-3)

Öhman, A. (2005). The role of the amygdala in human fear: Automatic detection of threat.

Psychoneuroendocrinology, 30(10), 953–958.

<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2005.03.019>

Öhman, A., Lundqvist, D., & Esteves, F. (2001). The face in the crowd revisited: A threat

advantage with schematic stimuli. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(3),

381–396. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.80.3.381>

Ojanpää, H., & Näsänen, R. (2003). Utilisation of spatial frequency information in face

search. *Vision Research*, 43(24), 2505–2515. [https://doi.org/10.1016/S0042-](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00459-0)

[6989\(03\)00459-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(03)00459-0)

Olderbak, S., Wilhelm, O., Hildebrandt, A., & Quoidbach, J. (2019). Sex differences in

facial emotion perception ability across the lifespan. *Cognition and Emotion*, 33(3),

579–588. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1454403>

Oliva, A., & Schyns, P. G. (1997). Coarse Blobs or Fine Edges? Evidence That Information

Diagnosticity Changes the Perception of Complex Visual Stimuli. *Cognitive*

Psychology, 34(1), 72–107. <https://doi.org/10.1006/cogp.1997.0667>

- Oosterhof, N. N., & Todorov, A. (2008). The functional basis of face evaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(32), 11087–11092.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0805664105>
- Oruc, I., & Barton, J. J. S. (2010). Critical frequencies in the perception of letters, faces, and novel shapes: Evidence for limited scale invariance for faces. *Journal of Vision*, 10(12), 20–20. <https://doi.org/10.1167/10.12.20>
- Oruc, I., Shafai, F., Murthy, S., Lages, P., & Ton, T. (2019). The adult face-diet : A naturalistic observation study. *Vision Research*, 157, 222-229.
<https://doi.org/10.1016/j.visres.2018.01.001>
- Ottaviani, C., Cevolani, D., Nucifora, V., Borlimi, R., Agati, R., Leonardi, M., De Plato, G., & Brighetti, G. (2012). Amygdala responses to masked and low spatial frequency fearful faces: A preliminary fMRI study in panic disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 203(2–3), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2011.12.010>
- Owsley, C., & Sloane, M. E. (1987). Contrast sensitivity, acuity, and the perception of “real-world” targets. *British Journal of Ophthalmology*, 71(10), 791–796.
<https://doi.org/10.1136/bjo.71.10.791>
- Özgen, E., Sowden, P., Schyns, P., & Daoutis, C. (2005). Top-down attentional modulation of spatial frequency processing in scene perception. *Visual Cognition*, 12(6), 925–937.
<https://doi.org/10.1080/13506280444000580>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00074>

- Palermo, R., & Coltheart, M. (2004). Photographs of facial expression: Accuracy, response times, and ratings of intensity. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(4), 634–638. <https://doi.org/10.3758/BF03206544>
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437–442.
- Pelli, D.G., Robson, J.G., & Wilkins, A. J. (1988). The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Science*, 2, 187-199.
- Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: From a “low road” to “many roads” of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(11), 773–782. <https://doi.org/10.1038/nrn2920>
- Peterson, M. A., & Rhodes, G. (Eds.). (2003). *Perception of faces, objects, and scenes: Analytic and holistic processes*. Oxford University Press.
- Plouffe-Demers, M.-P., Fiset, D., Saumure, C., Duncan, J., & Blais, C. (2019). Strategy Shift Toward Lower Spatial Frequencies in the Recognition of Dynamic Facial Expressions of Basic Emotions: When It Moves It Is Different. *Frontiers in Psychology*, 10, 1563. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01563>
- Plouffe-Demers, M.-P., Saumure, C., Fiset, D., Cormier, S., & Blais, C. (2023). Facial expression of pain: Sex differences in the discrimination of varying intensities. *Emotion*, 23(5), 1254–1266. <https://doi.org/10.1037/emo0001156>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of Attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Pourtois, G., Dan, E. S., Grandjean, D., Sander, D., & Vuilleumier, P. (2005). Enhanced extrastriate visual response to bandpass spatial frequency filtered fearful faces: Time

- course and topographic evoked-potentials mapping. *Human Brain Mapping*, 26(1), 65–79. <https://doi.org/10.1002/hbm.20130>
- Prins, N., & Kingdom, F. A. A. (2018). Applying the Model-Comparison Approach to Test Specific Research Hypotheses in Psychophysical Research Using the Palamedes Toolbox. *Frontiers in Psychology*, 9, 1250. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01250>
- Prkachin, K. M. (1992). The consistency of facial expressions of pain: A comparison across modalities. *Pain*, 51(3), 297–306. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(92\)90213-U](https://doi.org/10.1016/0304-3959(92)90213-U)
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Rogers, S. L., Speelman, C. P., Guidetti, O., & Longmuir, M. (2018). Using dual eye tracking to uncover personal gaze patterns during social interaction. *Scientific Reports*, 8(1), 4271. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22726-7>
- 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, C., Fiset, D., Taschereau-Dumouchel, V., Gosselin, F., & Rainville, P. (2013). A Refined Examination of the Facial Cues Contributing to Vicarious Effects on Self-Pain and Spinal Responses. *The Journal of Pain*, 14(11), 1475–1484. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.07.011>
- Roy, S., Roy, C., Fortin, I., Ethier-Majcher, C., Belin, P., & Gosselin, F. (2007). A dynamic facial expression database. *Journal of Vision*, 7(9), 944–944. <https://doi.org/10.1167/7.9.944>

- 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. <https://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>
- Rozin, P., Lowery, L., & Ebert, R. (1994). Varieties of disgust faces and the structure of disgust. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66(5), 870–881. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.66.5.870>
- Ruiz-Soler, M., & Beltran, F. S. (2006). Face perception: An integrative review of the role of spatial frequencies. *Psychological Research Psychologische Forschung*, 70(4), 273–292. <https://doi.org/10.1007/s00426-005-0215-z>
- Russell, J. A. (1994). Is there universal recognition of emotion from facial expression? A review of the cross-cultural studies. *Psychological Bulletin*, 115(1), 102–141. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.115.1.102>
- Santos, A., Rondan, C., Rosset, D. B., Da Fonseca, D., & Deruelle, C. (2008). Mr. Grimace or Ms. Smile: Does Categorization Affect Perceptual Processing in Autism? *Psychological Science*, 19(1), 70–76. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02048.x>
- Saumure, C., Plouffe-Demers, M.-P., Estéphan, A., Fiset, D., & Blais, C. (2018). The use of visual information in the recognition of posed and spontaneous facial expressions. *Journal of Vision*, 18(9), 21. <https://doi.org/10.1167/18.9.21>

- Saumure, C., Plouffe-Demers, M.-P., Fiset, D., Cormier, S., Zhang, Y., Sun, D., Feng, M., Luo, F., Kunz, M., & Blais, C. (2023). Differences Between East Asians and Westerners in the Mental Representations and Visual Information Extraction Involved in the Decoding of Pain Facial Expression Intensity. *Affective Science*, 4(2), 332–349. <https://doi.org/10.1007/s42761-023-00186-1>
- Sauter, D. A., Eisner, F., Calder, A. J., & Scott, S. K. (2010). Perceptual Cues in Nonverbal Vocal Expressions of Emotion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(11), 2251–2272. <https://doi.org/10.1080/17470211003721642>
- Scheller, E., Büchel, C., & Gamer, M. (2012). Diagnostic Features of Emotional Expressions Are Processed Preferentially. *PLoS ONE*, 7(7), e41792. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041792>
- Schmidt, K. L., & Cohn, J. F. (2001). Human facial expressions as adaptations: Evolutionary questions in facial expression research. *American Journal of Physical Anthropology, Suppl 33*, 3–24. <https://doi.org/10.1002/ajpa.2001>
- Schultz, J., & Pilz, K. S. (2009). Natural facial motion enhances cortical responses to faces. *Experimental Brain Research*, 194(3), 465–475. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1721-9>
- Schurgin, M. W., Nelson, J., Iida, S., Ohira, H., Chiao, J. Y., & Franconeri, S. L. (2014). Eye movements during emotion recognition in faces. *Journal of Vision*, 14(13), 14–14. <https://doi.org/10.1167/14.13.14>
- Schyns, P. G. (1998). Diagnostic recognition: Task constraints, object information, and their interactions. *Cognition*, 67(1–2), 147–179. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00016-X)

- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1994). From Blobs to Boundary Edges: Evidence for Time- and Spatial-Scale-Dependent Scene Recognition. *Psychological Science*, 5(4), 195–200.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1994.tb00500.x>
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: When categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, 69(3), 243–265. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00069-9)
- Shariff, A. F., & Tracy, J. L. (2011). What Are Emotion Expressions For? *Current Directions in Psychological Science*, 20(6), 395–399.
<https://doi.org/10.1177/0963721411424739>
- Simon, D., Craig, K. D., Gosselin, F., Belin, P., & Rainville, P. (2008). Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and emotions. *Pain*, 135(1), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2007.05.008>
- Simpson, S. (2009). Psychotherapy via videoconferencing: A review. *British Journal of Guidance & Counselling*, 37(3), 271–286. <https://doi.org/10.1080/03069880902957007>
- Smith, F. W., & Rossit, S. (2018). Identifying and detecting facial expressions of emotion in peripheral vision. *PLOS ONE*, 13(5), e0197160.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197160>
- Smith, F. W., & Schyns, P. G. (2009). Smile Through Your Fear and Sadness: Transmitting and Identifying Facial Expression Signals Over a Range of Viewing Distances. *Psychological Science*, 20(10), 1202–1208. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02427.x>

- 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., & 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>
- Société Canadienne de Psychologie. (2023). *Lignes directrices de la SCP sur la télépsychologie*. https://cpa.ca/docs/File/Practice/Telepsychology_Guidelines-September_2023-FR_FINAL.pdf
- Sokhn, N., Bertoli, F., & Caldara, R. (2017). A left eye bias for female faces. 2017 9th *International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 274–278.
<https://doi.org/10.1109/KST.2017.7886129>
- Sorokowska, A., Sorokowski, P., Hilpert, P., Cantarero, K., Frackowiak, T., Ahmadi, K., Alghraibeh, A. M., Aryeetey, R., Bertoni, A., Bettache, K., Blumen, S., Błażejewska, M., Bortolini, T., Butovskaya, M., Castro, F. N., Cetinkaya, H., Cunha, D., David, D., David, O. A., ... Pierce, J. D. (2017). Preferred Interpersonal Distances: A Global Comparison. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 48(4), 577–592.
<https://doi.org/10.1177/0022022117698039>
- Sowden, P. T., & Schyns, P. G. (2006). Channel surfing in the visual brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12), 538–545. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.10.007>
- Srivastava, P., & Srinivasan, N. (2010). Time course of visual attention with emotional faces. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(2), 369–377.
<https://doi.org/10.3758/APP.72.2.369>

- Staugaard, S. R. (2010). Threatening faces and social anxiety: A literature review. *Clinical Psychology Review*, 30(6), 669–690. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.05.001>
- Stein, T., Seymour, K., Hebart, M. N., & Sterzer, P. (2014). Rapid Fear Detection Relies on High Spatial Frequencies. *Psychological Science*, 25(2), 566–574. <https://doi.org/10.1177/0956797613512509>
- Stevens, J. S., & Hamann, S. (2012). Sex differences in brain activation to emotional stimuli: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Neuropsychologia*, 50(7), 1578–1593. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.011>
- Susskind, J. M., Lee, D. H., Cusi, A., Feiman, R., Grabski, W., & Anderson, A. K. (2008). Expressing fear enhances sensory acquisition. *Nature Neuroscience*, 11(7), 843–850. <https://doi.org/10.1038/nn.2138>
- Sweeny, T. D., Suzuki, S., Grabowecky, M., & Paller, K. A. (2013). Detecting and categorizing fleeting emotions in faces. *Emotion*, 13(1), 76–91. <https://doi.org/10.1037/a0029193>
- Tadros, K., Dupuis-Roy, N., Fiset, D., Arguin, M., & Gosselin, F. (2013). Reading laterally: The cerebral hemispheric use of spatial frequencies in visual word recognition. *Journal of Vision*, 13(1), 4–4. <https://doi.org/10.1167/13.1.4>
- Tamietto, M., & De Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(10), 697–709. <https://doi.org/10.1038/nrn2889>
- Tardif, J., Fiset, D., Zhang, Y., Estéphan, A., Cai, Q., Luo, C., Sun, D., Gosselin, F., & Blais, C. (2017). Culture shapes spatial frequency tuning for face identification. *Journal*

of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 43(2), 294–306.

<https://doi.org/10.1037/xhp0000288>

Thomas, N., McDonald, C., De Boer, K., Brand, R. M., Nedeljkovic, M., & Seabrook, L.

(2021). Review of the current empirical literature on using videoconferencing to deliver individual psychotherapies to adults with mental health problems. *Psychology and Psychotherapy: Theory, Research and Practice*, 94(3), 854–883.

<https://doi.org/10.1111/papt.12332>

Thompson, A. E., & Voyer, D. (2014). Sex differences in the ability to recognise non-verbal displays of emotion: A meta-analysis. *Cognition and Emotion*, 28(7), 1164–1195.

<https://doi.org/10.1080/02699931.2013.875889>

Vaidya, A. R., Jin, C., & Fellows, L. K. (2014). Eye spy: The predictive value of fixation patterns in detecting subtle and extreme emotions from faces. *Cognition*, 133(2), 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2014.07.004>

Van Der Donck, S., Tang, T., Dzhelyova, M., Wagemans, J., & Boets, B. (2020).

Pinpointing the optimal spatial frequency range for automatic neural facial fear processing. *NeuroImage*, 221, 117151.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117151>

Vassallo, S., Cooper, S. L., & Douglas, J. M. (2009). Visual scanning in the recognition of facial affect: Is there an observer sex difference? *Journal of Vision*, 9(3), 11–11.

<https://doi.org/10.1167/9.3.11>

Vlamings, P. H. J. M., Goffaux, V., & Kemner, C. (2009). Is the early modulation of brain activity by fearful facial expressions primarily mediated by coarse low spatial frequency information? *Journal of Vision*, 9(5), 12–12. <https://doi.org/10.1167/9.5.12>

- Vlamings, P. H. J. M., Jonkman, L. M., Van Daalen, E., Van Der Gaag, R. J., & Kemner, C. (2010). Basic Abnormalities in Visual Processing Affect Face Processing at an Early Age in Autism Spectrum Disorder. *Biological Psychiatry*, 68(12), 1107–1113.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.06.024>
- Vuilleumier, P. (2005). How brains beware: Neural mechanisms of emotional attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 585–594.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.011>
- 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>
- Wang, H., & Legge, G. E. (2018). Comparing the minimum spatial-frequency content for recognizing Chinese and alphabet characters. *Journal of Vision*, 18(1), 1.
<https://doi.org/10.1167/18.1.1>
- Wang, L., McCarthy, G., Song, A. W., & LaBar, K. S. (2005). Amygdala Activation to Sad Pictures During High-Field (4 Tesla) Functional Magnetic Resonance Imaging. *Emotion*, 5(1), 12–22. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.12>
- Wang, S., Eccleston, C., & Keogh, E. (2015). The role of spatial frequency information in the recognition of facial expressions of pain. *Pain*, 156(9), 1670–1682.
<https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000226>
- Wang, S., Eccleston, C., & Keogh, E. (2017). The role of spatial frequency information in the decoding of facial expressions of pain: A novel hybrid task. *Pain*, 158(11), 2233–2242. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001031>

- 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>
- Wehrle, T., Kaiser, S., Schmidt, S., & Scherer, K. R. (2000). Studying the dynamics of emotional expression using synthesized facial muscle movements. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(1), 105–119. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.78.1.105>
- Wenger, M. J., & Townsend, J. T. (2000). Spatial frequencies in short-term memory for faces: A test of three frequency-dependent hypotheses. *Memory & Cognition*, 28(1), 125–142. <https://doi.org/10.3758/BF03211581>
- Whalen, P. J., Shin, L. M., McInerney, S. C., Fischer, H., Wright, C. I., & Rauch, S. L. (2001). A functional MRI study of human amygdala responses to facial expressions of fear versus anger. *Emotion*, 1(1), 70–83. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.1.70>
- Widen, S. C., & Russell, J. A. (2015). Do Dynamic Facial Expressions Convey Emotions to Children Better Than Do Static Ones? *Journal of Cognition and Development*, 16(5), 802–811. <https://doi.org/10.1080/15248372.2014.916295>
- Willenbockel, V., Fiset, D., Chauvin, A., Blais, C., Arguin, M., Tanaka, J. W., Bub, D. N., & Gosselin, F. (2010). 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., Lepore, F., Nguyen, D. K., Bouthillier, A., & Gosselin, F. (2012). Spatial Frequency Tuning during the Conscious and Non-Conscious Perception of Emotional Facial Expressions – An Intracranial ERP Study. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00237>

- Willenbockel, V., Sadr, J., Fiset, D., Horne, G. O., Gosselin, F., & Tanaka, J. W. (2010). Controlling low-level image properties: The SHINE toolbox. *Behavior Research Methods*, 42(3), 671–684. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.3.671>
- Williams, A. C. D. C. (2002). Facial expression of pain: An evolutionary account. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(04). <https://doi.org/10.1017/S0140525X02000080>
- Williams, M. A., McGlone, F., Abbott, D. F., & Mattingley, J. B. (2005). Differential amygdala responses to happy and fearful facial expressions depend on selective attention. *NeuroImage*, 24(2), 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.08.017>
- Wylie, J., Tracy, R. E., & Young, S. G. (2023). The effects of spatial frequency on the decoding of emotional facial expressions. *Emotion*, 23(5), 1423-1439. <https://doi.org/10.1037/emo0001115>
- Winston, J. S., O’Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Common and distinct neural responses during direct and incidental processing of multiple facial emotions. *NeuroImage*, 20(1), 84–97. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00303-3](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00303-3)
- Wrase, J., Klein, S., Gruesser, S. M., Hermann, D., Flor, H., Mann, K., Braus, D. F., & Heinz, A. (2003). Gender differences in the processing of standardized emotional visual stimuli in humans: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 348(1), 41–45. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00565-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00565-2)
- Xu, X., & Biederman, I. (2010). Loci of the release from fMRI adaptation for changes in facial expression, identity, and viewpoint. *Journal of Vision*, 10(14), 36–36. <https://doi.org/10.1167/10.14.36>

- Yamamoto, H., Kawahara, M., Kret, M., & Tanaka, A. (2020). Cultural Differences in Emoticon Perception: Japanese See the Eyes and Dutch the Mouth of Emoticons. *Letters on Evolutionary Behavioral Science*, 11(2), 40–45.
<https://doi.org/10.5178/lebs.2020.80>
- 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, 104518.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.104518>
- Yuki, M., Maddux, W. W., & Masuda, T. (2007). Are the windows to the soul the same in the East and West? Cultural differences in using the eyes and mouth as cues to recognize emotions in Japan and the United States. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43(2), 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2006.02.004>
- Zangani, C., Ostinelli, E. G., Smith, K. A., Hong, J. S. W., Macdonald, O., Reen, G., Reid, K., Vincent, C., Syed Sheriff, R., Harrison, P. J., Hawton, K., Pitman, A., Bale, R., Fazel, S., Geddes, J. R., & Cipriani, A. (2022). Impact of the COVID-19 Pandemic on the Global Delivery of Mental Health Services and Telemental Health: Systematic Review. *JMIR Mental Health*, 9(8), e38600. <https://doi.org/10.2196/38600>
- Zebrowitz, L. A., & Montepare, J. M. (2008). Social Psychological Face Perception: Why Appearance Matters. *Social and Personality Psychology Compass*, 2(3), 1497–1517.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2008.00109.x>

ANNEXE

Liste des autres contributions scientifiques produites pendant la période du doctorat

Revue avec comité de lecture :

Charbonneau, I., Guérette, J., Cormier, S., Blais, C., Lalonde-Beaudoin, G., Smith, F. W., & Fiset, D. (2021). The role of spatial frequencies for facial pain categorization. *Scientific Reports*, 11(1), 14357. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93776-7>

Charbonneau, I., Robinson, K., Blais, C., & Fiset, D. (2020). Implicit race attitudes modulate visual information extraction for trustworthiness judgments. *PLOS ONE*, 15(9), e0239305. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239305>

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>

Chapitre de livre :

Charbonneau, I., Ledrou-Paquet, V., Audette, P-L. & Fiset, D. (2022). Perception des visages : effet de l’ethnie, racisme, préjugés et déshumanisation. Dans V. Denault (dir.), *Enquêtes, procès et justice : La science au service de la pratique* (vol. 2). Éditions Yvon Blais.