



Bases neuronales et cognitives du traitement de la hiérarchie sociale chez l'humain

Audrey Breton

► To cite this version:

Audrey Breton. Bases neuronales et cognitives du traitement de la hiérarchie sociale chez l'humain. Neurosciences. Université Claude Bernard Lyon 1, 2015. Français. NNT: . tel-02483489

HAL Id: tel-02483489

<https://hal.science/tel-02483489>

Submitted on 18 Feb 2020

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

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

THÈSE DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Ecole doctorale Neurosciences et Cognition (ED 476)

Université Claude Bernard Lyon 1

Audrey BRETON

Pour l'obtention du DIPLOME DE DOCTORAT (arrêté du 7 août 2006)

Bases neuronales et cognitives
du traitement de la hiérarchie sociale chez l'humain

Sous la direction de : Dr Jean-Baptiste Van der Henst

Soutenue publiquement le : 18 décembre 2015

Membres du Jury :

Dr Jean-Baptiste Van der Henst, directeur de thèse

Pr Harold Mouras, rapporteur

Dr Frédéric Dehais, rapporteur

Dr Jean-Yves Baudouin, examinateur

Dr Pierre Krolak Salmon, examinateur

Dr Philippe Boulinguez, examinateur

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire

Vice-président du Conseil Scientifique

Directeur Général des Services

M. François-Noël GILLY

M. le Professeur Hamda BEN HADID

M. le Professeur Philippe LALLE

M. le Professeur Germain GILLET

M. Alain HELLEU

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles
Mérieux

Faculté d'Odontologie

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie
Humaine

Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE

Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON

Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS

Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA

Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON

Directeur : Mme. la Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Département Biologie

Département Chimie Biochimie

Département GEP

Département Informatique

Département Mathématiques

Département Mécanique

Département Physique

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon

Polytech Lyon

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. F. DE MARCHI

Directeur : M. le Professeur F. FLEURY

Directeur : Mme Caroline FELIX

Directeur : M. Hassan HAMMOURI

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

Directeur : M. le Professeur Georges TOMANOV

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

Directeur : M. Jean-Claude PLENET

Directeur : M. Y. VANPOULLE

Directeur : M. B. GUIDERDONI

Directeur : M. P. FOURNIER

Directeur : M. G. PIGNAULT

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE

Directeur : M. N. LEBOISNE

Ithaque

Quand tu prendras le chemin vers Ithaque
Souhaite que dure le voyage,
Qu'il soit plein d'aventures et plein
d'enseignements.

Les Lestrygons et les Cyclopes,
Les fureurs de Poséidon, ne les redoute pas.
Tu ne les trouveras pas sur ton trajet
Si ta pensée demeure sereine, si seuls de purs
Émois effleurent ton âme et ton corps.
Les Lestrygons et les Cyclopes,
Les violences de Poséidon, tu ne les verras pas
A moins de les receler en toi-même
Ou à moins que ton âme ne les dresse devant
toi.

Souhaite que dure le voyage.
Que nombreux soient les matins d'été où
Avec quelle ferveur et quelle délectation
Tu aborderas à des ports inconnus !
Arrête-toi aux comptoirs phéniciens
Acquiers-y de belles marchandises
Nacres, coraux, ambres et ébènes
Et toutes sortes d'entêtants parfums
Le plus possible d'entêtants parfums,
Visite aussi les nombreuses cités de l'Égypte
Pour t'y instruire, t'y initier auprès des sages.

Et surtout n'oublies pas Ithaque.
Y parvenir est ton unique but.
Mais ne presse pas ton voyage
Prolonge-le le plus longtemps possible
Et n'atteint l'île qu'une fois vieux,
Riche de tous les gains de ton voyage
Tu n'auras plus besoin qu'Ithaque t'enrichisse.

Ithaque t'a accordé le beau voyage,
Sans- elle, tu ne serais jamais parti.
Elle n'a rien d'autre à te donner.
Et si pauvre qu'elle te paraisse
Ithaque ne t'aura pas trompé.
Sage et riche de tant d'acquis
Tu auras compris ce que signifient les
Ithagues

Constantin Cavafy (1911)
Traduction de Marguerite Yourcenar

Ίθάκη

Σὰ βγεῖς στὸν πηγαμιὸ γιὰ τὴν Ίθάκη,
νὰ εὐχεσαι νᾶναι μακρὺς ὁ δρόμος,
γεμάτος περιπέτειες, γεμάτος γνώσεις.

Τοὺς Λαιστρυγόνας καὶ τοὺς Κύκλωπας,
τὸν θυμωμένο Ποσειδῶνα μὴ φοβᾶσαι,
τέτοια στὸν δρόμο σου ποτὲ σου δὲν θὰ βρεῖς,
ἂν μὲν ἡ σκέψις σου ὑψηλὴ, ἂν ἐκλεκτὴ
συγκίνησις τὸ πνεῦμα καὶ τὸ σῶμα σου
ἀγγίζει.

Τοὺς Λαιστρυγόνας καὶ τοὺς Κύκλωπας,
τὸν ἄγριο Ποσειδῶνα δὲν θὰ συναντήσεις,
ἂν δὲν τοὺς κουβανεῖς μὲς στὴν ψυχὴ σου,
ἂν ἡ ψυχὴ σου δὲν τοὺς στήνει ἐμπρὸς σου.

Νὰ εὐχεσαι νὰ ᾖ μακρὺς ὁ δρόμος.
Πολλὰ τὰ καλοκαιρινὰ πρωῒα νὰ εἶναι
ποὺ μὲ τί εὐχαρίστηση, μὲ τί χαρὰ
θὰ μπαίνεις σὲ λιμένας πρωτοειδωμένους·

νὰ σταματήσεις σ' ἐμπορεῖα Φοινικικά,
καὶ τὲς καλὲςπραγμάτειες ν' ἀποκτήσεις,
σεντέφια καὶ κοράλλια, κεχριμπάρια κ'
ἔβενους,
καὶ ἡδονικὰ μυρωδικὰ κάθε λογῆς,
ὅσο μπορεῖς πρὸς ἄφθονα ἡδονικὰ μυρωδικά.

Σὲ πόλεις Αἰγυπτιακὲς πολλὰς νὰ πᾶς,
νὰ μάθεις καὶ νὰ μάθεις ἀπ' τοὺς
σπουδασμένους.
Πάντα στὸ νοῦ σου νᾶχης τὴν Ίθάκη.
Τὸ φθάσιμον ἐκεῖ εἶν' ὁ προορισμός σου.

Ἀλλὰ μὴ βιάζης τὸ ταξείδι διόλου.
Καλλίτερα χρόνια πολλὰ νὰ διαρκέσει.
Καὶ γέρος πιά ν' ἀράξης στὸ νησί,
πλούσιος μὲ ὅσα κέρδισες στὸν δρόμο,
μὴ προσδοκῶντας πλούτη νὰ σὲ δώσῃ ἡ
Ίθάκη.

Ἡ Ίθάκη σ' ἔδωσε τ' ὥραϊο ταξίδι.
Χωρὶς αὐτὴν δὲν θᾶβγαινες στὸν δρόμο.
Ἄλλα δὲν ἔχει νὰ σὲ δώσει πιά.

Κι ἂν πτωχικὴ τὴν βρῇς, ἡ Ίθάκη δὲν σὲ
γέλασε.
Ἔτσι σοφὸς ποὺ ἔγινες, μὲ τόση πείρα,
ἤδη θὰ τὸ κατάλαβες ἡ Ίθάκη τί σημαίνουν.

Merci

Ithaque ne symbolise pas que le but, cette thèse. Ithaque fait référence à tout le chemin parcouru depuis, à toutes les expériences vécues. Pour arriver exactement à ce point précis. Ce manuscrit est l'aboutissement de quatre années de recherches. Mais dans ces deux pages, je voudrais parler de tout le reste. J'étais à mille lieues d'imaginer il y a quatre ans que j'allais vivre une aventure humaine d'une telle richesse. J'ai été entourée de personnes toutes plus extraordinaires les unes que les autres. Et j'aimerais qu'elles sachent à quelle point leur rencontre m'a marquée, leur présence et leur soutien m'ont touchée, et à quel point je leur en suis reconnaissante. Elles ont fait de ces années un périple inoubliable. Grâce à tous ceux qui m'ont accompagnée pendant ce voyage, mon bateau ne s'est jamais échoué. A tous ceux-là, du fond du cœur, je voudrais dire merci.

Flora et Romain, mes deux compagnons de cabine, sans qui mon quotidien aurait été beaucoup plus tumultueux. Par leur bienveillance, toutes leurs petites attentions qui se passent de mots, ils m'ont préservée et m'ont créé la bulle où j'allais me cacher.

A Mathilde et Raphaël, deux points de repères, les étoiles du berger. Armelle et Pia, pour les horizons différents, Nicola pour la sagesse, Laurent, Sébastien, Marie, Laure, Pierre, Martina et Mina, pour tous les échanges aux odeurs de café et cigarette. Maude, la main sur votre épaule pour vous dire que tout ira bien.

Quentin, joyeux moussaillon, parce que je lui avais promis. A Aurianne, Justine et Amandine, les sirènes, pour leur bonne humeur contagieuse, la gentillesse sans limite, et le support donné sans concession.

Tatjana et Yves, les vétérans. Ce que je garde, ce seront leurs blagues. Merci à Anne, Pierre, Karim, Marie-Anne, Jean-Yves pour leur disponibilité, tous leurs avis éclairés. Des lumières chaleureuses sur le chemin. Merci à Philippe, pour la chance qu'il m'a donnée de découvrir une nouvelle voie, pour le plaisir que j'ai pris à enseigner.

A Thomas, pour m'avoir oubliée la seconde fois. Merci pour toute cette générosité. Tout le monde devrait avoir un Thomas dans sa vie. Capable de trouver une solution à n'importe quel problème.

Manu, pour avoir protégé mon radeau des récifs, l'avoir réparé pendant que je dormais, à grand coups d'arguments, de rire à n'en plus finir, et de tarte aux pralines. De l'énergie illimitée, capable de prendre le gouvernail à n'importe quelle heure. Merci d'avoir relancé le moteur et pour tout ce précieux carburant.

Il y a ces soutiens intemporels qui, même s'ils ne sont pas toujours à vos côtés, sentent quand le vent s'amenuise et redonne le souffle qui manquait dans vos voiles.

Merci à Clara, pour tout ce qu'elle m'a appris. Parce que c'est elle la première qui a fait naître chez moi l'envie de prendre la mer et qui m'a montrée comment faire.

Rawan, figure de proue de mon bateau, elle avait déjà tracé un morceau de ma route. Elle aura été mon canot de sauvetage, la main fraternelle qui me repêche au fond de l'eau. A Tiffany aussi, pour à peu près les mêmes raisons, avec les bruits de talon en plus. Et Mariia, que je ne peux absolument pas oublier.

Flavia et Ben (et la petite Rita), pour avoir confectionné des îlots de sérénité et de tendresse pendant tout le voyage. Merci à Manuela.

A Elisa, Marion et Emma, ainsi qu'à Amandine, mes pirates adorées, pour leur soutien et leur amour inconditionnels qui résistent à tout, et surtout au temps, pour ma plus grande fierté. Prêtes à m'accompagner dans n'importe quelle aventure, leur amitié est mon trésor.

Sans oublier Imen, Anna, et Clotilde, d'autres exploratrices qui sillonnent les mêmes océans que moi. Pour n'avoir jamais laissé aucune de mes bouteilles à la mer sans réponse.

A ma mère, mon père, à Margaux qui, chacun à leur manière, ont toujours tout fait pour que je ne prenne jamais (complètement) l'eau. Prêts à pousser pour moi, envers et contre tout, vents et marées surtout. Et puis mon oncle et ma tante aussi, pour leur vision de la vie et leur petit grain de folie.

...Et il y a ceux qui ont été le voyage. Ceux qui lui ont donné sa direction, sa couleur, et sans qui il n'aurait sans doute pas eu autant de sens.

Romain, le paquebot lancé à toute vitesse en parallèle. Pour toutes ses vagues qui ont rythmé une grande partie de mon trajet. Merci d'avoir balancé ces cordes par-dessus bord pour créer des liens. Même si aujourd'hui, je ne me souviens plus tout à fait pourquoi, je saurai toujours qu'elles ont été là.

Eric. Avec qui j'ai entrepris ce voyage vers Ithaque. Qui a cloué une à une les planches de bois pour construire ce bateau avec moi. Celui qui a mis toute son énergie pour m'aider à le mettre à l'eau et pour que je garde le cap. Merci de m'avoir accompagnée jusqu'à être certain que je puisse rester à flot.

Jean-Baptiste, capitaine aguerri embarqué à bord. Sans qui je n'aurais jamais osé quitter le port. Merci infiniment pour toutes ces heures passées à explorer les cartes des océans. Merci de m'avoir aidée à trouver la bonne direction, celle qui me ressemblait le plus. Pour m'avoir toujours poussée, et soutenue, même quand je partais en dehors des sentiers battus. Aussi pour l'humour les jours de pluie. La meilleure des boussoles que je pouvais espérer trouver, et que maintenant, j'ai un peu peur de laisser.

A toi. Qui a pris place sur le pont sans faire de bruit, quand je ne voyais plus le phare. Pour avoir tenu bon dans les tempêtes. Pour avoir resserré consciencieusement tous mes cordages et avoir soutenu à bout de bras le mât quand il manquait de s'effondrer. Merci. Pour le refuge que tu m'as construit et pour l'ancre que tu m'as forgée. Le reste, que je n'écris pas, tu le sais.

*
* *

RESUME

Ma thèse porte sur une dimension fondamentale de la structure des groupes sociaux : la hiérarchie. Chez l'être humain, les hiérarchies sociales régissent en profondeur les interactions. Pour naviguer avec succès dans son environnement, il doit être en mesure de repérer précisément les positions hiérarchiques des autres membres de son groupe. Ce travail de thèse vise à caractériser certains mécanismes neuronaux, comportementaux et physiologiques impliqués dans l'analyse d'un indice hiérarchique. Pour préciser la nature du traitement de la hiérarchie, j'ai exploré son influence sur différentes étapes de la perception des visages. Je me suis tout d'abord intéressée au décours temporel du traitement neuronal des visages dans un contexte hiérarchique. Deux études menées en électroencéphalographie m'ont permis d'identifier les potentiels neuronaux et les composants oscillatoires évoqués par la perception de visages associés soit, à un rang hiérarchique établi à l'issue d'une compétition, soit à un statut social induit par la profession. Une étude réalisée ensuite en oculométrie avait pour but de capturer l'influence de la hiérarchie sur des mécanismes fins du contrôle de l'attention visuelle. J'ai étudié à la fois l'exploration visuelle de classements hiérarchiques incluant le participant, et celle de visages associés à des rangs hiérarchiques différents. Enfin, j'ai tenté de déterminer si un signal ou une situation d'asymétrie hiérarchique véhicule une valence émotionnelle et motivationnelle non neutre susceptible d'induire des variations de certains paramètres physiologiques, comme le rythme cardiaque ou la réponse électrodermale.

Mots-clefs :

Hiérarchie sociale, perception des visages, N170, LPP, eye-tracking

Discipline :

Neurosciences cognitives

Intitulé et adresse du laboratoire :

Laboratoire Langage, Cerveau et Cognition (UMR 5304 – CNRS)

Institut des Sciences Cognitives

67 boulevard Pinel – 69675 BRON

SUMMARY:

Hierarchy is a key organizational feature of social groups. In order to successfully navigate their social environment, humans must precisely read the hierarchical position of others during social interaction. This present thesis intends to characterize the neural correlates as well as the early physiological and behavioral mechanisms involved in the processing of social rank. The influence of hierarchy was mainly investigated in the context of face perception. To begin, my focus was on the time course of neuronal processing of faces embedded in a hierarchical context. Using electroencephalography in two studies, it has been possible to identify evoked neuronal potentials and oscillatory components in response to faces varying in hierarchical rank, established through competition or social status induced by profession. The next study used eye-tracking methodology to explore the influence of hierarchy on the subtle mechanisms of visual attention control. I aimed at characterizing the visual scanning pattern of hierarchical rankings (during a competition) and of faces associated with different hierarchical ranks. Finally, I tried to determine if a hierarchical signal or a social asymmetrical situation conveyed an emotional/motivational valence. During face perception and a minimal social interaction, I examined if this particular dimension of hierarchy generated variations of physiological activity, such as heart rate and skin conductance response.

Key-words:

Social rank, Face perception, N170, LPP, eye-tracking

Tables des Matières

Introduction.....	6
Chapitre I. Un univers social stratifié	9
I.1. Des ressources naturelles limitées.....	9
I.2. Les différentes dimensions de la hiérarchie.....	10
I.3. La prévalence des organisations hiérarchiques	12
I.3.1. Dans toutes les espèces sociales animales	12
I.3.2. Dans toutes les sociétés humaines	13
I.3.3. Dès leur plus jeune âge.....	14
I.3.4. Entre les hommes et les femmes	14
a) La notion de genre	14
b) Genre et asymétrie sociale	15
I.4. Les conséquences de hiérarchiser les individus.....	18
I.4.1. Hiérarchie et succès reproductif.....	18
I.4.2. L'impact du statut social sur la cognition	19
a) Jugements moraux, empathie et langage.....	19
b) Fonctions exécutives et mnésiques	20
I.4.3. Les effets sur le système nerveux autonome	22
I.4.4. Les effets sur le plan physiologique et génétique.....	24
Chapitre II. Percevoir la hiérarchie et s'y adapter.....	27
II.1. La hiérarchie : éthologie et développement.....	27
II.1.1. Le traitement de la hiérarchie chez l'animal.....	27
II.1.2. Aptitude de l'enfant à détecter la hiérarchie	28
II.2. Les mécanismes de traitement de la hiérarchie chez l'adulte	29
II.2.1. Les indices utilisés pour détecter le statut des autres	29
II.2.2. Une stratégie comportementale de bas niveau.....	32
a) L'orientation préférentielle de l'attention visuospatiale.....	32
b) L'attribution d'une valence motivationnelle non neutre.....	34
II.2.3. Les corrélats cérébraux du traitement de la hiérarchie.....	37
a) Le traitement des caractéristiques perceptuelles	38
b) L'association à une valence affective/de récompense	39

c) Le traitement des magnitudes	42
d) Les aires du traitement exécutif.....	43
Chapitre III. L'influence du contexte social sur la perception des visages	47
III.1. Le stimulus le plus pertinent socialement.....	47
III.2. Des experts du traitement des visages.....	48
III.2.1. Une exploration visuelle très stéréotypée	48
III.2.2. La spécificité de la reconnaissance faciale.....	50
a) Un système expert	50
b) Le rôle fondamental de la configuration faciale	50
c) Le module de reconnaissance des visages.....	51
III.3. Les marqueurs électrophysiologiques précoces du traitement des visages.....	53
III.3.1. Une première étape autour de 100 ms.....	53
III.3.2. L'onde des visages à 170 ms	54
III.4. Percevoir les visages dans un contexte social	57
III.4.1. L'encodage visuel de la structure des visages.....	57
a) Influencé par certaines catégories sociales.....	57
b) Et influencé par la hiérarchie ?	60
III.4.2. L'encodage neuronal de la structure des visages	61
a) Influencé par certaines catégories sociales.....	61
b) Et influencé par la hiérarchie ?	62
Chapitre IV. Objectifs expérimentaux	67
IV.1. Induire expérimentalement la hiérarchie.....	67
IV.2. Instaurer une hiérarchie contextuelle.....	68
IV.3. Percevoir la hiérarchie par rapport à soi ou de manière allocentrique	68
Chapitre V. Etude 1.....	70
V.1. Introduction	70
V.2. Material and Methods.....	73
V.2.1. Ethics Statement.....	73
V.2.2. Participants.....	73
V.2.3. Stimuli.....	74
V.2.4. Design and Procedure	74

a) Phase 1: game phase.....	75
b) Phase 2: ranking restitution phase.....	76
c) Phase 3: rank evaluation phase.....	77
V.2.5. EEG recordings.....	77
a) ERPs analysis.....	78
b) Time-frequency analysis.....	78
V.3. Results	80
V.3.1. Behavioral data	80
V.3.2. Electrophysiological data	80
a) P100.....	80
b) N170.....	80
c) Late Positive Potential	80
V.3.3. Oscillatory components: Alpha rhythms	83
V.4. Discussion.....	85
Chapitre VI. Transition vers les autres études.....	92
Chapitre VII. Etude 2	99
VII.1. Introduction.....	99
VII.1.1. Gaze allocation in one's own hierarchy	101
VII.1.2. Gaze allocation to faces embedded in a hierarchy.....	103
VII.2. Material and Methods	105
VII.2.1. Participants	105
VII.2.2. Stimuli	105
VII.2.3. Design and procedure	106
a) Phase 1: hierarchy learning.....	108
b) Phase 2: ranking restitution.	108
c) Phase 3: rank categorization.....	109
VII.2.4. Eye recordings.....	109
VII.2.5. Data analysis and statistics.....	110
VII.3. Results.....	112
VII.3.1. Hierarchy learning phase: ocular pattern.....	112
a) Participants in the highest vs. lowest ranking position	112
b) Participants in the middle ranking position	117
VII.3.2. Faces exploration pattern according to hierarchical rank.....	119

VII.3.3. Face's rank evaluation phase: behavioral results.....	121
VII.4. Discussion	122
Chapitre VIII. Etude 3.....	129
VIII.1. Introduction	129
VIII.2. Methods	133
VIII.2.1. Participants.....	133
VIII.2.2. Stimuli.....	133
VIII.2.3. Design and Procedure.....	134
VIII.2.4. EEG recordings.....	138
VIII.2.5. ERPs Analysis.....	139
VIII.2.6. Behavioral Analysis	140
VIII.3. Results : Status-face association phase.....	141
VIII.3.1. Behavioral data	141
VIII.3.2. Electrophysiological data	142
a) N70	142
b) P100	142
c) N170	143
d) P300-like component.....	144
e) Late Positive Potential.....	145
VIII.4. Results: Faces recall phase.....	149
VIII.4.1. Behavioral data related to faces recall	149
VIII.4.2. Behavioral data related to status recall.....	150
VIII.5. Discussion.....	150
Chapitre IX. Préliminaire - Etude 4	157
Chapitre X. Etude 4	160
X.1. Introduction	160
X.2. Material and Methods	164
X.2.1. Participants.....	164
X.2.2. Experimenters' confederates	164
X.2.3. Procedure and design.....	165
X.2.4. Physiological recordings.....	166
X.2.5. Data Reduction.....	166

X.3. Results.....	167
X.3.1. Heart rate.....	167
X.3.2. Electrodermal activity	168
X.3.3. SSCRs	169
X.4. Discussion.....	170
 Chapitre XI. Commentaire d'article	174
 Conclusion générale et Perspectives	179
 Bibliographie	189
 <i>Curriculum Vitae</i>	213

Introduction

Interpréter précisément ce que les individus de notre groupe social pensent, veulent, ou ressentent est crucial dans l'existence de chacun. Mais les facteurs qui déterminent les actions d'autrui sont beaucoup plus élusifs, parfois même insaisissables et beaucoup moins prédictibles que les causes des phénomènes physiques qui nous entourent (e.g. la Lune a des phases changeantes parce qu'elle est illuminée par le Soleil, et est en orbite autour de la Terre). Pourtant, sans avoir directement accès aux pensées des autres, nous sommes tout à fait en mesure de reconstruire leurs envies, leurs intentions, leurs émotions, dans toute leur richesse et leur profondeur.

Les primates, humains et non-humains, sont des êtres éminemment sociaux. Le contexte social dans lequel ils ont évolué aurait modelé drastiquement leur cognition et leur cerveau. Selon Brüne (2008), la sélection naturelle aurait favorisée la formation de groupes de primates plus conséquents, dans lesquels les interactions sont devenues de plus en plus complexes. La vie commune aurait alors accru la compétition entre les individus d'un même groupe, et aurait donc exercé des pressions de sélection sur les capacités cognitives liées à la compétence sociale. L'hypothèse du *Cerveau Social* (Whiten & Byrne, 1988; Dunbar, 1992, 1993; Barton & Dunbar, 1997) postule que la complexité du monde social aurait pour conséquence l'augmentation de la taille du cerveau des individus. Les primates possèdent un cerveau très développé, beaucoup plus développé que tous les autres vertébrés (Clutton-Brock & Harvey, 1980). Cette différence du degré d'encéphalisation serait due au fait qu'ils évoluent dans un milieu social beaucoup plus riche que les autres espèces. Dunbar et ses collaborateurs (Dunbar, 1992; Barton & Dunbar, 1997; Dunbar, 2011) montrent même que le volume de la partie frontale du néocortex des primates (dont l'être humain) dépend de la taille du groupe social dans lesquels ils vivent. La richesse du réseau social aurait alors entraîné l'augmentation progressive des capacités cognitives et de la taille du cerveau, en sélectionnant les individus les plus à même de traiter ces informations. Chez l'homme, la capacité à former, entre individus de même sexe ou de sexe opposés, des liens plus élaborés que seulement impliqués dans la survie ou dans la reproduction (respectivement la relation mère-enfant ou la relation mâle-femelle) serait le facteur critique dans l'évolution de notre cerveau social (Dunbar & Shultz, 2007).

Les travaux issus des sciences cognitives montrent que les primates, et particulièrement l'être humain, semblent avoir des capacités de traitement des informations sociales étonnamment puissantes. Cette compétence sociale occuperait une place à part dans le système cognitif humain. Durant la dernière décennie, un nouveau champ de recherche en neurosciences, les neurosciences sociales, s'est considérablement développé. Ce domaine concerne les mécanismes cérébraux dédiés aux représentations que nous nous faisons des autres et à l'analyse des relations qu'ils entretiennent. Ainsi, de plus en plus de travaux ont mis en évidence des aires cérébrales dont l'activation est sensible à la dimension sociale d'un stimulus ou d'une situation d'interaction entre deux individus. Il s'agit principalement de régions du cortex préfrontal et du système limbique. Ces régions sont recrutées, par exemple, lorsqu'un individu interagit avec d'autres (Schilbach et al., 2006) ou qu'il perçoit une interaction entre deux personnes (Iacoboni et al., 2004; Mason, Magee, & Fiske, 2014), également en fonction de la relation qu'il entretient avec ceux qu'il perçoit (relation amoureuse ou amicale : Bartels & Zeki, 2000; Güroglu et al., 2008), ou encore lorsqu'il fait face à des sentiments générés exclusivement par d'autres individus, comme le soutien social (Eisenberger, 2012), l'injustice (Lamichhane, Adhikari, Brosnan, & Dhamala, 2014; Hu et al., 2015) ou l'exclusion sociale (Inagaki & Eisenberger, 2011).

Dans l'ouvrage « Why our brain are wired to connect » (2013), le psychologue Matthew Lieberman renforce un peu plus l'importance de la dimension sociale pour l'être humain. En s'appuyant sur les données de neurosciences, il avance que le besoin de créer des liens sociaux serait encore plus fondamental que celui de trouver de la nourriture, ou un abri pour se protéger. Par une étude récente en neuroimagerie, Lieberman et son équipe (Spunt, Meyer, & Lieberman, 2015) révèle que le cerveau humain, même à l'état de repos, serait comme prédisposé à traiter le monde extérieur de manière sociale. Les auteurs ont en effet identifié des régions cérébrales présentant un niveau d'activité élevé lorsque les participants n'effectuaient aucune tâche particulière. Ces régions sont généralement recrutées pour attribuer de l'intentionnalité, c'est-à-dire pour percevoir un agent externe comme ayant des intentions et non seulement comme un corps dans l'espace. Il s'agit des premiers indices concernant les bases cérébrales de la très forte propension humaine à interpréter l'environnement comme constitué d'autres entités pensantes.

La complexité de l'environnement social dans lequel l'être humain évolue, c'est-à-dire, la multitude et la diversité des informations sociales qu'il doit gérer, a exercé une contrainte majeure sur sa cognition, et donc sur son cerveau. Dans ce travail de doctorat, j'ai choisi d'étudier la **dimension hiérarchique des relations interindividuelles**. Chez l'être humain,

les hiérarchies sociales régissent en profondeur les interactions dans la communauté et participent largement à la complexité de l'environnement social (Magee & Galinsky, 2008). De plus, la hiérarchie sociale constitue elle aussi une contrainte majeure qui pèse sur les processus cognitifs et cérébraux (Cummins, 2005). Identifier précisément l'impact que la hiérarchie entraîne sur la cognition humaine et mieux comprendre comment les individus font face aux situations d'asymétries sociales présentent donc un intérêt scientifique majeur.

Le sujet de cette thèse concerne les outils cognitifs et cérébraux dont nous disposons pour évoluer dans un environnement social hiérarchisé. En adoptant l'approche des neurosciences et de la psychologie cognitive, j'ai tenté de caractériser certains mécanismes neuronaux, comportementaux et physiologiques impliqués dans la détection et l'analyse d'un signal hiérarchique chez l'humain. Les travaux de recherches présentés dans cette thèse ont été réalisés dans le cadre de la perception de visages, les stimuli les plus pertinents socialement. En explorant l'influence que la hiérarchie exerce sur les différentes étapes de la perception des visages, j'ai tenté de caractériser la nature du traitement de cette dimension sociale.

La suite de l'introduction, qui comportera quatre chapitres, sera structurée de la manière suivante. Dans le premier chapitre, je m'intéresserai aux caractéristiques de la stratification de notre univers social, pour démontrer que la hiérarchie est une organisation fondamentale des espèces sociales, qui entraîne des conséquences de grande ampleur sur la cognition et la biologie des individus. Dans le deuxième chapitre, j'aborderai d'une part les mécanismes physiologiques et comportementaux qui participent à l'intégration d'un signal hiérarchique, et d'autre part, les substrats cérébraux qui sous-tendent le processus de traitement de la hiérarchie. Un troisième chapitre sera consacré à la perception des visages, qui sont les principaux stimuli utilisés dans ce travail expérimental. L'objectif du troisième chapitre est de montrer que les mécanismes cognitifs et cérébraux dédiés au traitement des visages sont modulés par les informations sociales qu'ils véhiculent. Enfin, dans un quatrième chapitre de l'introduction, je présenterai en détails les objectifs des différentes études menées dans cette thèse.

*
* *

Chapitre I. Un univers social stratifié

Des jeux de billes de l'école maternelle, aux compétitions sportives pendant l'enfance, jusqu'au système de notation scolaire, nous apprenons très tôt à percevoir notre environnement social en termes de qui a le plus, qui est le meilleur, le plus intelligent, le plus connu. En tant qu'adulte, nous sommes également très sensibles aux symboles de statut social. Certains biens que d'autres personnes possèdent, une voiture de sport, une résidence avec piscine, ou une situation professionnelle, ne nous laissent pas indifférents. L'être humain, comme la plupart des espèces sociales, évolue au sein de communautés organisées selon des hiérarchies. Selon certains auteurs, la prévalence et la grande diversité des hiérarchies sociales dans la nature suggèrent que les individus et les groupes ont eu forte préférence pour ce type d'organisation (Tiedens, Unzueta, & Young, 2007; Gruenfeld & Tiedens, 2010). Et la facilité avec laquelle nous percevons les indices de statut et avec laquelle nous assignons un rang social va également d'une préférence pour la hiérarchie (Zitek & Tiedens, 2012). Ce chapitre sera tout d'abord dédié à présenter le contexte dans lequel une hiérarchie émerge ainsi que ces différentes manifestations. Dans la suite, j'aborderai les données de la littérature montrent que la hiérarchie est un principe d'organisation social récurrent dans le règne animal, et qui a un impact important sur la santé, la cognition et même la biologie des individus.

I.1. Des ressources naturelles limitées

Dans le milieu naturel où un groupe social s'établit, les ressources de l'environnement sont généralement limitées. Les individus se trouvent donc nécessairement en compétition pour y accéder. Cette compétition peut parfois se traduire chez l'animal par des combats violents entre les membres du groupe convoitant les mêmes biens. Le résultat de cette compétition donne lieu à un classement des individus déterminant ainsi la hiérarchie au sein du groupe. Il en résulte qu'un individu situé en haut de l'échelle sociale aura accès à plus de nourriture et à plus de partenaires pour la reproduction. Par exemple, dans les sociétés humaines, les dirigeants des grandes entreprises sont les détenteurs privilégiés des ressources financières. Ils se voient octroyer un plus grand pouvoir de décision et leurs choix

ont des conséquences importantes sur les autres individus. Inversement, les subordonnés, qui ne contrôlent pas les ressources, sont tributaires de leurs supérieurs pour y accéder.

La position qu'un individu occupe dans la hiérarchie est fonction d'une victoire ou défaite dans une compétition. Certaines caractéristiques physiques, ou certaines stratégies comportementales vont maximiser les chances d'un individu de remporter cette compétition et donc, d'atteindre des rangs élevés de l'échelle sociale. Ainsi, les relations hiérarchiques traduisent une asymétrie dans le sens où certains individus disposent de privilèges par rapport aux autres. Ces asymétries hiérarchiques s'observent sur des multiples dimensions, qu'il convient de définir ici.

I.2. Les différentes dimensions de la hiérarchie

La hiérarchisation des individus peut s'incarner de différentes manières. Plusieurs auteurs avancent que, dans les sociétés humaines, l'atteinte d'une position sociale élevée dans une hiérarchie est rendue possible par deux voies distinctes : par l'expression de la *dominance* et la démonstration du *prestige* (Henrich & Gil-White, 2001; Magee & Galinsky, 2008; Cheng, Tracy, Foulsham, Kingstone, & Henrich, 2013). Cette distinction n'est pas retrouvée dans les autres espèces animales sociales. Ces deux types de hiérarchies persistent dans les sociétés humaines et peuvent parfois coexister au sein d'un même groupe social. Elles résultent de comportements et de stratégies différentes, mais qui permettent d'exercer un contrôle sur les ressources, ou même sur le comportement et les pensées des autres individus (Fiske, 1993, Anderson & Berdahl, 2002; Cheng & Tracy, 2014).

La *dominance* est un largement associée à la propension à contrôler des ressources (Hawley, 1999). Dans le monde animal, la dominance est décrite comme le résultat d'affrontements, principalement physiques, pour l'obtention des ressources matérielles et reproductives. Dans les sociétés humaines modernes, la dominance s'exprime principalement sous la forme d'intimidation psychologique, de coercition, et du monopole de certains privilèges (e.g. ressources financières, partenaires, qualité de vie). Les individus dominants génèrent de la peur chez les subordonnés en prenant, ou en menaçant de prendre le contrôle des ressources. En retour, les subordonnées se soumettent en se conformant aux exigences des individus dominants, dans le but d'éviter des représailles de plus ou moins grande ampleur. De cette manière, les individus dominants détiennent beaucoup plus de pouvoir que les individus subordonnés (Anderson & Berdahl, 2002). Cette notion fait aussi référence à un trait psychologique qui comprend par exemple le fait de s'affirmer, d'intimider et d'imposer

sa volonté aux autres, en ayant parfois recours à la force. La dominance est donc un critère qui génère des inégalités de pouvoir au sein d'une communauté.

A l'inverse, le *prestige* fait référence à une position sociale qui, au lieu d'être imposée aux autres, est accordée aux personnes reconnues et respectés pour leurs compétences, leur succès ou leurs connaissances (Berger & Fisek, 2006; Magee & Galinsky, 2008). Le prestige est une dimension sociale qui entraîne elle aussi des asymétries de pouvoir. Les membres d'un groupe accordent beaucoup plus d'attention aux souhaits, aux opinions, et aux décisions des individus ayant beaucoup de prestige, ce qui leur confèrent un rang social élevé ainsi qu'une influence sociale très importante. Les subordonnés ont en effet tendance à ajuster leurs points de vue et leurs opinions en fonction de celles des membres le plus prestigieux, et à mettre de côté leurs propres attentes comme signe de déférence (Cheng et al., 2013; Cheng & Tracy, 2014). La notion de *statut social*, considérée comme une mesure de l'opinion sociale et de la réputation d'un individu (Gould, 2002), généralement associée à de l'admiration ou du respect (Fiske, 2010; Fragale, Overbeck, & Neale, 2011), est confondue avec celle de prestige. Plus spécifiquement, le *statut socio-économique (SES)* d'un individu reflète non seulement la quantité de ressources qu'il possède (e.g. son salaire), mais également son degré d'éducation, la profession qu'il exerce et indique indirectement sa qualité de vie (Ostrove, Adler, Kuppermann, & Washington, 2000). Les individus ayant un statut socio-économique élevé ont généralement beaucoup de prestige, et ils exercent leur influence sur le groupe sans recourir à la force ou aux menaces, comme c'est le cas dans la dominance.

Dans cette thèse, les hiérarchies induites expérimentalement relevaient plus du prestige que de la dominance. La première était établie par des différences de performances dans une compétition, la seconde était basée sur les catégories professionnelles, vecteurs de prestige. Les termes *rang* et *statut* ont été utilisés de manière interchangeable pour désigner la position des individus dans la hiérarchie.

Chez l'humain, la coopération et l'affiliation sont à la base des relations sociales entre les individus. Malgré cela, une communauté est nécessairement animée de conflits car les individus qui la composent ont des buts potentiellement divergents et sont en compétition pour accéder aux ressources limitées de l'environnement. Selon certains auteurs, une organisation hiérarchique serait une solution pour limiter les conflits au sein d'un groupe et présenterait donc un avantage important pour sa pérennité (Fiske, 2010; Gruenfeld & Tiedens, 2010; Cheng & Tracy, 2014). Bien que les critères utilisés chez l'humain pour hiérarchiser les individus soient très variés, les individus ayant un rang élevé bénéficient

toujours de plus d'influence, de déférence, d'attention et de ressources que les individus de bas-rang (Mazur, 1973; Magee & Galinsky, 2008; Zitek & Tiedens, 2012). Une asymétrie hiérarchique entre deux personnes, lorsqu'elle est mutuellement reconnue et acceptée, faciliterait le déroulement des interactions sociales. En effet, de cette relation découle l'assignation de rôles particuliers qui, eux-mêmes, vont déterminer l'accès aux différentes ressources de l'environnement (Sapolsky, 2005). Ainsi, en attribuant aux individus de haut-statut plus d'influence et des privilèges en terme de ressources, les relations hiérarchiques bien établies minimisent les conflits, coûteux pour les individus, instaurent un ordre et favorisent la coordination et la coopération entre les membres d'un groupe (Berger, Rosenholtz, & Zelditch, 1980).

La hiérarchie favoriserait également l'apprentissage de certaines normes sociales, comme l'expression de déférence envers les individus de plus haut statut (Henrich & McElreath, 2003). Faire preuve de respect et s'en remettre à ces personnes est plus profitable pour le groupe, car elles possèdent plus de moyens, plus de pouvoir et plus de savoir que les autres. Un nombre conséquent de travaux révèlent que les hiérarchies sociales stables, dans lesquelles les subordonnés s'en remettent à leurs supérieurs plutôt que de s'opposer à eux ou de contester leur rang, entraînent généralement une meilleure cohésion et de meilleures performances dans des tâches de groupe, ainsi que des relations sociales plus satisfaisantes (Tiedens & Fragale, 2003; Tiedens et al., 2007; Halevy, Chou, & Galinsky, 2011; Ronay, Greenaway, Anicich, & Galinsky, 2012). Les structures hiérarchiques augmenteraient même la productivité d'un groupe. Les privilèges et le prestige octroyés aux membres de plus haut rang constitueraient une motivation puissante pour gravir l'échelle sociale. Ceci inciterait les individus à s'impliquer plus et à fournir plus d'effort pour progresser dans la structure sociale (Halevy et al., 2011).

I.3. La prévalence des organisations hiérarchiques

I.3.1. Dans toutes les espèces sociales animales

Des plus petits insectes, comme les fourmis (Monnin & Peeters, 1999), les grands mammifères marins, terrestres, jusqu'aux grands primates (Reynolds, 1965; Nishida, 1983), le règne animal regorge d'exemples de sociétés régies par une organisation hiérarchique. La hiérarchisation d'un groupe animal s'accompagne de démonstrations asymétriques de dominance, qui indiquent les positions relatives, de supériorité ou de déférence, de chacun de ses membres. Ces démonstrations prennent des formes très diverses. Lors de la première rencontre entre deux animaux par exemple, elles peuvent se manifester par des agressions,

très impressionnantes par leur niveau de violence, de l'animal le plus dominant sur l'autre (Figure 1, p. 13), mais aussi par des signaux non verbaux beaucoup plus subtiles, comme l'aversion spontanée du regard observée chez les singes subordonnés (Deaner, Khera, & Platt, 2005). Un exemple assez frappant d'acceptation du statut d'autrui chez l'animal est le phénomène du « pecking order » rapporté par Schjelderup-Ebbe, (1922). Il a observé que les poules respectent un ordre précis pour picorer, et qui dépend de leur position dans l'échelle sociale. En plus d'être omniprésentes, les hiérarchies apparaissent spontanément et sont établies très rapidement parmi les animaux. Dès l'introduction d'un nouvel individu dans un groupe de cochons domestiques déjà hiérarchisé, des combats se produisent immédiatement pour établir un nouvel ordre social. Au bout de 24 heures, ces combats cessent, et 24 heures plus tard, le rang de chaque cochon peut être clairement identifié à nouveau (Meese & Ewbank, 1973). Et plus surprenant, il faut seulement une demi-heure à une heure pour repérer l'individu au sommet de la hiérarchie. Ceci laisse penser que les marqueurs d'un haut-rang sont plus stables, ou tout du moins, plus saillants que les autres.



Figure 1: Agression d'un loup par un autre pour marquer sa position hiérarchique

I.3.2. Dans toutes les sociétés humaines

L'espèce humaine n'échappe pas au poids de la hiérarchie, et c'est ce qui m'intéresse particulièrement. D'une part, des formes d'organisations hiérarchiques ont été observées dans toutes les communautés humaines, qu'elles soient passées ou présentes (Brown, 1991). Les communautés humaines de toutes les origines culturelles sont sujettes à la hiérarchie (Sidanius & Pratto, 1999), mêmes les peuples de chasseurs-cueilleurs parmi les plus égalitaires (Boehm, 1999). Des telles relations hiérarchisées ne se limitent pas aux groupes d'individus humains adultes, elles sont également présentes dans des groupes d'adolescents (Fournier, 2009) et très tôt chez l'enfant (section suivante I.3.3, p. 14). D'autre part, tout comme chez l'animal, les communautés humaines s'organisent spontanément selon des hiérarchies (Gould, 2002). Deux individus qui ne se sont jamais rencontrés auparavant et qui débutent une interaction démontrent automatiquement une différence de comportement de dominance, en adoptant chacun une posture soit dominante, soit subordonnée, mais complémentaire à ce que montre leur interlocuteur (Markey, Funder, & Ozer, 2003; Tiedens

& Fragale, 2003). Ceci laisse penser que, chez les animaux comme chez l'homme, la position sociale d'un individu au sein d'une nouvelle hiérarchie serait très vite déterminée, reconnue par les autres et acceptée par celui qui l'occupe.

I.3.3. Dès leur plus jeune âge

Des observations en situations d'interactions réelles ont révélé que les enfants établissent très tôt (dès 1 ou 2 ans) des relations dyadiques de dominance entre eux. Ces relations sont relativement stables dans le temps, prennent la forme d'une hiérarchie linéaire ($A > B > C > D > E \dots$) (Strayer & Strayer, 1976; Strayer & Trudel, 1984; Boyce, 2004). Vers 4-5 ans, lorsque les enfants rentrent à l'école, ils passent plus de temps en groupe, et ces différences dans l'expression de comportement de dominance persistent (Strayer & Trudel, 1984). Des études longitudinales menées pendant toute une année scolaire montrent que le nombre des relations asymétriques au sein des groupes d'enfants augmente au cours de l'année (La Freniere & Charlesworth, 1983), et que la stabilité de ces relations asymétriques continue d'augmenter avec l'approche de l'entrée au cours préparatoire (Strayer & Trudel, 1984). Dès leur entrée à l'école primaire, les enfants forment rapidement des hiérarchies de dominance entre eux, et la stabilité et la linéarité de la structure hiérarchique de ces groupes va continuer d'augmenter avec l'âge (Pettit, Bakshi, Dodge, & Coie, 1990). La dominance sociale joue un rôle essentiel dans l'établissement du statut d'un individu, quel que soit son âge. Chez les enfants en maternelle, l'expression de la dominance s'effectue par le biais de comportements agressifs, physiques ou verbaux, qui permettent de définir la position de chacun dans un nouveau groupe social. Il a été montré que ces comportements agressifs apparaissent plus fréquemment au début d'une année scolaire et tendent à diminuer au fur et à mesure que la structure hiérarchique du groupe est de plus en plus établie (La Freniere & Charlesworth, 1983; Pettit et al., 1990). Plus globalement, au cours des 5 premières années de vie, les comportements coercitifs et violents envers les autres vont avoir tendance à décliner au profit de comportements beaucoup plus affiliatifs (Strayer & Trudel, 1984), et ce, à mesure que la hiérarchie et les représentations que les enfants s'en font se stabilisent.

I.3.4. Entre les hommes et les femmes

a) La notion de genre

La question de la hiérarchie est largement reliée à celle du **genre**. Le genre est une notion qui se distingue de celle du sexe ; le premier renvoie à des aspects sociaux et

construits, tandis que le second renvoie à des aspects plus biologiques. Le *sexe* fait référence aux caractéristiques biologiques et physiologiques qui permettent de différencier les mâles et les femelles. Les différences de comportements, d'activités et de rôles que les sociétés humaines attribuent à chacun des sexes définissent ce que l'on appelle le genre. De ce fait, alors que les traits liés au sexe sont inchangés d'une société humaine à une autre, les traits liés au genre varient en fonction de la culture. Néanmoins, dans la plupart des cultures, les traits et les rôles associés aux hommes sont valorisés tandis que ceux associés aux femmes sont dénigrés (Héritier, 1996). Ainsi, il existe un rapport inextricable entre relations de pouvoir et catégories sociales définies par les deux sexes (Scott, 1986).

b) Genre et asymétrie sociale

Les rapports hiérarchiques entre hommes et femmes varient en fonction des cultures (Whyte, 1978; Eagly & Wood, 1999; Sanderson, Heckert, & Dubrow, 2005). Sanderson et al. (2005) ont analysé les données de 186 sociétés préindustrielles pour étudier les facteurs influençant la hiérarchie entre les genres. Ils montrent par exemple que la stratification sociale et l'intensification de l'agriculture auraient tendance à nuire au statut des femmes. Au contraire, les structures matrilineaires et/ou uxori-locales favoriseraient, dans certains cas, l'établissement de systèmes bicéphales où hommes et femmes se partagent le pouvoir (Levi-Strauss, 1949; Gestin & Mathieu, 2010). Ceci étant dit, un certain consensus existe autour de l'idée que la dominance masculine est la règle dans les sociétés humaines. Il n'y a en effet pas de preuve ethnographique d'une société où une dominance féminine est institutionnalisée et reconnue comme telle (Bamberger, 1974). À titre d'exemple, parmi les 93 cultures qu'il étudie, Whyte (1978) distingue deux types de groupes sociaux : le premier concerne des groupes non liés par des liens familiaux et le deuxième concerne des unités familiales. Dans 87,8 % des sociétés du premier type, les chefs sont exclusivement des hommes tandis que 2,7 % seulement présentent un type de chefferie partagé entre hommes et femmes ; le reste des sociétés de ce type n'ayant pas de dirigeant. Pour les groupes du deuxième type, les pourcentages sont de 83,9 % pour les sociétés où le chef ne peut être qu'un homme, 6,4 % où le pouvoir est partagé entre hommes et femmes et 9,7 % de clans sans chef. Cet exemple illustre l'idée selon laquelle les femmes ont tendance à être relativement exclues du pouvoir politique direct.

La dominance masculine s'exprime également dans la participation relative des hommes et des femmes au contrôle des ressources. Dans la plupart des sociétés humaines modernes, les femmes passent plus de temps que les hommes dans le travail domestique (Shelton, 1992;

Talahite, 2010). En occident, bien qu'elles participent au marché du travail à des taux comparables à ceux des hommes, les femmes ont un revenu moins élevé en moyenne. À titre d'exemple, en France en 2014, les femmes gagnaient 24 % de moins que les hommes, à taux de chômage presque égal¹. Enfin, en France comme partout ailleurs, la répartition des femmes et des hommes par métier n'est pas égalitaire (Talahite, 2010; Lips, 2013; Argouarc'h & Calavrezo, 2014). Ainsi, les femmes occupent préférentiellement les métiers dits reproductifs, les métiers de soin et de service à la personne et elles sont moins présentes dans les niveaux hiérarchiques élevés des organisations sociales. Ce constat, loin de se limiter aux sociétés actuelles, reflète la division sexuelle du travail commune à toutes les cultures (Levi-Strauss, 1949; Eagly & Wood, 1999).

Si les sphères d'activité attribuées aux hommes et aux femmes sont variables selon les cultures, deux caractéristiques pourtant semblent universelles : premièrement, les femmes s'attellent à la plupart des tâches associées à la reproduction biologique et, deuxièmement, les tâches exclusivement réservées aux hommes, comme la chasse par exemple, sont davantage valorisées (Eagly & Wood, 1999). Dans toutes les sociétés de chasseurs-cueilleurs, les femmes étaient totalement exclues de la chasse (Heath, 1958). Le monopole que les hommes avaient sur la chasse leur conférait donc la priorité d'accès aux ressources de valeurs qui en étaient produites (Touraille, 2008). De manière équivalente, dans des sociétés d'agriculteurs comme celle des Baruya de Nouvelle Guinée étudiés par Godelier en 1982, seuls les hommes ont le droit de produire le sel, qui est la principale monnaie d'échange. Ainsi, les hommes auraient, quel que soit le mode de production, un privilège dans le contrôle des ressources (Holmstrom, 2010). La dominance masculine ne se limite pas aux manifestations politiques et économiques citées ci-dessus mais s'étend à plusieurs autres domaines tels que les rôles relatifs des hommes et des femmes au sein de la famille, les pratiques de contrôle de la sexualité, la violence faite aux femmes, le pouvoir religieux, etc.

Selon plusieurs théories sociologiques (Goffman, 1977; Eagly & Wood, 1999; Holmstrom, 2010), les asymétries de pouvoir entre les genres se traduisent par des certaines différences psychologiques, comme par exemple une plus grande inclination, pour les femmes, à l'intersubjectivité et à la passivité, et pour les hommes, à la violence et à la compétition. Ainsi, les dimensions masculinité/féminité se confondent avec les dimensions dominant/subordonné. Au niveau des rôles sociaux, Héritier (1996) remarque que dans un

¹ Observatoire des Inégalités: <http://www.inegalites.fr/spip.php?article1400>

certain nombre de sociétés, les femmes peuvent devenir dominantes (« matrones ») lorsqu'elles perdent leur féminité en étant ménopausées ou infertiles. À l'inverse, chez les indiens Jivaro étudiés par Descola (1970), les hommes qui présentaient des traits féminins étaient, comme les femmes, exclus de la chasse. D'un point de vue psychologique, les stéréotypes, partagés par plusieurs cultures, traduisent la correspondance entre masculinité et personnalité dominante d'une part, et féminité et personnalité subordonnée d'autre part (Williams & Best, 1990). Ceci s'observe également dans des mécanismes perceptifs de plus bas niveau. Par exemple, la masculinité faciale s'avère être un trait essentiel pour attribuer de la dominance à un individu. En effet, les femmes qui sont perçues comme ayant plus de traits masculins ont tendance à être évaluées comme étant plus dominantes (Quist, Watkins, Smith, DeBruine, & Jones, 2011).

Enfin, l'analyse des interactions entre hommes et femmes est un outil précieux pour comprendre comment ceux-ci se conforment aux stéréotypes de dominance/subordination et comment, par conséquent, le lien entre genre et dominance perdure et se renforce (Goffman, 1977). Par exemple, le fait de sourire ou de hocher la tête pendant une interaction indique la recherche d'affiliation et l'acceptation du statut d'autrui, et ces deux comportements sont plus observés chez des participants en situation de bas-statut (un étudiant face à un professeur ou un postulant face à un recruteur) (Deutsch, 1990; Kirouac & Hess, 1999; Helweg-Larsen, Cunningham, Carrico, & Pergram, 2004). Il a été montré que les femmes ont tendance à sourire plus et à plus acquiescer de la tête que les hommes dans un échange, qu'elles aient ou non le même statut que leur interlocuteur (Deutsch, 1990; Dixon & Foster, 1998; Helweg-Larsen et al., 2004).

Chez l'enfant, il existe également des différences de genre dans l'expression de la dominance. Tout d'abord, les petits garçons démontrent un niveau d'agressivité physique pendant les jeux plus important que les petites filles (Parke & Slaby, 1983 pour une revue), et ce type de brutalité physique sert à établir la hiérarchie dans les groupes (Jacklin & Maccoby, 1978). Dans des expériences sur le contrôle des ressources, il a également été montré que, quand les groupes testés sont composés de garçons et de filles, les garçons obtiennent un accès plus important aux ressources (Charlesworth & Dzur, 1987). Lorsqu'on demande aux enfants d'évaluer eux-mêmes de leur « *toughness* » (rudesse), les jugements des garçons et des filles varient dramatiquement en fonction de la constitution du groupe. Dans des groupes mixtes, les garçons surestiment significativement plus leur rang que les filles (Omark & Edelman, 1975), tandis que dans les groupes unisexe, garçons et filles ont la

même propension à se surclasser eux-mêmes. L'ensemble de ces résultats illustre clairement le fait que le genre des individus est un vecteur prépondérant de statut social.

En résumé, la hiérarchie est un principe organisationnel prévalent, quasi-universel de la structure des groupes sociaux. Chez l'humain, les asymétries hiérarchiques s'expriment dans toutes les sociétés, de toutes les cultures, dès leur plus jeune âge et entre les hommes et les femmes. Et une telle organisation est loin d'être sans conséquence pour les individus qui la compose.

I.4. Les conséquences de hiérarchiser les individus

I.4.1. Hiérarchie et succès reproductif

La conséquence la plus directe de la hiérarchisation des individus est l'inégalité dans l'attribution des ressources. Les relations de hiérarchie se traduisent par une asymétrie dans la mesure où certains individus disposent de privilèges par rapport aux autres. Comme l'explique la Théorie de la Dominance Sociale (Sidanius & Pratto, 1999), les individus au sommet de la hiérarchie jouissent d'une valeur sociale positive disproportionnée : ils ont accès à plus de nourriture et à plus de partenaires sexuels. Ainsi, à un soutien social plus fort et à un rang social élevé sont souvent associés des avantages sur le plan de la survie. En monopolisant les ressources, alimentaires et reproductives, les individus de haut-statut ont plus de facilités à se reproduire et engendrent davantage de descendants, et ce d'autant plus que ces ressources sont limitées. De plus, les enfants des haut-statuts ont davantage de chances de survivre car ils ont aussi accès à plus de nourriture et bénéficient d'un soutien social plus important de la part des autres membres du groupe. D'un point de vue évolutif, les gènes des individus de haut-statut ont donc plus de chance de se propager que les autres – ce que l'on appelle le succès reproductif. Ce phénomène a été observé dans de nombreuses espèces sociales animales (Cowlshaw & Dunbar, 1991; Ellis, 1995a; Majolo et al., 2012), mais pas uniquement. De fortes corrélations entre le rang hiérarchique et le succès reproductif se retrouvent également chez l'homme, des petites communautés de chasseurs-cueilleurs jusque dans les sociétés occidentales modernes très industrialisées (Fieder et al., 2005a; Hopcroft, 2006; Kanazawa, 2003). De plus, les individus en haut de l'échelle sociale bénéficient de plus de moyens, et jouissent d'une meilleure qualité de vie par rapport aux autres. Il a été montré que les individus ayant un statut socio-économique (SSE) élevé sont en meilleure santé que leurs ceux ayant un SSE plus faible (voir Sapolsky, 2005 pour une revue). Ils sont particulièrement moins vulnérables au stress, aux maladies cardiovasculaires et moins sujets à des troubles d'hypertensions (Sapolsky, 2004; Wilkinson & Pickett, 2006;

Elo, 2009). Se trouver au sommet de la hiérarchie confère donc un avantage adaptatif évident, car cette position est associée à un niveau de reproduction plus élevé et à un niveau de mortalité plus faible, tant pour les individus eux-mêmes que pour leur descendance.

La stratification de l'environnement social a donc un impact majeur sur la survie des individus. Et le sommet de la hiérarchie, de par les avantages évidents qui lui sont associés, constitue un but très important qui pousse les individus à élever leur statut. Etant donné que la hiérarchie exerce une pression récurrente sur les êtres humains et sur leur survie, il est raisonnable de supposer qu'elle a des conséquences importantes sur de nombreux aspects du comportement et de la cognition humaine. Dans la suite de ce chapitre, je présenterai des résultats qui montrent que de nombreux mécanismes cognitifs et biologiques, au niveau de la physiologie et de la génétique des individus, sont sensibles à la hiérarchie sociale.

I.4.2. L'impact du statut social sur la cognition

a) Jugements moraux, empathie et langage

Un exemple célèbre de l'influence de la hiérarchie sur les processus cognitifs a été mis en évidence par Milgram (1965), dans une expérience qui montre que la perception d'une forme d'autorité altère les mécanismes de prise de décision et de libre arbitre. Les individus sont plus enclins à obéir ou à se conformer aux demandes d'une figure de haut-statut qu'à une personne de bas statut, même si cette demande est contraire à leur morale (Milgram, 1965; Larsen, Triplett, Brant, & Langenberg, 1979).

La communication entre deux individus est également influencée par le statut social de chacun. Lors d'une conversation, le phénomène de coordination linguistique est parfois observé. L'un des interlocuteurs adopte inconsciemment le style linguistique de l'autre, en reprenant par exemple les mêmes expressions ou des mots de la même catégorie linguistique. A partir de l'analyse de près de 300 000 conversations (parmi lesquelles des échanges entre des rédacteurs de pages Wikipédia, ou encore entre des avocats et des procureurs de la Cour Suprême américaine), Danescu-Niculescu-Mizil et al. (2012) ont montré que le niveau de coordination linguistique d'un individu varie en fonction du niveau d'asymétrie de pouvoir qu'il entretient avec son interlocuteur. Les individus de bas-statut font davantage preuve de coordination linguistique que les individus de haut-statut, et se coordonnent plus avec des individus qui ont du pouvoir qu'avec ceux qui en ont moins. Un tel mécanisme pourrait permettre d'exprimer à la fois une forme de déférence envers un individu de plus haut rang, et de manifester son affiliation à celui-ci.

Dans la littérature, un ensemble de travaux menés par Galinsky, Magee, Inesi, & Gruenfeld (2006) montrent que la hiérarchie altère également la capacité de prise de perspective. Dans une série d'expériences, les participants étaient d'abord conditionnés pour éprouver soit un sentiment de pouvoir, soit au contraire le sentiment d'une perte de contrôle. On leur demandait ensuite de réaliser différentes tâches, comme par exemple dessiner un « E » sur leur front. Les participants chez lesquels un sentiment de pouvoir avait été induit ont été trois fois plus nombreux à le dessiner selon leur propre perspective (i.e. un E à l'envers du point de vue d'un observateur) que les participants de l'autre condition. Dans le même ordre d'idée, des participants assignés à des rôles de pouvoir élevé tiennent moins compte des conseils des autres que ceux assignés à des rôles hiérarchiquement inférieurs (Tost, Gino, & Larrick, 2013) et sont moins enclins à reconnaître que les autres ne possèdent pas les mêmes connaissances qu'eux (Galinsky, Magee, Inesi, & Gruenfeld, 2006).

De la même manière, la reconnaissance émotionnelle et l'empathie sont modulées par le statut social. En situation d'interaction réelle, des individus de haut-statut définis par leur statut socio-économique détectent et interprètent moins précisément les émotions de leurs interlocuteurs (Galinsky et al., 2006; Kraus, Côté, & Keltner, 2010). Ils ont également tendance à moins les regarder dans les yeux et à moins sourire ou acquiescer de la tête que les individus de plus bas statut (Kraus & Keltner, 2009). En outre, les comportements prosociaux sont davantage observés chez les membres de classes sociales moins élevées, ces derniers se montrant plus généreux, serviables, charitables et dignes de confiance que les membres de classes sociales plus élevées (Piff, Kraus, Côté, Cheng, & Keltner, 2010).

b) Fonctions exécutives et mnésiques

Les capacités mnésiques ainsi que certaines fonctions exécutives de haut niveau sont elles aussi modulées par la hiérarchie. Concernant les fonctions exécutives, il a été montré que le sentiment d'avoir du pouvoir, ou un statut élevé, facilite l'appréhension des situations stressantes, notamment celles pour lesquelles le niveau de pression et les enjeux sont élevés, comme lors d'un entretien d'embauche (Cuddy, Wilmuth, & Carney, 2012; Kang, Galinsky, Kray, & Shirako, 2015). En induisant une posture de dominance ou de subordination (voir des exemples dans la section II.2.1, p. 29) pendant seulement une minute avant un entretien factice, Cuddy et al. (2012) ont observé que les participants ayant adopté la posture d'un dominant étaient plus enthousiastes, que leurs propos étaient présentés avec plus de confiance lors de l'entretien, et que le contenu de leur présentation était plus clair, plus élaboré et mieux structuré. Dans une précédente étude (Carney, Cuddy, & Yap, 2010), cette

même équipe de recherche avait montré qu'une brève mise en situation similaire augmentait le niveau de confiance en soi et la tolérance à la prise de risque. L'expérience de Kang et al. (2015) reprend le contexte d'un entretien d'embauche, au cours duquel deux participants, l'un dans le rôle du recruteur (haut-statut) et l'autre dans le rôle du candidat au poste (bas-statut), doivent parvenir à un accord sur différents points du contrat (salaire, primes, congés, etc.). Les participants ayant tenu le rôle du recruteur ont davantage réussi à faire pencher la négociation à leur avantage que ceux tenant le rôle du candidat. Un autre exemple d'altération des performances en fonction du statut est rapporté dans l'étude de Kishida et al. (2012). Dans cette expérience, les participants sont classés en deux groupes sur la base de leurs performances au cours d'un test de QI. Une fois les groupes composés les résultats de ceux classés dans le deuxième groupe chutent dans la suite du test par rapport à ceux du premier groupe. Le fait de se sentir inférieur, ou de plus bas statut, altérerait certaines capacités exécutives. Il est possible que ces effets soient dus à des mécanismes de type prophéties auto-réalisatrices davantage qu'au statut lui-même : des croyances initialement fausses deviennent vraies (« je suis moins bon, donc j'agis comme tel ») sous l'effet de boucles rétroactives, positives ou négatives. D'autres résultats, portant sur des mécanismes cognitifs de plus bas niveau encore, montrent que des individus mis en situation de subordination sont moins performants dans des tâches qui nécessitent la mise à jour de la mémoire de travail, l'inhibition des réponses motrices ou encore la planification des actions (Smith et al., 2008).

Etant donné le pouvoir qu'ont les individus de haut rang, leurs décisions et leurs actions ont un impact important sur la vie des autres. Il est donc plus avantageux d'anticiper le comportement des haut-statuts plutôt que celui des bas statuts, en y consacrant plus de ressources cognitives. En général, le traitement des informations émises par les haut-statuts engage d'avantage de moyens cognitifs que le traitement des informations concernant les bas-statut. C'est ce qui est observé lorsque l'on considère le système mnésique. Ratcliff, Hugenberg, Shriver, & Bernstein (2011) ont réalisé une série d'expériences visant à tester l'influence du statut social d'un individu sur la reconnaissance de son visage. Les auteurs ont présenté à des participants un ensemble de visages, chacun avec un nom de métier associé soit à un haut statut social (directeur, médecin, juge, général) soit à un statut social moins élevé (mécanicien, cuisinier, plombier, fermier). Après une tâche distractive, les visages étaient présentés une seconde fois. Les participants ont reconnu avec plus de précision les visages associés aux métiers de haut statut. Dans une autre expérience, c'est la tenue vestimentaire qui était utilisée comme marqueur du statut social (la blouse d'un médecin et le bleu de travail d'un mécanicien). La mémoire spatiale était testée au moyen d'un jeu de type

Memory au cours duquel les participants devaient retrouver des paires d'images dans un ensemble de cartes présentées face cachée. Là encore, les visages associés à des indices de haut statut étaient plus rapidement et plus précisément retrouvés et mieux rappelés.

I.4.3. Les effets sur le système nerveux autonome

Les travaux précédents montrent que de nombreux processus comportementaux réponses comportementales sont influencés par la hiérarchie. Cette influence s'étend même au-delà du comportement conscient, affectant également les réponses automatiques, pour lesquelles les individus n'ont pas, ou très peu, de contrôle volontaire. En effet, des variations de certains paramètres cardiovasculaires, notamment la pression artérielle et la fréquence cardiaque, ont été observées dans des situations d'asymétrie hiérarchique. Ces deux paramètres sont interdépendants et régulés par le système nerveux autonome (SNA - sympathique et parasympathique). Plusieurs travaux conduits à la fois chez le singe (Aureli, Preston, & de Waal, 1999) et chez l'homme (Newton & Bane, 2001; Mendelson, Thurston, & Kubzansky, 2008) ont montré que le fait d'interagir avec un individu dominant ou de devoir faire face à un comportement de domination accroît la réactivité cardiovasculaire. Ainsi, lorsque deux individus de sexes opposés échangent pendant une expérience, la pression artérielle systolique des femmes corrèle positivement avec le niveau de dominance exprimé par le comportement de leur interlocuteur masculin – lorsque, par exemple, celui-ci l'interrompt, ou monopolise le temps de parole (Newton & Bane, 2001). De la même manière, se trouver face à un individu qui exprime un niveau de confiance élevé ou qui affirme sa position, entraîne une augmentation de la pression artérielle, contrairement à une interaction avec une personne manquant d'assurance ou manifestant une grande déférence.

S'ajoutant aux marqueurs de dominance, des indices hiérarchiques véhiculant une information de statut social de façon plus subtile, entraînent des modulations similaires du contrôle (para)sympathique. Parmi les différentes manifestations de cet effet, le « syndrome de la blouse blanche » (en anglais, the « *white coat hypertension* ») est un exemple éloquent. Dans deux études anciennes, le statut professionnel d'un confédéré était manipulé par sa tenue vestimentaire : il revêtait une blouse blanche de médecin (Long, Lynch, Machiran, Thomas, & Malinow, 1982) ou un costume-cravate (Kleinke & Williams, 1994) pour incarner un haut statut, et une tenue vestimentaire décontractée pour incarner un statut équivalent à celui des participants. Placés en situation d'interaction réelle avec le confédéré, les participants ont manifesté une augmentation plus importante du rythme cardiaque et de la pression artérielle lorsqu'ils interagissaient avec le confédéré de haut-statut. Dans ces études

cependant, les deux conditions expérimentales ne permettaient pas de tenir compte de la distance sociale établie entre le confédéré et le participant. Le confédéré en position de haut-statut avait une tenue vestimentaire très différente de celle du participant et interagissait avec lui de manière très formelle, donc en était distancé. A l'inverse, le confédéré dans la position du bas-statut portait des vêtements de la vie de tous les jours et adoptait une position plus décontractée, à la manière de celle du participant. En revanche, les travaux de Cloutier, Norman, Li, & Berntson (2013) montrent que le statut financier subjectif, c'est-à-dire le niveau de ressources des participants eux-mêmes, altère également la réactivité du SNA. On a ainsi observé chez les participants de haut statut financier une diminution du contrôle cardiaque parasympathique lorsqu'on leur présentait le visage d'une personne disposant du même niveau ou d'un niveau de ressources financières plus élevé. Selon les auteurs, ce résultat traduit une réaction à la présence d'une menace potentielle. A l'inverse, face aux visages d'interlocuteurs disposant de ressources financières moindres, les participants ne présentaient pas de modifications du contrôle cardiaque parasympathique, signe, selon les auteurs, de plus de confiance.

Ces variations des réactions cardiovasculaires ont été interprétées dans la littérature comme le marqueur physiologique d'un stress généré en réponse à un stimulus très saillant, voire menaçant, et dans le cas de la hiérarchie, de nature sociale. D'un point de vue évolutif, la capacité à détecter une menace et à adapter rapidement son comportement lorsqu'elle se présente dans l'environnement est essentielle à la survie. De nombreux chercheurs avancent que cette réaction cardiovasculaire sert à mobiliser des ressources biologiques (énergétiques, musculaires) en vue d'une réaction future. Cette réponse excitatrice par défaut permettrait aux individus de se préparer automatiquement à l'action, avant d'agir sur le stimulus qui a déclenché cette réponse ou de le fuir ; d'où le nom de « *fight or flight reaction* » (Bradley, Codispoti, Sabatinelli, & Lang, 2001; Thayer & Lane, 2009). Ainsi, les individus seraient plus enclins à se préparer physiologiquement à agir face à une personne dominante ou de haut statut que face à une personne subordonnée ou d'un statut moindre. La probabilité d'être agressé par un dominant est de fait plus élevée que pour un subordonné. Une des raisons qui expliquerait que ce type de mécanisme ait été conservé au cours de l'évolution est qu'il permet d'éviter plus efficacement une agression potentielle. Plus généralement, ces mécanismes physiologiques permettraient aux individus de réagir de manière adaptée dans une situation d'asymétrie hiérarchique. Ceci souligne encore un peu plus l'importance des signaux de haut-rang hiérarchiques.

I.4.4. Les effets sur le plan physiologique et génétique

Le rang hiérarchique et ses variations est un facteur important qui influence le système neuroendocrinien (Knight & Mehta, 2014 pour une revue). La testostérone notamment a été largement étudiée dans tout le règne animal pour son rôle dans la régulation des comportements compétitifs et dominants, deux types de comportements largement impliqués dans la poursuite du statut au sein d'une hiérarchie sociale (Zilioli, Mehta, & Watson, 2014). L'effet selon lequel, dans une compétition, le niveau de testostérone augmente après une victoire et diminue après une défaite, a été observé chez l'homme lors de compétition sportives de tennis (Booth, Shelley, Mazur, Tharp, & Kittok, 1989), de football (Oliveira, Gouveia, & Oliveira, 2009), ou dans des jeux d'argents (McCaul, Gladue, & Joppa, 1992), et dans de nombreuses autres espèces animales. Les données de Mehta & Beer (2010) recueillies dans le contexte d'un Jeu de l'Ultimatum révèlent par ailleurs que le niveau de testostérone basal prédit la propension d'un individu à adopter un comportement agressif en réponse à une offre monétaire non équitable. De la même manière, lorsque la position sociale d'un homme est menacée par la présence dans l'environnement d'un autre homme ayant plus de ressources que lui, son taux de testostérone augmente (Saad & Vongas, 2009). Même quand le rang n'est plus mis en jeu et que la hiérarchie est bien établie, la concentration de testostérone reste dépendante du statut effectif des individus chez certaines espèces de primates (Mazur, 1985; Beehner, Bergman, Cheney, Seyfarth, & Whitten, 2006) et chez l'humain. Les résultats de l'étude de Saad & Vongas (2009) sont éloquentes. Dans cette étude, le niveau de testostérone de participants (hommes) était mesuré au volant d'une voiture de sport (signe d'un statut social élevé) ou d'une berline familiale, augmentant dans le premier cas et diminuant dans le second. Il existe donc une relation bidirectionnelle entre la testostérone et le rang hiérarchique. Non seulement les changements de rang hiérarchique modifient les concentrations de testostérone, mais la testostérone entraîne également des comportements destinés à élever son rang (Mazur & Booth, 1998).

La concentration de cortisol, un autre composé stéroïdien, est également influencée par la position hiérarchique des individus. A la différence de la testostérone, cette hormone ne semble pas entraîner de rétroaction positive sur la recherche du statut : les variations de cortisol ne sont pas sensibles au fait de gagner ou de perdre une compétition (Booth et al., 1989; Oliveira et al., 2009). En revanche, il a été observé que 1) les compétiteurs qui gagnent un tournoi de tennis présentent de faibles taux de cortisol (Booth et al., 1989); 2) la concentration basale de cortisol est inversement corrélée au statut socio-économique des individus (Cohen, Doyle, & Baum, 2006; Li, Power, Kelly, Kirschbaum, & Hertzman, 2007);

3) le fait d'adopter une posture de dominant fait diminuer la concentration de cortisol (Carney et al., 2010). Chez les animaux comme chez l'homme, la sécrétion de cortisol est déclenchée par des situations de stress physiques et psychologiques (Knight & Mehta, 2014, pour une revue). Dans les situations stressantes, le sentiment de n'avoir aucun contrôle, ou très peu, sur l'élément stressant induit également une forte libération de cortisol. Lorsque le groupe social est organisé selon une hiérarchie de dominance bien établie, les membres situés en bas de l'échelle subissent davantage de stress social (du fait de la probabilité plus élevée d'être agressé) que ceux du haut de la hiérarchie, et leur concentration de cortisol est plus élevée (Sapolsky, 2004; 2005). De la même manière, un faible statut dans une hiérarchie est associé, par définition, à un plus faible niveau de contrôle sur l'environnement et sur autrui. Lorsque la hiérarchie est instable, cet effet est inversé : ce sont les individus de haut rang qui subissent les plus hauts niveaux de stress parce qu'ils doivent lutter davantage pour maintenir leur position. La sécrétion de cortisol présente un certain avantage car la fonction principale de cette hormone est de mobiliser du glucose pour alimenter la «*fight or flight reaction*» (voir section I.4.3, p. 22) et fournir l'énergie nécessaire au bon fonctionnement du système cardiovasculaire (Sapolsky, 1999). Cependant, la libération prolongée d'une importante quantité de cortisol liée à une exposition chronique à des situations de stress, présente des effets délétères sur la santé des individus, entraînant par exemple des dysfonctionnements du système immunitaire (Cohen et al., 2012) et une augmentation des risques de maladies cardiovasculaires (Sapolsky, 2004). Ces effets sont observés chez les individus ayant un faible statut socio-économique (Sapolsky, 2005 pour une revue).

Enfin, le taux de certains neurotransmetteurs, ainsi que l'expression génétique de certains neurorécepteurs, semblent être dépendants du rang hiérarchique des individus. Les données qui l'attestent proviennent principalement d'études menées sur le singe. Morgan et al. (2002) montrent une augmentation du nombre de récepteurs D2 à la dopamine dans le cortex des singes dominants chez des macaques *fascicularis*. D'autres études suggèrent à l'inverse que le niveau de certains neurotransmetteurs influencerait la propension des individus à atteindre un certain statut. Une étude longitudinale menée sur des singes verts en captivité montrent que les mâles ayant des taux de sérotonine et de dopamine plus bas à l'adolescence ont plus de chance d'atteindre un haut statut dans le groupe à l'âge adulte (Fairbanks et al., 2004). Cet effet de la chimie neuronale serait en fait médié par l'expression de certains comportements favorisant l'augmentation du statut. En effet, des taux faibles de métabolites sérotoninergiques et dopaminergiques dans le liquide céphalo-rachidien sont

associés à plus de comportement agressifs, impulsifs et dominants chez les singes mâles (Kaplan, Manuck, Fontenot, & Mann, 2002; Fairbanks et al., 2004).

Ainsi, l'omniprésence de la hiérarchie, les inégalités de privilèges entre individus et l'ampleur des conséquences qui en découlent, constituent autant d'arguments en faveur de l'extrême pertinence des indices hiérarchiques, particulièrement des indices de haut-statut. Toutes les facettes de nos comportements, de notre cognition et de notre biologie, jusque dans leurs plus petits recoins, présentent une sensibilité aux situations d'asymétries hiérarchiques. Etant donné le pouvoir et l'influence qu'ont les individus de haut-statut sur les autres, parvenir à mieux se souvenir d'eux, mieux prédire leur comportement, ou encore se préparer à agir en leur présence, permet de naviguer de manière adéquate dans l'environnement social. La capacité à reconnaître précisément les positions hiérarchiques de chacun au sein du groupe, en identifiant les indices de la dominance, semble essentielle. Se méprendre sur l'identification du rang social peut à l'inverse avoir des conséquences très dommageables. Par exemple, le risque de représailles qu'un individu encourt s'il prend l'un de ses supérieurs pour un subordonné est considérable chez certaines espèces. Dans ce contexte, il paraît absolument nécessaire d'être doté de mécanismes cognitifs et biologiques qui rendent possible la détection et l'ajustement à la hiérarchie. Etant donné que la hiérarchie exerce une pression dans tous les pans de la biologie et de la cognition des individus, les éthologues et les psychologues évolutionnistes avancent l'idée que chez l'homme comme chez de nombreuses espèces sociales, la sélection naturelle a favorisé les mécanismes dédiés au traitement des informations relatives aux hiérarchies (Henrich & Gil-White, 2001; Ellis, 1995b; Cummins, 2005). Le chapitre suivant est consacré à l'exploration des données de la littérature qui appuient l'existence de tels mécanismes, et s'emploie à décrire leur fonctionnement ainsi que leur ancrage cérébral.

*
* *

Chapitre II. Percevoir la hiérarchie

Et s'y adapter

La détection des signaux hiérarchiques est essentielle pour la survie dans un groupe. Dans ce chapitre, je présenterai tout d'abord des données de l'éthologie, et de psychologie du développement qui montrent que la capacité de traitement de la hiérarchie existe non seulement chez animal, mais également très tôt chez l'enfant humain. Cette adaptation à la hiérarchie se serait donc maintenue tout au long de l'histoire évolutive de l'homme. Ensuite, j'aborderai les données relatives au traitement cognitif de la hiérarchie chez l'adulte. L'objectif de cette partie est double. Je souhaite montrer d'une part que la détection de la hiérarchie est opérée par des processus comportementaux de bas niveau, automatiques, et d'autre part, que ce traitement des indices hiérarchiques est implémenté dans le cerveau, par un réseau spécifique d'aires cérébrales.

II.1. La hiérarchie : éthologie et développement

II.1.1. Le traitement de la hiérarchie chez l'animal

Dans les groupes d'animaux, les relations hiérarchiques ont généralement une structure transitive : si, dans l'accès aux ressources, l'individu X a la priorité sur l'individu Y et Y a la priorité sur Z, alors X a la priorité sur Z. Plusieurs études semblent suggérer que les animaux parviennent à repérer les relations de dominance entre les individus de leur groupe pour en inférer, par un raisonnement transitif, leur propre position et celles des autres. Paz-y-Miño, Bond, Kamil et Balda (2004) ont mené des recherches avec les geais des pinèdes, une espèce de corvidés vivant dans un univers social assez riche. Dans leur étude, les auteurs créaient une situation où un individu X entretient un rapport de subordination sociale avec Y, un autre membre de son groupe ($Y > X$). Or X observe que Y se fait dominer par un individu B, qu'il n'avait jamais vu auparavant ($B > Y$). Lorsque X se voit maintenant confronté à B, il adopte une attitude de soumission assez marquée, ce qui semble montrer qu'il a fait l'inférence $B > X$ à partir des deux prémisses $B > Y$ et $Y > X$. On observe des résultats similaires avec des poissons (Groesenick, Clement & Fernald, 2007). Par exemple, le poisson mâle *A. Burtoni* peut prédire l'ascendance d'un individu sur un autre dans une

bataille par des mécanismes d'inférences transitives : en observant un ensemble de combats dyadiques dans lesquels $A > B$; $B > C$; $C > D$; $D > E$ (où « $>$ » signifie « gagne contre »), ils parviennent à anticiper que $B > E$ (Grosenick, Clement, & Fernald, 2007). Parmi les mammifères, lorsqu'un cochon est introduit dans un groupe déjà hiérarchisé, et que l'ordre social est temporairement perturbé, des combats entre deux individus ont lieu immédiatement et les individus dominants orientent la plupart de leur agressions sur leurs plus proches inférieurs, comme pour réorganiser ces relations de transitivité. Cette capacité de raisonnement transitif a été retrouvée dans un grand nombre d'espèces animales qui vivent en grands groupes sociaux. Bond, Kamil, Russell et Baldat (2003) ont comparé deux espèces de geais qui diffèrent par la complexité de leur environnement social : les geais des pinèdes, vivant dans des groupes importants (50 à 500 individus) et les geais à gorge blanche, dont la structure sociale se limite plutôt au couple d'individus. Les auteurs montrent que les geais des pinèdes seraient plus habiles à effectuer des formes d'inférences transitives que les geais à gorge blanche. Un résultat similaire a été observé en comparant deux espèces de primates prosimiens, des lémuriens, qui différaient par leur niveau de socialité (MacLean, Merritt, & Brannon, 2008). Ceux qui vivaient en grands groupes sociaux (10-20 individus) étaient plus performants aux tâches de raisonnement transitif que ceux qui vivaient en petites unités familiales (les parents et leur descendance). Les animaux ont donc la capacité de former des représentations transitives de la hiérarchie et cette aptitude semble être intimement liée à la complexité de l'environnement social.

II.1.2. Aptitude de l'enfant à détecter la hiérarchie

Chez l'être humain, des mécanismes de nature différente de ceux présents chez l'animal semblent assurer la détection de la hiérarchie. Avant même la fin de leur première année de vie, les bébés humains posséderaient la représentation que la taille, ou la grosseur est un indice qui traduit la force ou le niveau de dominance, et ils utiliseraient cette information pour prédire l'issue d'une interaction agonistique entre deux entités. L'étude réalisée par l'équipe de Susan Carey (Thomsen, Frankenhuys, Ingold-Smith, & Carey, 2011) montre en effet que les nourrissons, dès l'âge de 10 mois, sont capables de repérer des relations de dominance entre deux « agents ». En particulier, lorsque l'on présente aux bébés une séquence où deux blocs animés de tailles différentes se dirigent l'un contre l'autre et ont des buts opposés, ils regardent plus longuement la scène dans laquelle le plus gros bloc s'incline pour laisser passer le plus petit, comme s'ils étaient surpris du résultat de cette confrontation. Vers l'âge de 12-15 mois, les enfants ne font pas que reconnaître quand un

agent prend le pouvoir sur un autre dans une interaction, ils s'attendent également à ce que le sens de l'asymétrie (quel agent domine l'autre) reste constant d'une situation de conflit à une autre (Mascaro & Csibra, 2012). Dès 1 ou 2 ans, les enfants établissent entre eux des relations de dominance (Strayer & Trudel, 1984), et l'étude développementale de Charafeddine et al. (2015) s'est intéressée aux critères utilisés par les enfants pour reconnaître une asymétrie de dominance. Les enfants de 3 ans s'appuient sur plusieurs d'indices, à savoir, une différence de taille, d'âge, de pouvoir ou de ressources, pour identifier le dominant dans une interaction. A partir de l'entrée à la maternelle et pendant toute la suite de leur scolarité, les enfants vont passer de plus en plus de temps à être en groupe avec d'autres. Il semble qu'à partir de cette période, ils commencent à élargir leurs représentations de la hiérarchie pour y inclure, en plus des indices de dominance, des critères liés au statut social.

II.2. Les mécanismes de traitement de la hiérarchie chez l'adulte

II.2.1. Les indices utilisés pour détecter le statut des autres

Les manifestations de la hiérarchie sont multiples. L'être humain adulte s'appuie sur un large éventail d'informations pour détecter une asymétrie hiérarchique entre deux individus dans une interaction ou pour évaluer le rang hiérarchique d'une personne seule. Tout d'abord, le statut absolu d'un individu ou les différences de statuts sont identifiées très rapidement et très précisément (dans 98.3% des cas, Marsh, Blair, Jones, Soliman, & Blair, 2009) à partir d'indices élémentaires, comme des séquences très brèves d'interactions ou de simples photos (Mast & Hall, 2004). On utilise à la fois des attributs individuels intrinsèques (des caractéristiques physiques) ou extrinsèques (la tenue vestimentaire), des informations verbales (le style langagier), non verbales (la posture, les expressions faciales, le regard), et même des informations qui ne sont pas physiquement perceptibles (par exemple, les connaissances).

Parmi les caractéristiques physiques, la taille (Keating, Mazur, & Segall, 1981) et la force (Von Rueden, Gurven, & Kaplan, 2008) sont souvent les premières à être utilisées dans l'attribution de statut. Egalement, l'âge et le genre sont deux variables individuelles largement employées dans les jugements hiérarchiques. Les traits faciaux qui véhiculent une certaine maturité/ancienneté et/ou la masculinité, comme des tempes dégarnies, des lèvres fines, des sourcils épais, un visage large et une mâchoire imposante et carrée, sont perçus dans toutes les cultures comme des marques de supériorité hiérarchique (Keating et al., 1981). De ce fait, les visages d'hommes sont perçus comme plus dominants que les visages de

femmes (Hess, Adams, & Kleck, 2005), et les traits faciaux masculins sont des signaux associés à la fois à un haut statut social et la perception de la dominance chez l'homme (Mueller & Mazur, 1997; Watkins, Jones, & DeBruine, 2010) et dans une moindre mesure, chez la femme (Quist et al., 2011).

Par ailleurs, chez l'être humain, certaines postures corporelles ou faciales permettent d'inférer un statut ou une asymétrie de statut dans une dyade. En particulier, les postures ouvertes, dans lesquelles les membres sont plutôt déployés vers l'extérieur (comme le fait d'étendre ses jambes) ainsi qu'une plus grande gestuelle des mains sont perçues comme des marques de supériorité hiérarchique, tandis que des postures plus contraintes, où l'individu est plutôt recroquevillé sur lui-même, sont, elles, associées à l'infériorité (Burgoon & Le Poire, 1999; Carney, Hall, & LeBeau, 2005; Hall, Coats, & LeBeau, 2005). Certaines postures faciales participent également à exprimer la dominance à un autre individu. Généralement, les données empiriques sont obtenues en demandant à des observateurs, soit de choisir parmi deux visages lequel exprime le plus de dominance, soit de décider si un visage exprime de la dominance ou de la subordination. Des sourcils froncés (Keating et al., 1981), un regard direct et confiant, le menton relevé vers le haut sont autant de signes qui expriment la dominance, alors qu'un regard évitant ou la tête orientée vers le sol sont des poses qui communiquent de la subordination (Mignault & Chaudhuri, 2003; Chiao et al., 2008). A ce titre, plusieurs recherches ont tenté d'établir un lien entre certaines expressions émotionnelles et la perception d'un statut particulier. L'expression faciale de colère, un signal de menace et d'agression potentielle, est perçue comme véhiculant beaucoup de dominance, tandis que les expressions de peur et de tristesse sont plutôt associées aux individus subordonnés (Hess, Blairy, & Kleck, 2000; Carney et al., 2005). De plus, ces associations interagissent avec le genre des individus observés. Les visages d'hommes véhiculent de la dominance qu'ils expriment de la colère ou qu'ils n'expriment pas d'émotions, alors que les visages de femmes ne sont perçus comme dominant que lorsqu'ils expriment de la colère (Hareli, Shomrat, & Hess, 2009).

Le statut social peut également être déduit de certains aspects subtils du comportement conversationnel, comme le style langagier ou l'orientation de l'attention sur son interlocuteur. Par exemple, le fait de parler vite et avec beaucoup de confiance (Harrigan, Gramata, Lucic, & Margolis, 1989), d'avoir une voix plus détendue et un timbre plus grave (Burgoon & Le Poire, 1999) sont des indicateurs d'un haut-statut. Au niveau du contenu du discours, exprimer peu de signe de politesse dans le langage, utiliser un vocabulaire sophistiqué et une énonciation claire reflètent un statut élevé (Ng & Bradac, 1993), et à

l'inverse, un discours peu fluide et entrecoupé d'onomatopées (« hum/euh/ah ») est le signe d'un statut moins élevé (Carney et al., 2005). Le comportement non verbal, comme par exemple le niveau de contacts oculaires effectués pendant une discussion, peut également véhiculer une information relative au statut. La plupart des études qui se sont intéressées à cet effet utilisent le « *visual dominance ratio* », un index qui correspond au ratio entre le temps passé à regarder les autres pendant la *prise de parole* et ce même temps de regard pendant l'*écoute* (Dovidio & Ellyson, 1982; Hall et al., 2005 pour une revue). Les observateurs jugent des individus ayant un ratio supérieur à 1, c'est-à-dire qui effectuent plus de contacts oculaires pendant qu'ils parlent que pendant qu'ils écoutent, comme ayant plus de pouvoir, ou un plus haut-statut. D'autres travaux montrent à l'inverse que les individus de plus haut statut socioéconomique effectif (SSE) font en réalité moins de contact oculaires et montrent plus de désintérêt pour la conversation. Ils ont par exemple plus tendance à griffonner sur un morceau de papier pendant que les autres parlent, ils acquiescent moins de la tête (Kraus & Keltner, 2009). Enfin, les locuteurs considérés comme étant de plus haut-statut coupent plus souvent la parole aux autres (LaFrance, 1992) et occupent un plus grand temps de parole dans un groupe (Marianne Schmid Mast, 2002). Ils ont également tendance à être plus expressifs (Carney et al., 2005) et à maintenir une plus faible distance interpersonnelle avec leurs interlocuteurs (Hall, Latu, Carney, & Mast, 2014).

Pour finir, à la différence de la majorité des espèces animales, les êtres humains utilisent une grande variété d'indices non-perceptuels pour déterminer le statut social d'un individu. Le niveau de salaire, la situation professionnelle, l'intelligence et la notoriété sont communément utilisés pour évaluer le statut des autres (Cheng et al., 2013; M. Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2012a; Ratcliff et al., 2011; Zink et al., 2008). Par exemple, Dalmaso et al. (2012) présentaient des photographies de personnes inconnues avec des curriculum vitae fictifs contenant des informations qui traduisaient soit un haut-statut (âgé « le Doyen de la faculté d'Architecture » ou plus jeune « il travaille actuellement comme chercheur dans un célèbre laboratoire européen ») soit un bas-statut (âgé « un ouvrier à la retraite, il n'a pas obtenu son brevet » ou plus jeune « il aimerait passer le concours pour être admis à la faculté de pharmacie »). Les auteurs rapportent un effet de *gaze-cueing* pour les visages de haut-statut : les participants suivent plus le regard des individus de haut-statut que celui des bas statuts. Les informations relatives aux compétences ou au succès professionnel seraient donc rapidement intégrées pour former des représentations sur le statut social de personnes que nous ne connaissons pas et pour lesquelles nous n'avons pas d'autres informations. Des conclusions similaires peuvent être tirées des résultats de Ratcliff

et al. (2011) et de Goodman & Gareis (1993). Lorsque la seule information disponible est la profession de la personne, indiquée soit par un nom de métier ou soit par sa tenue vestimentaire (Ratcliff et al. (2011) abordé dans la section I.4.2-b), p. 20), les individus emploient cette information pour réaliser un jugement de statut social, ce qui a pour effet de modifier l'attention qu'ils portent aux personnes en question.

II.2.2. Une stratégie comportementale de bas niveau

a) L'orientation préférentielle de l'attention visuospatiale

Dans une hiérarchie sociale, l'organisation du groupe est centrée sur les individus dominants. Les individus en bas de l'échelle sociale sont dépendants des individus dominants, dans le sens où ceux-ci ont le contrôle des ressources et disposent de nombreux privilèges, parmi lesquels on compte notamment des alliances sociales leur permettant d'agresser autrui sans l'être en retour. Pouvoir interpréter rapidement le comportement et les décisions d'un supérieur hiérarchique confère de nombreux avantages et a des conséquences positives sur la qualité de vie, voire même, dans certaines situations, sur la survie au sein du groupe. Les chimpanzés vont parfois jusqu'au meurtre pour défendre ou conquérir leur statut social (De Waal, 2007). Face à un individu dominant, les primates parviennent à détecter le moment opportun pour agir ou pour fuir, ils modifient leur comportement d'accès aux ressources en fonction de l'ordre social et mettent en place des stratégies pour s'attirer les faveurs du dominant (Hare, Call, Agnetta, & Tomasello, 2000).

D'après le concept d'attention sociale proposé par Chance (1967), les individus en haut de la hiérarchie capteraient de façon préférentielle l'attention des autres. Les individus de plus bas statut auraient une motivation plus grande à porter leur attention sur les individus les plus puissants car ceux-ci ont plus de contrôle (Fiske, 1993). Plusieurs travaux viennent corroborer cette hypothèse chez différentes espèces de singes (Keverne, Leonard, Scruton, & Young, 1978; McNelis & Boatright-Horowitz, 1998; Pannozzo, Phillips, Haas, & Mintz, 2007) et également chez l'être humain. En présentant, pendant un temps limité, des scènes visuelles composées de douze photographies d'individus dont le statut social différait (d'après la tenue vestimentaire), Maner, DeWall, & Gailliot (2008) observent que les participants surestiment le nombre réel d'individus socialement supérieurs dans la scène ; suggérant que leur attention est dirigée préférentiellement vers les individus de haut-statut. Ceci permettrait d'ailleurs d'expliquer pourquoi l'on se souvient mieux des personnes de haut-statut (Ratcliff et al., 2011). D'autres résultats semblent indiquer que la hiérarchie commence à influencer la perception et l'attention bien avant l'âge adulte. Chez le jeune enfant, des

observations en crèche et dans les petites classes (4 ans) ont révélé que les membres de plus haut-rang social ont tendance à être plus souvent regardés et imités que leur pairs plus bas dans l'échelle social (Vaughn & Waters, 1981; La Freniere & Charlesworth, 1983). Les adolescents passent également plus de temps à regarder les personnes les plus populaires (Lansu, Cillessen, & Karremans, 2014).

L'endroit où se porte le regard est un indice fiable de l'orientation attentionnelle. Dans une situation naturelle, les mouvements oculaires correspondent à un enchaînement de saccades et de fixations (Hayhoe & Ballard, 2005). Les saccades, les mouvements rapides des yeux, permettent de placer les zones les plus pertinentes de l'espace visuel dans la fovéa, la région centrale de la rétine qui contient la plus grande proportion de photorécepteurs. L'utilisation des techniques oculométriques a permis de quantifier un biais attentionnel pour les haut-statuts en montrant par exemple que les hommes dotés d'un statut social élevé reçoivent plus de fixations oculaires que ceux de plus bas-statut, et également plus que les femmes de haut-statut social (DeWall, 2008; Maner et al., 2008). Lorsque le statut hiérarchique est établi d'après le temps de parole et le niveau d'influence exercé sur les autres dans une discussion collective, les observateurs regardent plus souvent en premier et pendant plus longtemps les visages des individus de haut-statut que les visages des individus de plus bas-statut (Foulsham et al., 2010). Ce biais attentionnel en faveur des individus de haut-rang est également retrouvé dans des aspects plus dynamiques de l'attention, capturés notamment par le phénomène de « *gaze-cueing* ». Les primates humains et non-humains ont automatiquement tendance à regarder là où l'attention d'un autre individu se porte (Friesen & Kingstone, 1998; Deaner & Platt, 2003). Ce phénomène est influencé par le statut hiérarchique. Chez les macaques, les individus de bas-statut suivent le regard des membres de haut- et de bas-statut de leur groupe social, tandis que les individus de haut-statut ne suivent que le regard des singes de haut-statut (Shepherd, Deaner, & Platt, 2006). Chez l'être humain, les participants démontrent un effet de *gaze-cueing* plus important i) pour des visages exprimant la dominance, par rapport à des visages exprimant la subordination (Jones et al., 2010; Ohlsen, van Zoest, & van Vugt, 2013) et ii) pour des visages d'hommes associé à un CV de haut-statut, par rapport à des visages hommes associés à un CV de bas-statut (Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2012; Dalmaso, Galfano, Coricelli, & Castelli, 2014).

Ces données suggèrent que la détection de la hiérarchie s'opère et se traduit par des mécanismes attentionnels précoces accompagnant les premières étapes de la perception, lorsque l'information visuelle est extraite. De plus, la stratégie globale d'exploration visuelle serait automatiquement influencée par la présence, dans l'environnement, de signaux

hiérarchiques. L'allocation de l'attention visuelle ne se fait pas au hasard : elle est étroitement liée à la motivation et au contexte. Par exemple, un individu qui a besoin de nourriture va explorer différemment son environnement visuel par rapport à celui qui cherche à se protéger d'une menace. Et certains éléments attirent spontanément plus l'attention que d'autres car ils représentent une plus grande source de plaisir, donc une récompense à atteindre (ou de déplaisir, donc une punition à éviter). La manière d'explorer l'environnement dépend donc largement des buts cognitifs et motivationnels qui animent l'observateur et de la pertinence des éléments qu'il perçoit pour atteindre ces buts. En ce sens, il est possible que les mécanismes attentionnels impliqués dans la détection de la hiérarchie aient une origine motivationnelle. Lang, Bradley, Cuthbert et d'autres auteurs (1997) développent le concept « d'attention motivée » pour décrire le fait que l'attention opère à la manière d'un filtre de sélection et d'évaluation des éléments les plus pertinents pour la motivation. L'objet de la section suivante est de présenter les arguments existants dans la littérature qui appuient l'idée qu'un individu de haut-rang constitue un signal motivationnel et émotionnel particulier, expliquant ainsi les effets détaillés plus haut.

b) L'attribution d'une valence motivationnelle non neutre

Chez les primates, plusieurs études semblent montrer qu'un signal ou une situation d'asymétrie hiérarchique comporte une forte dimension motivationnelle. Certains résultats suggèrent en effet qu'une valence motivationnelle particulière est associée à un individu en fonction de son statut social. Chez le singe, cette valence peut être évaluée par la récompense que l'animal exige de recevoir (mesurée par la quantité de jus de fruits) pour regarder le stimulus (Deaner et al., 2005). Par exemple, si le singe choisit préférentiellement un stimulus associé à une faible quantité de jus de fruit, on estime alors que la vision de ce stimulus compense le manque à gagner en termes de récompense, et satisfait ses attentes en termes de motivation (stimulus appétitif). Inversement, pour une image déplaisante (stimulus aversif), le singe réclame une plus grande quantité de jus de fruit pour pallier au déplaisir que son traitement engendre. En présentant à des macaques les visages de leurs congénères de statuts hiérarchiques différents, Deaner et al. (2005) observent que la valence associée aux visages (sans expression faciale apparente), dépend du statut de l'individu observé. Les auteurs montrent que le visage neutre d'un singe subordonné s'apparente à un stimulus à valence négative, tandis que le visage neutre d'un singe dominant du groupe constitue un stimulus à valence positive, dont le niveau d'appétence est aussi élevé que celui du périnée d'une femelle, dont la valeur motivationnelle est difficilement contestable ! Cette étude

apporte une preuve assez remarquable que, chez le primate non-humain, la perception du visage d'un individu dominant a valeur de récompense. Celui-ci constitue un signal motivationnel modifiant son comportement. D'après les auteurs de cette étude, ce signal est positif puisque les macaques sont enclins à « sacrifier » du jus de fruit pour visualiser les visages dominants ; cependant, ce résultat pourrait découler d'une inhibition des comportements de prise alimentaire (et donc d'un signal motivationnel *négatif*) induite automatiquement par l'apparition d'un individu dominant. Du fait des avantages, du pouvoir et de l'influence que les dominants détiennent, les individus ont beaucoup plus intérêt à établir des alliances avec eux qu'avec les subordonnés, pour profiter en partie des avantages dont ils jouissent. Mais ils ont aussi beaucoup plus de raisons de les craindre.

La revue de la littérature menée par Anderson, Hildreth, & Howland (2015) révèle que le désir d'acquérir du statut constitue une motivation fondamentale dans l'espèce humaine. Quels que soient leur genre, leur âge, ou leur origine ethnique, les individus préfèrent les environnements sociaux dans lesquels leur statut est plus élevé, et ils réagissent violemment lorsque leur statut est menacé. Par exemple, une personne préférera avoir plus de biens que les autres membres de son groupe, comme un salaire plus élevé, même si cela signifie que le groupe dans son ensemble a moins d'argent dans l'absolu (phénomène très reproductible en économie expérimentale, notamment dans le jeu de *bien public* ou le *dilemme du prisonnier*). Yap, Galinsky, & Anderson (2014) rapportent que les individus préfèrent travailler dans des organisations plus petites mais dans lesquelles ils ont une situation professionnelle les plaçant haut dans la hiérarchie locale, plutôt que de travailler dans des entreprises renommées et prestigieuses dans lesquelles ils n'auront qu'un statut modéré. Même à un âge préscolaire, les enfants sont déjà préoccupés par les questions de statut. Ils ont tendance à systématiquement surestimer leur rang de dominance (Edelman & Omark, 1973; Strayer, Chapeskie, & Strayer, 1978), et considèrent que les enfants dominants sont des partenaires sociaux plus attractifs que les autres (Hawley, 1999) et avec lesquels ils préfèrent interagir (Strayer & Trudel, 1984). Chez l'homme, la poursuite du statut serait donc une motivation universelle.

De plus, les individus en haut de la hiérarchie semblent susciter un engagement émotionnel plus grand chez l'observateur que les individus en bas de la hiérarchie. Par exemple, lorsqu'on demande à des personnes de s'imaginer interagir avec une figure d'autorité, ils mentionnent une excitation émotionnelle plus intense que lorsqu'ils s'imaginent interagir avec un pair de statut équivalent (Vrana & Rollock, 1996). En particulier, ils rapportent ressentir des émotions plus positives dans les situations positives

et des émotions plus négatives dans les situations négatives. Cette plus grande excitation émotionnelle évoquée par les individus de haut-statut peut être capturée de manière plus directe en mesurant les réponses de certains paramètres physiologiques, comme l'activité électrodermale (EDA), contrôlée par le système nerveux autonome (ANS). Il s'agit d'un léger courant électrique enregistré à la surface de la main, qui a été utilisée comme mesure d'intérêt dans une étude de cette thèse (**Préliminaires - Etude 4**, Chapitre IX, p. Préliminaire - Etude 4 157 et **Etude 4**, Chapitre X, p. 160). Ce courant est généré spontanément et dépend des propriétés de conductance de la peau, qui sont influencées par l'activité des glandes sudatoires (Cacioppo, Tassinary, & Berntson, 2007 pour une revue). Et il a été établi que l'activité de ces glandes est un bon indicateur d'une activation de la voie sympathique du SNA, excitatrice par opposition à la voie parasympathique (Lang & Bradley, 2010). Ainsi, l'EDA constitue un indice indirect de l'activité du système nerveux autonome et ces variations ont été largement associées dans la littérature à des changements émotionnels (induits) transparaissant dans l'état d'excitation corporelle. Par exemple, le fait de percevoir des images chargées émotionnellement, plaisantes ou déplaisantes entraînent une augmentation de la réponse électrodermale, d'autant plus importante que la charge émotionnelle est élevée (des scènes érotiques – jugées très plaisantes, et des scènes de corps mutilés – jugées très déplaisantes) (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001). En ce sens, les variations de l'EDA reflètent le déclenchement de réactions physiologiques réflexes face un stimulus d'une grande pertinence, qu'il soit appétitif ou aversif (Lang & Bradley, 2010 pour une revue). Certains travaux montrent par ailleurs que la conductance dermique est sensible au gain ou la perte anticipée qui accompagne une situation dont l'issue est incertaine (Crone, Somsen, Beek, & Van Der Molena, 2004; Löw, Lang, Smith, & Bradley, 2008). Dans l'étude de Löw et al. (2008), les participants voyaient s'approcher d'eux progressivement à l'écran soit un stimulus motivationnellement positif (une main tenant de liasse de billet), soit un stimulus motivationnellement négatif (une main tenant une arme à feu) ; tous deux ayant une très forte valence émotionnelle. Ils devaient appuyer le plus vite possible sur un bouton à la fin de chaque de séquence et leur temps de réaction déterminait le dénouement de la situation : s'ils avaient été assez rapides, ils parvenaient, respectivement, soit à empocher l'argent, soit à éviter un coup de feu (virtuels !). Comparé à une situation dont l'issue n'était ni positive ni négative, le niveau de conductance dermique augmentait dans les deux cas, d'abord progressivement pendant toute la période d'approche du stimulus, puis de manière accrue lorsque le dénouement était imminent. La compétition sociale est un contexte pertinent pour la hiérarchie sociale et qui est très engageant d'un point de vue motivationnel. En effet, son dénouement, positif ou négatif, entraîne d'importantes

conséquences sur les individus. Et chez l'être humain, d'anciens travaux font déjà état d'une sensibilité de l'EDA à ce type de contexte. Précisément, la réponse électrodermale des individus augmentent lorsqu'ils sont placés en situation de compétition (Church, 1962) ou lorsqu'ils sont confrontés à des marqueurs très subtils provenant d'autres individus (e.g. les phéromones) et sécrétés pendant une compétition (Adolph, Schlösser, Hawighorst, & Pause, 2010).

Ainsi, chez l'être humain, la conductance électrodermale semble refléter à la fois i) la focalisation accrue de l'attention pour des signaux qui évoquent la motivation, ii) l'excitation émotionnelle induite par des stimuli ou par des contextes engageants, potentiellement menaçants ou qui, au contraire, s'accompagnent d'une récompense (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Schupp et al., 2004; Pastor et al., 2008). S'ensuivrait alors une cascade de réactions permettant la mobilisation des ressources biologiques pour se préparer à éviter des dommages potentiels ou à atteindre une récompense (Lang et al., 1997). Et c'est précisément ce que les données empiriques suggèrent lorsqu'un individu dominant est présent dans l'environnement, ou lorsque les individus entrent en compétition pour acquérir une position hiérarchique particulière. Dans le contexte de la hiérarchie, si les individus de haut rang véhiculent intrinsèquement une valence motivationnelle non neutre, leur perception devrait également déclencher ce type de réactions physiologiques.

II.2.3. Les corrélats cérébraux du traitement de la hiérarchie

La hiérarchie s'exprime sous plusieurs formes (le statut, le pouvoir, la dominance) et dans de multiples contextes (le domaine professionnel, les compétitions sportives, etc.). Ainsi, les indices à notre disposition pour identifier une position hiérarchique ou une asymétrie sont extrêmement nombreux (voir avant section II.2.1., p. 29). Etant donnée la nature complexe de cette variable sociale, il est probable que les mécanismes de traitement du statut social soient pris en charge par un large réseau neuronal distribué dans le cortex. Depuis une dizaine d'années, les études utilisant les techniques de neuroimagerie, en imagerie fonctionnelle (IRMf) et en magnéto- ou électro- encéphalographie (M-EEG) portant sur la hiérarchie ont commencé à apparaître. Aujourd'hui, une vingtaine d'études participent à dessiner la carte cérébrale du traitement de la hiérarchie chez l'homme (Koski, Xie, & Olson, 2015; Watanabe & Matsumoto, 2015). Cette section décrit les corrélats neuronaux impliqués dans la perception de la hiérarchie selon quatre catégories fondamentales de traitement : a) les traitements perceptuels des indices hiérarchiques, b)

l'association à une valence affective/de récompense, c) l'analyse des magnitudes et des classements, et d) les processus exécutifs.

a) Le traitement des caractéristiques perceptuelles

Des aires sensorielles traitent les caractéristiques perceptuelles d'une marque de statut, comme la direction du regard, les mouvements de la bouche, les expressions faciales, l'orientation de la tête, ou encore les postures corporelles qui indiquent la dominance ou la subordination. C'est le cas du Sulcus Temporal Supérieur (STS), dans le cortex visuel extrastrié, et du Gyrus Fusiforme (FG) dans le cortex inféro-temporal. L'activation du FG et du



Figure 2 : Exemple de stimuli utilisés dans l'étude Marsh et al. (2009) représentant des postures de haut-statut (gauche), neutre (centre) et de bas-statut (droite).

STS est plus forte en réponse à la perception d'un visage véhiculant un statut élevé, comme celui du vainqueur d'une compétition (Zink et al., 2008) ou d'un visage exprimant la dominance (Chiao, Mathur, et al., 2009; rapporté également en MEG par Arviv et al., 2015), ou encore en réponse à une posture corporelle dominante (Figure 2, p. 38) (Marsh et al., 2009; Mason et al., 2014). Le gyrus fusiforme contient l'aire qui présente la spécificité aux visages la plus grande et la plus robuste : « l'aire fusiforme des visages » (FFA) (Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; Kanwisher & Yovel, 2006). Ensemble, la FFA et le STS participent largement à former le système cérébral dédié au traitement des visages : la FFA serait impliquée dans l'encodage cérébral de la structure et de l'identité d'un visage (e.g. les paramètres faciaux invariants), et le STS serait plutôt responsable de l'analyse des expressions faciales et des changements d'orientation du regard et de la tête (e.g. les paramètres faciaux changeants) (Kanwisher et al., 1997; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000; Hoffman & Haxby, 2000). Cependant, à partir de ces études (Chiao et al., 2008; Marsh et al., 2009; Mason et al., 2014), on ne peut pas complètement affirmer que ces aires perceptives soient sensibles à la hiérarchie elle-même. Il est en effet possible qu'elles traitent les aspects structuraux (comme l'orientation de la tête et du regard) indépendamment de la dimension hiérarchique qu'ils véhiculent. En effet, la dimension hiérarchique est confondue ici avec les caractéristiques physiques qui la définissent et il est donc difficile de dissocier les deux facteurs. Néanmoins, une étude récente menée au sein de notre institut rapporte que l'activité du STS droit différencie le statut hiérarchique de visages neutres observés

passivement et associés préalablement à des probabilités de victoires différentes dans une tâche compétitive (Ligneul, Girard & Dreher, Social brains and divides: the interplay between political orientation and the neural sensitivity to social ranks, *in prep*).

Par ailleurs, des travaux ont montré que certains traits faciaux utilisés pour détecter la hiérarchie, comme un regard orienté directement vers l'observateur, déclenchent l'activation de l'amygdale (Kawashima et al., 1999; Adams, Gordon, Baird, Ambady, & Kleck, 2003). Cette région appartient au système limbique et participerait au traitement des informations faciales de plus haut niveau que purement perceptives, comme l'analyse des expressions émotionnelle du visage ou des états mentaux des individus (Adolphs, Tranel, Damasio, & Damasio, 1994; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2002). Le modèle proposé par Haxby et ses collaborateurs (Gobbini & Haxby, 2006; Haxby et al., 2002) suggère que l'amygdale, parmi d'autres régions, renvoient des informations aux aires perceptives du traitement des visages par des afférences top-down. Mais d'autres travaux ont suggéré qu'elle puisse également biaiser le traitement perceptuel par des afférences bottom-up très précoces, liées à un mode de perception sous-cortical et préconscient (Pessoa & Adolphs, 2010). Une étude menée au sein de notre institut, chez les patients épileptiques ayant des électrodes implantées directement dans l'amygdale a par exemple montré que cette structure est sensible précocement aux traits faciaux exprimant de la dominance (à partir de 100ms après l'affichage du visage ; Ligneul, Petton, Breton and Dreher, The neural dynamics of facial dominance detection in the amygdala, *in prep*). L'activation conjointe du STS et de l'amygdale jouerait ainsi un rôle important dans l'intégration des informations faciales critiques pour la cognition sociale (Adolphs, 1999). On peut même supposer que la modulation de l'activité du FG et du STS par des indices hiérarchiques est en fait dépendante de l'activation de l'amygdale, dont l'importance pour traitement de la hiérarchie est abordée en détails dans la section suivante.

b) L'association à une valence affective/de récompense

Des régions du système limbique et paralimbique, impliquées dans la reconnaissance et l'évaluation de la valence émotionnelle des stimuli (i.e. la charge positive ou négative d'une émotion) ainsi que les régions associées au système de récompense, notamment le striatum ventral, sont sensibles à la présence d'un individu de haut-statut et encodent la nature hiérarchique des rapports interindividuels. Concernant la valence émotionnelle d'un signal ou d'une position hiérarchie particulière, il a été observé que des lésions dans des régions limbiques, comme l'amygdale et le cortex cingulaire antérieur, et paralimbiques, comme le

lobe temporal, entraînent une diminution importante du statut social et de la capacité à réagir de manière appropriée au statut des autres chez le singe, ainsi qu'une perte de la dominance sociale chez l'humain (Olson, Plotzker, & Ezzyat, 2007 pour une revue). Une étude récente vient renforcer ces observations en montrant que chez des singes vivant en groupe, le volume de matière grise dans l'amygdale est corrélé au rang de dominance de l'individu dans la cohorte (Noonan et al., 2014). Etant donné que la fonction principale de l'amygdale serait de décoder les stimuli potentiellement menaçants, une attention particulière sera portée à cette région. Plusieurs études en imagerie fonctionnelle révèlent le rôle de l'amygdale dans le traitement émotionnel de la hiérarchie (Zink et al., 2008; Hu et al., 2015). Dans le protocole développé par Zink et al. (2008), le participant était d'abord classé par rapport à deux autres joueurs factices en fonction de ses performances dans des jeux perceptifs. Puis les participants jouaient successivement contre l'un ou l'autre des deux joueurs et avaient la possibilité de gagner de l'argent lorsqu'ils étaient les meilleurs au jeu. La hiérarchie pouvait être stable (le rang des joueurs et du participant étaient fixes même si celui-ci gagnait aux jeux) ou instable (la position du participant pouvait varier). Pour cette dernière condition uniquement, l'activité BOLD dans l'amygdale augmente lorsque les participants voient le visage du joueur supérieur à eux dans le classement, par rapport au visage du joueur inférieur à eux. Cette activité différentielle de l'amygdale traduirait l'association d'une valence émotionnelle non neutre, potentiellement négative, au joueur supérieur. On peut supposer que, dans le contexte où la hiérarchie n'est pas fixe, le joueur supérieur constitue un stimulus plus saillant voire plus menaçant car le rang des individus est encore en jeux, par rapport au cas où la hiérarchie est bien établie. L'étude de Hu, Cao, Blue, & Zhou (2014) apportent d'autres indices sur le rôle de l'amygdale dans l'encodage émotionnel de la hiérarchie. Dans cette étude, les participants étaient classés par rapport à d'autres individus fictifs également selon leur performance à des problèmes mathématiques puis ils participaient au jeu de l'ultimatum avec l'un des autres joueurs. Le joueur fictif se voyait attribuer une certaine somme d'argent, et décidait quelle part il gardait pour lui et quelle part il attribuait au participant. Si le participant n'acceptait pas l'offre, aucun des deux individus ne recevait d'argent. Hu et al. (2014) observent une réactivité plus grande de l'amygdale aux offres jugées injustes lorsque le participant était dans une position de bas-statut. Cette étude démontre que l'amygdale est sensible à des situations négatives sur le plan émotionnel, comme l'injustice sociale, en présence d'individus de haut-rang. D'une part, l'activité neuronale dans cette structure coderait le niveau de connaissances que les individus acquièrent d'une hiérarchie sociale. Et d'autre part, des différences de volumes de l'amygdale,

de l'hippocampe antérieur et du lobe temporal sont corrélées à la capacité des individus à apprendre le statut social des autres (Kumaran, Melo, & Duzel, 2012).

Les régions du système limbique comme l'amygdale sont par ailleurs largement connectées aux régions impliquées dans le circuit de la récompense. Il s'agit notamment du striatum ventral, nécessaire au renforcement des comportements gratifiants et à la suppression des comportements dont les conséquences sont négatives, ou le cortex orbitofrontal (OFC), qui assure la représentation de la valeur subjective (appétitive ou aversive) des stimuli que nous percevons (Tremblay & Schultz, 1999). Concernant la valeur motivationnelle associée à une information hiérarchique, des travaux chez le primate soutiennent que la perception d'un individu de haut-statut i) agit comme un renforçateur au niveau comportemental (Deaner et al., 2005) et 2) est associée à l'activation du cortex orbitofrontal (OFC) (Azzi, Sirigu, & Duhamel, 2012) et du striatum ventral (Klein & Platt, 2013). Ces régions entretiennent des liens synaptiques étroits avec l'amygdale, et leur activité conjointe permettrait de guider l'attention visuelle vers les stimuli les plus saillants d'un point de vue motivationnel, comme les membres de plus haut-statut (Klein, Shepherd, & Platt, 2009).

Tout comme l'amygdale, l'OFC serait impliqué dans le traitement des informations faciales de haut-niveau. Le cortex orbitofrontal partage de nombreuses connexions avec certaines régions du cortex temporal inférieur et contiendrait lui aussi des neurones sélectifs aux visages (Rolls, 2000). Son rôle serait d'évaluer la valence particulière de signaux véhiculés par les visages en fonction du contexte et des buts poursuivis par les individus (Haxby et al., 2002; Azzi et al., 2012). Dans le cas de la hiérarchie, celui-ci servirait par exemple à attribuer une valence motivationnelle positive ou négative à un trait de dominance en fonction du contexte (par exemple, la recherche d'affiliation ou l'évitement d'une agression). Chez l'être humain, une activation plus forte de l'OFC a été observée, pas uniquement en réponse à la perception d'un individu de haut-statut, mais lorsque les participants jugent de l'asymétrie hiérarchique entre deux individus par rapport au cas où ils jugent la nature de leur lien social (ami(e)s ou ennemi(e)s ?) (Farrow et al., 2011).

Le striatum ventral est une région majeure du système de récompense. Son activation varie par exemple en fonction des victoires et des défaites dans des situations de compétition basées sur les performances ou les connaissances (Zink et al., 2008; Votinov, Pripfl, Windischberger, Sailer, & Lamm, 2015). Le striatum est également recruté lors de jugements de rangs hiérarchiques. Cette structure est plus fortement activée en réponse à un individu de haut rang par rapport à un individu de bas rang (Ly, Haynes, Barter,

Weinberger, & Zink, 2011) et dans le cas où la hiérarchie est stable (Zink et al., 2008). Les travaux chez le primate non-humain ont montré qu'une valeur de récompense est assignée aux individus de haut-statut, et l'activation du circuit de récompense chez l'homme suggère qu'une valeur de récompense similaire est associée aux individus en haut de la hiérarchie. Cependant, en l'absence de données comportementales chez l'être humain montrant une préférence pour les individus de haut-statut parmi d'autres stimuli à forte valence positive (comme de la nourriture, des images érotiques) ne rend cette interprétation que partiellement valide. Il est en effet possible que ce pattern de réponses cérébrales reflète plutôt que les individus de haut-statut, au lieu d'être associés à une valeur de récompense au sens strict, occupent une présence plus saillante dans l'environnement et évoquent plus d'attention que les subordonnés.

c) Le traitement des magnitudes

Des recherches ont montré que la région cérébrale principalement impliquée dans le traitement numérique et les jugements de magnitude (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003) est également sensible au rang attribué à des individus classés dans un groupe. En effet, le Sulcus Pariétal Inférieur (IPS), dédié au traitement des nombres, est activé lorsque des participants comparent le rang de militaires en uniformes, le rang associé à différents insignes militaires, ou même le rang social que reflètent des voitures de différentes marques (Chiao, Bordeaux, & Ambady, 2004; Chiao et al., 2009), ou encore lorsque des participants jugent du statut d'individus par rapport à leur propre statut, selon le niveau de ressources financières (Cloutier, Ambady, Meagher, & Gabrieli, 2012; Cloutier et al., 2013). L'IPS est également activé lorsque des participants doivent juger du statut relatif d'un individu d'après sa posture par rapport à une pose neutre (Freeman, Rule, Adams Jr., & Ambady, 2009; Marsh et al., 2009), ou de la différence de statuts entre deux individus dont les postures dépeignent une asymétrie de statut (Klein, Deaner, & Platt, 2008; Mason et al., 2014). Il semble donc que l'IPS sous-tende les représentations mentales de classements hiérarchiques et prenne en charge la comparaison numérique et la comparaison de stimuli sociaux et non sociaux véhiculant un rang hiérarchique. On peut notamment émettre l'hypothèse que cette structure permet d'intégrer différents marqueurs de statut de sorte que les statuts sociaux puissent être comparés sur une échelle quantitative unidimensionnelle.

d) Les aires du traitement exécutif

Les aires cérébrales impliquées dans les processus exécutifs (e.g. la planification, la mémoire de travail, la créativité, l'estimation de la confiance ou des conséquences de nos actions) sont, elles aussi, influencées par les signaux hiérarchiques, mais la question de savoir si ces réseaux jouent spécifiquement un rôle dans le traitement de la hiérarchie ou si elles participent plus généralement à la cognition sociale n'est pas encore élucidée. Les différents travaux de neuroimagerie ont relié l'activité du cortex préfrontal ventrolatéral (vlPFC), du cortex préfrontal dorsolatéral (dlPFC) et du cortex préfrontal médian (mPFC) à la perception et à l'évaluation d'asymétries de statut et de dominance (en IRMf : Marsh et al., 2009; Zink et al., 2008; Farrow et al., 2011; Cloutier et al., 2012; Mason et al., 2014; en MEG : Arviv et al., 2015). Par exemple, une augmentation de l'activité du dlPFC a été identifiée de façon consistante dans plusieurs études (Marsh et al., 2009; Zink et al., 2008) en réponse à la perception d'un individu ou d'indices corporels (la posture) véhiculant la supériorité hiérarchique. Des patients lésés au sein du dlPFC éprouvent plus de difficulté à déterminer le lien social qui unit deux individus, comme une relation d'intimité ou une différence de statut (Mah, Arnold, & Grafman, 2004), de même pour le mPFC (Karafin, Tranel, & Adolphs, 2004). Le vlPFC serait recruté lorsqu'il s'agit de se représenter les relations sociales et effectuer des jugements comparatifs, de nature hiérarchique ou non, une fonction logiquement liée au rôle du cortex orbitofrontal – qui recoupe le vlPFC – dans la sensibilité au statut (Farrow et al., 2011; Chiao, Mathur, et al., 2009). Enfin, juger du statut relatif de deux individus en train d'interagir selon une asymétrie de pouvoir (induite par la posture, Mason et al., 2014), ou évaluer son propre statut par rapport à celui des autres (Muscatell et al., 2012) recrutent le mPFC, une structure largement impliquée dans les processus de mentalisation. La mentalisation est une fonction extrêmement importante sur le plan social, qui permet de percevoir et d'interpréter les pensées et le comportement d'autrui. D'ailleurs, le mPFC a été impliqué dans les fluctuations de l'estime de soi induites par les jugements de valeur d'autrui (Eisenberger, Inagaki, Muscatell, Haltom, & Leary, 2011). Enfin, une étude combinant IRMf et stimulation électrique transcrânienne au niveau du mPFC (Ligneul, Obeso, Ruff and Dreher, Neural computations of social dominance in the anterior prefrontal cortex, *in review*) a montré que cette structure est responsable de l'évaluation *in situ* (pendant des interactions compétitives dynamiques) des asymétries de dominance entre soi et autrui. Son activité est en effet non seulement corrélée aux asymétries de dominance, mais aussi impliquée dans la décision d'entrer en compétition avec des individus plus ou moins dominants. Comme dans une autre expérience récente (Dambacher & Hübner, 2014), les résultats de cette étude suggèrent également que la stimulation électrique du mPFC

supprime une différence entre hommes et femmes dans la manière d'appréhender les situations de compétition sociale. Les différences intergenres observées dans ce type de situation (Niederle & Vesterlund, 2007) pourraient alors être liée à un engagement différentiel du mPFC.

Quoi qu'il en soit, une conséquence importante de l'existence des hiérarchies sociales est qu'un même individu doit être capable d'adopter successivement, en fonction du contexte, des stratégies comportementales de type subordonnée (réagir, obéir, attendre) et des stratégies de type dominante (planifier, ordonner, initier une action ou un épisode compétitif). Ces stratégies requièrent toutes l'engagement des fonctions exécutives, mais de façon différente. Ainsi, la question est moins de savoir si le cortex préfrontal est impliqué dans le traitement de la hiérarchie elle-même (e.g. son apprentissage, sa détection) que de comprendre la manière dont il permet d'ajuster notre comportement à un environnement social variable et complexe, au sein duquel la hiérarchie joue un rôle important.

Pour résumer, les études de neuroimagerie fonctionnelle ont permis d'identifier les mécanismes cérébraux impliqués dans le traitement des asymétries hiérarchiques. Ces mécanismes sont implémentés au sein d'un large réseau d'aires responsables du traitement de stimuli ordonnés, émotionnels ou à valeur de récompense, et des aires dédiées aux processus attentionnels ou exécutifs. Les interactions potentielles entre ces différentes régions sont encore relativement méconnues.

Ce chapitre apporte donc les arguments empiriques en faveur de l'existence, chez l'être humain, de mécanismes de traitement et d'adaptation à un environnement social hiérarchisé. Ces mécanismes opèrent à des niveaux attentionnels et motivationnels pour favoriser la discrimination des individus dominants et préparer un schéma de réactions appropriées. Et ceux-ci s'appuient sur large réseau de circuits corticaux et sous-corticaux interconnectés et capable d'intégrer simultanément les différentes composantes de la hiérarchie. Dans la littérature existante, les visages ont été utilisés comme supports privilégiés de transmission des signaux hiérarchiques. Utiliser les visages pour transmettre ce type de signaux est légitime car ils constituent sans doute les stimuli les plus importants sur le plan social (Goldstein, 1983) et occupent une place très particulière dans notre monde visuel. En effet, leur structure très caractéristique les différencie de tous les autres objets et nous les reconnaissons préférentiellement par rapport au reste. Mais surtout, des informations plus sophistiquées que simplement structurales émergent d'une configuration particulière des traits faciaux. Tout d'abord, les visages sont utilisés pour communiquer à autrui une myriade

d'informations non-verbales, principalement les émotions ou les intentions. Le froncement des sourcils génère la perception de la colère, la position de la pupille indique l'endroit où l'attention d'un individu se porte. Ensuite, les caractéristiques du visage renseignent sur l'appartenance des individus à certaines catégories sociales. La forme du visage, les traits d'une personne et le grain de peau permettent de savoir si l'on a affaire à un homme ou à une femme, quel est son âge, ou si cette personne est d'origine caucasienne, africaine ou asiatique. Enfin, d'après les traits faciaux, nous formons très rapidement des représentations sur une personne et nous en inférons des aspects de sa psychologie. A partir de certaines caractéristiques du visage (des traits symétriques, une ossature de la mâchoire plus large,...), nous évaluons par exemple l'attractivité (Grammer & Thornhill, 1994; Scheib, Gangestad, & Thornhill, 1999), la valeur morale (Tiberghien & Baudouin, 2004), le niveau de confiance (Todorov, Said, Engell, & Oosterhof, 2008) et nous jugeons du statut social ou de la dominance (Hall et al., 2005; Todorov et al., 2008). La richesse des informations qui émanent d'un visage est considérable. Une partie des états mentaux, des ressentis, des intentions, même la représentation du statut social d'un individu peut littéralement se lire sur son visage. Même s'ils ne constituent pas les seuls outils à disposition pour exprimer ces informations non-verbales (les postures corporelles peuvent également traduire un état émotionnel, ou comme mentionné auparavant, une position hiérarchique), ils restent le moyen privilégié et le plus efficace de transmettre des signaux de nature sociale.

Dans cette thèse, j'ai abordé le traitement de la hiérarchie sociale chez l'homme principalement au travers de la perception des visages. En étudiant l'influence que ce contexte social pouvait avoir sur les différentes étapes de traitement des visages, j'ai tenté de caractériser certains aspects cognitifs et cérébraux de la perception de la hiérarchie. L'hypothèse proposée ici est que la hiérarchie, en tant que variable de catégorisation sociale extrêmement pertinente pour l'être humain, modulerait différentes étapes de la perception faciale.

Le chapitre suivant est donc consacré au traitement du contexte social associé à un visage. Dans un premier temps, je présenterai les résultats en faveur de notre expertise pour les visages, de leur détection à l'extraction de l'information visuelle qu'ils contiennent, jusqu'à leur encodage au niveau neuronal. Les données de la littérature soutiennent l'existence, chez l'homme, de mécanismes très spécifiques dédiés à la reconnaissance faciale. L'objectif est alors d'identifier des étapes de la perception des visages, indexées par différents marqueurs physiologiques, cognitifs et cérébraux, susceptibles d'être influencés par les catégories sociales, et donc par la hiérarchie. Dans un second temps, je ferai état de la

II. Percevoir la hiérarchie et s'y adapter

littérature qui traite de la modulation de la perception faciale par le contexte social. La dernière section de ce chapitre sera dédiée aux travaux qui rapportent une influence de la hiérarchie sur la perception des visages.

*
* *

Chapitre III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

III.1. Le stimulus le plus pertinent socialement

Les visages humains sont extrêmement pertinents, non seulement parce que nous y sommes confrontés en permanence mais également pour l'importance des signaux qu'ils véhiculent. Dans un environnement éminemment social comme le nôtre, toutes les informations qui leur sont associées sont nécessaires pour évoluer avec succès au sein d'un groupe. Elles sont essentielles par exemple à la reconnaissance de nos apparentés, et plus généralement, elles participent à l'établissement et au maintien de liens appropriés entre les individus. Chez l'homme, il existe des mécanismes à la fois cognitifs et cérébraux spécifiquement dédiés à la détection et à la reconnaissance des visages. L'être humain parvient à repérer de façon quasi automatique la présence d'autres individus dans l'environnement, bien qu'il s'agisse une tâche complexe. La très forte propension des visages à capturer notre attention (en comparaison à d'autres stimuli) a déjà été largement étudiée dans la littérature (Birmingham, Bischof, & Kingstone, 2008; Fletcher-Watson, Findlay, Leekam, & Benson, 2008; Crouzet, Kirchner, & Thorpe, 2010). Il faut par exemple moins de 150 ms à des observateurs pour repérer un visage parmi plusieurs objets (Crouzet et al., 2010). Plus impressionnant encore, seules 38 ms sont nécessaires pour détecter un visage présenté dans l'environnement (Purcell & Stewart, 1986, 1988; Lewis & Ellis, 2003), moins que pour n'importe quel autre type d'objets. Cet avantage persiste même si le visage est flashé en périphérie du champ visuel ou s'il s'agit d'un dessin. L'homme adulte présente un biais attentionnel très puissant pour les visages, qui lui confère une capacité de détection hors du commun. Ces résultats révèlent également que même au tout premier stade de la perception (au moment de la programmation de la première saccade), le système visuel humain est capable d'intégrer des éléments beaucoup plus élaborés que de simples différences de contraste ou de luminance. Il parvient à capturer des patterns de visages très complexes et hautement pertinents. Ce biais de détection est aussi présent chez les nouveau-nés. Goren, Sarty, & Wu (1975) ont certainement travaillé avec les plus jeunes participants jamais testés en sciences cognitive, lorsqu'ils ont montré que des bébés humains âgés de seulement 9 minutes suivaient déjà du regard des formes imitant un visage humain (Figure 3, p. 48) plus que d'autres structures de complexité équivalente (Goren et al., 1975). Ce

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

résultat est d'une importance capitale car il constitue un argument très fort en faveur du caractère inné de la détection des visages chez l'homme. Sa réplication a fait l'objet de nombreux travaux (Johnson, Dziurawiec, Ellis, & Morton, 1991;

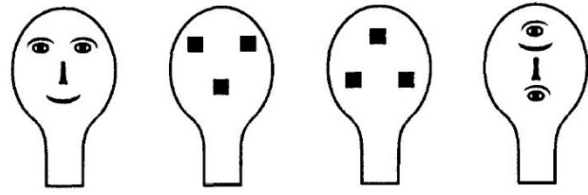


Figure 3 : Stimuli présentés aux nouveaux nés dans l'étude de Goren et al. (1975).

Valenza, Simion, Cassia, & Umiltà, 1996). Autre résultat intéressant, des enfants de 6 mois à qui l'on présente une image contenant plusieurs éléments dont un visage effectuent plus fréquemment leur première saccade sur ce visage et passent plus de temps à l'observer (Gliga, Elsabbagh, Andravizou, & Johnson, 2009). La cause de cette préférence attentionnelle très précoce pour les visages n'est pas encore bien établie dans la littérature. Néanmoins, elle jouerait un rôle primordial dans l'établissement des premiers liens sociaux, en permettant au nourrisson de s'orienter vers un congénère et d'accroître ainsi ses chances de recevoir de l'aide le cas échéant (Gliga, 2003). L'être humain serait donc doté dès sa naissance d'une capacité de détection des visages à la fois très spécifique – c'est-à-dire qui ne serait pas impliquée dans la détection d'autres objets – et très performante.

III.2. Des experts du traitement des visages

III.2.1. Une exploration visuelle très stéréotypée

Les visages humains représentent un schéma visuel complexe. Du fait de la richesse des informations qu'ils véhiculent, les visages constituent un foyer vers lequel notre attention est orientée préférentiellement. Lorsque les individus regardent une scène ou un objet, ils effectuent une succession de mouvements et de fixations oculaires. Ces séquences oculaires, appelées « *visual scan paths* », sont programmées automatiquement et permettent d'extraire l'information visuelle. Dans le cas de stimuli très récurrents, important écologiquement et pour lesquels l'être humain a un certain niveau d'expertise, ces séquences sont très stéréotypées. Les travaux de Yarbus (1967) ont eu d'importantes retombées scientifiques car ils ont été les premiers à révéler que les mouvements oculaires reflètent précisément les processus cognitifs engagés dans la perception des stimuli. Grâce à l'avancée des techniques d'oculométrie, Leonards & Scott-Samuel (2005) ont démontré par la suite que ces *scan paths* visuels sont en effet fortement contraints par des variables liées, soit aux propriétés physiques du stimulus visuel – une stratégie « *externally-driven* », soit aux états cognitifs et aux buts qui animent l'observateur – une stratégie « *internally-driven* ». Alors que l'exploration d'un objet dépend des propriétés physiques de l'image (fréquence, contraste,

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages



Figure 4 : Illustration de l'importance des yeux dans l'exploration visuelle des visages (Rachel Baran).

etc.) et varie donc d'un objet à l'autre et d'une scène à l'autre, l'exploration des visages est, elle, extrêmement stéréotypée et idiosyncratique (Leonards & Scott-Samuel, 2005). La majorité des fixations oculaires sur un visage sont concentrées dans la région contenant les traits internes, c'est-à-dire les yeux, le nez et la bouche (Yarbus, 1967a; Walker-Smith, Gale, & Findlay, 1977; Mertens, Siegmund, & Grüsser, 1993; Henderson, Falk, Minut, Dyer, & Mahadevan, 2001) même si ces régions ont été déjà explorées auparavant (Walker-Smith et al., 1977; Henderson et al., 2001). Parmi les traits internes faciaux, les yeux sont la cible préférentielle de l'attention. Ils sont explorés plus fréquemment et plus longtemps que les autres régions, que le visage soit présenté isolément (Mertens et al., 1993; J. M. Henderson, Williams, & Falk, 2005; Hernandez et al., 2009) ou qu'il apparaisse dans une scène visuelle complexe (Birmingham et al., 2008). Les yeux sont les composants faciaux les plus informatifs et constituent un outil majeur dans la communication social (Itier & Batty, 2009) (Figure 4, p. 49). Ce biais attentionnel pour la région oculaire s'exprime très précocement au cours de la vie. Les nouveau-nés manifestent une préférence visuelle pour les visages ayant les yeux ouverts (Batki, Baron-Cohen, Wheelwright, Connellan, & Ahluwalia, 2000) et le regard direct (Farroni, Csibra, Simion, & Johnson, 2002), et les enfants comme les adultes, préfèrent regarder les yeux plutôt que les autres caractéristiques du visage (Vecera & Johnson, 1995).

L'attention visuelle sur les visages est donc guidée de manière extrêmement stéréotypée, préférentiellement sur la région des yeux. Même aux stades les plus précoces de la perception (lorsque l'information visuelle est extraite), de très fortes contraintes sont appliquées sur la stratégie d'exploration faciale pour la rendre aussi optimale que possible. Ces contraintes permettent un recueil privilégié des informations faciales les plus pertinentes pour les individus, facilitant leur traitement ultérieur. Ces particularités propres à l'exploration des visages constituent un argument supplémentaire en faveur de l'existence d'un module cognitif spécifique à la reconnaissance des visages.

III.2.2. La spécificité de la reconnaissance faciale

a) Un système expert

Malgré leur apparente complexité et la grande diversité des signaux qu'ils transmettent, les visages sont des stimuli particulièrement évidents à reconnaître. L'être humain parvient à reconnaître des milliers d'individus, à différentes distances, selon différents points de vue et différentes conditions de luminosité, même lorsque certains détails du visage diffèrent, comme des lunettes, un piercing, ou une nouvelle coupe de cheveux (Maurer, Le Grand, & Mondloch, 2002) ou lorsqu'il s'agit de personnes que l'on n'a pas vues depuis 35 ans (Bahrick, Bahrick, & Wittlinger, 1975). Il est possible d'apprendre un nombre illimité de visage, et l'apprentissage d'un nouveau visage s'effectue très aisément. De nombreux chercheurs considèrent ainsi que l'être humain est un « *expert* » en reconnaissance des visages (Diamond & Carey, 1986; Carey, De Schonen, & Ellis, 1992). Cette étape, tout comme la détection des visages, est considérée par beaucoup comme étant spéciale, impliquant des mécanismes différents de ceux mis en jeu lors de la reconnaissance d'autres objets (Damasio, Damasio, & Van Hoesen, 1982; Ellis & Young, 1989; Farah, 1996; McCarthy, Puce, Gore, & Allison, 1997). De nombreuses études ont montré que cette capacité apparaît très précocement dans le développement. Deux jours après la naissance, les bébés humains distinguent déjà le visage de leur mère par rapport aux visages d'étrangers (Bushneil, Sai, & Mullin, 1989; Pascalis, de Schonen, Morton, Deruelle, & Fabre-Grenet, 1995). Au cours des 6 premiers mois, ils deviennent par ailleurs capables de discriminer les visages jeunes de visages âgés, les visages féminins des visages masculins, et ils acquièrent la capacité d'apprendre et de reconnaître de nouveaux visages (Carey et al., 1992). Même si les bébés humains ne sont pas immédiatement « experts » en visages, il semble tout de même qu'ils naissent avec des représentations prototypiques des visages (Slater & Quinn, 2001). Ces représentations seraient ensuite enrichies au cours de l'enfance et de l'adolescence, pendant la maturation du système visuel, grâce à la confrontation permanente avec d'autres individus, jusqu'à atteindre le niveau d'expertise observé chez l'adulte (Slater & Quinn, 2001; Ellis, Bruce, & De Schonen, 1992).

b) Le rôle fondamental de la configuration faciale

Pour comprendre plus en détail le fonctionnement de ce système de reconnaissance, il faut s'intéresser aux facteurs capables de l'altérer. Chez l'adulte comme chez l'enfant, il a été montré que les propriétés de reconnaissance des visages sont très réduites dans les situations expérimentales suivantes : lorsque la position standard des traits faciaux n'est plus respectée

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

(Goren et al., 1975; Johnson et al., 1991; Purcell & Stewart, 1986, 1988), lorsque le visage est présenté à l'envers (Gliga et al., 2009; Ro et al., 2001) ou lorsque le contraste et la luminosité sont inversés (Valenza et al., 1996). L'être humain distingue plus facilement deux visages lorsque ceux-ci sont présentés à l'endroit plutôt qu'à l'envers (Valentine, 1988 pour une revue). Les mêmes modifications appliquées à des objets, même complexes, n'altèrent pas autant leur reconnaissance. Par exemple, l'identification d'un composé du visage – la bouche par exemple – est plus rapide lorsqu'il est présenté au sein du visage que lorsqu'il est présenté seul. Mais une porte est reconnue de la même manière qu'elle soit présentée isolément ou en tant que composé d'une maison (Tanaka & Farah, 1993). La reconnaissance faciale fait donc intervenir des mécanismes spécifiques dépendants à la fois des traits faciaux mais aussi de leur configuration. Ainsi, la reconnaissance faciale reposerait sur deux types de traitement distincts (Rhodes, 1986; Tanaka & Farah, 1993; Tanaka & Sengco, 1997; Maurer et al., 2002). Le premier est dit « analytique » et consiste en l'analyse des différentes sous-parties du visage considérées séparément. Bien que tous les visages possèdent les mêmes caractéristiques standard, la forme du nez, la couleur des yeux ou la coiffure peuvent en effet suffire à la reconnaissance. Les travaux sur la reconnaissance des visages ont par ailleurs montré que ce système de reconnaissance par attribut est accompagné d'un second type de traitement, relativement plus efficace, dit « configural ». Plusieurs définitions du traitement configural existent dans la littérature. Pour certains, il impliquerait l'analyse des relations spatiales entre les différents composants, en tenant compte i) de la disposition relative des composants les uns par rapport aux autres – les yeux au-dessus du nez ou le nez au-dessus de la bouche par exemple (Moscovitch, Winocur, & Behrmann, 1997) et ii) des variations de forme et d'espacement constitutifs des composants eux-mêmes (par exemple la distance entre les deux yeux). Il est possible que cette analyse spatiale s'effectue par comparaison à un visage prototypique moyen (Diamond & Carey, 1986). Pour d'autres, le traitement configural consisterait en l'analyse holistique d'un visage, c'est-à-dire comme tout indivisible, dont les parties seraient indissociables de l'ensemble (Tanaka & Farah, 1993).

c) Le module de reconnaissance des visages

Toutes ces particularités de la reconnaissance des visages ont amené de nombreux chercheurs à supposer l'existence d'un « module » indépendant du reste du système cognitif, spécifiquement dédié à l'analyse des informations faciales (Bruce & Young, 1986; Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000; Kanwisher et al., 1997). Dans le modèle fonctionnel de Bruce & Young (1986), le traitement des visages est décomposé en différents sous-systèmes distincts,

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

indépendants les uns des autres, et responsables chacun de l'analyse d'un type particulier d'information véhiculée par le visage (Figure 5, p. 52). Le traitement perceptuel d'un visage implique au moins deux étapes distinctes. La première étape correspond à l'extraction des propriétés physiques constitutives du stimulus (contraste, illumination, couleur, grain, etc.) et donne lieu à une représentation picturale de l'image en une forme cohérente à deux dimensions. La seconde étape correspond à une phase d'encodage structurel du visage, au cours de laquelle les paramètres invariants des traits faciaux (l'écartement des yeux, la taille du nez) sont extraits pour former la configuration spatiale du visage en trois dimensions, quelle que soit son orientation. Cette représentation structurelle est ensuite comparée à une représentation préexistante d'un visage prototypique moyen (formé à partir de l'ensemble des visages perçus jusqu'alors et stocké en mémoire), aboutissant à la reconnaissance du stimulus comme étant un visage ou non. Ce modèle postule par ailleurs que les composantes intrinsèques d'un visage (qu'elles soient invariantes comme l'identité, l'origine ethnique, le genre, ou changeantes comme l'expression, le regard et les mouvements des lèvres) sont traitées dans un second temps, séparément de l'étape d'encodage structurel et de manière sérielle, séparément les unes des autres.

L'étude de la reconnaissance des visages est alors devenue un point vers lequel les disciplines des sciences cognitives ont commencé à converger. A la différence de certaines prédictions du modèle de Bruce & Young (1986), les travaux menés par la suite en neurosciences et en comportement ont plutôt apporté des arguments en faveur par exemple d'une interaction fonctionnelle entre les traitements de l'identité d'un visage et de son expression émotionnelle (Schweinberger & Soukup, 1998; Baudouin, Gilibert, Sansone, & Tiberghien, 2000; Vuilleumier & Pourtois, 2007). Des adaptations plus récentes de ce modèle (Haxby et al., 2002; Gobbini & Haxby, 2007) proposent un traitement parallèle des paramètres invariants et changeants. Pour tenter de préciser la dynamique d'intégration des différentes informations faciales, de nombreuses recherches se sont intéressées au déroulement temporel de la perception des visages au niveau cérébral. Ces travaux utilisent les techniques d'électroencéphalographie (EEG) et de magnétoencéphalographie

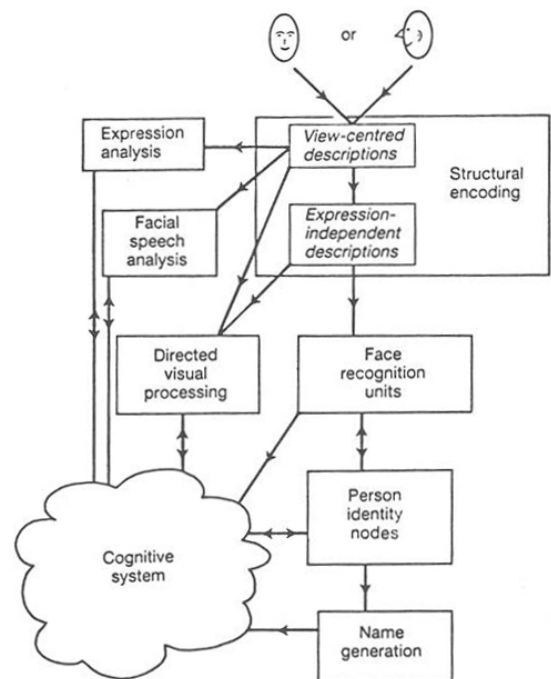


Figure 5 : Représentation schématique du modèle de reconnaissance des visages de Bruce et Young (1986)

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

(MEG), qui ont une résolution temporelle très élevée. Ces techniques permettent de recueillir la résultante des potentiels électriques post-synaptiques (et des champs magnétiques) générés au sein d'une région donnée au moyen d'électrodes disposées à la surface du crâne. L'analyse en potentiels évoqués consiste à sommer l'ensemble des signaux obtenus pour les stimuli d'une même condition. Il est alors possible d'isoler les réponses neuronales – les potentiels évoqués – survenant toujours au même moment après la présentation d'un visage. Ces potentiels sont caractérisés par une amplitude et une latence particulière. Ainsi, l'étude des modulations de ces ondes associées aux visages en fonction de différentes conditions expérimentales permettent d'accéder à la nature des processus cognitifs engagés dans un type particulier de traitement. En cela, l'électroencéphalographie donne accès à la temporalité des événements cérébraux. Dans le cas particulier de la hiérarchie, caractériser le déroulement temporel des réponses neuronales évoquées par un signal hiérarchique permet de préciser la nature du traitement qui lui est associé. Ceci permettrait de déterminer par exemple si ce type d'information est encodé très précocement dans le cerveau, jusque dans des processus d'ordre perceptif, ou au contraire si elle nécessite des étapes supplémentaires, donc un traitement plus élaboré et plus tardif.

III.3. Les marqueurs électrophysiologiques précoces du traitement des visages

III.3.1. Une première étape autour de 100 ms

Les études en électrophysiologie ont identifiées plusieurs ondes cérébrales déclenchées à différentes latences lors de la perception d'un visage. La composante électrophysiologique la plus précoce est une onde positive qui apparaît 100 ms après la présentation du visage, la P100 (ou M100 en MEG) (Liu, Harris, & Kanwisher, 2002; Itier & Taylor, 2002; Herrmann, Ehlis, Ellgring, & Fallgatter, 2004; Herrmann, Ehlis, Muehlberger, & Fallgatter, 2005). Les générateurs de la P100 seraient localisés dans les régions occipito-pariétales, correspondant au cortex visuel strié et extrastrié (Anllo-Vento, Luck, & Hillyard, 1998; Hillyard & Anllo-Vento, 1998). Dans la littérature, cette onde a d'abord été associée au traitement d'informations visuelles de bas-niveau, comme des différences de contrastes, de couleur, de luminance, mais pas uniquement (Herrmann et al., 2005). Il a en effet été montré que l'amplitude de cette onde est modulée par la présentation de visages par rapport à d'autres types d'objets, et elle est évoquée plus tardivement lorsque les visages sont présentés à l'envers (Itier & Taylor, 2002; 2004b). La P100 est également sous la dépendance de mécanismes d'orientation attentionnelle : celle-ci est plus ample en réponse à des stimuli sur lesquels l'attention visuelle se porte, soit du fait de leur saillance intrinsèque, comme c'est le

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

cas de visages émotionnels de colère ou de peur (Batty & Taylor, 2003; Chiao et al., 2008), ou de certaines parties d'un visage (comme la région des yeux, la partie la plus informative), soit du fait de contraintes imposées par la tâche expérimentale (Hillyard & Anllo-Vento, 1998; Rossion, Campanella, et al., 1999; Taylor, 2002). Bien que ces données semblent montrer que l'encodage des visages débute au premier stade de la perception visuelle, vers 100 ms, le niveau de sélectivité de la P100 pour ce type de stimuli reste encore controversé. Par exemple, l'amplitude de cette onde n'est pas influencée lorsque les visages sont présentés à l'envers pour altérer leur identification (Rossion, Delvenne, et al., 1999). À l'inverse, l'amplitude de cette onde augmente lorsque les traits internes faciaux sont déformés pour rendre les visages atypiques et moins attractifs, mais maintenus dans une configuration naturelle pour que les visages soient toujours reconnaissables (Halit, de Haan, & Johnson, 2000). Ces données suggèrent que le potentiel P100 reflète l'intégration d'informations visuelles de plus bas-niveau que la structure faciale.

III.3.2. L'onde des visages à 170 ms

Les enregistrements des potentiels de scalp ont révélé une deuxième composante, négative et plus tardive, déclenchée 170 ms après l'apparition d'un visage : la N170 en EEG (ou M170 en MEG) (Bentin et al., 1996; George, Evans, Fiori, Davidoff, & Renault, 1996; Eimer, 2000; Liu et al., 2002). Cette onde est maximale au niveau postérieur de la région temporelle, et son amplitude est plus importante dans l'hémisphère droit (Jeffreys, Tukmachi, & Rockley, 1992; Bentin et al., 1996; Rossion, Delvenne, et al., 1999). Cette localisation est en accord avec les données d'imagerie fonctionnelle qui rapporte une activation plus importante du gyrus fusiforme droit dans le lobe temporal (Puce, Allison, Asgari, Gore, & McCarthy, 1996; Kanwisher et al., 1997; Kanwisher & Yovel, 2006). Des études réalisées chez des patients épileptiques implantés vont également dans ce sens en rapportant, par des enregistrements intracrâniens (sEEG), qu'une onde survenant à 200 ms, la N200 est évoquée spécifiquement par la présentation de visages. Cette onde a été associée au potentiel de scalp N170 et était enregistrée dans des régions restreintes du gyrus fusiforme et du cortex temporal inférieur (Allison et al., 1994; Allison, Puce, Spencer, & McCarthy, 1999).

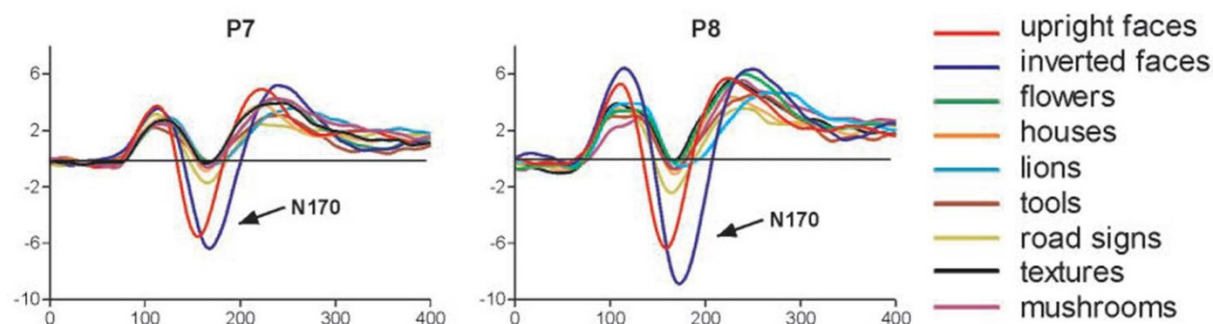


Figure 6 : Tracés électrophysiologiques de l'onde N170 recueillie sur les électrodes P7 et P8 (pariétales) en réponse à la présentation de différents types de stimuli (des visages, des fleurs, etc.) (Itier et al. 2004).

La sélectivité de la N170 aux visages est beaucoup importante et plus robuste que celle de la P100. En effet, l'amplitude de ce potentiel est plus grande pour les visages que pour tout autre type de stimulus visuel (Figure 6, p. 55) (Bentin et al., 1996; Itier & Taylor, 2004). Ce marqueur électrophysiologique est observé non seulement pour des visages photographiés, mais aussi pour des schémas ou des caricatures de visages (Henderson, McCulloch, & Herbert, 2003; George, Jemel, Fiori, Chaby, & Renault, 2005).

A la différence de la composante P100, l'onde N170 est sensible à l'organisation structurelle des visages. Les différents composants du visage présentés isolément évoquent une N170, et les yeux déclenchent d'ailleurs une N170 plus ample que les visages présentés dans leur ensemble (Bentin et al., 1996; Watanabe, Kakigi, Koyama, & Kirino, 1999; Itier, Latinus, & Taylor, 2006). Lorsque la configuration naturelle des composants faciaux n'est plus respectée ou que l'orientation standard du visage est inversée, son amplitude et sa latence augmentent (Eimer & others, 2000; Rossion et al., 2000; Anaki, Zion-Golumbic, & Bentin, 2007; Zion-Golumbic & Bentin, 2007). Ces manipulations altéreraient la catégorisation du stimulus comme étant un visage, probablement en perturbant son traitement configural. Le potentiel N170 refléterait alors le traitement précoce des différents composants d'un visage (les yeux, le nez, la bouche) dans une configuration spécifique (Eimer, 2011; Rossion, 2014). Il s'agit de l'étape d'encodage de la structure faciale décrite dans le modèle de Bruce & Young (1986), et qui précède l'étape de d'identification d'un visage en tant que tel. La reconnaissance d'un visage ne semble en effet pas être capturée par la N170. Plusieurs études rapportent qu'il n'y a pas de différence entre les N170s évoquées par les visages de personnes célèbres et inconnues, et que ce potentiel n'est pas sensible à la répétition d'un même visage (Rossion, Campanella, et al., 1999; Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000b; Schweinberger, Pickering, Jentsch, Burton, & Kaufmann, 2002; Jemel, Calabria, Delvenne, Crommelinck, & Bruyer, 2003). Ceci suggère que les mécanismes sous-jacents à la N170 ne sont pas sensibles à l'identité faciale, et qu'ils correspondent au

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

traitement pré-catégoriel des visages. L'effet de la familiarité interviendrait plus tardivement, au-delà de 250 ms (Bentin et al., 1996; George, Jemel, Fiori, & Renault, 1997; Eimer, 2000a). Cette interprétation a été remise en question par plusieurs études montrant que le degré de familiarité des visages module la N170 (ou M170 en MEG) (Caharel et al., 2002; Caharel, Courtay, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2005; Caharel, Fiori, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2006; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008). Par exemple, l'amplitude de la N170 augmente lorsque les participants voient des visages extrêmement familiers, comme leurs propres visages ou ceux de leurs proches, comparé aux visages de personnes qu'ils ne connaissent pas. Il est alors possible que l'étape de traitement perceptuel indexée par la N170 puisse être influencée par des mécanismes top-down, comme ceux impliqués dans le traitement de la familiarité, et qui seraient guidés par l'attention (Ruz, Aranda, Sarmiento, & Sanabria, 2015).

L'effet de la focalisation attentionnelle sur l'encodage structural des visages est, lui aussi, encore controversé. Dans le contexte de la hiérarchie, cette question présente un intérêt majeur car les visages des individus de hauts rangs attirent préférentiellement l'attention. Pour tenter d'y répondre, des expériences ont été réalisées pour manipuler l'orientation de l'attention des observateurs en faisant varier la tâche ou le niveau de détectabilité des visages. La comparaison des potentiels évoqués par les visages lorsqu'ils étaient des stimuli cibles et lorsqu'ils étaient des distracteurs dans la tâche a conduit à différents résultats. Certains travaux rapportent que l'attention n'avait aucun effet sur la N170 (Eimer, 2000; Lueschow et al., 2004; Furey et al., 2006), tandis que d'autres suggèrent que l'attention facilite l'étape de traitement perceptuel des visages ; l'amplitude de la N170 étant réduite lorsque les participants focalisent leur attention sur d'autres stimuli (Carmel & Bentin, 2002; Sreenivasan & Jha, 2007). L'attention modulerait l'amplitude de la N170 seulement lorsque les visages sont plus difficilement discriminables dans une scène (Sreenivasan, Goldstein, Lustig, Rivas, & Jha, 2009). Par ailleurs, la question de la spécificité de la N170 aux visages est encore débattue dans la littérature. Certains auteurs montrent en effet que cette onde serait en fait évoquée par les catégories de stimuli pour lesquelles l'être humain est expert (Rossion, Gauthier, Goffaux, Tarr, & Crommelinck, 2002; Gauthier, Curran, Curby, & Collins, 2003; Bukach, Gauthier, & Tarr, 2006).

En résumé, l'onde N170 reflèterait l'activité du gyrus fusiforme déclenchée 170 ms après la présentation d'un visage. Cette activité serait associée à l'étape d'encodage pré-catégoriel des visages, antérieure à l'étape d'identification ou de reconnaissance proprement dite. Malgré sa latence très précoce, cette étape d'encodage structurel de visages pourrait être

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

soumise à l'influence de certains paramètres de plus haut-niveau, comme la familiarité du visage, par des mécanismes top-down. Cette question est abordée plus en détails dans la section III.4.2 a) (p. 61).

Les visages ne sont jamais perçus isolément des informations multiples, de nature émotionnelle, sociale qui leur sont associées, et qui sont d'une importance capitale pour la survie en groupe. D'une part, certaines de ces informations sont indissociables de leur structure, comme par exemple les catégories de genre et d'ethnicité. Le rang hiérarchique est aussi une catégorie sociale qui peut être induite par des éléments de la structure faciale (des traits ou des postures faciales de dominance ou de subordination). D'autre part, les visages correspondent à des individus qui évoluent dans un contexte donné, qui nous sont plus ou moins familiers (comme les membres de notre famille) et avec lesquels nous entretenons des liens particuliers (d'amitié); liens que nous devons également être en mesure d'analyser rapidement. Par exemple, une information sur le statut social d'un individu peut conférer un rang hiérarchique à son visage, sans pour autant que sa structure faciale soit modifiée. On peut alors supposer que les catégories sociales, portées par la structure ou par le contexte qui entoure un visage, affecteraient la manière avec laquelle il est perçu. Etant donné la pertinence du genre, de l'ethnicité, de la familiarité et surtout, du rang hiérarchique, l'hypothèse est que ces informations sont traitées simultanément à la structure faciale, par des processus initiés en parallèle. Précisément, elles pénétreraient les différentes étapes de traitement des visages, même les plus précoces, comme l'extraction de l'information visuelle ou l'encodage neuronal pré-catégoriel des visages. Dans la littérature, de nombreux travaux ont déjà abordés l'influence de certaines catégories sociales sur ces deux processus. La suite de ce chapitre est consacrée à présenter ces recherches. L'influence de la hiérarchie sur l'exploration visuelle des visages et sur leur traitement neuronal précoce reste, quant à elle, encore très peu étudiée. Les données préliminaires concernant les modulations par le rang hiérarchie font l'objet de deux sections à part (III.4.1-b), p. 60 et III.4.2-b) p. 62).

III.4. Percevoir les visages dans un contexte social

III.4.1. L'encodage visuel de la structure des visages

a) Influencé par certaines catégories sociales

Certaines informations liées à l'identité d'un visage, comme sa familiarité, ou les catégories sociales auxquelles appartiennent les individus, comme leur genre ou leur origine

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

ethnique, modulent l'exploration de leur visage. Premièrement, concernant la familiarité, les travaux en oculométrie ont montré que les observateurs fixent plus les yeux des visages familiers que n'importe quel autre composant, comparé à des visages inconnus (Althoff & Cohen, 1999; Heisz & Shore, 2008). Plus un visage est familier, plus son exploration semble contrainte ; en se caractérisant par un nombre plus faible de fixations, plus symétriques sur l'ensemble du visage et restreintes à moins de régions faciales (Althoff & Cohen, 1999; Heisz & Shore, 2008; Henderson et al., 2005; Van Belle, Ramon, Lefèvre, & Rossion, 2010). Un tel schéma d'observation traduirait un encodage plus performant de l'information visuelle extraite des visages familiers (Heisz & Shore, 2008), étant donné que les observateurs ont par exemple besoin de moins de fixations pour les identifier. Par ailleurs, dans la plupart des études, la familiarité était induite expérimentalement de deux manières: soit elle était générée par un apprentissage préalable (suite à une exposition répétée) de visages de personnes inconnues, soit elle provient de la célébrité de personnages très connus (acteurs, politicien, etc.). Ce second type d'induction est étroitement lié à la notion de prestige et de ce fait, il pourrait également générer un contexte hiérarchique en conférant aux visages un statut social. Ainsi, dans ces études, les visages de personnes célèbres étaient perçus comme familiers, mais pouvaient également être perçus comme de haut-statut social.

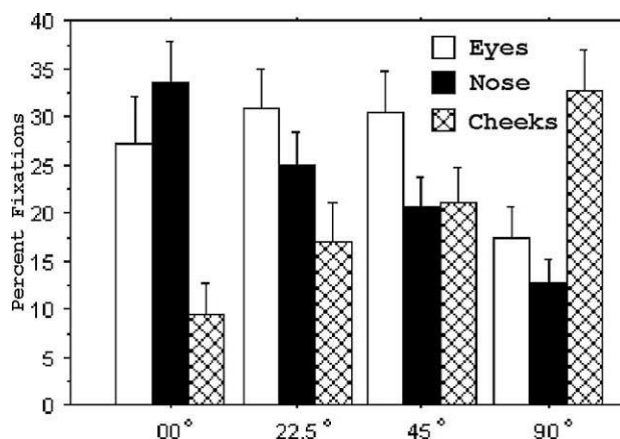


Figure 7 : Pourcentage de fixations réalisées sur la région des yeux, du nez et des joues lors d'une tâche de catégorisation de genre. Les visages d'hommes et de femmes étaient présentés de face (0°) et selon différent angle de profils (22.5, 45° et 90°) (Sæther et al. 2009).

Deuxièmement, concernant les catégories sociales, les caractéristiques de genre et d'ethnicité représentent les éléments les plus saillants comparés aux autres traits du visage. D'une part, la reconnaissance du genre d'un visage est un processus cognitif extrêmement efficace, effectuée correctement dans quasiment 100% des cas, et plus rapidement que les autres types de catégorisation (613 ms pour déterminer le genre contre 897 ms pour une décision concernant la familiarité) (Bruce, Ellis, Gibling, & Young, 1987;

Bruce & Young, 1998). Il est établi que, pendant l'exploration visuelle passive d'un visage, la région des yeux est la partie qui reçoit le plus de fixations oculaires. En revanche, pendant la catégorisation du genre d'un visage, ce biais d'exploration visuelle est modifié. Les mesures oculométriques obtenues sur des visages d'hommes et de femmes révèlent en effet que, pour des visages présentés de face, le nez est le composant qui reçoit la plus grande proportion de

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

fixations (Sæther, Belle, Laeng, Brennen, & Øvervoll, 2009) (Figure 7, p. 58). Ces auteurs observent également qu'en fonction de l'angle de présentation du visage des traits différents sont fixés préférentiellement pour identifier son genre. Par exemple, lorsque le visage est présenté de profil, ce sont les joues qui reçoivent le plus de fixations pendant le jugement de genre. Ceci est en accord avec plusieurs études comportementales qui montrent que l'attribution du genre à un visage repose sur un nombre restreints de traits : il s'agit des yeux et de l'implantation des sourcils, des mâchoires et du nez (Brown & Perrett, 1993; Burton, Bruce, & Dench, 1993; Yamaguchi, Hirukawa, & Kanazawa, 2013). Ces traits présenteraient un dimorphisme sexuel plus important que les autres, ce qui expliquerait qu'ils soient explorés préférentiellement pour déterminer le genre d'un individu. Par ailleurs, il semble que le genre de l'observateur module en retour la manière d'explorer un visage. Comme reporté dans l'étude de Heisz, Pottruff, & Shore (2013), lors de l'encodage de nouveaux visages, les femmes ont un scanning d'exploration plus riche que celui les hommes ; et ceci améliore leur performance de rappel.



Figure 8 : Manipulations de photographies qui rendent compte des critères de beauté faciale dans différentes régions du monde (de haut en bas, et de gauche à droite) : en Macédoine, en Israël, en Angleterre, au Vietnam, en Hollande, au Montenegro, à Singapour, au Portugal, et au Mexique.

D'autre part, de nombreuses études rapportent un effet de l'origine ethnique d'un individu sur l'exploration de son visage (Figure 8, p. 59) (Blais, Jack, Scheepers, Fiset, & Caldara, 2008; Fu, Hu, Wang, Quinn, & Lee, 2012; Goldinger, He, & Papesh, 2009; Hills & Pake, 2013; McDonnell, Bornstein, Laub, Mills, & Dodd, 2014; Wu, Laeng, & Magnussen, 2012a). La partie supérieure du visage, et particulièrement les yeux, serait explorée différemment selon qu'il s'agisse du visage d'un individu de la même origine ethnique (membre de l'« *in-group* ») ou d'une origine ethnique différente (membre de l'« *out-group* ») que celle de l'observateur (Rodriguez-Bailón, Cañadas, Chung, & Hugenberg). Les visages de la même origine ethnique bénéficieraient d'une exploration plus active : ils font l'objet de plus de saccades et d'un plus grand nombre de fixations brèves que les visages d'une origine ethnique différentes (Goldinger et al., 2009; Wu et al., 2012a). Cette stratégie d'exploration plus active pour les visages de l'in-group, en plus d'un biais plus important pour la région des yeux, reflèterait un encodage facilité de ces visages, par opposition à un effort cognitif

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

plus important pour traiter les visages d'individus de l'out-group. Comme pour le genre, l'origine culturelle de l'observateur a également une forte influence sur la stratégie d'exploration des visages en général (Blais et al., 2008; Hills & Pake, 2013). Blais et al. (2008) ont montré que les participants caucasiens effectuent plus de fixations sur la région des yeux, tandis que les participants asiatiques effectuent plus de fixations sur le nez, quel que soit l'origine ethnique du visage qu'ils regardent.

Certaines catégories sociales très pertinentes pour l'être humain ont donc une influence sur une étape très précoce de la perception des visages : l'encodage visuel des informations faciales. Cette étape est extrêmement contrôlée. Bien que ces informations ne soient pas nécessairement associées à des modifications structurales des visages, celles-ci affectent tout de même leur exploration. La stratégie d'exploration des visages est extrêmement stéréotypée. Selon cette perspective, il est raisonnable de penser que la hiérarchie, en tant que catégorie sociale omniprésente, puisse également moduler la manière avec laquelle nous explorons les visages des autres.

b) Et influencé par la hiérarchie ?

Il a été montré que la hiérarchie influence la manière d'orienter l'attention visuospatiale (section II.2.2, p. 32). Les individus de haut-statut, et leur visage, attirent préférentiellement l'attention (Foulsham et al., 2010). D'autres résultats encore plus récents en eye-tracking suggèrent même que le statut social influencerait la stratégie de d'exploration d'un visage en elle-même (Gobel, Kim, & Richardson, 2015). Dans cette étude, le statut social était induit par le degré de réussite professionnelle. Les participants voyaient un vidéoclip présentant une autre personne de haut- ou de bas-statut, et ils pensaient être filmés en train de le regarder. Deux conditions étaient alors instaurées : le participant croyait soit que la personne qu'il avait regardé aurait la possibilité de voir sa propre vidéo par la suite, soit il pensait qu'elle ne le pourrait pas. Gobel et al. (2015) rapportent que la manière qu'ont les participants d'explorer les visages d'individus de haut et de bas-statut dépend du fait qu'ils croient que ces individus ont la possibilité de les voir plus tard. En effet, les participants regardaient moins les yeux des individus de haut-statut quand ils pensaient que ces personnes pouvaient les voir ensuite, comparé au cas où ils pensaient qu'elles ne le pourraient pas. Même si ces résultats suggèrent que le statut social atteint jusqu'à la manière d'explorer les visages, ni ces auteurs, ni Foulsham et al. (2010) n'ont comparé directement le pattern d'observation des visages d'individus de haut- et de bas-statut. A la différence des autres catégories sociales, l'influence de la hiérarchie sur la stratégie d'exploration des

visages n'a été étudiée que sous la dépendance d'autres facteurs. Or, déterminer si la hiérarchie est un paramètre social capable à lui seul de moduler l'extraction très stéréotypée des informations faciales renseignerait un peu plus de son ancrage cognitif. C'est l'un des objectifs que j'ai poursuivi dans l'**Etude 2** de cette thèse (Chapitre VII, p. 99).

III.4.2. L'encodage neuronal de la structure des visages

a) Influencé par certaines catégories sociales

Dans la section précédente, j'ai présenté les données montrant que l'encodage visuel d'un visage est influencé par des informations de catégorisation sociale, comme le genre, l'ethnicité et la familiarité. On peut alors supposer que ces mêmes informations influenceraient également le traitement de la structure d'un visage au niveau neuronal, indexé par le potentiel N170. Cette question est encore très débattue dans la littérature. De nombreuses études rapportent que l'amplitude du potentiel N170 n'est modulée ni par le degré de familiarité d'un visage (Rossion, Campanella, et al., 1999; Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000b; Schweinberger, Pickering, Jentsch, et al., 2002; Jemel et al., 2003), ni par son genre (Mouchetant-Rostaing, Giard, Bentin, Aguera, & Pernier, 2000; Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003) ou par son origine ethnique (Caldara et al., 2003; Caldara, Rossion, Bovet, Hauert, et al., 2004; Ito, Thompson, & Cacioppo, 2004). A première vue, il semble que les informations sociales portées par un visage, malgré leur grande pertinence, ne soient pas traitées simultanément à la structure faciale, mais plutôt après cette étape d'encodage. Cette vision séquentielle du traitement de l'identité faciale a été remise en question par un grand nombre de travaux qui rapportent une influence des catégories sociales sur la N170 (ou M170 en MEG).

Tout d'abord, concernant la familiarité des visages, les travaux de Caharel et al. (2002, 2005, 2006), de Kloth et al. (2006) et de Harris & Aguirre (2008) abordés précédemment (section III.3.2, p. 54) révèlent par exemple que, lorsque l'attention du participant est particulièrement orientée vers cette dimension sociale, comme lorsqu'il perçoit les visages de personnes qui lui sont proches, l'amplitude de la N170 augmente. Ensuite, concernant l'effet du genre, Freeman, Ambady, & Holcomb, (2010) ont présenté à des participants des visages masculins et féminins (condition de genre typique) et des morphings de visages masculins et féminins (pour les rendre plus androgynes et créer une condition de genre atypique), et leur demandaient de juger le plus rapidement possible le genre du visage. Par des enregistrements en EEG, ces auteurs observent que les visages typiques évoquent une N170 plus ample que les visages atypiques, et que l'amplitude de ce potentiel est corrélée aux

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

performances des participants dans la tâche de catégorisation. Ces résultats suggèrent que la N170 serait sensible au genre des visages. Plus précisément, elle serait sensible à la quantité d'information disponible sur les visages pour cette catégorie sociale; les visages ayant des traits plus « genrés » déclenchent une N170 plus importante que les visages dont le genre est moins marqué. Enfin, l'origine ethnique d'un visage influencerait également le potentiel N170 (Ito & Urland, 2005; Walker, Silvert, Hewstone, & Nobre, 2008; Senholzi & Ito, 2012). Ito & Urland (2005) observent une différence d'amplitude entre les potentiels évoqués par les visages d'origine caucasienne et africaine, mais seulement lorsque la tâche réalisée par les participants porte spécifiquement sur cette catégorie. Dans les travaux qui ne rapportent pas d'effet de l'ethnie sur la N170, la tâche expérimentale orientait l'attention des participants soit sur d'autres stimuli (compter le nombre de papillons parmi des visages) soit sur une autre dimension des stimuli (Caldara et al., 2003; Ito et al., 2004). De façon similaire, Zhang & Deng (2012) n'observent pas d'influence du genre des visages sur la N170 lorsque les participants effectuaient une tâche de jugement d'attractivité.

Ainsi, les catégories sociales pourraient influencer le traitement neuronal précoce des visages. Cette influence ne serait observée que sous certaines conditions, notamment lorsque la tâche requiert une focalisation attentionnelle du participant sur la dimension considérée. Dans ce contexte, le traitement des informations sociales d'un visage débiterait, non pas après, mais en parallèle de l'encodage neuronal de sa structure, et influencerait la N170 par des mécanismes top-down.

b) Et influencé par la hiérarchie ?

Les recherches sur la temporalité du traitement de la hiérarchie se limitent à un faible nombre d'études en électrophysiologie, réalisées pour la plupart ces deux dernières années (chez le singe : Pineda & Nava, 1993; chez l'homme : Chiao et al., 2008; Hu et al., 2014; Feng, Tian, Feng, & Luo, 2015; Santamaria-Garcia, Burgaleta, & Sebastian-Galles, 2015). Ces travaux ont tenté d'identifier les corrélats électrophysiologiques de la hiérarchie dans le cadre de la perception des visages. En explorant quels potentiels neuronaux étaient influencés par ce paramètre social, ces recherches ont permis de préciser la nature des traitements mis en jeu dans la perception de la hiérarchie. Pineda & Nava (1993) ont identifié une manifestation de l'influence de la hiérarchie sur les réponses neuronales chez le primate. En utilisant un système de 4 électrodes, disposées sur le scalp des animaux le long de l'axe antéropostérieur, ces auteurs ont observé des différences significatives de l'amplitude d'une onde négative à 200 ms, la N200, en fonction de la position hiérarchique du singe observé.

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

Ce potentiel évoqué par les visages était apparenté au composant N170 chez l'humain (Allison et al., 1994), connu pour refléter l'encodage structural des traits faciaux au niveau cérébral. Les visages de singes dominants évoquaient une N200 plus ample que les visages de singes de rang médian ou inférieur. Cette étude était la première à révéler que, chez le primate non-humain, certains processus neuronaux mis en jeu très tôt dans la chaîne de traitement perceptif sont sensibles à la composante sociale hiérarchique. Et elle ouvrait la voie à l'utilisation de cette technique chez l'homme.

Chez l'homme, différentes procédures expérimentales ont été employées pour associer aux visages la perception d'un rang particulier. Dans ces études, le rang hiérarchique était induit soit par des postures faciales différentes (Chiao et al., 2008), soit par des indices externes (par exemple, des étoiles) associées à des visages sans expression (Hu et al., 2014; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015), ou encore soit indirectement, par un contexte (une compétition) dans lequel les visages étaient inscrits (Hu et al., 2014; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015). Grâce à des enregistrements en potentiels évoqués, ces différents travaux ont montré de manière assez consistante que le rang hiérarchique des visages influençait des potentiels neuronaux tardifs, les *Late Positive Potentials* (LPP). L'amplitude des LPP était plus ample en réponse aux visages d'individus de haut-rang (qu'il s'agisse de la dominance ou du statut), comparés aux visages d'individus de rang moyen ou de bas-rang (Feng et al., 2015; Hu et al., 2014). Dans la littérature, les LPP sont considérés comme les marqueurs neuronaux de processus de haut-niveau responsables de l'évaluation cognitive, affective ou motivationnelle d'un signal donné. La plus grande amplitude des LPP pour les visages de haut-rang serait le reflet d'un engagement plus important de ressources attentionnelles et motivationnelles pour analyser les stimuli les plus pertinents socialement. Ce résultat suggère également que la dimension hiérarchique est intégrée tardivement, après 400 ms, par des processus de haut niveau impliqués dans le traitement cérébral des visages.

Par ailleurs, ces recherches se sont également intéressées à l'influence que pouvait avoir la hiérarchie sur des étapes plus précoces du traitement des visages. Précisément, la question était de savoir si le rang hiérarchique d'un individu pénétrait même l'encodage des caractéristiques perceptives du visage (la structure des traits faciaux) nécessaire à son identification. Le potentiel N170 a été utilisé pour repérer cette étape du traitement perceptuel des visages (Bentin, Allison, Puce, Perez, & McCarthy, 1996; Eimer, 2011; Rossion, 2014 pour une revue). Et tout comme pour les autres paramètres de catégorisation sociale déjà étudiés jusqu'alors, les résultats concernant l'influence du rang hiérarchique sur cette onde sont très controversés. Certains résultats suggèrent que la hiérarchie n'atteindrait

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

pas l'encodage structural des visages et serait intégrée après 170 ms (Hu et al., 2014) ; aucun effet de la hiérarchie n'étant observé sur la N170. D'autres semblent indiquer au contraire que le rang associé à un visage pénètre son encodage structural ; les visages de dominant ou de plus haut-rang étant associés à une N170 plus ample que les visages de subordonnés ou de bas-rang (Chiao et al., 2008; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015).

En comparant la méthodologie de ces différentes études, il semble que les effets de la hiérarchie ne soient observés que lorsque i) le rang est manifesté physiquement sur les visages, par des manipulations des traits internes ou par l'ajout d'indices externes, et ii) que la tâche expérimentale porte explicitement

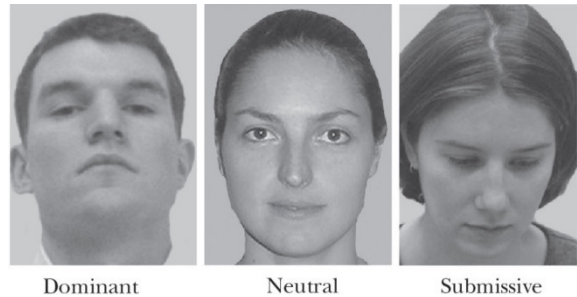


Figure 9 : Stimuli utilisés dans l'étude de Chiao et al. (2008)

sur le traitement du rang hiérarchique. Or, pour prétendre capturer strictement un effet de la hiérarchie sur le traitement perceptuel des visages, il est nécessaire que les caractéristiques physiques des stimuli soient contrôlés et comparables entre les différentes conditions hiérarchiques ; la N170 étant sensible à ces caractéristiques. Dans l'étude de Chiao et al. (2008), la direction du regard et l'orientation de la tête n'étaient pas identiques entre les visages des dominants et les visages des subordonnés (Figure 9, p. 64). Il a déjà été montré que ces postures faciales induisent effectivement la perception d'un statut particulier chez autrui (Hall et al., 2005). Néanmoins, d'une part, l'orientation du regard et la position de la tête sont aussi pertinents parce qu'ils indiquent l'endroit où se porte l'attention d'une personne, et apportent une information d'ordre intentionnel (George et Conty, 2008). Par exemple, un individu qui regarde vers le bas le fait pour signifier son intérêt pour cet endroit particulier de l'espace, et n'exprime pas nécessairement un signe de subordination. Il n'est donc pas raisonnable d'affirmer a priori que ces traits soient traités effectivement comme des signaux hiérarchiques. Et plus de cela, et c'est ce qui constitue le problème méthodologique majeur de l'étude de Chiao et al. (2008), la direction du regard et l'orientation de la tête affectent l'amplitude de la N170, indépendamment de leur contextualisation hiérarchique (Watanabe, Miki, & Kakigi, 2002; Conty, N'Diaye, Tijus, & George, 2007; Itier, Alain, Sedore, & McIntosh, 2007). Les yeux présentés seuls évoquent une N170 plus grande que le visage présenté dans son ensemble (Bentin et al., 1996; Watanabe et al., 1999). La direction donnée au regard est un indice fort de ce sur quoi se porte l'attention d'un individu. Ce facteur est donc très pertinent dans les interactions sociales, suffisamment pertinent pour être encodé très tôt au niveau cérébral et affecter la composante N170. Il est donc tout à fait possible que la modulation de la N170 rapportée dans l'étude de Chiao et al. (2008) ne

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

reflètent que les différences physiques entre les visages, ou le traitement de l'information l'intentionnelle portée par le regard, sans que cela n'ait une quelconque dimension hiérarchique. D'ailleurs, Chiao et al. (2008) ne vérifient pas dans cette étude que les postures faciales sont perçues dans l'absolu du point de vue hiérarchique. En effet, les auteurs demandaient directement aux participants d'évaluer le niveau de dominance des visages, et pas ce que leur évoquait la posture en général.

Un problème similaire est retrouvé dans les études de Feng et al. (2015) et Santamaria-Garcia et al. (2015). Dans ces travaux, des visages neutres, ayant

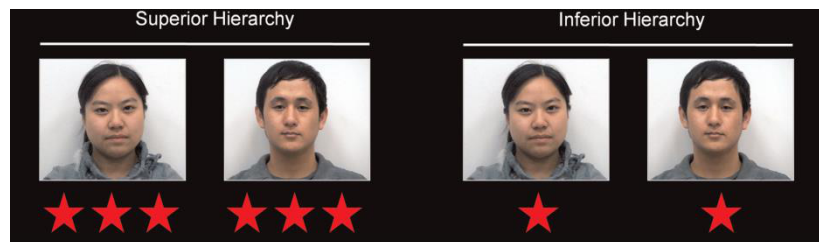


Figure 10 : Stimuli utilisé dans l'étude de Feng et al. (2015).

des postures faciales comparables, étaient présentées avec un nombre différent d'étoiles rouges en dessous d'eux pour indiquer leur position hiérarchique (trois étoiles pour les visages de haut-statut et une seule étoile pour les visages de bas-statut, Figure 10, p. 65). L'amplitude de la N170 était plus importante pour les visages de haut-statut que pour les visages de bas-statut, lorsque les étoiles dénotaient le niveau de performance. Mais là encore, la dimension hiérarchique n'est pas la seule variable qui peut expliquer cet effet. La quantité d'information perceptuelle disponible avec les visages (portée par les étoiles) n'est pas la même entre les différentes conditions hiérarchiques. Des expériences contrôles ont été mises en place par Santamaria-Garcia et al. (2015) et Feng et al. (2015) pour démontrer que l'effet observé sur le potentiel N170 n'était pas dû à des différences d'ordre perceptuel entre les conditions. Mais, alors que dans la tâche hiérarchique, le système d'étoiles devait être traité conjointement aux visages et permettait aux participants de prédire s'ils allaient gagner ou perdre la compétition, dans la tâche contrôle, le traitement des étoiles était dissocié de celui des visages, et ces indices n'apportaient plus aucune information sociale aux visages, ni d'information sur les événements futurs. Ces expériences contrôles ne permettent alors pas d'exclure l'hypothèse selon laquelle l'effet observé sur l'amplitude du potentiel N170 ne serait généré que par la présence de ces indices externes associés aux visages.

Au début de mes travaux de thèse, seuls les travaux de Chiao et al. (2008) en EEG avaient été publiés. Malgré son caractère novateur, leur étude souffrait d'un problème méthodologique majeur, en partie retrouvé dans certaines études qui ont suivi. La tentative de le dépasser en proposant une nouvelle approche expérimentale a constitué le point de

III. L'influence du contexte social sur la perception des visages

départ de cette thèse et m'a conduit à réaliser **l'Etude 1** en EEG présentée dans ce manuscrit (Breton et al., 2014, Chapitre V, p. 70).

*
* *

Chapitre IV. Objectifs expérimentaux

IV.1. Induire expérimentalement la hiérarchie

L'un des enjeux de ce travail de thèse a d'abord été de développer des protocoles contrôlés mais aussi assez écologiques pour induire une représentation de hiérarchie, même en laboratoire. Le premier type de hiérarchie sur lequel j'ai travaillé correspondait à une hiérarchie de compétition. Cette hiérarchie s'appuyait sur des différences de performances lors de jeux perceptuels qui opposaient les participants à d'autres joueurs factices. La position hiérarchique des individus était établie à l'issue d'une phase de compétition par comparaison des scores obtenus aux jeux. Ce premier paradigme s'inspire de l'étude en IRMf de Zink et al. (2008), mais remanié en sorte de pouvoir satisfaire aux contraintes qu'imposent les mesures électrophysiologiques (Chapitre V - **Etude 1**, p. 70), oculométriques (Chapitre VII - **Etude 2**, p. 99) et de conductance électrodermale (Chapitre IX - **Préliminaires Etude 4**, p. 157). Le second type de hiérarchie abordé pendant ma thèse correspondait à une hiérarchie de prestige (Chapitre VIII - **Etude 3**, p. 129 et Chapitre X - **Etude 4**, p. 160). A la manière de Ratcliff et al. (2011), j'ai utilisé les catégories professionnelles pour induire la perception du statut social. A un métier particulier est associé un niveau de connaissances et de salaire, un degré de responsabilité, et une certaine réputation. Il a été montré que ce paramètre est un indice utilisé pour former une représentation du statut social d'un individu.

De plus, j'ai étudié la perception du statut lorsque celui-ci résulte de deux processus distincts : soit 1) d'un **apprentissage**, soit 2) d'une **association immédiate**. Dans le premier cas, les participants jouaient avec les mêmes compétiteurs à un jeu qui se déroulait en plusieurs manches. Après chaque manche, un classement était présenté. Ils étaient informés que leur position dans les classements était à chaque fois recalculée comme la moyenne de leur performance aux manches déjà réalisées. Les positions du participant et des joueurs étaient donc progressivement mises à jour après chaque manche jusqu'au classement final. Lors d'une compétition, la position des individus est rarement figée. Augmenter d'un rang est souvent perçu comme un succès, tandis que perdre une place dans une hiérarchie est associé à un échec. Dans ce design, les variations de positions hiérarchiques instaurées entre chaque manche rendait compte de ce dynamisme et permettait de proposer une expérience plus écologique. Dans le second cas, le statut social de la personne était induit de manière immédiate soit par un nom de métier, de haut ou de bas-statut, présenté avant son visage,

soit par la tenue vestimentaire indiquant le métier de l'individu. Cet indice était la seule information dont les participants disposaient pour déterminer le statut social.

IV.2. Instaurer une hiérarchie contextuelle

Dans chacun des paradigmes expérimentaux, la hiérarchie était instaurée sous forme d'un contexte associé aux visages. A la différence de Chiao et al. (2008), Feng et al. (2015) et Santamaria-Garcia et al. (2015), il n'y avait pas de variations de traits ou de posture faciale, ni d'indices externes pour induire la hiérarchie. Les caractéristiques perceptuelles des visages étaient identiques d'une condition hiérarchique à un autre. Leurs propriétés physiques (luminance, contraste) étaient comparables. Et la présentation des visages était contrebalancée entre tous les participants, de sorte qu'un même visage était vu dans les différentes conditions hiérarchiques un même nombre de fois. Dans chaque expérience, seul le contexte hiérarchique, appris ou immédiat, permettait d'associer à un visage, une position hiérarchique (un rang, un statut) particulière. Cette procédure permettait de s'affranchir d'effets qui seraient dus à des différences perceptives des stimuli, comme développé dans la section III.4.2, b) (p. 62).

IV.3. Percevoir la hiérarchie par rapport à soi ou de manière allocentrique

La perception d'une asymétrie hiérarchique peut s'effectuer selon deux perspectives différentes (Farrow et al., 2011). Premièrement, l'observateur peut interpréter la hiérarchie selon son propre référentiel. Il peut être inclus dans la hiérarchie et juger du rang hiérarchique des autres individus relativement à sa propre position. Deuxièmement, l'observateur peut percevoir la hiérarchie de manière allocentrique, en étant externe à la hiérarchie. Il évalue alors le rang d'autres personnes, ou la différence de rang entre deux personnes dans une asymétrie, indépendamment de sa propre position. Les études réalisées dans cette thèse explorent ces deux types de situations. Dans les **Etudes 1** (EEG) et **2** (eye-tracking), le participant était inclus dans la hiérarchie expérimentale. Ces expériences permettaient d'étudier la perception du rang hiérarchique relatif à d'autres individus par rapport à celui du participant. Le design de ces études a été conçu de sorte de placer le participant en compétition avec d'autres joueurs fictifs, et ainsi pouvoir ensuite le classer par rapport à eux dans une hiérarchie. Et dans les **Etudes 3** (EEG) et **4** (réponse électrodermale et rythme cardiaque), le participant était cette fois extérieur à la hiérarchie expérimentale.

Ces expériences permettaient d'aborder la perception du statut social d'un individu, sans que le participant n'ait à prendre en compte sa propre position pour effectuer son jugement.

Dans la littérature, les recherches menées sur la hiérarchie ont concerné i) la perception du statut d'un individu ou d'asymétries de statuts entre deux ou plusieurs individus, et ii) l'influence du rang hiérarchique des individus au niveau physiologique, cognitif et cérébral. Dans le passé, ces deux mécanismes ont été étudiés le plus souvent de manière dissociée. Or, il y a pourtant de fortes raisons de penser qu'ils soient fortement corrélés et qu'ils s'influencent mutuellement. Il a été montré que la précision avec laquelle un individu perçoit un signal de dominance ou de statut dépend de sa propre position dans l'échelle sociale. Par exemple, les hommes qui se jugent eux-mêmes comme ayant un fort niveau de dominance sont moins bons à évaluer la dominance exprimée sur le visage d'autres hommes, comparés à ceux qui ont un score de dominance plus bas (Watkins et al., 2010). Une explication possible est que les individus de plus bas-statuts seraient plus entraînés – peut-être inconsciemment – à détecter des marques de dominance, même très subtiles. Ceux-ci encourent des risques beaucoup plus importants que les individus de plus haut rang dans le cas d'une mauvaise interprétation de ces indices (Watkins et al., 2010). Le statut des individus modulerait leur perception du rang des autres. Pour prétendre caractériser au mieux le traitement de la hiérarchie, il paraît alors nécessaire d'intégrer ce paramètre. Ainsi, la procédure développée dans les **Etudes 1 et 2** permettait d'étudier conjointement l'influence du rang hiérarchique des individus et de celui du participant. Le participant percevait des individus associés soit à un haut rang (meilleur joueur), soit à un rang moyen (joueur moyen) soit à un bas rang (moins bon joueur), et sa position dans le classement était elle-même manipulée de sorte qu'au cours de l'expérience, il était lui aussi (dans un tiers des classements) soit de plus haut rang, soit de rang moyen, soit de plus bas rang.

Enfin, les hiérarchies développées expérimentalement dans cette thèse variaient dans le nombre d'échelon qui les compose. Lorsque le participant était inclus dans la hiérarchie (Etudes 1, 2), les individus étaient classés selon trois niveaux : haut, moyen et bas. A la différence des études précédentes, l'écart de position entre le participant et l'individu dont il évalue le statut a été intégré dans les analyses. Cette distance pouvait varier de 0 (égal), à 1 (proche) ou à 2 (éloigné) échelons selon les cas.

*
* *

Chapitre V. Etude 1

Les corrélats électrophysiologiques du traitement de visages perçus dans le contexte d'une compétition.

Ce chapitre aborde la première étude réalisée en électrophysiologie. Celle-ci visait à identifier l'influence de la hiérarchie sociale sur les réponses neuronales évoquées par des visages. Le contexte employé pour associer un rang hiérarchique à un visage était celui d'une compétition. Pour tenter de caractériser le déroulement temporel du traitement de la hiérarchie au niveau cérébral, j'ai examiné à la fois les potentiels neuronaux précoces et tardifs en réponse aux visages. J'ai également étudié le comportement neuronal oscillatoire en réponse à la perception de visages contextualisés hiérarchiquement. Cette étude a donné lieu à une publication dans PlosONE (Breton et al., 2014)

Face the hierarchy: ERP and oscillatory brain responses in social rank processing

Audrey Breton, Karim Jerbi, Marie-Anne Henaff, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, Christina Schmitz, Pierre Krolak-Salmon and Jean-Baptiste Van der Henst.

V.1. Introduction

Living in a sophisticated social environment is cognitively more demanding than living alone. According to the social brain hypothesis, this demand exerts selective pressure on the brain of social species (Dunbar & Shultz, 2007). A recurring feature that contributes to the complexity of social environments is *hierarchy*. A large proportion of primates' social relationships are indeed asymmetrical: some individuals have priority of access to resources, some are endowed with greater social prestige, and some exert control over others. Humans are no exception: although the hierarchical organization varies among cultures, all current and past societies have shown some degree of stratification (Brown, 1991; Fiske, 1992) and developmental studies have reported that children as young as two-year old form stable hierarchies (Boyce, 2004a). The evolutionary importance of hierarchy manifests itself

through its consequences on reproductive success since high-rank individuals tend to have more offspring than low-rank individuals (Ellis, 1995a; Fieder et al., 2005a).

In order to successfully navigate their social environment, humans need to categorize individuals according to their status. Behavioral studies indicate that adults and even infants display a remarkable ability to recognize social asymmetries (Thomsen et al., 2011; Zitek & Tiedens, 2012). At the brain level, although recent fMRI studies have reported a wide range of brain structures involved in the processing of hierarchical stimuli, such as the medial, dorsolateral and ventrolateral prefrontal cortices (Marsh et al., 2009; Zink et al., 2008), (Farrow et al., 2011), the amygdala and anterior hippocampus (Kumaran et al., 2012), the temporal dynamics of the neural response associated with such processing remains unknown. When does the neural response elicited by the hierarchical nature of stimuli emerge and what is the nature of the rapid subprocesses elicited by those stimuli? To address these questions we used electroencephalography (EEG) and investigate the neural mechanisms involved in processing *faces* that were embedded in a learned hierarchical context. Faces were used as stimuli because they are highly relevant to socio-cognitive processes and can therefore be easily linked with social aspects of the environment. However, in order to avoid any confound with physical modification of the face (Freeman et al., 2010), the manipulation of social rank should not be associated with any specific facial expressions. Consequently, the key manipulation consisted of presenting faces with *neutral* expressions in a game context where the subject had to rank other players performance with respect to his own.

Identifying one person's rank is a form of social categorization as it consists of associating an individual with scalar social categories (High-status>Intermediate-status>Low-status). Previous EEG studies have mainly investigated the social categorization of faces through dichotomic categories such as race (i.e. racial ingroup vs. racial outgroup faces), gender (female vs. male faces) or familiarity (familiar vs. stranger faces). A critical issue was whether these categories modulate the amplitude of the well-known face-related N170 component, which is thought to depict an early stage of processing associated with the structural encoding of faces (Bentin et al., 1996; see Eimer, 2011 for a review). Many studies report that the N170 component is insensitive to social categories (familiarity: Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000; Henson et al., 2003; Jemel, Calabria, Delvenne, Crommelinck, & Bruyer, 2003; B. Rossion et al., 1999; Schweinberger, Pickering, Burton, & Kaufmann, 2002; Schweinberger, Pickering, Jentsch, Burton, & Kaufmann, 2002; gender: Caldara et al., 2003; Caldara, Rossion, Bovet, Hauert, & others, 2004; Ito,

Thompson, & Cacioppo, 2004; race: Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Mouchetant-Rostaing, Giard, Bentin, Aguera, & Pernier, 2000), and suggest that social information conveyed by a face is processed only after its structural encoding. This sequential view has been challenged by a significant number of studies that did observe an influence of social categories on the electric N170 or magnetic M170 (familiarity: Caharel et al., 2002; Caharel, Courtay, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2005; Caharel, Fiori, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2006; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008; Wild-Wall, Dimigen, & Sommer, 2008; gender: Freeman et al., 2010; race: T. A. Ito & Urland, 2005; Senholzi & Ito, 2012; Walker, Silvert, Hewstone, & Nobre, 2008). Interestingly, one of the only EEG investigations which has explored facial expressions related to hierarchy reported that facial expressions of dominance elicited a N170-like component whose amplitude was greater for facial expressions of submission (Chiao et al., 2008). However, this study did not only manipulate hierarchy as physical properties of faces were also varied. Taken together, these results suggest that whether the N170 is modulated by hierarchy is still an open question.

While the aforementioned N170 findings are partly inconsistent, the literature concurs that social categorization modulates the Late Positive Potential (LPP), revealing an influence of higher-order cognitive processes. The LPP associated with familiar faces has been interpreted as the activation of semantic and personal identity representations (M. Eimer, 2000a; Paller, Gonsalves, Grabowecy, Bozic, & Yamada, 2000; S. R. Schweinberger, Pickering, Burton, et al., 2002), while those elicited by race and gender have been interpreted as the cognitive assessment of face and category-related information (Ito & Urland, 2003; Walker et al., 2008) or as the manifestation of evaluative social judgments (Ito et al., 2004). In light of these results, it could be expected that hierarchy, being a major feature of social categorization, would modulate the LPP elicited by faces. To the best of our knowledge, there is so far no clear evidence for this hypothesis in the literature.

Hence, the first goal of this study is to determine whether hierarchy influences the early structural processing of faces or/and whether it influences a higher-order processing stage. In addition, the second goal of this study is to further explore the cortical mechanisms related to hierarchical face processing by investigating the putative involvement of neural oscillations. A parallel stream of research has shown that the perception of faces has been associated with suppressions in alpha-band power (9-12 Hz) in the occipito-parietal areas (Lachaux et al., 2005; Zion-Golumbic, Kutas, & Bentin, 2010). However, whether such oscillatory power modulations are differentially affected by social rank remains unknown.

In the current experiment, the social hierarchy was learned through direct experience in a competitive game. This procedure differs from previous fMRI studies in which participants did not observe the building of the hierarchy but were directly provided with status information through perceptual cues, such as body posture (Marsh et al., 2009), uniforms (Chiao, Harada, et al., 2009), stars (Zink et al., 2008), or through famous individuals (Farrow et al., 2011). The only brain study where hierarchy was acquired through experience is that of Kumaran et al. (Kumaran et al., 2012) in which participants learned the status of individuals on the basis of a transitive reasoning task. This type of task is often used in ethology in order to show that the verticality of hierarchical relations tend to shape the inferential abilities of social species (Bond et al., 2004; Cheney & Seyfarth, 1990; Grosenick et al., 2007; MacLean et al., 2008). Typically, those tasks involve a wide range of pairwise relations ($A > B$; $B > C$; $C > D$; $D > E$; $E > F$; $F > G$) from which new relations can be drawn (i.e. $B > E$) and from which the entire hierarchy can be built ($A > B > C > D > E > F > G$). Here, we used a simpler procedure in which participants were directly provided with the whole ranking of four players. This is a relatively ecological procedure as in a wide range of human competitive activities the full hierarchy is communicated and does need to be inferred from adjacent dyads. University rankings, sports rankings, the Forbes world's billionaires list are typical examples. Moreover, transitivity tasks are used when the hierarchy is fully vertical but this was not the case in the present task as two players had the same rank (i.e. the participant and one of the other players, see below).

V.2. Material and Methods

V.2.1. Ethics Statement

All participants gave written informed consent for the study which was approved by the local Ethical Committee (Comité de Protection des Personnes, Gerling agency- File no: 90788200730). All participants consented to participate in the research on their own behalf. Prior to the task, the experimenters made sure that participants had the capacity to consent by asking a series of questions about their understanding of the study.

V.2.2. Participants

Sixteen right-handed healthy male volunteers aged between 19 and 27 years (mean = 21.05 years $\pm$ 1.6 SD, median = 20.96 years) participated in this study. All participants were French, had comparable educational backgrounds and had normal or corrected-to-normal

vision. To avoid possible confounds from gender-related differences in sensitivity to competitive settings (Niederle & Vesterlund, 2007) only male volunteers were tested, and they were confronted only with male faces. Participants were compensated for their participation.

V.2.3. Stimuli

The stimulus set consisted of 36 high-resolution photographs of neutral male faces picked from the NimStim Set of Facial Expressions standardized database (Tottenham et al., 2009) and from the stimuli set used by Baudouin and Gally (2006). No remarkable details, such as glasses, earrings, piercings or mustaches, were visible on the faces. All pictures were transformed into grayscale images and normalized in size, luminance and contrast. They were displayed on a screen with a light grey background and subtended a horizontal visual angle of 9.8° and a vertical angle of 7.7° at a viewing distance of one meter (480 x 374 pixels). Examples are provided in Figure 13, p.77.

V.2.4. Design and Procedure

Upon his arrival to the laboratory, the participant's face was photographed and inserted into the group of faces as a landmark of his position. We created a competitive context to ensure that the participant really believed he was included in a hierarchy. As a cover story, he was told that he was participating in the second part of a research project conducted on network games and visual perception. In the first part, other volunteers supposedly already completed the same games that the participant would play, and their scores and pictures had been stored in the database. For each game, the participant was told that his performance would be compared to 3 "former players", represented by their photographs, and randomly

		Participant's rank (S rank)		
		The highest	The middle	The lowest
Player's rank (P rank)	The highest	S rank = the highest P rank = the highest	S rank = the middle P rank = the highest	S rank = the lowest P rank = the highest
	The middle	S rank = the highest P rank = the middle	S rank = the middle P rank = the middle	S rank = the lowest P rank = the middle
	The lowest	S rank = the highest P rank = the lowest	S rank = the middle P rank = the lowest	S rank = the lowest P rank = the lowest

Figure 11 : Representation of the nine experimental sub-conditions in the design.

Columns (yellow) correspond to the three participant rank conditions (highest, middle and lowest rank); rows (green) depict the three player rank conditions (the same three conditions). Note that the term "Player" refers to the face stimuli, while the participant is the subject that took part in the EEG experiment.

chosen from the database. Participant was told that these “former players” have been previously ranked according to their scores as the best, middle or worst competitor. Participants were thus presented with faces of three ranks corresponding to three **player rank** conditions: **highest**, **middle** and **lowest rank**. Additional filler stimuli included faces referring to players whose ranks were unknown. Participants were provided with information regarding their own status, which could be equal to the highest, middle or lowest rank. The ranks of the supposed players and of the participant were thus manipulated in a systematic way, giving rise to a 3-by-3 within-subject design (Figure 11, p. 74). In each block, participants saw his face and four other faces, corresponding to the three rank conditions (i.e., highest, middle and lowest) and one filler face whose rank was unknown. Four different faces were used in each block so that a given face never occurred in two different blocks. Participant rank was manipulated across blocks and not within each block: in three blocks, the participant had the highest rank (two players were lower than him and one equal to him). In three other blocks, he was in the middle position (one player higher, one lower and one equal to him) and in three blocks, he had the lowest rank (two players were higher and one equal to him). Thus, the three **participant rank** conditions were **highest**, **middle** or **lowest**. The order of these blocks was set randomly across participants. Moreover the presentation of faces was counterbalanced across participants so that each face was equiprobably associated with each possible rank. The participant was comfortably seated inside a dimly lit Faraday cage in front of a screen. He first performed a training session constructed as an experimental block. The experiment was designed using Presentation®14.3 (Neurobehavioral System, <http://www.neurobs.com/>) and was divided into nine blocks, including the nine different game sequences. Each experimental block was designed to adhere to the following sequence: a game phase that served to contextualize faces within a hierarchy and manipulate participant and player ranks (Phase 1), a ranking restitution phase (Phase 2), and a face rank evaluation phase (Phase 3). Each participant took part in the three phases. EEG was only analyzed in the third phase. After the last phase was completed, the participant was instructed to start the next block.

a) Phase 1: game phase.

A series of five simple perceptive tasks (or rounds) was presented to the participant, such as detecting which side of the screen contained a greater amount of dots as fast as possible (Figure 12A, p.76). The participant was told that his performance in each of the five tasks, allegedly based on reaction time and validity of the answers, would be compared to three other players who completed the same tasks. This comparison gave rise to an

intermediate ranking presented after each task, in which one player had the same rank as the participant and two other players had a different rank. Faces, representing players, were displayed vertically on three hierarchical levels labeled, from top to bottom, as the “best” player, the “middle” player and the “worst” player. The participant’s photograph was also inserted in the ranking (Figure 12B, p. 76). The “no rank” player face appeared in the bottom left corner of the screen. The participant was told that the rankings were established by a cumulative score of the player’s performances on all tasks. For example, the participant’s rank after the second task was claimed to be determined by the averaged performance over the two first tasks, and so on until the final ranking following the fifth task. Real performances were not taken into account to rank the participant. Intermediate rankings were fixed according to the final intended ranking. Four of the 5 rankings were identical to the intended one, and in one task randomly chosen among the first three, the participant’s rank differed by one position in the hierarchy. This procedure was applied for maintaining credibility. Participant’s rank was thus fully established during the fourth and last rankings in Phase 1 and did not change over Phase 2 and Phase 3. Participant rank could only change in the next block when starting a new game phase (i.e. Phase 1).

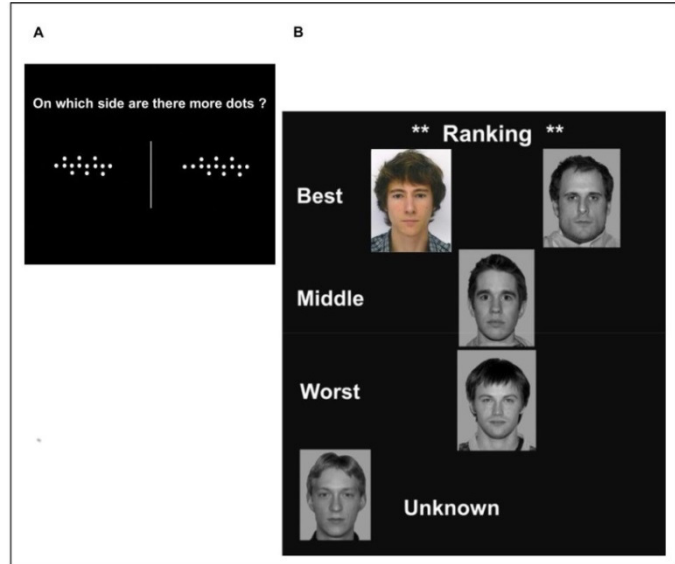


Figure 12 : Example of round and associated ranking proposed to the participant during phase 1

A) Example of one round of the game during phase 1. In this game, the participant was asked to decide which side of the screen contained the largest amount of dots. B) Example of three-level ranking presented to the participant after each round of the game. Participant's face was the only photograph displayed in color during this phase.

b) Phase 2: ranking restitution phase.

At the end of the game, participants were asked to reproduce the cumulative ranking established over the 5 tasks in Phase 1. To do so, they had to use the mouse and move the 5 photographs (those of the four players and their own photograph), which were horizontally displayed at the bottom of the screen. If the ranking was incorrect, a sixth task (never shown before) was presented before starting the third phase. This sixth task occurred only 6 times.

c) Phase 3: rank evaluation phase.

During the last phase comprising 60 trials per block, the EEG was recorded. In each trial, one of the four faces ranked in phase 2 was presented for 400 ms. Each face was followed by a question concerning its rank namely, “superior?” (which meant “was his rank superior to yours?”), “equal?”, “inferior?”, “unknown?”. The participant’s task was to answer the question as accurately as possible by pressing one of three response keys: “yes”, “no” or “can’t tell” (Figure 13, p. 77). Faces were repeated 15 times each and displayed in a pseudo-randomized order, with no face appearing in two consecutive trials. The inter-stimulus interval after subject’s response was randomized between 1200 and 1500 ms. Over the course of the experiment, 540 trials (36 faces presented 15 times) were presented to the participants, comprising 405 target trials (135 trials for each of the experimental conditions)



Figure 13 : Temporal course representation of stimuli displayed during the phase 3.

and 135 fillers. The critical trials included 45 trials of player rank (highest, middle, lowest) x participant rank (highest, middle, lowest) sub-conditions; that is, 135 either by player rank condition, or by participant rank condition.

V.2.5. EEG recordings

The EEG signal was recorded simultaneously from 30 electrodes attached to an *Acticap* (International 10-20 System, American Encephalographic Society, 1994) amplified by a BrainAmp amplifier (Brain Products, Gilching, Germany). The sampling rate was 1024 Hz through a bandwidth of 0.01-100 Hz. During the task, the reference electrode was set on the tip of the nose and was kept for off-line analysis. Two supplementary external electrodes were set on each ear lobe. The ground electrode was placed on the forehead. Vertical and horizontal eye movements (EOG) were monitored on-line by two bipolar montages. The impedance of all electrodes was kept below 5 k Ω . Using ELAN software developed by the INSERM U1028 at the Lyon Neuroscience Research Center (CRNL), Lyon, FRANCE (Aguera, Jerbi, Caclin, & Bertrand, 2011) (<http://elan.lyon.inserm.fr>), trials contaminated by ocular movements, blinks (EOG activity greater than 100 μ v for 100 ms) or electrical artifacts (voltage changes on any scalp electrode greater than ± 150 μ v) were rejected off-line before averaging. After these artifact rejections, we kept a minimum of 25 valid trials for

each subject for each player's rank (3) x participant's rank (3) sub-condition (max number of trials for each condition = 44; median number of trials in each condition between 37.5 and 40).

a) ERPs analysis

The EEG signal was band-pass filtered between 0.05 and 35 Hz and segmented into temporal epochs of 1200 ms, 200 ms prior to the stimulus onset and 1000 ms post-stimulus. For each subject, segments were then averaged across the 9 hierarchy conditions depicted in (Figure 11, p. 74). The averaged activity from -200 ms to 0 ms pre-stimulus was used as the baseline (N. George et al., 1996). The early P100 ERP was measured on occipital sites (O1 and O2) and the N170 ERP was measured on temporo-parietal sites (P7 and P8). Peak latency was defined as the latency of the maximum amplitude. For each participant, the average amplitude of the evoked potentials was computed within a 40 ms time-window centered on the peak latencies, i.e., 96-136 ms for P100 and 137-177 ms for N170. To examine the LPP, we selected a cluster of nine electrodes covering the frontal (F3-Fz-F4), central (C3-Cz-C4), and parietal (P3-Pz-P4) regions over the scalp. The average amplitude of the LPP was calculated for each sub-condition in the 400-700 ms time window (Pastor et al., 2008).

To determine the time course associated with the neural processing of both player rank and participant rank, mean signals and latencies associated with early potentials and mean amplitude corresponding to late potentials were submitted to distinct repeated measure ANOVAs. For early components, the ANOVA used ranks of players (3 levels: highest, middle and lowest), ranks of participants (the same 3 levels) and electrodes of interest (2 levels) as subject factors. For late components, the ANOVA tested the topography of the ERP waves by including, instead of the electrodes, the spatial parameters caudality (frontal, central and parietal) and laterality (left, midline and right) as supplementary within subject factors. The effect of relative hierarchical status (Superior, Equal or Inferior) on the perception of faces was studied by examining the interaction between face and participant ranks. Least significant difference (LSD) Fischer tests were used for post-hoc comparisons.

b) Time-frequency analysis

The non-filtered EEG signal was analyzed in the time-frequency (TF) domain by convolution with complex Gaussian Morlet's wavelets (Tallon-Baudry, Bertrand, Delpuech,

& Pernier, 1996). This analysis enabled us to explore spectral power variations generated by the perception of faces embedded in different hierarchical contexts. Based on previous reports of alpha-range modulations in face perception (Zion-Golumbic et al., 2010), we specifically focused the TF assessment of task-related power changes to the alpha-band (9-12 Hz). After artifact rejections, data were segmented and averaged for each sub-condition using $[-300; -50 \text{ ms}]$ as the baseline interval. This interval was chosen to avoid smearing artifacts generated by computing wavelets and to include at least two periods of the oscillatory response (at 10 Hz, 200 ms are needed for achieving two oscillatory cycles). The same Elan software was used to display TF maps on the $[-300 - 1000 \text{ ms}] \times [1-90 \text{ Hz}]$ domain. First, we evaluated absolute power variations of alpha rhythms associated with face perception defined as energy increases or decreases relative to the energy level prior to face presentation. In each of the nine sub-conditions, the energy in the $[9-12 \text{ Hz}] \times [0-1000 \text{ ms}]$ domain was compared with a tile of the same frequency extent chosen in its respective baseline period $[-300;-50 \text{ ms}]$, using Wilcoxon matched paired nonparametric tests. The result of a Wilcoxon test is a Z score that indexes the spectral power difference between two conditions. This score was used to generate statistical TF maps representing spectral energy modulations across time and frequency bands for each electrode. Associated with the Z score, the p value was represented in topographic maps. These maps allowed us to identify temporal intervals and scalp regions supporting statistically significant variations (i.e., $p < 0.05$) compared to the baseline. Second, to detect relative differences in the alpha oscillatory response depending on player or/and participant ranks, the same statistical analysis conducted for evoked potential was performed on TF signal. According to the Wilcoxon results, we delineated a 300 ms temporal window in which the alpha power statistically decreased compared to the baseline. Based on the averaged frequency profile between 9 and 12 Hz, the mean alpha power was computed on the $[400 \text{ ms}-700 \text{ ms}]$ interval in each sub-condition. We selected the same cluster of 9 electrodes described above (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz and P4) and we compared the alpha mean responses over this temporal interval using an ANOVA including the topographic variables caudality and laterality (3 levels each – see above), the ranks of players (3 levels: highest, middle and lowest) and the ranks of participants (the same 3 levels). Post-hoc analysis consisted of LSD Fisher's tests.

V.3. Results

V.3.1. Behavioral data

Participants were very accurate in categorizing player ranks, obtaining more than 95 % correct responses (mean number of misses $\pm$ SE = 27 ± 30.1 among 540 trials, minimum number of misses = 5, maximum number = 105).

V.3.2. Electrophysiological data

a) P100

The P100 showed a mean latency of 116 ms after face onset (Figure 14A - top left, p. 82). The amplitude of this potential was neither subject to a main effect of electrodes ($F(1,15) = 0,09$; $p = 0.76$) nor to participant rank ($F(2,30) = 0,41$; $p = 0.66$) nor to player rank ($F(2,30) = 0,81$; $p = 0.45$). No participant rank x player rank interaction was observed ($F(4,60) = 0,48$; $p = 0.74$) and the triple interaction was not significant ($F(4,60) = 0,47$; $p = 0.75$).

b) N170

The N170 component reached its maximal amplitude at 157 ms (Figure 14A – top right, p. 82). The ANOVA revealed that the N170 amplitude was neither sensitive to hemisphere ($F(1,15) = 0,96$; $p = 0.34$), nor to participant rank ($F(2,30) = 0,45$; $p = 0.63$), nor to player rank ($F(2,30) = 0,87$; $p = 0.42$). Moreover, there was no player rank x participant rank interaction ($F(4,60) = 0,51$; $p = 0.72$), and no player rank x participant rank x hemisphere interaction ($F(4,60) = 0,94$; $p = 0.44$). Moreover, the N170 latency was neither sensitive to hemisphere ($F(1,15) = 1,51$; $p = 0.23$), nor to participant rank ($F(2,30) = 1,13$; $p = 0.33$), nor to player rank ($F(2,30) = 0,60$; $p = 0.55$), and there was no significant interaction observed.

c) Late Positive Potential

As shown in Figure 14, we also observed the LPP between 400 and 700 ms over nine recording sites (Figure 14A – bottom, Table 1, p. 82). The ANOVA revealed a main effect of caudality ($F(2,30) = 25,81$; $p < 0.001$). The LPP followed a frontal < central < parietal amplitude gradient, consistent with the scalp distribution described in the literature (H. T. Schupp et al., 2000). The ANOVA also showed a main effect of laterality ($F(2,30) = 18,18$; $p < 0.001$). Post-hoc LSD tests indicated that the LPP was of greater amplitude over midline

regions compared to left ($p < 0.01$) or right domains ($p < 0.001$) and larger over left regions compared to right regions ($p < 0.01$). Caudality and laterality significantly interacted ($F(4,60) = 3,75$; $p < 0.01$) indicating that the laterality pattern was the most pronounced at parietal sites.

Neither a main effect of player rank nor of participant rank was observed. However, the ANOVA showed a significant interaction between laterality and player rank ($F(4,60) = 4,12$; $p < 0.01$), suggesting that the neuronal response profile to hierarchical rank varied across scalp locations (Figure 14B, p. 82). In the midline domain, where the LPP was the most prominent, post-hoc LSD tests showed differences between the player rank conditions. Processing highest-rank faces elicited the largest LPP, compared to the middle-rank faces ($p < 0.001$) or the lowest-rank faces ($p < 0.001$). Furthermore, the LPP generated by the lowest-rank faces was larger than the LPP generated by the middle-rank faces ($p < 0.01$). We ensured that this averaged LPP pattern in the midline domain was observed at the subject-level by plotting for each subject the pairwise comparison of LPP amplitude in the three players rank conditions. In the left and right lateralized regions, the LPP evoked by the middle-rank faces was significantly lower than this evoked by the highest-rank faces (left-lateralized sites: $p < 0.001$, right-lateralized sites: $p < 0.001$) or by lowest-rank faces (left-lateralized sites: $p < 0.05$, right-lateralized sites: $p < 0.001$), but there was no significant difference between these two hierarchical ranks (left-lateralized sites: $p = 0.1$, right-lateralized sites: $p = 0.68$). Finally, there was no interaction between player and participant rank ($F(4,60) = 1,02$; $p = 0.4$). $p = 0.1$, right-lateralized sites: $p = 0.68$). Finally, there was no interaction between player and participant rank ($F(4,60) = 1,02$; $p = 0.4$).

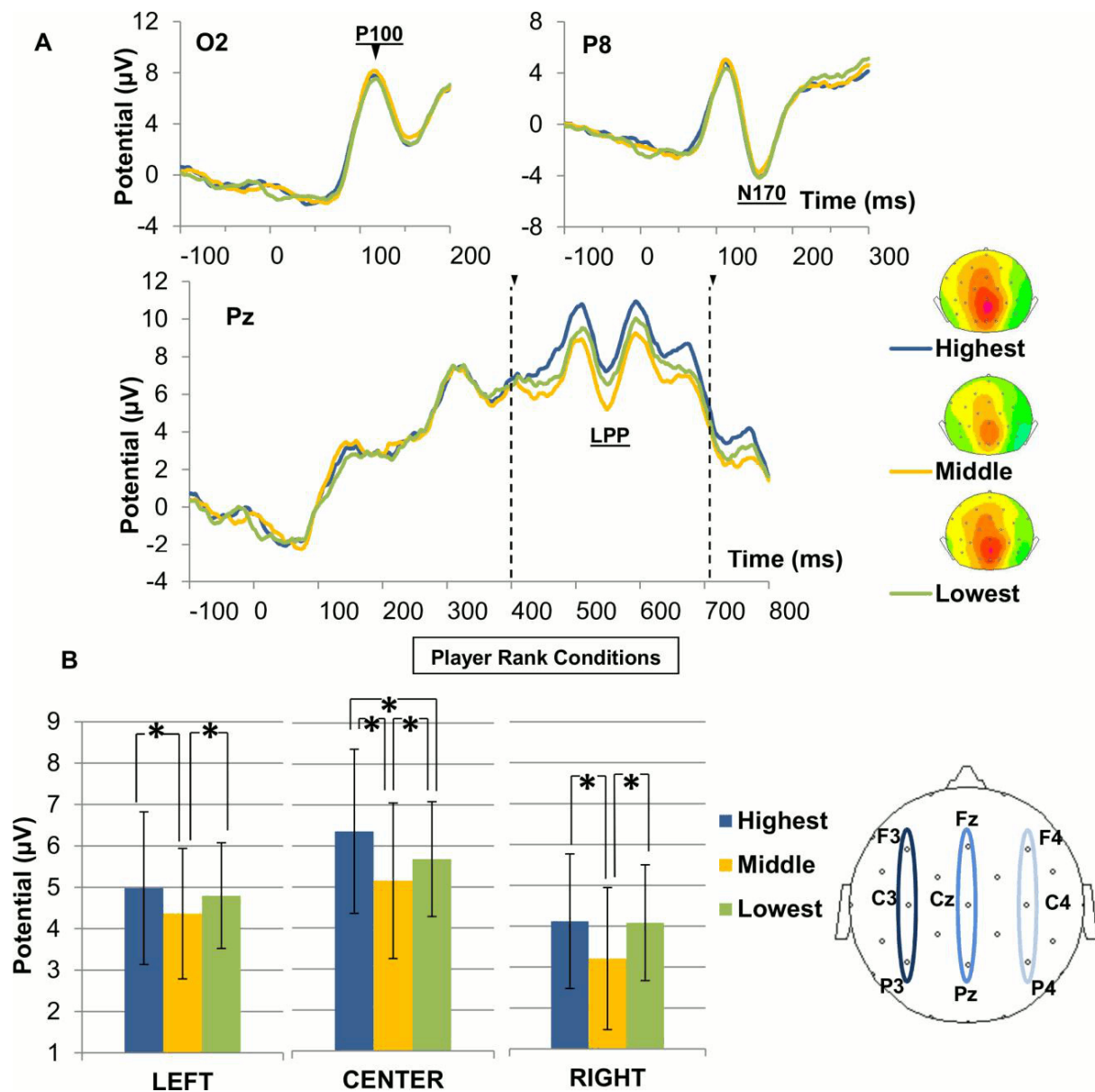


Figure 14 : ERP waveforms and averaged signal of P100, N170 and LPP components.

ERP waveforms of early (P100 and N170) and late (LPP) responses in the three player rank conditions (highest, middle or lowest rank). Associated back-view topographic maps represent the averaged amplitude of LLPs at 550 ms. B) Averaged LPP amplitude in the 400-700 ms time window computed on the left (F3, C3, P3), central (Fz, Cz, Pz) and right (F4, C4, P4) scalp regions in the 3 player rank conditions. * indicates a significant difference ($p < 0.05$).

	Player's rank							
	Highest		Middle		Lowest		Total	
Scalp Domain	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
Left	4,98	3,76	4,36	3,21	4,80	2,60	4,71	3,17
Central	6,36	4,08	5,15	3,87	5,68	2,85	5,73	3,60
Right	4,12	3,36	3,21	3,54	4,09	2,89	3,81	3,23
Total	5,15	3,78	4,24	3,57	4,86	2,80	4,75	3,41

Table 1 : Mean ($\pm$ SE) LPP amplitude (in Microvolts; 400-700 msec) for the Highest, Middle and Lowest player as a function of the scalp domain (left, central and right).

V.3.3. Oscillatory components: Alpha rhythms

Time-frequency (TF) statistical analysis revealed a sustained power decrease in the alpha band for each of the nine hierarchical sub-conditions compared to the baseline level (Figure 15A and Figure 15B, p. 84). This decrease was observed in similar locations in the nine contextualized conditions and was maintained from approximately 200 ms to 700 ms after the stimulus onset (Table 2, p. 84). More precisely, the alpha suppression was significant over several recording sites in occipital and temporo-parietal regions, including P3, Pz, P4, P7, P8, O1, Oz and O2 (Figure 15C, p. 84).

The effect on the alpha response of player rank, participant rank and their interaction was evaluated in the 400-700 ms time window based on the mean alpha profiles in the three player rank conditions and the three participant rank conditions (Figure 15B) using the Wilcoxon test (Figure 15C). The ANOVA performed on the mean alpha signal revealed a main effect of caudality ($F(2,30) = 6,79; p < 0.01$), indicating that the alpha energy decrease was more pronounced over the parietal domain than the central and frontal domains ($p < 0.01$). A main effect of player rank was also observed on the mean alpha response ($F(2,30) = 3,63; p < 0.05$), and post-hoc comparisons revealed that highest-rank faces produced the most significant alpha power decrease, compared to middle ($p < 0.05$) or lowest-rank faces ($p < 0.05$) (Figure 15D, p. 84). Moreover, neither a significant effect of participant rank ($F(2,30) = 0,75; p = 0.48$) nor a player rank x participant rank interaction ($F(4,60) = 0,23; p = 0.92$) was observed. It should be noted that similar results were obtained when we performed the same statistical analysis on time windows shifted by ± 50 ms compared to the initial interval.

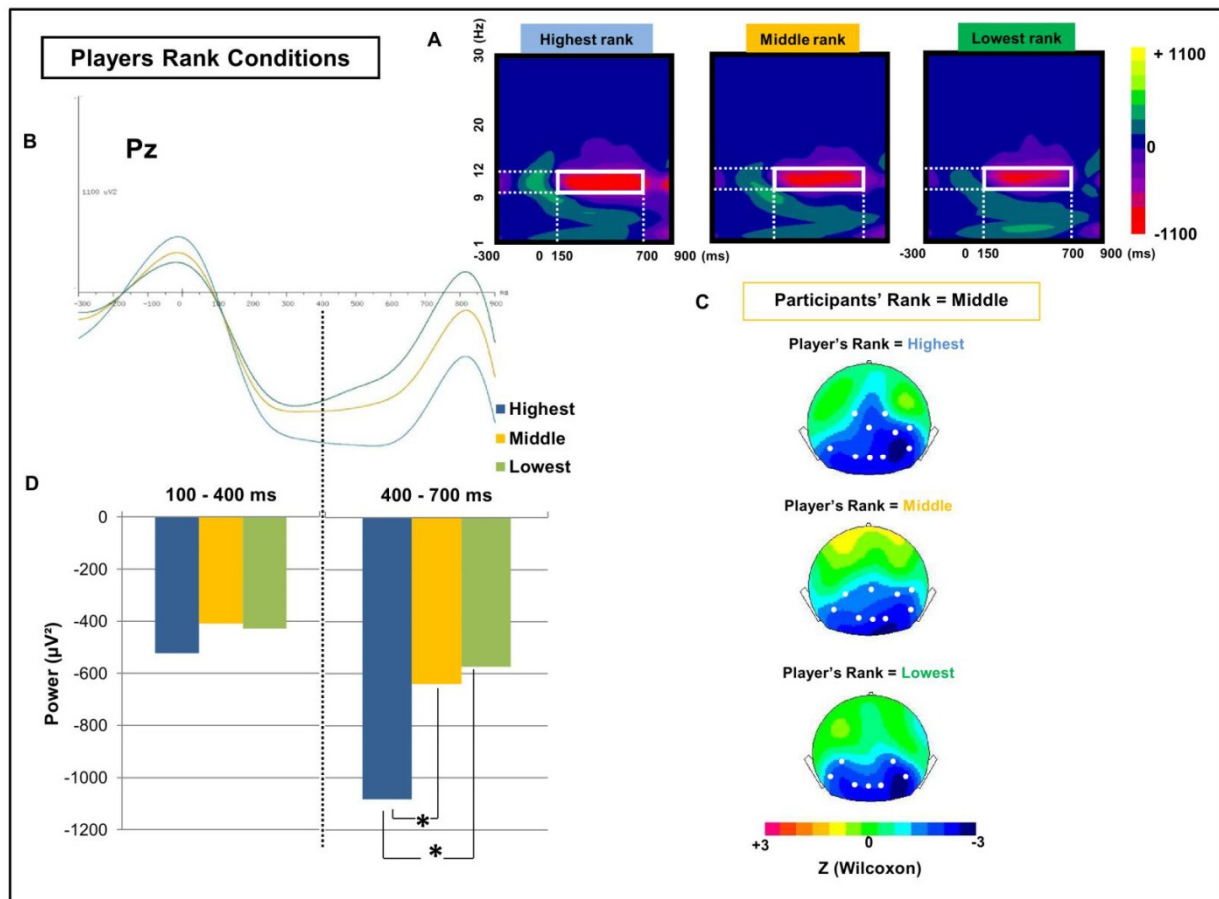


Figure 15 : TF maps and averaged profile of alpha oscillatory response.

A) TF map depicting the color-coded mean energy (in μV^2) in response to faces in the three player rank conditions (Highest, Middle and Lowest) at the electrode Pz. The red zone depicts an energy decrease in the [9-12 Hz] x [150-700 ms] TF domain (white box). B) Time course of the energy in the alpha band during the responses to the three player rank conditions: highest (blue), middle (yellow) and lowest (green). C) Z-score topographic maps for the Wilcoxon comparisons with the baseline when the participant was in the middle position, in the three sub-conditions of player rank. The player's relative status is, from top to bottom, superior, equal and inferior. White dots indicate electrodes where the alpha reduction was significant compared with the baseline ($p < 0.05$). D) Averaged alpha power for the three player rank conditions computed on Pz in [100-400 ms] and [400-700 ms]. Significant differences ($p < 0.05$) are indicated by *.

	Player's rank							
	Highest		Middle		Lowest		Total	
	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
Time Window								
100-400 ms	-523,6	1838,2	-409,4	2234,8	-427,5	1716,5	-453,5	1901,4
400-700 ms	-1082,8	2512,5	-639,3	2755,6	-573,9	2761,1	-765,3	2631,2
Total	-803,2	2184,1	-524,3	2470,7	-500,7	2262,8	-609,4	2288,8

Table 2 : Mean ($\pm$ SE) alpha power (in Microvolts²) computed on Pz for the Highest, Middle and Lowest player as a function of the time interval ([100-400 ms] and [400-700 ms]).

V.4. Discussion

This study aimed to gain some insight in the temporal resolution of the brain response elicited by faces associated with distinct hierarchical ranks. Three results were found: 1) there was no influence of hierarchy on the amplitude of early components, the occipital P100 and the occipito-temporal N170, 2) highest-rank faces elicited a higher LPP and 3) those faces yielded a stronger alpha suppression. The first result differs from findings of an earlier ERP study that investigated the processing of status conveyed by facial postures (Chiao et al., 2008). In the latter study, participants were presented with faces with dominant, submissive or neutral expressions and asked to make gender judgments. The authors report that the amplitude of an N200 component, whose topography is similar to that of N170, was largest for dominant faces and smallest for submissive ones. The discrepancy between this observation and the lack of N170 modulation in the current study is most likely due to differences between the two experiment designs. First, head orientation and gaze direction, which were used by Chiao and colleagues to manipulate dominance and submission, can influence facial processing regardless of the expressions they may convey. For instance, several ERP studies have reported a greater N170 amplitude for faces with a direct gaze compared to faces with an averted gaze (Conty, N'Diaye, Tijus, & George, 2007; Farroni, Csibra, Simion, & Johnson, 2002; Itier, Alain, Kovacevic, & McIntosh, 2007). Second, it is not clear to which extent facial expression and gaze orientation convey dominance or submissiveness when the participants are not asked to evaluate hierarchy but instead instructed to make a gender judgment. As an example, a downward gaze orientation could express submission in an explicit hierarchy context, but in the absence of such context, it could simply indicate attentional focus on a downward point in space.

In the current experiment, the absence of N170 effect might simply reflect a null finding and should therefore not necessarily be interpreted as indicating that the hierarchy does not modulate this waveform. It is however worth considering, from methodological and conceptual viewpoints, why we might not have facilitated the observation of an N170 modulation. First, one reason may result from the specific requirements of the task. It has been proposed that task demands are likely to modify face processing (Schyns & Oliva, 1999; Smith, Gosselin, & Schyns, 2007) and the N170 amplitude (Senholzi & Ito, 2012; Tanaka, Luu, Weisbrod, & Kiefer, 1999; Goffaux, Jemel, Jacques, Rossion, & Schyns, 2003). Consequently, it might be that specific task constraints and the hierarchy manipulation of the present experiment interacted in such a way that no modulation on the N170 could be observed. Some authors have proposed that the discrepancy between studies reporting an

influence of social category on the N170 amplitude and those reporting no modulation may be accounted for by task demands and stimuli presentation. In particular, they claim that top-down social influences are more likely when 1) the task requires attending to the social dimension investigated (Ito & Urland, 2005; Walker et al., 2008; Marzi & Viggiano, 2007) and 2) when faces are presented in the context of other faces rather than nonface stimuli (Ito & Urland, 2005). Given that these two criteria were satisfied in the current experiment, top-down hierarchical effects on the N170 should have been facilitated. On the other hand, in contrast with previous studies, which examined only two antagonistic social categories, the present experiment involves *three* categories (i.e. three ranks) and one cannot exclude that this increase in task complexity might have obfuscated the modulation of the N170.

Second, in contrast with some other social categories, such as sex and race, which are also *perceptual* categories, the type of hierarchy investigated here is *purely* social. Yet, perceptual expertise is likely to play a role in modulating the N170 in a social context, and might explain previous reports of a modulation of this component. As observed by Wiese et al. (Wiese, Kaufmann, & Schweinberger, 2012), the left-hemispheric N170 effects significantly correlated with the own-race bias, meaning that when participants had greater expertise with other race faces, the N170 amplitude elicited by other-race faces tends to diminish. This result suggests that when a participant has a high perceptual expertise in processing faces from a given social category (e.g. own-race faces) and a low perceptual expertise in the opposite category (e.g. other-race faces), N170 effects are more likely to occur. In the present experiment none of the faces' ranks could be associated with different levels of perceptual expertise: all faces were own-race, own-sex and own-age, and participants were equally presented with the three categories of faces. Furthermore, all faces were neutral and were counterbalanced across participants.

Third, a hierarchical rank is a less stable social category than the ones typically investigated in the field of face processing. In most primate species, social competition typically results in transient outcomes. An individual who occupies the highest rank at a given time will not necessarily do so later. Even more important is the fact that, in the human species, social hierarchies are context dependent; a chess master will not necessarily end up being a kung fu master. In the present experiment, it is very unlikely that participants will view the highest-ranking individuals to prevail in any type of social competition. In contrast, sex, race, and familiarity do not usually change over time and across contexts. Given that the social modulation of the N170 has only been observed with

such categories it could be that this modulation cannot be generalized over more tenuous social categories, such as those involved by social hierarchy.

Finally, one can also consider that the type of social hierarchy investigated may determine the incidence of top-down effects on the N170. This echoes with the literature on familiarity which shows that the type of familiar faces affects the N170 amplitude. Several authors report that while famous faces did not elicit a larger N170/M170 amplitude as compared to unknown faces, faces of personal importance to the participant did (Caharel et al., 2005; Kloth et al., 2006). In the present experiment, hierarchy is revealed by the level of cognitive performance and is thus related to some form of prestige. However, other forms of prestige, including more qualitative differences (e.g. moral prestige, accomplishing a feat), and other kinds of hierarchy, namely power and dominance, might have a greater social impact and might modulate the N170. Future research should examine this issue.

Although, we did not find any influence of hierarchical status on the N170, we did observe an effect on a later processing stage, revealed by the modulation of a positive potential in the 400-700 ms time-window. Interestingly, as indicated above, such LPP modulations have been repeatedly observed during social categorization of faces. In the present experiment, we observed that highest-rank faces yielded greater LPP amplitude than middle- or lowest-rank faces, regardless of the participant's rank. This effect may be explained by considering that high-status-related information is likely to be more relevant than low-status-related information. A higher status is socially and evolutionarily more desirable than a lower status, and high-status individuals exert a greater social influence. Cognitive resources are thus likely to be allocated to high-status information. In line with this view, it has been observed that people target more of their eye fixations at high-status individuals, indicating a greater level of attention to these individuals (Maner et al., 2008; Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2012b) and remember them better (Ratcliff et al., 2011). They are also more likely to search for information on those individuals than low-ranking individuals especially in high motivational contexts (Wheeler, 1966). The LPP has been observed when a large amount of cognitive resources are involved (Ritter & Ruchkin, 1992) as well as in relation to motivationally relevant pictures that are likely to recruit these resources (Lang & Bradley, 2010; Moser, Hajcak, Bukay, & Simons, 2006; Pastor et al., 2008; Schupp et al., 2000, 2004). For instance, Schupp et al. (2004) report that a threatening face, whose processing is of high evolutionary importance, elicits a late and sustained positive potential over centro-parietal sensors, compared to neutral and friendly faces. The LPP has been largely conceived as indexing the processing of significant stimuli such as arousing

pleasant and unpleasant pictures (Cuthbert, Schupp, Bradley, Birbaumer, & Lang, 2000; Hajcak & Nieuwenhuis, 2006; Keil et al., 2002) as well as the evaluative or non-evaluative categorizations associated with affective and attitudinal judgments (Cacioppo & Berntson, 1994; Crites & Cacioppo, 1996). Within this framework, the LPP is typically viewed as the activation of motivational systems (Bradley, 2009; Lang & Bradley, 2010; Schupp et al., 2000). In line with this view, the higher LPP amplitude observed for highest-rank faces may thus reflect the recruitment of attentional and motivational resources dedicated to the evaluation of highly significant social stimuli.

Another result in line with the interpretation that the LPP indexes attentional and motivational effects is the greater LPP amplitude for the lowest rank faces compared to the middle rank faces. Lowest rank faces refer to individuals who occupy the worst position in the hierarchy. Generally speaking, the low-end of a social scale is of critical importance. Not only does a low social rank decrease reproductive success (Ellis, 1995; Fieder et al., 2005), but in stable hierarchies, it also results in greater stress and in poorer health (R. M. Sapolsky, 2005). Hence, tracking the low-end of a social scale might be more valuable than tracking the middle part of the scale so as lowest rank faces might be cognitively and emotionally more significant than middle rank faces.

At a more mechanistic level, a key issue worth being addressed relates to the brain structures generating and modulating the LPP reported here. Interestingly, recent studies have tried to identify the structures generating and modulating the LPP elicited by emotional pictures (Liu, Huang, McGinnis-Deweese, Keil, & Ding, 2012; Sabatinelli, Bradley, Lang, Costa, & Versace, 2007; Sabatinelli, Keil, Frank, & Lang, 2013). This work consists in combining EEG and fMRI techniques and analyzing the relationship between the EEG and BOLD signals. Those studies reported that the LPP amplitude correlated with BOLD activity in visual cortical structures but also in corticolimbic and subcortical structures, including the amygdala and insula (see Liu et al., 2012; Sabatinelli et al., 2013). These results have been interpreted in line with the reentrant feedback hypothesis which stipulates that in the context of motivationally relevant stimuli, deep structures, such as the amygdala, and cortical structures modulate the visual cortices by reentrant feedback (Y. Liu et al., 2012; Sabatinelli et al., 2013).

The activation of amygdala in those studies should be related with the work of Kumaran et al. (Kumaran et al., 2012) which focuses on the representation of social and non-social hierarchies. These authors observed that the neural activity in the amygdala specifically correlated with the knowledge of a social hierarchy and also correlated with the

motivational value associated with individuals according to their social rank. Interestingly, the activation of amygdala has also been reported in the context of unstable hierarchies, in which the rank of participants was moved up and moved down during a game phase (Zink et al., 2008). In particular, viewing a high-rank player resulted in greater activity in the right amygdala (Rilling, Winslow, & Kilts, 2004; Zink et al., 2008).

Following the perspective of this work, which links activity in the amygdala with the processing of highly motivational stimuli, it might be worth investigating in the future whether the LPP amplitude found in a hierarchical context correlates with the neural activity in the amygdala. Indeed, in the current experiment, participants were directly embedded in the hierarchy and consequently ranks clearly established distinct social values, with the highest rank being of highest value. Of course, other structures might also be implicated in the LPP modulation we observed, and could include regions specifically involved in the processing of social and hierarchical stimuli, such as the dorsolateral prefrontal cortex (Mah et al., 2004; Zink et al., 2008), the ventrolateral prefrontal cortex (Farrow et al., 2011; Marsh et al., 2009), or regions involved in value comparison, such as the ventromedial prefrontal cortex (Hunt et al., 2012), the latter being also known to correlate with the LPP amplitude (Liu et al., 2012).

To more precisely determine the nature of the processes involved in status categorization, we also investigated alpha oscillations, which have previously been shown to be modulated by face processing (Lachaux et al., 2005; Zion-Golumbic et al., 2010). Our findings indicate that while all faces elicited a significant alpha desynchronization, the extent of the desynchronization depended on the absolute rank of the face. Highest-rank faces were associated with stronger alpha suppression. This effect was observed irrespective of the relative position of the participant and was maximal approximately 400 ms after the face onset. Synchronization in the alpha-band has traditionally been interpreted as a marker of cortical idling, but recent approaches consider the role of alpha oscillations to be related to functional inhibition (see Jensen & Mazaheri, 2010 for a review) and cortical excitability (Klimesch, Sauseng, & Hanslmayr, 2007). Indeed, the oscillatory pattern is often characterized by a decrease of alpha activity in cortical regions specifically involved in the task and by an increase of alpha activity in task-irrelevant regions. Therefore, alpha synchronization can be seen as a way to neutralize task-irrelevant regions (Jensen & Mazaheri, 2010), while alpha desynchronization would indicate a greater engagement of the regions affected by this suppression. According to this view, greater alpha suppression observed for the highest-rank faces would reflect a greater allocation of cognitive resources

to these stimuli. This hypothesis is perfectly in line with the above cited findings indicating that high-status-related stimuli tend to capture more of our cognitive resources.

Interestingly, alpha suppression has also been reported for another type of social categorization, namely familiarity (Zion-Golumbic et al., 2010). Zion and colleagues observed that at occipital sites in the 200-800 ms time window, the alpha suppression was stronger for famous faces than for unfamiliar faces. The authors attribute this effect to the use of semantic knowledge associated with faces. However, in the present experiment, the amount of semantic information associated with a face is similar for the three hierarchical conditions. It is rather the relevance of face-associated ranks that differs among the conditions: the highest-rank position is the most relevant and should attract attention more. This is consistent with a wide range of studies showing that alpha suppression is associated with attention (Fries, Reynolds, Rorie, & Desimone, 2001; Herrmann & Knight, 2001; Knyazev, 2007; Lachaux et al., 2007; Sauseng et al., 2005; Thut, Nietzel, Brandt, & Pascual-Leone, 2006).

Taken together, the LPP and alpha oscillations results showed that the only experimental variable which significantly modulated the brain response was player rank. Participant rank had no effect and did not interact with player rank. Hence, no matter the participant's position in the hierarchy, player's faces elicited similar brain responses. For instance, this means that when participants had a high or a low social rank, viewing the face of the highest player in the hierarchy resulted in a similar effect. Yet, we could have expected that when participants are in a low social position, viewing a high-rank face would have a greater impact than when they are in a high social position. Indeed, in a low social position, the faces of highest rank players might elicit a greater motivational relevance as they refer to players who achieved a much better level of performance than that of participants. In contrast, when participants are in the highest social position, high-rank faces might have a weaker social value. Overall, this pattern of results suggests that the brain response is more sensitive to the faces' absolute ranks than to the social distance between the participant's rank and the player's rank. However, it should be noted that in the current experiment, participants' social position was temporary and changing (it was counterbalanced across the highest, middle and lowest ranks). It follows that the social distance between the participants and the other players was not a very stable variable. This contrasts with standard human organizations in which people ranks last for much longer time. In such contexts, the social distance is a less noisy variable and is therefore more likely

to influence cognitive processing. Future work could thus investigate whether stable social distance modulates face processing in such ecological organizations.

In conclusion, this study provides new insight into the neural processing underlying status perception and, at a broader level, social categorization. Most electrophysiological studies addressing the social categorization of faces investigate features that are often not purely social because they include encyclopedic knowledge (for famous faces) or physical differences (Freeman et al., 2010). In the present work, social rank was manipulated without being associated with a particular physical posture so that each face could be assigned to each of the three ranks explored. It is also worth noting that many studies that explore the impact of familiarity on face processing use well-known politicians and artists to manipulate fame, which is obviously a mark of prestige and high status. It is possible that the similar pattern of results between these studies and ours may originate from the common social parameter that serves to categorize faces, namely status. Overall, our results are consistent with the view that adaptive monitoring of our social environment requires enhanced tracking of the upper end of the social scale but of course further work is needed to determine whether the effects reported here reflect the involvement of hierarchy-specific mechanisms or more general mechanisms.

Acknowledgments

We are grateful to Pierre-Emmanuel Aguera, Rawan Charafeddine, Raphaël Fargier, Emily Hewitt, Eric Koun, Romain Ligneul, Emmanuel Maby, Romain Mathieu, Mathilde Menoret, Nicola Spotorno, and Teal Patterson for their suggestions and their help in conducting the study.

*
* *

Chapitre VI. Transition vers les autres études

Trois résultats principaux ressortent de cette première étude : 1) la manipulation expérimentale permettant la contextualisation des visages n'a pas d'effet sur le potentiel précoce N170, 2) la hiérarchie module l'amplitude des LPP, des potentiels plus tardifs survenant entre 400 et 700 ms après la présentation d'un visage, et 3) le rang hiérarchique a une influence sur l'énergie des ondes alpha. A la suite de cette première étude, plusieurs points méritent d'être discutés ou approfondis.

Le premier point d'approfondissement qui m'a amenée à développer **l'Etude 2 en oculométrie** (Chapitre VII, p. 99) concerne la focalisation attentionnelle plus grande pour les visages de haut statut. Comme indiqué dans la section III.2.1 (p. 48), les visages des autres individus attirent préférentiellement l'attention. Et au sein d'un visage, les différents traits ne reçoivent pas la même quantité d'attention. La région des yeux, la plus informative, est explorée plus longuement que les autres composants. On peut alors se demander si l'attention visuelle plus grande allouée aux visages de haut-statut reflète une attention générale plus grande pour leurs visages ou une attention plus grande sur des parties spécifiques de leurs visages, notamment sur la région des yeux. En d'autres termes, la question est de savoir si la hiérarchie influence la stratégie d'encodage visuel d'un visage. Par des mesures oculométriques, Foulsham et al. (2010) ont caractérisé l'exploration visuelle de personnes ayant des rangs différents. Leurs résultats montrent que les individus considérés de haut statut reçoivent une plus grande proportion de fixation en général. Ils se sont également intéressés aux temps d'observation relatifs du corps, du visage et de la région des yeux de ces personnes. Les auteurs rapportent une interaction entre le statut de l'individu et la propension de ces différentes régions à attirer le regard. Mais cette étude ne permettait pas de comparer directement les temps d'exploration de la région des yeux en fonction du statut. Une plus grande proportion de fixations sur les yeux des individus de haut-statut pouvait résulter d'une attention plus grande portée à ces individus en général. Ainsi, dans **l'Etude 2** de cette thèse (Chapitre VII, p. 99), j'ai tenté de déterminer si l'association d'un rang hiérarchique à un visage neutre avait une influence sur la manière de l'explorer visuellement, et particulièrement, sur les temps d'observation de la région des yeux. En utilisant la même procédure de contextualisation que dans **l'Etude 1**, j'ai réalisé des enregistrements oculométriques pour comparer la stratégie d'exploration visuelle de visages

associés soit à un haut rang hiérarchique, à un rang hiérarchique moyen et à un rang hiérarchique bas.

De plus, dans cette étude, j'ai également tenté de caractériser la stratégie d'exploration visuelle pendant la phase de compétition, lors de la perception des classements hiérarchiques. D'après les résultats de précédents travaux (Maner et al., 2008; Foulsham et al., 2010), l'hypothèse était que les visages des meilleurs joueurs attireraient préférentiellement l'attention. Dans le paradigme de l'Etude 1, la position hiérarchique était confondue avec la position dans l'espace : les meilleurs joueurs étaient présentés en haut du classement tandis que les joueurs moins bons apparaissaient en bas. Pour cette deuxième expérience en oculométrie, nous avons manipulé l'orientation spatiale des classements de sorte que, pour la moitié des participants, les classements avaient une orientation standard (le meilleur en haut et le moins bon en bas), et pour l'autre moitié, l'orientation des classements était inversée (le meilleur en bas et le moins bon en haut). Je souhaitais déterminer si le biais attentionnel pour le haut d'une hiérarchie était sous la dépendance d'une dimension spatiale particulière.

*
* *

Le deuxième point d'approfondissement concerne le type de contexte hiérarchique utilisé, ainsi que l'influence du genre. Cela a conduit à développer **l'Etude 3 en EEG** (Chapitre VIII, p. 129). L'Etude 1 (Breton et al., 2014) est la première à avoir exploré l'influence d'un contexte hiérarchique sur le traitement neuronal des visages, lorsque celui-ci n'implique pas de manipulations des caractéristiques perceptives des stimuli. Dans cette expérience, la hiérarchie était contextualisée par le biais de jeux compétitifs. Les autres études menées en EEG sur le traitement neuronal de la hiérarchie utilisaient également une situation de compétition pour contextualiser les visages (Hu et al., 2014; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015). Bien que cette situation soit engageante pour le participant, elle n'est pas la seule manière d'induire des asymétries de rang hiérarchique. Elle reste d'ailleurs assez éloignée de l'expérience que les individus ont de la hiérarchie au quotidien. De plus, le contexte d'un jeu introduit explicitement des éléments de fiction, dans le sens où les participants ont bien conscience que leur position hiérarchique dans le classement ne représente pas leur position sociale dans la vraie vie. Dans **l'Etude 3** de cette thèse (Chapitre VIII, p. 129), le statut social était opérationnalisé par une forme de hiérarchie plus stable et plus fortement ancrée dans la vie quotidienne, à savoir, le statut professionnel. Le statut

professionnel est un indicateur du revenu des individus et de leur parcours académique ; deux critères importants utilisés pour juger du statut d'autrui. Il se divise aisément en deux catégories : un statut professionnel élevé (selon le salaire et le niveau d'études) est associé à plus de prestige, à une meilleure qualité qu'un statut professionnel plus bas. L'Étude 3 en EEG permettait d'explorer l'influence de cette deuxième dimension hiérarchique sur la perception des visages. Dans cette expérience, des visages sans postures faciales particulières étaient contextualisés hiérarchiquement grâce à un nom de métier qui précédait leur présentation (voir Ratcliff et al., 2011). Étant donné les résultats de l'**Étude 1**, on peut s'attendre à ce que 1) le statut social associé un visage n'influence pas la N170 et 2) les visages d'individus de haut-statut évoquent des LPP plus amples que les visages d'individus de bas-statut.

Cette seconde étude avait également pour but d'explorer l'influence du genre comme paramètre crucial dans la perception des asymétries hiérarchiques. Les inégalités de positions hiérarchiques entre hommes et femmes sont en effet récurrentes dans les sociétés humaines. Comme indiqué dans la section I.3.4 (p. 14), les études en sociologie et en psychologie sociale ont déjà très largement démontré l'influence du genre dans les stéréotypes de dominance et de statut social. Certains travaux suggèrent que les hommes et les femmes ont une sensibilité différente aux situations d'asymétrie hiérarchique. D'une part, les petits garçons passent plus de temps que les petites filles à jouer à des jeux compétitifs. En laboratoire, Niederle & Vesterlund (2007) demandaient à des hommes et des femmes adultes de résoudre des problèmes mathématiques. Ils pouvaient le faire soit dans un contexte compétitif (un tournoi était proposé), soit dans un contexte non compétitif. Alors que 75% des hommes choisissaient le tournoi, seulement 35% des femmes le faisaient. D'autre part, les hommes exercent des rôles de pouvoir et plus généralement, occupent le sommet de l'échelle sociale plus souvent que les femmes (Diekmann & Eagly, 2000). Les hommes présenteraient donc une sensibilité et une motivation plus grande que les femmes aux situations de compétition. Parmi les nombreuses raisons invoquées, des différences biologiques entre hommes et femmes, liées notamment à la concentration de testostérone (voir section I.4.4, p. 24 pour les implications de la testostérone dans la poursuite du statut) seraient une explication plausible (Mazur, Susman, & Edelbrock, 1997; Zilioli et al., 2014). Or, les recherches et méthodologies employées dans le domaine des neurosciences ont souvent adopté une approche « androcentrée », en plaçant le genre masculin beaucoup plus que le genre féminin au centre des préoccupations scientifiques (Schmid Mast, 2005). Il semble le genre féminin ait été quelque peu écarté des recherches menées sur cette thématique, peut-être sous prétexte que les femmes seraient moins sensibles ou moins

orientées vers les signaux hiérarchiques. Dans la plupart des travaux récents sur la perception de la hiérarchie, en psychologie cognitive, en électrophysiologie ou en neuroimagerie, soit le genre des participants n'est pas pris en compte dans l'analyse des résultats (Chiao et al., 2008; Zink et al., 2008; Freeman et al., 2009; Hu et al., 2014; Feng et al., 2015), soit les données ne sont obtenues que sur des populations d'hommes (Cloutier et al., 2012) ou seulement pour la perception de visages masculins (Kumaran et al., 2012; Mason et al., 2014).

De nombreux arguments suggèrent pourtant qu'il existe d'importantes différences entre hommes et femmes au niveau des mécanismes d'expression de la position hiérarchique et de détection du statut chez autrui. Dès leur jeune âge, les petits garçons utilisent plus l'agressivité physique et les affrontements directs que les petites filles pour établir la dominance sociale (Strayer & Strayer, 1976). Alors, même si l'agressivité physique et verbale constitue un moyen efficace pour établir son statut social au sein d'un groupe, ce trait n'est pas corrélé à la dominance ou au statut chez les filles du même âge (Strayer & Strayer, 1976). Pour établir la dominance, celles-ci auraient plutôt tendance à exercer autre forme d'agression, de nature plus « relationnelle », qui vise à nuire aux relations entre les individus plutôt qu'à causer des blessures physiques (Ostrov & Keating, 2004). A l'âge adulte également, le genre a une influence très marquée sur la manière avec laquelle i) les individus affichent leur statut et ii) le statut lui-même d'un individu est perçu par les autres. Par exemple, les femmes qui ont du pouvoir ont tendance à moins l'exprimer par des indices non verbaux (par la posture corporelle, la gestuelle, l'expressivité faciale, le regard, les contacts tactiles avec autrui, etc) que les hommes qui ont du pouvoir (Henley & Patrick, 1977). De plus, nous accordons plus d'importance à un signal de haut statut lorsqu'il est associé au genre masculin que lorsqu'il est

associé au genre féminin. En effet, les hommes et les femmes allouent plus d'attention visuelle à des hommes de haut-statut qu'à des femmes de haut-statut (induit par la tenue vestimentaire, DeWall, 2008; Maner, DeWall, & Gailliot, 2008). Egalement, les attributs

utilisés pour juger le statut d'un homme ou d'une femme ne sont pas les mêmes (Mast & Hall, 2004). Par exemple, chez les hommes, l'association entre le temps de paroles et la

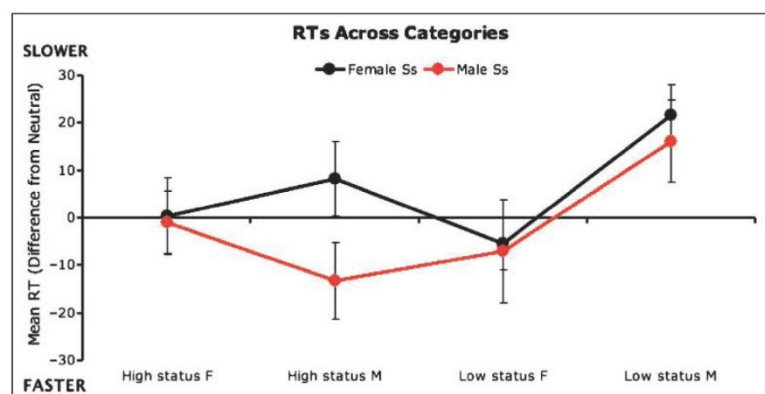


Figure 16 : Temps de réactions associés à la détection d'indices de haut et de bas statuts pour des stimuli et des participants masculins et féminins (Marsh et al. 2009)

dominance est plus forte que chez les femmes (Mast, 2002 pour une revue). Et les mécanismes impliqués dans la catégorisation du statut d'autrui diffèrent entre hommes et femmes (Marsh et al., 2009) (Figure 16, p. 95). Ainsi, les humains des deux genres déploient des stratégies spécifiques pour établir leur propre statut social et identifier le statut des autres. Mais il semble que ces stratégies diffèrent largement entre les deux genres, même à un stade très précoce du développement (Hawley, 1999). Ainsi, lorsque l'on s'intéresse au traitement cérébral et cognitif des relations hiérarchiques, le genre, à la fois des participants et des stimuli, est un paramètre qui mérite largement d'être étudié. Ainsi, **l'Etude 3** (Chapitre VIII, p. 129) a été conçue de sorte à pouvoir comparer les réponses neuronales d'hommes et de femmes, évoquées par la perception d'un statut social associé soit à un visage masculin, soit à un visage féminin. Pour ce faire, des participants des deux sexes devaient juger le statut de visages d'hommes et de femmes auxquels un nom de métier (de haut ou de bas-statut) avait été associé au préalable.

*
* *

Le troisième point d'approfondissement concerne une dimension plus motivationnelle ou émotionnelle de la hiérarchie. Celui-ci est à l'origine de **l'Etude 4** (Chapitre X, p. 160) dans laquelle j'ai effectué des mesures de **l'activité électrodermale** et du **rythme cardiaque**. Les résultats de l'étude 1 ont révélé que les visages des meilleurs joueurs évoquaient des LPP de plus grande amplitude que les joueurs moyens ou moins bons. Ce résultat constituait un premier indice sur la nature du traitement de la hiérarchie qui est opéré. Ritter & Ruchkin (1992) caractérisent les LPP comme étant la marque de processus cognitifs de haut niveau, initiés une fois que le traitement sensoriel précoce d'un stimulus est achevé, pour venir le compléter en fonction des demandes de la tâche expérimentale. Dans la littérature, les LLP ont été observés en réponse à des stimuli très pertinents, qui entraînent une plus grande allocation attentionnelle. Alors, dans l'étude 1, l'effet observé sur les LPP constituerait la signature électrophysiologique d'une focalisation attentionnelle plus intense pour les visages de haut rang. Ceux-ci bénéficieraient d'un traitement perceptuel facilité du fait de leur grande pertinence. La diminution de l'énergie dans la bande fréquence alpha plus importante pour ces visages est en faveur de cette hypothèse.

Dans la littérature, des modulations de l'amplitude des LPP ont été observées en réponse à la perception d'images à forte charge émotionnelle ou motivationnelle (Cuthbert,

Schupp, Bradley, Birbaumer, & Lang, 2000; Schupp et al., 2000, 2004; Moser, Hajcak, Bukay, & Simons, 2006; Pastor et al., 2008). Schupp et al. (2004) rapportent que des visages menaçants évoquent des LPP plus grandes que les visages neutres ou amicaux. Des LPP de plus grande amplitude ont également été observés en réponse à des visages jugés attractifs, comparés à des visages jugés non attractifs (Johnston & Oliver-Rodriguez, 1997; Werheid, Schacht, & Sommer, 2007) et également en réponse aux visages de personnes aimées, comparés au visages d'amis. Alors, dans le cas de la hiérarchie, il est légitime de se demander si l'augmentation de l'amplitude des LPP pour les visages de haut-statut traduit une allocation attentionnelle plus grande du fait d'une plus forte charge émotionnelle et/ou motivationnelle de ces visages ou indépendamment de cela. Autrement dit, la question est de savoir si une information de haut-rang est plus pertinente car elle véhicule une plus grande valeur motivationnelle (positive ou négative) ou non. Dans une revue de la littérature Anderson et al., (2015) présente les arguments en faveur d'une motivation universelle chez l'humain à tenter d'atteindre un statut social élevé (voir section II.2.2-b), p. 34). Il a déjà été montré, chez le primate non humain, que la perception d'un individu de haut rang est associée à une récompense (une valence motivationnelle positive) (Deaner et al.; 2005). Mais chez l'humain, il n'existe pas de telles données.

Pour déterminer si un signal de dominance ou de haut-statut est associé à une valence motivationnelle non neutre chez l'humain, les mesures de l'activité électrodermale semblent être très appropriées. Cette réponse reflète le déclenchement de réactions physiologiques réflexes face un stimulus d'une grande pertinence, qu'il soit appétitif ou aversif (Lang & Bradley, 2010 pour une revue). De plus, il a été montré que la réponse électrodermale covarie avec les LPP : les stimuli qui évoquent des LPP de plus grande amplitude déclenchent également des réponses électrodermales plus amples (Cuthbert et al., 2000; Pastor et al., 2008). Alors, si les différences d'amplitudes observées sur les LPP reflètent le traitement d'une valence motivationnelle différente entre un signal de haut-statut et un signal de bas-statut, on peut s'attendre à ce que la perception d'individus de rang élevé déclenche des réponses électrodermales plus amples que la perception d'individus de rang plus faible. Il s'agit de la problématique de **l'Etude 4** (Préliminaire, Chapitre IX, p. 157 et Chapitre X, p. 160).

*
* *

Le dernier point de discussion à l'origine du **Commentaire** d'article (Chapitre XI, p. 174) concerne l'écart de résultat sur la N170 entre l'Etude 1 de cette thèse et les autres

études en EEG qui ont été réalisées ensuite. L'absence de modulation de la N170 par la hiérarchie rapportée dans l'Etude 1 suggérait que l'association d'un rang hiérarchique à un visage neutre n'avait pas d'effet sur l'encodage de sa structure au niveau cérébral. En d'autres termes, notre cerveau nécessiterait plus de 170 ms pour traiter des informations liées à un contexte hiérarchique. Après notre étude, trois autres équipes de recherche ont exploré en électrophysiologie l'influence de la hiérarchie sur les potentiels neuronaux évoqués par les visages, et notamment sur la N170 (Hu et al., 2014; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015). Certaines n'observent pas d'effet sur la N170, d'autres rapportent une modulation de la N170 par le rang hiérarchique des visages. Ces résultats s'inscrivent dans le débat actuel concernant la sensibilité de ce potentiel précoce aux catégories sociales (comme le genre, ou l'origine ethnique...) (voir section III.4.2-b), p. 61). A la différence de la hiérarchie contextuelle mise en place dans l'**Etude 1**, dans ces travaux, le rang était induit par le biais d'indices externes associés aux visages. Ils ne permettaient donc pas de conclure de l'influence de la hiérarchie sur l'encodage neuronale de la structure d'un visage (voir avant III.4.2-b), p. 62). Le commentaire développé dans le Chapitre XI (p. 174) est centré autour de l'article de Santamaria-Garcia et al. (2015). Ce commentaire vise à resituer cette étude dans la littérature existante (qui n'était pas abordée dans cette article) et tente de proposer une explication fonctionnelle de l'influence observée sur le potentiel N170.

*
* *

Chapitre VII. Etude 2

L'exploration visuelle de scènes et de visages contextualisés hiérarchiquement

Ce chapitre décrit la seconde étude réalisée en eye-tracking. Elle reprend un paradigme de contextualisation hiérarchique similaire à celui de l'**Etude 1** (Chapitre V, p. 70) dans laquelle la hiérarchie était établie à l'issue d'une compétition. Cette étude avait deux objectifs. Le premier était de caractériser l'exploration visuelle de classements hiérarchiques incluant le participant. J'ai également étudié la dimension spatiale associée à la hiérarchie. Pour ce faire, j'ai manipulé l'orientation verticale des classements. D'autre part, en lien avec les résultats de l'Etude 1, je souhaitais étudier l'influence du rang hiérarchique d'un individu sur la manière d'explorer son visage. Il s'agissait de déterminer si la hiérarchie pénétrait l'étape précoce d'encodage visuelle d'un visage, lorsque l'information visuelle est extraite du stimulus.

Status lies in the eye of the beholder: Evidence from eye-tracking data.

Audrey Breton, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, and Jean-Baptiste Van der Henst.

VII.1. Introduction

Navigating the social world requires a sharp understanding of interpersonal relationships and their outcomes. A recurring factor that structures the social life of humans and other species is relational asymmetry. This notion characterizes the fact that, in a dyadic relation, an individual is in an advantageous position with respect to another: S/he may exert power onto another, monopolize food access or enjoy a greater prestige. Within a group the set of asymmetrical relations constitutes a *hierarchy*. Social hierarchies can have a strong impact on the life of individuals. In stable hierarchies, high-status individuals benefit from more resources, are in better health and are more likely to reproduce.

Due to the correlation between status and reproductive success, ethologists and evolutionary psychologists argue that social hierarchies exert selection pressure on the mind and suggest that cognitive mechanisms are well attuned to the stratification of the social

environment (Byrne & Whiten, 1989; Cheney & Seyfarth, 1990; Cummins, 2005; Ellis, 1995b). Even at a more proximal level, recognizing who is dominant and subordinate, predicting how an individual will behave according to his status, and knowing who is entitled to which resources as a function of status can be crucial. Consider, for instance, the deleterious consequences of mistaking a dominant for a subordinate might have in some species. A wide range of studies have reported sophisticated cognitive abilities dedicated to hierarchies in humans and other species. For example, male fish *A. Burtoni* can infer ascendancy relation in fights through transitive inference, that is, when observing a set of pairwise/dyadic fights such as $A > B$; $B > C$; $C > D$; $D > E$ they anticipate $B > E$ (where “ $>$ ” means “wins over”; Grosenick, Clement, & Fernald, 2007). In humans, preschoolers can make subtle social inferences on the basis hierarchical relationships (Charafeddine et al., 2014) and at 10 months infants seem to use body size to predict dominance relationships (Thomsen et al., 2011).

From an adaptive perspective, social asymmetries should result in cognitive asymmetries, that is, more cognitive resources should be allocated to high-status individuals. This stems from the greater social influence they exert. On the one hand, affiliating with and imitating high-status individuals can be beneficial to maintain or enhance one’s own social rank, and on the other hand, avoiding conflicts with such individuals is obviously preferable. Hence, in order to optimally exploit the stratified structure of the social environment, it should be better to attend to, to remember and track what high-status individuals do or communicate.

A burgeoning literature provides convincing evidence which concurs with this view. First, a memory advantage for high-status targets has been shown. For instance, Ratcliff et al. (2011) observed that male faces associated with high-status occupational titles (e.g. doctor) were better remembered than male faces associated with low-status occupational titles (e.g. fry cook), and this difference persisted when status was associated with more arbitrary labels (i.e. two different colors symbolizing high vs. low status). Moreover in paradigms presenting sets of people photographs for short periods of time, participants were better at remembering the spatial location of individuals dressed in high-status attire (e.g. four star generals) than individuals dressed in low-status attire (e.g. mechanic, Ratcliff et al., 2011, Experiment 2) and estimated higher frequencies of high-status male faces (Maner, DeWall, & Gailliot, 2008, Experiment 1).

Second, high-status individuals exert a greater influence on the allocation of cognitive resources of their observers as revealed by the influence of status on the gaze cueing effect.

This effect shows that human and non-human primates target their attention to the direction their conspecifics look at (Friesen & Kingstone, 1998; Driver et al., 1999; Langton & Bruce, 1999; Deaner & Platt, 2003) and it turns out that this effect tends to be greater for dominant than for subordinate faces (Jones et al., 2010), and also greater for male faces associated with a high-status CV than for male faces associated with a low-status CV (Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2012; Dalmaso, Galfano, Coricelli, & Castelli, 2014).

Third, eye-tracking studies report asymmetry in social attention. Participants target more their eye fixations to pictures of men dressed in business professional attire than to men dressed in casual attire (DeWall & Maner, 2008; Maner, DeWall & Gailliot, 2008), and when watching videos of groups completing decision-making tasks, they spend more time looking at individuals who were classified as high-status in the discussion (e.g. those who led the discussion; Foulsham, Cheng, Tracy, Henrich, & Kingstone, 2010).

VII.1.1. Gaze allocation in one's own hierarchy

Using eye-tracking methodology, we extend previous work in three ways. First, a striking feature of the above mentioned literature is that participants are not involved in the hierarchy they are observing and are not related to the individuals embedded in that hierarchy. Participants are usually passive bystanders and their own status is not at stake. However, a great deal of our social experiences involve situations in which we are directly taking part, and mostly, our knowledge of others' status concerns people with whom we are connected to. Moreover, the rank we occupy in a hierarchy is often a direct consequence of others' ranks. In the current study, the participant had a well-defined rank and could easily compare his own position with those of the other members of the hierarchy. As shown by Figure 17 (p. 106), he could have a high, a middle or a low rank and could see himself and other individuals exhibiting the same or different ranks. In such inclusive hierarchy, social stimuli can be distinguished with respect to the level of social closeness with the observer: a) the observer himself, b) an individual of equal rank, c) an individual who differs by one rank from the observer and d) an individual who differs by two ranks. We thus investigated the distribution of the participant's attentional resources to himself and other individuals in different ranking conditions. In the two extreme conditions, namely when the participant was in the highest and lowest ranking positions (Figure 17A and C, p. 106), we examined how the participant's rank modulates how he perceives himself (his own picture) and his equal (i.e. the picture of the highest or a lowest ranking individuals); we also examined whether a middle ranking individual is differentially perceived when he is one rank lower

and one rank higher than the participant; finally we analyzed whether lowest-ranking participants look more at the highest-ranking individuals than vice-versa. When participants were in the middle-ranking condition, we investigated whether they look more at the top or the bottom of the hierarchy (one rank higher vs. one rank lower, Figure 17B, p. 106).

Second, in order to include the participant into a social context in which his status and the others' status would be readily identifiable, we introduced another kind of hierarchy. While in previous eye-tracking studies, hierarchy was conveyed through physical cues (i.e. attire; Maner et al., 2008) or power and influence in collective discussions (Foulsham, Walker, & Kingstone, 2011), in the current study, the hierarchical context relied upon a competitive game situation involving a comparative evaluation of cognitive skills. Such a procedure, which was inspired by our previous EEG study on face perception (Breton et al., 2014), allows to go beyond the dichotomous contrast between high and low absolute status. By introducing three ranks we could distinguish targets that occupy the highest or lowest ranks from targets that occupy a higher or lower rank than the participant rank but not necessarily the highest or the lowest rank.

Third, we also manipulated the physical space in which hierarchy was conveyed. Eye-tracking methodology obviously enables investigating the scanning of a given space and how spatial factors guide visual attention. The representation of social asymmetries often relies on space. Hierarchies are typically represented on a vertical array wherein the rank order of higher to lower status individuals is organized from the top to the bottom of the vertical space. Organization charts in companies, rankings in sport competition, or the representation of power through pyramids use verticality as a metaphor of hierarchy: “high status is up; low status is down” (Lakoff & Johnson, 1980, page 16). A wide range of experimental results suggest that such a metaphor is deeply rooted in cognitive mechanisms of human but also of non-human primates (Schubert, 2005; Giessner & Schubert, 2007; Meier, Hauser, Robinson, Friesen, & Schjeldahl, 2007; Lakens, Semin, & Garrido, 2011; Zanolie et al., 2012; Dahl & Adachi, 2013). For instance, participants are faster to identify a word referring to high power (i.e. boss) when it is presented at the top than at the bottom of a computer screen, and are inversely faster to identify a word referring to low power when it is presented at the bottom than at the top of the screen (Schubert, 2005). In addition, words expressing high and low power respectively induce a shift of attention to the upper and lower visual field (Zanolie et al., 2012).

In contrast with earlier studies in which social targets were presented on a horizontal axis and in which the spatial position was irrelevant to status, in the current study

participants were presented with a vertical ranking which was either congruent (high-status up and low-status down) or incongruent (high-status down and low-status up) with the spatial metaphor of hierarchy. We therefore investigated whether a low-level physical factor, namely the position on a vertical axis, modulates the social attention allocated to high- and low-status individuals. On the one hand, if participants' attention is governed by abstract conceptions of hierarchy which only relies on past social competitive situations, the fixation patterns of high- and low-status individuals should be similar in both congruent and incongruent hierarchies. On the other hand, if hierarchy representations are partially grounded in a spatial framework, then the upper and bottom parts of the vertical space should both convey implicit social information, respectively highness and lowness of social status. A high status individual presented at the bottom of the vertical space would therefore be associated with two contradictory pieces of information: explicit high-status with respect to what he has accomplished but implicit low-status with respect to where he is spatially located. If an attentional advantage to high status individuals is observed in the congruent condition (high-status up and low-status down), it could therefore be reduced or even disappear in the incongruent condition (high-status down and low-status up). Hence, the manipulation of the vertical space should allow investigating how social and low-level physical factors respectively contribute to the visual scanning of a hierarchy. Moreover, at a methodological level, this manipulation avoids a confound between status and spatial location.

VII.1.2. Gaze allocation to faces embedded in a hierarchy

A second purpose of the study was to describe how participants look at faces according to their status. Once participants terminated the exploration of the hierarchy they were embedded in (first phase of the experiment), they were then presented with each of the individuals' faces separately and were requested to recognize their status (second phase of the experiment; see Figure 18, p. 110). Research on face processing has shown that most of the ocular fixations are targeted to the internal features of the face, namely, the eyes, the nose and the mouth (Yarbus, 1967b; Walker-Smith et al., 1977; J. M. Henderson et al., 2001), and more to the eyes than any other region (Mertens et al., 1993; J. M. Henderson et al., 2005; Hernandez et al., 2009). Moreover, social categories, such as race and familiarity, are known to modulate this pattern. The perception of own-race faces result in more fixations on the eye region and more active scanning than other-race faces, which reflects a facilitation in the encoding of in-group members' faces (Goldinger et al., 2009; Wu, Laeng, &

Magnussen, 2012b; Kawakami et al., 2014). Moreover, participants fixate more the eyes of familiar than unfamiliar faces (Althoff & Cohen, 1999; Heisz & Shore, 2008) and as a face becomes (more) familiar, it is explored with fewer and more symmetrical fixations, which are focused on more restricted facial features (Althoff & Cohen, 1999; Heisz & Shore, 2008; J. M. Henderson et al., 2005). Some authors proposed that such observational pattern reveals a more efficient visual encoding of familiar faces (Heisz & Shore, 2008).

With respect to hierarchy, the greater gaze cueing effect elicited by high-status targets as compared to low-status targets (Jones et al., 2010; Dalmaso et al., 2012, 2014) suggests that, everything else being equal, participants may look more at the eyes of high-status faces. Moreover, recent EEG studies reported that ERP components associated with face processing can be modulated by the face's social status (Breton et al., 2014; Feng et al., 2015; Hu et al., 2014; Santamaria-Garcia et al., 2015). In a study using a similar design as the present experiment (Breton et al., 2014), but in which only the face presentation phase was analyzed, we found that the highest-ranking faces elicited a larger amplitude of the late positive potential than the lowest-status faces and were associated with a larger reduction of oscillatory alpha power (Breton et al., 2014; see also Hu et al., 2014; Feng et al., 2015). This pattern is in line with the view that more attentional resources are allocated to high-status faces. Given that the eyes are the part of the faces which draw attention more, it could be that the eyes of the highest-status faces attract attention even more.

In the study by Foulsham et al. (2010), showing that individuals who are considered as leaders in discussions are looked more often than others, the authors also examine which part of the individuals were mostly inspected and specifically analyzed the eyes, the rest of the head and the rest of the body. In the three status conditions, the authors indicate that the eyes were more frequently fixated than the rest of the face and the rest of the body, but they did not report that the proportion of fixations on the eyes as compared to the rest of the face was significantly modulated by status. Similarly, in a recent study, in which status was established through C.V. based questionnaires, the authors did not report a significant tendency to look more at the eyes of high-status faces, (Gobel et al., 2015). However, they did find that the way participants looked at high and low status individuals' faces depended on whether they believed those individuals will later look back at them while looking at them (Gobel et al., 2015). In particular, they looked less at the eyes of high-status individuals, when they thought they will look back at them than when they did not think so. Taken together, these studies indicate that high-status faces are not necessarily looked differently from low-status faces but the latter study suggests that the situational context in

which social status occurs might impact how faces will be gazed. A crucial element of social context in a hierarchy situation is the observer's own status. In the second phase of the experiment we not only explore whether the gaze allocation to high- versus low-status faces differs but also how the social status of the participant modulates this allocation.

VII.2. Material and Methods

VII.2.1. Participants

Twenty-eight right-handed healthy males' participants were recruited in this study, (mean = 22.40 years $\pm$ 2.66 SD, median = 21.96 years) participated in this study. All volunteers were French, (comparable in age) and had similar academic backgrounds and levels. They all had normal or correct-to normal vision; 23 of them showed right eye dominance and 5 left eye dominance. We tested only male volunteers and confronted them only with male faces as it is known that both genders differ in their sensitivity to competitive settings (Niederle & Vesterlund, 2007). All participants consented to participate in the research on their own behalf and were compensated for their participation.

VII.2.2. Stimuli

Social target stimuli set used in the hierarchy learning phase and in the rank categorization phase involved 72 high-resolution photographs of male's faces taken from the NimStim Set of Facial Expressions standardized database (Tottenham et al., 2009) and from the stimuli set used by Baudouin and Gallay (2006). All faces were neutral and presented a direct gaze orientation. No remarkable details, such as glasses, earrings, piercings or mustaches appeared on faces. The pictures were transformed into grayscale images, normalized in size and luminance, aligned on the eyes position and were displayed on a screen with a white background. Only the participant's photograph was displayed in color. During the hierarchy learning phase (phase 1 - see below), faces were combined to form 3-level rankings. Each ranking contained the participant's face photograph and the four players' faces (Figure 17, p. 106). During this phase, faces were reduced to occupy a visual angle of 4.9° x 3.9° (205 x 159 pixels) separated by a minimal space of 4.9 x 3.9 pixels. During the rank categorization phase (phase 3 - see below Figure 18, p. 110), faces were presented one by one in the center of the screen and subtended a vertical angle of 22.2° and an horizontal angle of 17.5° at a viewing distance of 70 cm (921 x 717 pixels).

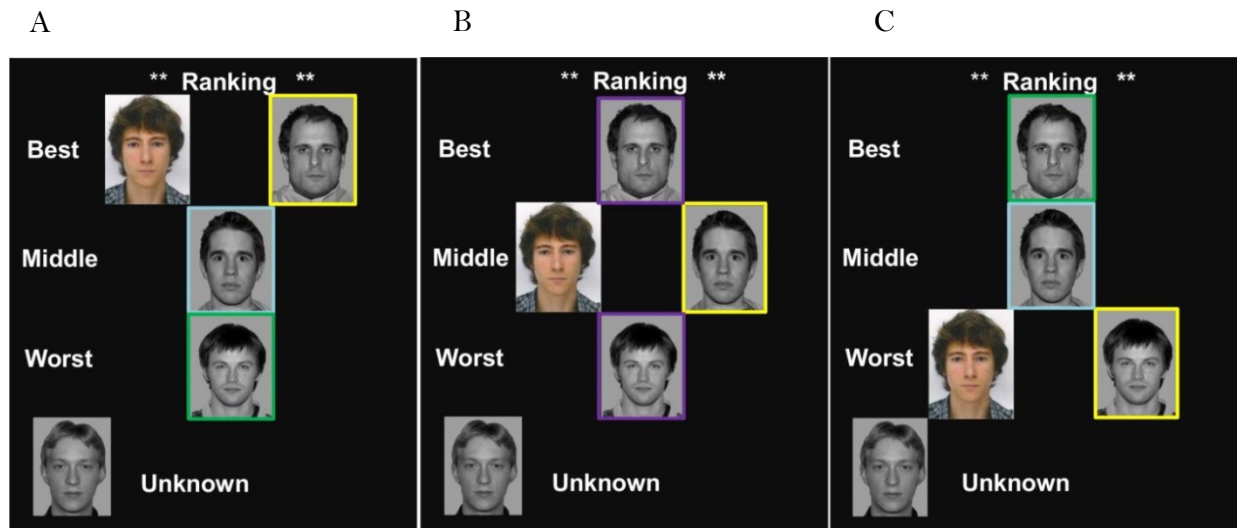


Figure 17 : Rankings displayed during the hierarchy learning phase

These three-level rankings were presented to the participant after each round of the game. The participant could be either the best (configuration A) the middle (configuration B) or the worst player (configuration C) and his photograph was displayed in color. In the configurations A and C, participants had an equal-ranking player (framed in yellow), a closest different player (framed in blue) and a farthest different player (framed in green). In the configuration B, participant had an equal-ranking player, but also a higher and a lower- ranking player (both differing by one rank from the participant's position, framed in purple).

VII.2.3. Design and procedure

We followed the same general procedure as described in a previous EEG study (Breton et al., 2014). Before starting the experiment, the participant's face was photographed and inserted into the group of faces as a landmark of his position. A competitive context was created to ensure that the participant believed he was included in a hierarchy. At the beginning of the experiment, he was informed that other volunteers had already completed the same games he would play, and that their scores and pictures had been stored in a database. The experimenter explained to the participant that his performance would be compared to three “former players”, represented by their photographs, and randomly chosen from the players' database. The participant was told that these “former players” had been previously ranked according to their scores as the best, middle or worst competitor. Participants were thus presented with three vertically organized faces corresponding to the **highest, middle** and **lowest rank**. Additionally, an unknown rank face was presented at the bottom left corner of the screen. The participant was provided with information regarding his own performance, which was either categorized in the highest, middle or lowest rank. Four different faces were used in each block so that a given face never occurred in two different blocks. The participant could have the **highest, middle** or **lowest rank**. Participant's rank was manipulated across blocks: 6 blocks for the highest rank, 6 blocks for

the middle rank and 6 blocks for the lowest rank (Figure 17, p. 106). As participant's photograph was also presented in rankings, we defined, for this phase only, players' rank position according to participants' position. This allowed us to integrate ocular data of participant's and players' photographs in the analysis. In rankings, four types of targets were thus considered: the participant himself, the equal-ranking player and the two others players, differing from participant's position of one or two ranks. We distinguished the condition in which the participant had the middle rank from the two extreme conditions – participant occupying the highest or lowest rank. When the participant was in the middle-ranking condition, the distinction between higher- and highest-ranking player could not be made and the manipulation of the spatial orientation of hierarchy did not modify the spatial position of the participant in the hierarchy, while this was not the case when the participant was either in the highest- or lowest-ranking position. In the two extreme ranking conditions, four types of targets were compared: **the participant himself**, the **equal-ranking** player (Figure 17 – framed in yellow), the **closest different** player (Figure 17 – framed in blue) and the **farthest different** player (Figure 17 – framed in green). In the middle-ranking condition, the comparison was made on the **participant himself**, the **equal-ranking** player, the **highest-** and **lowest-** ranking player (both differing by one rank from the participant's position, Figure 17 – framed in purple). The block order was set randomly across participants. Moreover, each face was contextualized only once in the experiment, and the presentation of faces was counterbalanced across participants so that each face was equiprobably associated with each possible rank.

After receiving the instructions, the participant was seated in front of a screen, at a viewing distance of 70 cm. He first performed a training session constructed as an experimental block. Faces and games presented during the training were not used in the experimental blocks. The experiment was created using Presentation®14.3 (Neurobehavioral System, <http://www.neurobs.com/>) and was divided into eighteen blocks, including eighteen different games. Each experimental block was designed as follows: a hierarchy learning phase that served to contextualize faces within a hierarchy (1), a ranking restitution phase (2), and a rank categorization phase (3). Analyses of interest were performed on ocular data collected during Phase 1 and on behavioral and ocular data obtained during Phase 3.

a) Phase 1: hierarchy learning.

In a game, four simple perceptive tasks were given to the participant, such as detecting as quickly as possible which side of the screen contained a greater amount of dots (Figure 18A, p. 110). The participant was told that his performance in each of the four tasks, allegedly based on reaction time and validity of the answers, would be compared to three other players who completed the same tasks. This comparison gave rise to an intermediate ranking presented after each task and during which eye recordings were performed. Faces were displayed vertically on three hierarchical levels and were labeled as the “best” player, the “middle” player and the “worst” player (see Figure 17). The participant’s photograph was inserted in the ranking and had the same rank as one of the other players. Fourteen participants were presented with the vertical ranking in the upright orientation (highest and lowest ranks respectively placed at the top and the bottom), and the other 14 participants were presented with the vertical ranking in the inverted orientation (highest and lowest ranks respectively placed at the top and the bottom). Unlike the highest and the lowest ranks, the spatial location of the middle rank remained unchanged in the two types of orientation.

The participant was told that the rankings were established by a cumulative score of the player’s performances on all tasks. For example, the participant’s rank after the second task was claimed to be determined by the averaged performance over the two first tasks, and so on until the final ranking following the fourth task. Real performances were not taken into account to rank the participant. Intermediate rankings were fixed according to the final intended ranking. Three of the 4 rankings were identical to the intended one, and in one task randomly chosen among the first two, the participant’s rank differed by one position in the hierarchy. This procedure was applied for maintaining credibility. After the participant gave his answer, he was informed of his accuracy, and then the ranking was presented for 7 seconds (Figure 18A, p. 110). Over the 18 blocks, 72 rankings were presented, 24 in each of the three participant’s ranking conditions.

b) Phase 2: ranking restitution.

At the end of the game, participants were asked to reproduce the cumulative ranking established over the 4 tasks. To do so, they had to use the mouse and move the 5 photographs (those of the four players and their own photograph), which were *horizontally* displayed at the bottom of the screen. If the ranking was incorrect, a fifth task (never shown before) was presented before starting the third phase. This fifth task occurred only 6 times.

c) Phase 3: rank categorization.

This phase consisted in presenting one of players' faces shown in Phase 1 for 4 s. Each face was preceded by a fixation cross for 2 s and was then followed by a red point during a randomly chosen interval between 600 and 900 ms to announce a question. The question concerned the player's rank compared to the participant's one: "superior?" (i.e. "was his rank superior to yours?"), "equal?", "inferior?", "no rank?" (Figure 18B, p.110). The participant had to answer as quickly and accurately as possible by pressing one of the three response keys: "yes", "no" or "can't tell". The four faces presented in the earlier phases were presented 4 times so that participants had to deal with 16 trials for each block. Trials were displayed in a pseudo-randomized order, with no identical face appearing in two consecutive trials. Over the course of the experiment, 288 trials (72 faces presented 4 times) were presented to the participants, comprising 216 target trials and 72 fillers. The target trials included 24 trials of player rank (highest, middle, lowest) x participant rank (highest, middle, lowest) sub-conditions; that is, 72 either by player rank condition, or by participant rank condition. As in Phase 1, participants were free to look at the pictures in any way they wanted, but they were asked to look at the fixation cross presented before the face. Once the third phase was completed, a break was proposed and the participant was instructed to start the next block with four different players' faces. Participants were explicitly asked to limit their body movements during blocks and their viewing distance was tracked online to ensure they maintained a consistent distance among them.

VII.2.4. Eye recordings

Two dimensional ocular positions were recorded by the Tobii X120 Eye-tracker (SR Research Ltd.), with a sampling rate of 60Hz (one measure every 17 msec). The eye-tracker was disposed directly beneath the presentation screen and tilted 20 degrees upwards, as recommended in the Tobii Studio manual. Experimental recordings were preceded by a five-point fixation calibration procedure implemented in the Tobii Studio software. No filters were applied on data online.

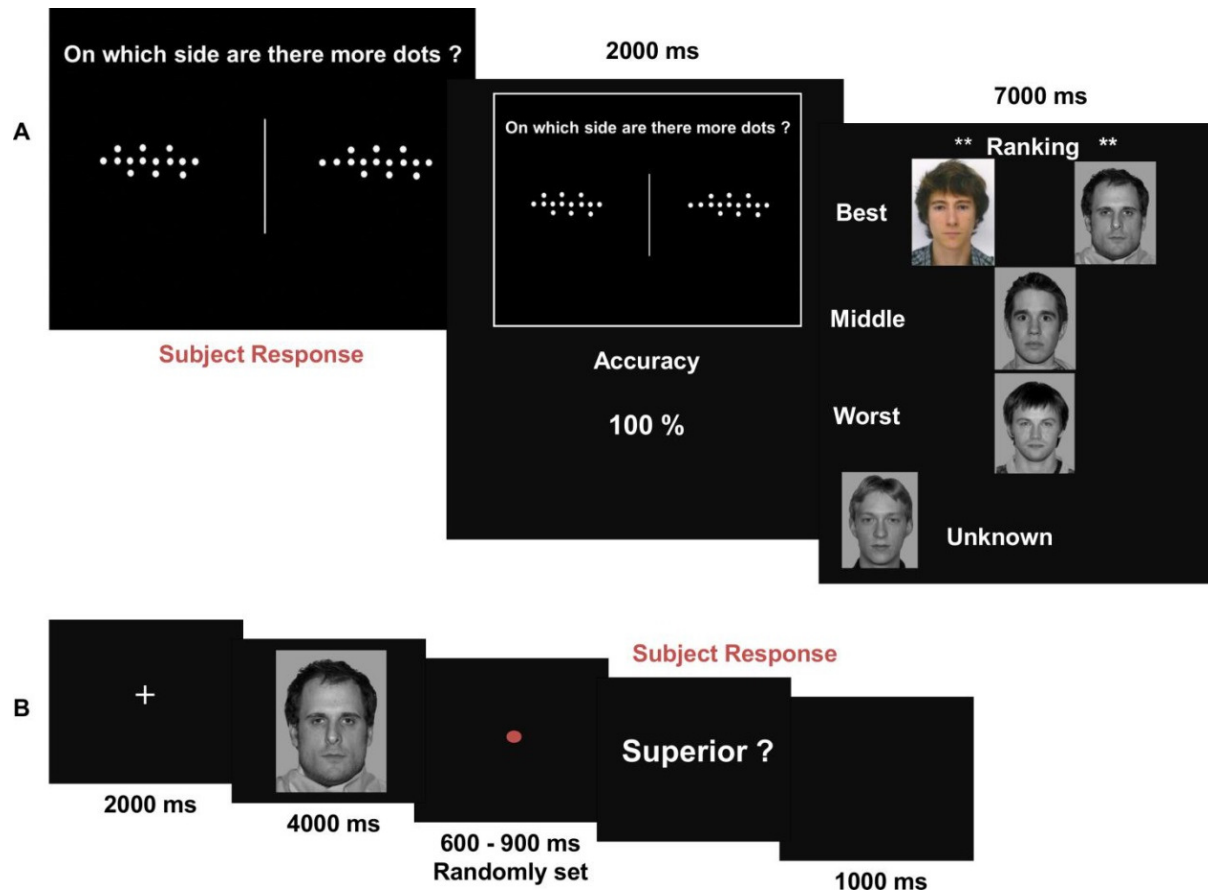


Figure 18 : A) Example of task and associated ranking proposed to the participant during phase 1. In this game, the participant was asked to decide which side of the screen contained the largest amount of dots. B) Temporal course representation of stimuli displayed during phase 3.

VII.2.5. Data analysis and statistics

During the hierarchy learning phase, we quantified the visual attention allocated to each of the four players' faces and the participant himself by defining Areas Of Interest (AOIs) for each photograph (AOI Highest-rank player – AOI Middle-rank player – AOI Lowest-rank player – AOI Participant – AOI No Rank - 205 x 159 pixels) and around the associated labels (four in total) (Figure 19A, p.112). During the rank categorization phase, we defined AOIs corresponding to the **eye region** (AOI Eye: 110 x 400 pixels), the **nose and mouth region** (AOI Nose: 240 x 250 pixels) and **the rest of the face** (AOI Rest of the face: 921 x 717 pixels subtracted to the AOIs Eye and Nose) as depicted in (Figure 19B, p.112). For all faces, the three AOIs had the same size but their locations were adjusted depending on the characteristics of the faces in such way that the AOI Eye was centered on the middle point between the two eyes and the center of the AOI Nose was aligned with the center of the AOI Eye.

We collected the number of fixations (i.e. the occurrence with which a target is looked at) and the observation time (i.e. the duration with which a target capture visual attention). Fixations in a particular AOI were extracted from the raw signal using an algorithm implemented in Tobii Studio 2.X software and designed following the Velocity-Threshold Identification fixation model (I-VT) proposed by Salvucci & Goldberg (2000). This algorithm is based on the analysis of sliding windows (size fixed at 166 ms, i.e. 10 frames at 60 Hz) into which two adjacent data point were considered to belong to the same fixation if the velocity between them remained under a certain threshold (fixed at $0.21 \text{ pixels.ms}^{-1}$ i.e. $35/(16.6 \times 10)$). The **Mean Number of Fixation** (MNF) was then computed and the **Mean Observation Time** (MOT) in a particular AOI was calculated by summing the elapsed time between each frame spent in this AOI. Following the definition of Van Der Werf, Buchholz, Jensen, & Medendorp (2009), a blink was detected when the time difference between each frame exceeded $334 \pm 67 \text{ ms}$, and the corresponding frames were not taken into account. Moreover, trials were rejected from the analysis when ocular data were lost for more than 10 % of the total stimulus presentation time. In addition, to better characterize the visual exploration of faces presented in the rank evaluation phase, we calculated the **Number of Transitions** (NT) as the mean number of ocular movements made between the AOI Eye and the AOI Nose of faces in each hierarchical condition. Finally, we analyzed behavioral responses in the rank categorization phase to determine whether accuracy (Hit percent) and speed (Reaction Time) to categorize faces were influenced by hierarchical position. The statistical analyses included repeated measures analyses of variance (ANOVA) (within-subjects and between-subjects factor are stated below) and Least Significant Difference (LSD) Fischer tests for post-hoc comparisons.

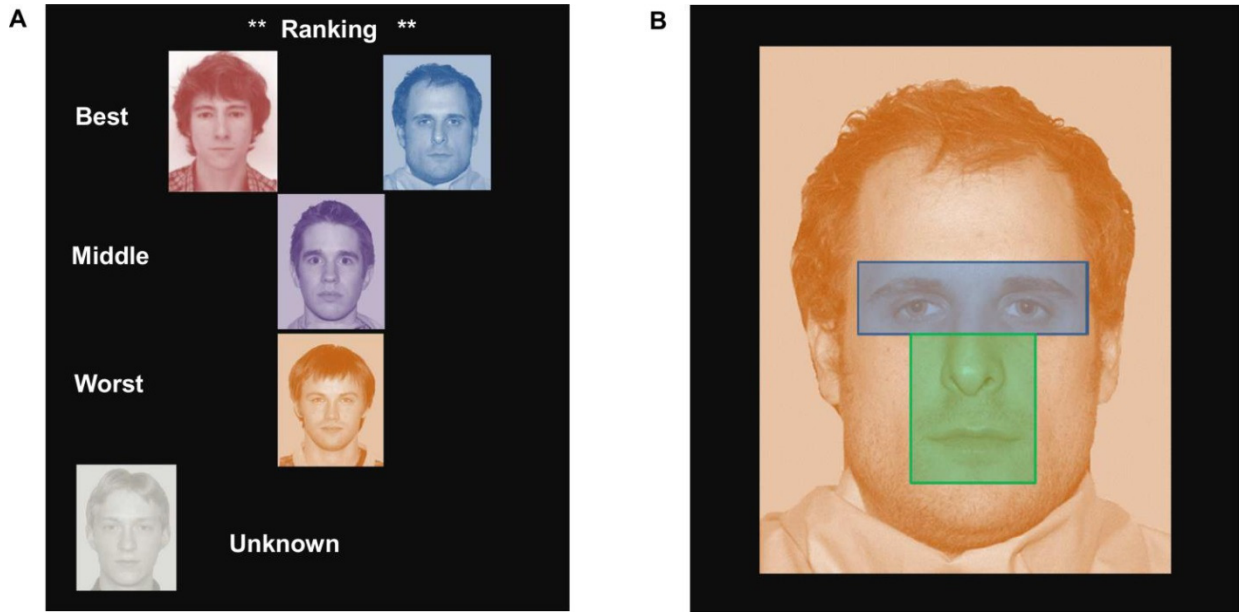


Figure 19 : Representation of AOIs analyzed for the critical stimuli.

A) For rankings displayed during phase 1, AOIs were considered on participants' and players' faces (framed in different colors). **B)** For faces displayed during phase 3, AOIs were defined on the eyes (blue), on the nose-and-mouth region (green) and on the rest of the face (orange).

VII.3. Results

VII.3.1. Hierarchy learning phase: ocular pattern

a) Participants in the highest vs. lowest ranking position

To analyze the fixation pattern of participants in the two extreme positions, we performed an ANOVA on the **MNF** including the **participant's rank** (2 levels: highest or lowest), the **category of social targets** (4 levels: the participant himself, the equal ranking player, the closest different player and the farthest different player in the ranking) as within-subject factors and **ranking orientation** (upright, inverted) as between-subject factor. The analysis revealed no main effects of participant's rank ($F(1,26) = 0,76$; $p = .68$), of ranking orientation ($F(1,26) = 0,53$; $p = .47$), and no interaction between these two variables ($F(1,26) = 2,92$; $p = .10$). A main effect of social targets was found ($F(3,78) = 242,49$; $p < .001$, see Figure 20A, p. 114). Participant's own face received the lowest MNF ($1,35 \pm 0,51$) as compared to all the other faces (all p 's $< .001$) and the closest different player (i.e. the middle player) received the highest MNF ($p < .001$ compared to the equal-ranking and farthest different player's face).

More importantly, the attention allocated to some targets was influenced by the position participants occupied in the hierarchy as shown by a significant interaction between

participant's rank and the type of social target ($F(3,78) = 4,54$; $p = .006$, see Table 3a, p. 115). In particular, LSD post-hoc tests revealed that there were more fixations when participants in the lowest-ranking position looked at the highest-ranking individuals than when they were in the highest-ranking position and looked at the lowest ranking individuals ($p = .004$). In addition, participants tended to make more fixations on the equal ranking target when they were in the highest than lowest position ($p = .056$). However, they did not make more fixations on their immediate superior (participants in the lowest position looking at middle-ranked player) than on their immediate inferior (participants in the highest position looking at the middle-ranked player; $p = .60$). Finally, the MNF on their own face did not significantly differ according to their position ($p = .32$).

A three-way interaction indicated that the latter pattern varied across the ranking orientation ($F(3,78) = 4,62$; $p = .005$, see Figure 20B, p. 114). In the upright orientation, a similar but more pronounced pattern was observed: i) participants fixated more the farthest ranking face when they were in the lowest position (i.e. looking at the highest ranking player) than in the highest position (i.e. looking at the lowest ranking player; $p < .001$); ii) they fixated more their equal when they were in the highest than lowest position ($p = .003$); iii) the number of fixations on the middle player and on their own face did not significantly differ across participants' rank (respectively, $p = .23$ and $p = .72$). In contrast, in the inverted orientation, the influence of participant's rank on MNF was no longer observed (participant's own face: $p = .30$, equal ranking player: $p = .79$, closest different player: $p = .65$, farthest different player: $p = .94$; Figure 20B, p. 114). Moreover, when participants were in the lowest-ranking position, they made more fixations on the highest-ranking player in the upright than in inverted orientation ($p = .009$); in contrast, when participants were in the highest-ranking position, the MNF on the lowest-ranking player did not significantly differ between the two orientations ($p = .52$).

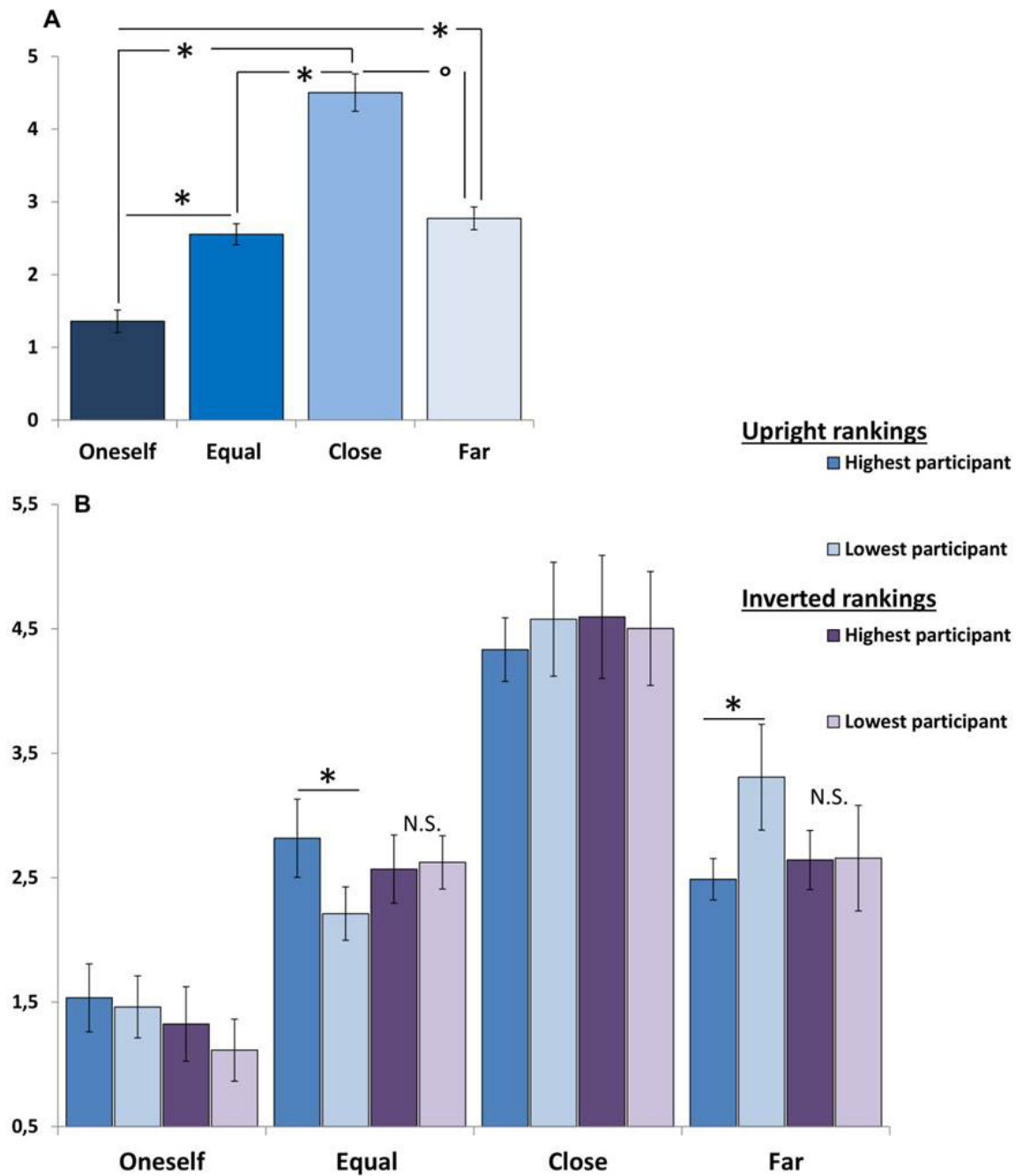


Figure 20 : MNF performed on faces displayed in rankings when participants were in the two extreme positions. The bar chart represents MNF differences A) in the four social target categories (oneself, equal, close and far), and B) depending on participant's rank (highest or lowest) and ranking orientation (upright or inverted). * indicates a significant difference ($p < 0.05$). ° indicates a marginal effect.

a)

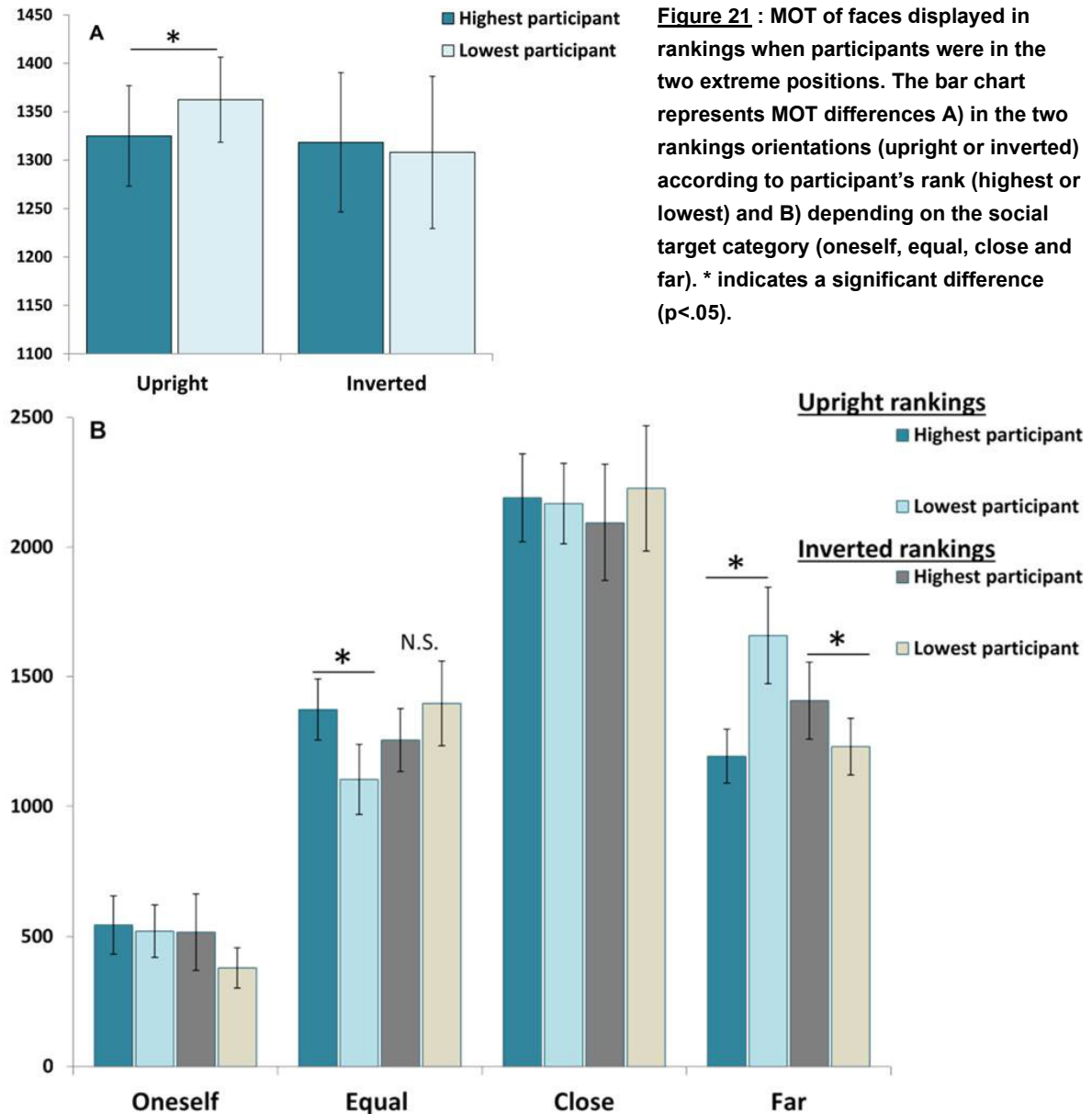
Category of target	Highest participant		Lowest participant	
	M	SE	M	SE
Oneself	1,4	0,5	1,3	0,5
Equal	2,7	0,6	2,4	0,5
Close	4,5	0,8	4,5	0,8
Far	2,6	0,4	3	0,8

b)	Middle Participant	
Category of target	M	SE
Oneself	1,6	0,6
Equal	3,0	0,4
Highest	3,3	0,8
Lowest	2,9	0,4

Table 3 : Mean ($\pm$ SE) number of fixations made on ranked faces according to their distance to the participants for participants in the extreme (highest or lowest- a) or middle (b) positions.

An ANOVA on the **MOT**, including the same 2 within-subject factors (**participant's rank and closeness to the participant**) and between-factor (rankings' orientation) was performed. No main effects of ranking orientation ($F(1,26) = 0,48$; $p = .49$) and participant's rank ($F(1,26) = 1,36$; $p = .25$) were observed, but a significant interaction between these two variables was found ($F(1,26) = 4,27$; $p = .05$, see Figure 21A, p. 116). In the upright orientation, participants in the lowest ranking position spent more time looking at targets than in the highest position ($1325,1 \pm 99$ ms vs $1362,5 \pm 84$ ms $p = .03$), while this difference was not found in the inverted orientation ($1318,4 \pm 137$ ms vs 1308 ± 150 ms $p = .53$). Moreover, a main effect of social targets was observed ($F(3,78) = 211,78$; $p < .001$). Differences were similar to those found for the MNF: participants spent less time looking at their own face ($490,3 \pm 171,2$ ms) than at the equal ranking face ($1282 \pm 242,7$ ms; $p < .001$), at the closest different face ($2170 \pm 345,9$ ms; $p < .001$) or at the farthest different face ($1371,8 \pm 177,5$ ms; $p < .001$). The closest different face, which was in the middle position, elicited longer MOT than the equal ranking ($p < .001$) and the farthest ranking face ($p < .001$).

More importantly, the analysis also revealed a significant interaction between the participant's rank and the type of social target ($F(3,78) = 2,71$; $p = .05$, see Table 4, p. 116). Post-hoc tests indicated that participants in the lowest position looked longer at the highest-ranking players than when they were in highest position and looked at the lowest-ranking faces ($p = .03$). As for the MNF, a three-way interaction indicated that the influence of participant's rank on the looking time of the targets was modulated by the ranking orientation. In the upright orientation, participants looked longer at the farthest ranking face when they were in the lowest position (i.e. looking at the highest ranking player) than in the highest position (i.e. looking at the lowest ranking player; $p < .001$). They also looked longer at the equal ranking face in the highest than lowest position ($p = .004$).



a)

	Highest participant		Lowest participant	
Category of target	M (ms)	SE	M (ms)	SE
Oneself	530,6	245,1	450,0	185,9
Equal	1314,1	257,0	1249,9	320,0
Close	2142,3	376,6	2197,6	388,6
Far	1300,0	237,2	1443,5	355,0

b)

	Middle Participant	
Category of target	M (ms)	SE
Oneself	557,4	245,2
Equal	1432,9	267,3
Highest	1647,6	345,9
Lowest	1416,9	279,3

Table 4 : Mean ($\pm$ SE) observation time (in milliseconds) made on ranked faces according to their distance to the participants for participants in the extreme (highest or lowest- a) or middle (b) positions.

The looking time on the middle player and their own face did not significantly differ across participants' rank ($p = .80$) or of closest different players' faces ($p = .80$) (Figure 21B, p. 116). In the inverted orientation, an opposite effect for the farthest different player was found: participants looked longer at the farthest different face when they were in the highest position (i.e. looking at the lowest ranking player) than in the lowest position (i.e. looking at the highest ranking player; $p = .05$). No other difference was found. Moreover, when participants were in the lowest-ranking position, they looked longer at the highest-ranking player in the upright than in inverted orientation ($p < .001$). In contrast when participants were in the highest-ranking position, they looked longer at the lowest-ranking in the inverted than upright orientation ($p = .036$).

b) Participants in the middle ranking position

To analyze the fixation pattern of participants in the middle ranking position, we carried out an ANOVA on the MNF including the type of targets (4 levels: the participant himself, the equal-ranking player, the highest-ranking player and the lowest-ranking player) as a within-subject factor and the ranking orientation (upright, inverted) as a between-subject factor. A marginal effect of ranking orientation ($F(1,26) = 3,46$; $p = .07$), indicating that participants tended to make more fixations in upright than on inverted rankings and a significant main effect of the type of targets ($F(3,78) = 46,10$; $p < .001$) were observed. The post-hoc analysis revealed also that participants made significantly less fixations on their own face than on the other targets (all p 's $< .001$) and made more fixations on the highest- than lowest-ranking player ($3,27 \pm 0,82$ vs. $2,86 \pm 0,49$; $p = .009$).

An interaction between the type of target and ranking orientation was observed ($F(3,78) = 4,76$; $p = .004$, see Figure 22A, p. 118; Table 3b, p. 115). In the upright orientation, participants made more fixations on the highest-ranking player (as compared to the three other targets, all p s between .001 and .05), then on the equal-ranking player (as compared with the two other targets; all p s between .001 and .03), and made more fixations on the lowest-ranking player than on their own face ($p < .001$). In contrast, in the inverted orientation, the MNF for the highest-, equal- and lowest- ranking players did not significantly differ. The comparison of the two ranking orientations showed that the highest-ranking player received more fixations in the upright than inverted condition ($p < .001$). In contrast, the MNF on the lowest-ranking player did not significantly differ between the upright and inverted conditions ($p = .24$).

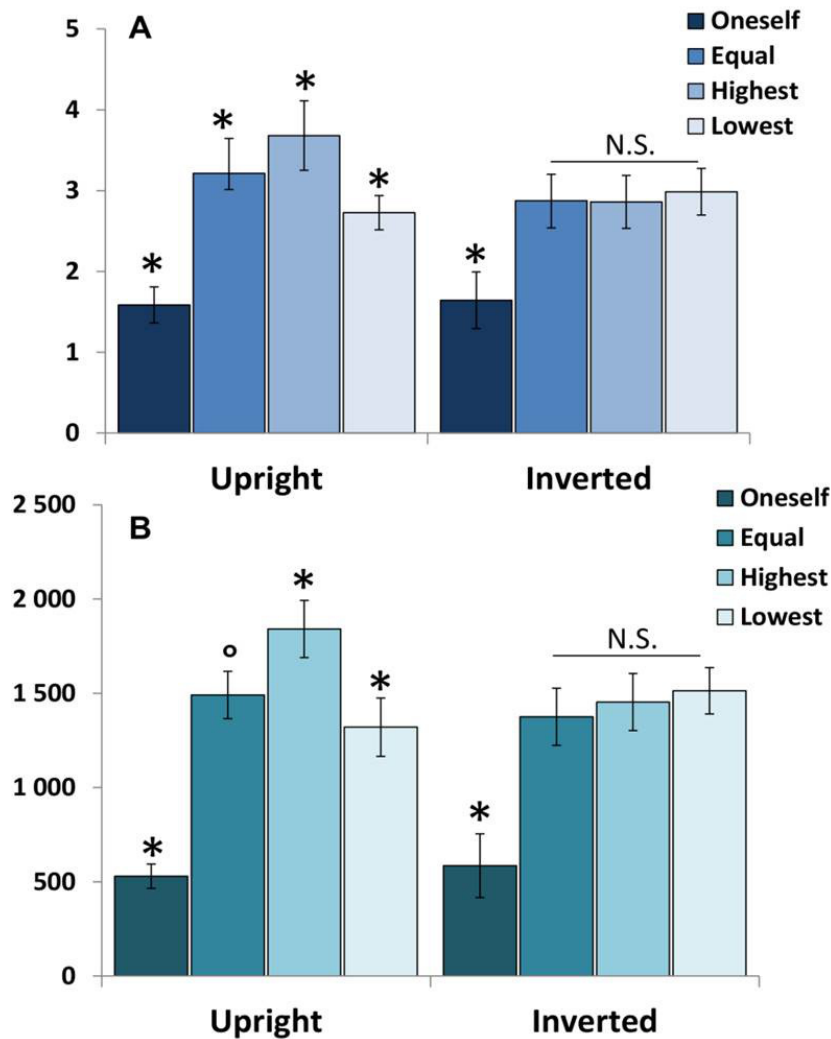


Figure 22 : MNF (A) and MOT (B) of faces displayed in rankings when participants were in the middle position. The bar chart represents differences in the four social target categories (oneself, equal, close and far) according to spatial orientation (upright or inverted). * indicates a significant difference ($p < .05$). ° indicates marginally significant difference.

An ANOVA including the same within- and between-subject factors was performed on the MOT of the targets. As for MNF, a main effect of the type of targets was observed ($F(3,78) = 92.01$; $p < .001$). Participants looked longer at the highest-ranking target (1647.6 ± 345.9 ms) than at the equal-ranking target (1432.9 ± 267.3 ms; $p = .003$) and lowest-ranking target (1416 ± 279.3 ms; $p = .002$). They also looked less at their own face than at the three other targets (all p s $< .001$). Again a significant interaction between the type of targets and the ranking orientation was found ($F(3,78) = 4.76$; $p < .001$, see Figure 22B, p. 118; Table 4, p. 116). For the upright orientation, the MOT displayed the following pattern: higher-ranking target $>$ equal-ranking target ($p < .001$) $>$ lower-ranking target ($p = .095$) $>$ participant's own face ($p < .001$). In contrast, in the inverted ranking orientation, we only observed a significantly shorter MOT for participant's own face as compared to the three

other targets (all $ps < .001$). As for MNF, middle-ranking participants looked longer at the highest-ranking player in the upright than inverted orientation ($p < .001$), and there was a tendency for participants to look longer at the lowest-ranking players in the inverted than in the upright condition ($p = .06$).

VII.3.2. Faces exploration pattern according to hierarchical rank

In order to characterize the observation pattern of faces in a hierarchical context (second phase of the experiment) analyses were conducted on the **MNF**, **MOT** and **NT** on different faces. First, a repeated measures ANOVA on the MNF including the player's rank (3 levels: highest, middle and lowest), the participant's rank (the same 3 levels) and the AOI (3 levels: AOI Eye, AOI Nose and AOI Rest of the face) as within-subject factors and the ranking orientation (2 levels) as between-subject factor was conducted. The analysis revealed a main effect of AOI ($F(2,52) = 44,45$; $p < .001$), indicating that the AOI Eye received significantly more fixations ($5,21 \pm 1,97$) than the AOI Nose ($2,47 \pm 1,51$), and the AOI Rest of the face was the least fixated ($1,06 \pm 0,64$, all $ps < .001$). The analysis also showed a main effect of participant's rank ($F(2,2) = 4,59$; $p = .01$). The post-hoc analysis indicated that participants ranked in the middle position made more fixations on faces than participants in the highest-ranking ($p = .004$) or lowest-ranking positions as a trend ($p = .09$). There was no significant effect of the player's rank ($F(2,52) = 0,12$; $p = .9$), nor of the ranking orientation ($F(1,26) = 0,12$; $p = .9$). Moreover, a three-way interaction revealed that the MNF made on the eye area depended on the participant's rank and the ranking orientation ($F(4,104) = 2,54$; $p = .04$, see Figure 23, p. 120). In the upright orientation, participants made less fixations on the eyes of the other players when they were in the highest-ranking position ($5,22 \pm 2,33$) than when they were in the middle ($5,65 \pm 2,39$; $p = .01$) or lowest-ranking position ($5,55 \pm 2,19$; $p = .03$) (see Figure 23 – left panel, Table 5, p. 120). In contrast, when ranking was inverted, no difference was observed in MNF on faces according to participants' position (see Figure 23 – right panel, p. 120).

Second, an ANOVA including the same within- and between-subjects factors was performed on the MOT. There was a main effect of AOI ($F(2,52) = 50,88$; $p < .001$), showing that participants looked longer at the eyes ($2407,2 \pm 714,5$ ms) than at the nose ($1152,8 \pm 727,2$ ms), and then, at the rest of the face ($410,3 \pm 230,2$ ms) (all $ps < .001$). There were no main effects of player's rank ($F(2,52) = 2,01$; $p = .1$), participant's rank ($F(2,52) = 0,99$; $p = .4$), of ranking orientation ($F(1,26) = 0,005$; $p = .9$) on the MOT of the three AOIs, and no

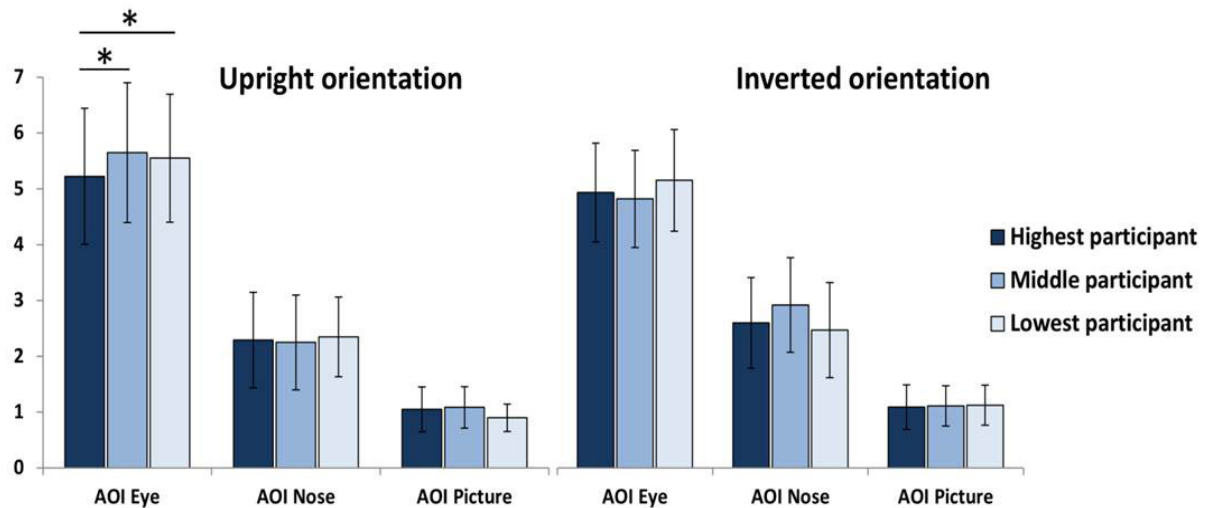


Figure 23 : MNF on the different faces' regions during the rank categorization phase (3). The bar chart represents fixations performed on the three faces' AOIs according to participants' rank (highest, middle or lowest) when rankings in phase 1 were upright (left panel) and inverted (right panel). * indicates a significant difference ($p < .05$).

	AOI Eye		AOI Nose		AOI Picture	
Number of Fixations	M	SE	M	SE	M	SE
Highest participant	5,22	2,33	2,29	1,63	1,05	0,77
Middle participant	5,65	2,39	2,25	1,62	1,09	0,71
Lowest participant	5,55	2,19	2,35	1,36	0,90	0,46

Table 5: Mean ($\pm$ SE) number of fixations made on the three AOIs Eye, Nose and Picture according to the participant's rank (highest, middle or lowest) when rankings in phase 1 were upright.

interaction was reported either between player's rank and the AOI ($F(4,104) = 0,49$; $p = .7$), or between participant's rank and the AOI ($F(4,104) = 1,27$; $p = .3$).

Third and lastly, we compared the mean NT between the AOI Eye and the AOI Nose in an ANOVA including the player's rank (3 levels: highest, middle and lowest) and the participant's rank (the same 3 levels) as within-subject factors and the ranking's orientation as between-subject factor. Neither the player's rank ($F(2,524) = 0,48$; $p = .62$) nor the participant's rank ($F(2,52) = 0,20$; $p = .82$) and nor the ranking's orientation ($F(1,26) = 1,19$; $p = .28$) had a main effect on the NT made between the eyes and the nose on faces in the different hierarchical conditions. We reported an interaction between the participant's rank and the ranking's orientation ($F(2,52) = 3,98$; $p = .02$, see Figure 24, p. 121). According to the graph (Figure 24 – left panel), it seemed that, in the upright orientation, lowest participants made more transitions between eyes and nose than highest or middle participants, but the post-hoc analysis did not show any significant effect. However, in the inverted condition, lowest participants made significantly less transitions in their opponents'

faces than middle participants ($p = .02$) and highest participants as a trend ($p = .1$) (Figure 24 – right panel).

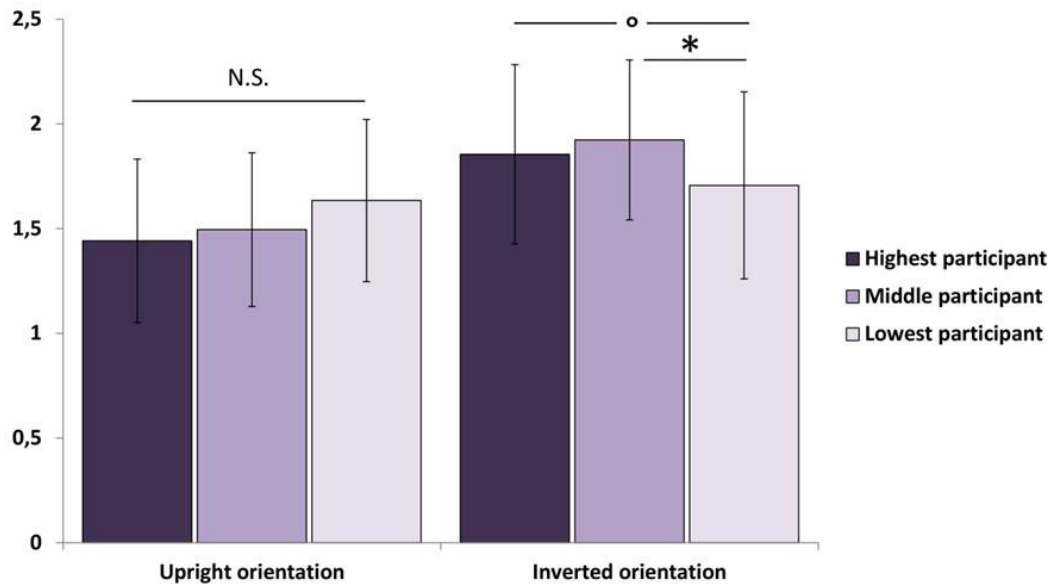


Figure 24 : Mean NT between the AOIs Eye and Nose of faces displayed during the rank categorization phase (3).

The bar chart represents the number of transitions according to participants' rank (highest, middle or lowest) when rankings in phase 1 were upright (left panel) and inverted (right panel). * indicates a significant difference ($p < .05$) and ° indicates a trend ($p < .1$).

VII.3.3. Face's rank evaluation phase: behavioral results

Participants were quite accurate in categorizing player's ranks and obtained 84,8 % of correct responses (mean number of misses $\pm$ SD = 32.9 ± 5.6 among 216 trials, minimum number of misses = 22, maximum number = 42). The repeated measures ANOVA including players' rank (3 levels: highest, middle, lowest), participant's rank (the same 3 levels) as within-subject factors and ranking's orientation (2 levels: upright, inverted) as between-subject factor revealed a main effect of the players' rank on Hit percent ($F(2,52) = 8,62$; $p < .001$, see Figure 25A, Table 6, p. 122), indicating that participants were more accurate in categorizing the rank of the highest-ranking player compared to the middle-ranking ($p < .001$) and the lowest-ranking player ($p < .01$) (Figure 25A). The analysis also showed a main effect of participant's rank ($F(2,52) = 6,01$; $p < .01$, see Figure 25B, p. 122). The LSD post-hoc tests showed that participants were more accurate in categorizing faces' ranks when they were in the middle than in the highest ($p < .01$) or lowest position ($p < .05$).

The same statistical analysis was performed on RT, using the same within-subject and between-subject factors. Only reaction times associated with correct responses, longer than

300 ms and within the range of $\mu \pm 3SD$ were included into the analysis. There was neither an effect of player's rank ($F(2,52) = 2,04$; $p = .14$, see Table 6, p. 122), nor an effect of participant's rank ($F(2,52) = 1,29$; $p = .28$), nor an effect of the ranking orientation ($F(1,26) = 1,41$; $p = .24$), and no interaction between these factors.

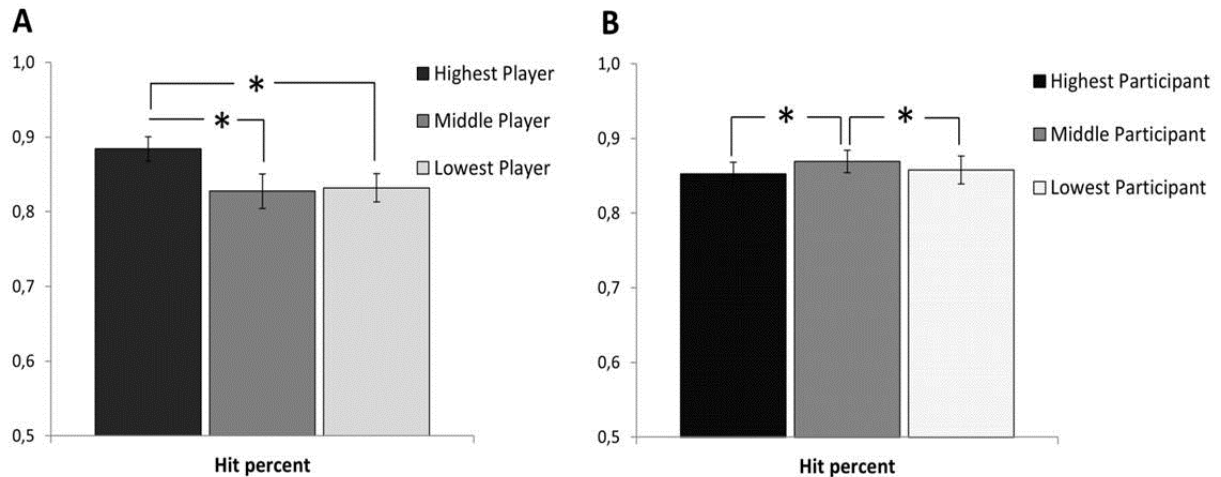


Figure 25 : Mean Hit percent associated to the rank categorization task (phase 3) according to players' rank (A - highest, middle or lowest) and participants' rank (B - highest, middle or lowest). * indicates a significant difference ($p < .05$).

	Hit (%)		RT (ms)	
	M	SE	M	SE
Player's rank				
Highest	88,4	4,4	1271,0	315,5
Middle	82,7	6,3	1297,2	315,2
Lowest	83,2	5,1	1309,5	323,7

Table 6: Mean ($\pm$ SE) Hit percent and Reaction Time associated to the rank evaluation task on player's faces

VII.4. Discussion

The first goal of the current study was to describe how participants allocate their visual attention to individuals in a hierarchy. In contrast with early work, the current experiment a) included the participant into the hierarchy, b) introduced a competitive situation involving three ranks and c) manipulated the spatial orientation of the rankings. The second goal of the study was more specific and consisted to examine how participants gaze at the faces of individuals exhibiting different ranks.

The analysis of gaze allocation during the hierarchy observation phase showed that there were more eye fixations and longer fixation times for the lowest-ranking participants looking at the highest-ranking individuals than *vice versa* (i.e. highest-ranking participants

looking at the lowest ranking individuals). This result is in line with primate studies investigating social attention in another type of asymmetrical context, namely dominance hierarchies; those studies report that subordinate individuals target more their gaze at higher ranking individuals than *vice versa* (Keverne et al., 1978; McNelis & Boatright-Horowitz, 1998; Pannozzo et al., 2007). Similarly, in the middle ranking position, participants made more fixations and looked longer at highest- than lowest-ranking individuals.

This general pattern could either be accounted for by a tendency for participants to focus more attention on individuals who have a *higher* rank than themselves, or by a tendency to focus on individuals who exhibit the *highest* rank. The three ranking positions actually enable to disentangle these two possibilities since *higher* ranking targets were not necessarily the *highest* ones, and *lower* ranking targets were not necessarily the *lowest* ones. In particular, middle-ranking targets could have a higher or a lower rank than the participant himself, and it turned out that this contrast did not modulate the level of visual attention they received from participants. In contrast, the highest-ranking and lowest ranking targets could have the same rank as the participant and the results indicated that participants tended to make more fixations on their equal in the highest position than on their equal in the lowest position. It is thus rather the *highest* vs. *lowest* contrast, than the *higher* vs. *lower* contrast, which modulated participant's visual attention. Participants attended more to highest than lowest ranking individuals but did not necessarily attend more to individuals who ranked higher than individuals who ranked lower than themselves.

An intriguing question is why participants did not systematically allocate more resources to the middle individuals who ranked higher than to middle individuals who ranked lower than themselves. One possibility relates to the type of hierarchy employed. In the current experiment, it takes the form of a contest involving several individuals wherein the highest-ranking individuals can be viewed as winners and the other contestants as non-winners. Being the winner involves the notion of a full achievement regarding a specific task and confers a higher social prestige, while being a non-winner involves the failure to reach the highest rank of the hierarchy. In other words, the highest-ranking individuals qualitatively differ from the other members by their success while non-winners quantitatively differ from each other by their level of failure (i.e. more or less unsuccessful in reaching the peak of the hierarchy). Hence, a middle-ranking individual whose rank is higher than the participant, does not much differ from a middle-ranking individual whose rank is

lower. In both cases the middle-ranking individual equally missed the key social position and could be similarly categorized and scrutinized.

However, such a pattern may obviously be quite specific to competition-based hierarchies. For instance, in dominance or power hierarchies, a middle-ranking individual exert a greater impact on their lower-ranking peer as they influence them more, are entitled to more rights and can be more threatening. Looking more at higher- than lower-ranking individuals could become more appropriate in such context. An interesting avenue of research would thus be to compare how different kinds of hierarchies (e.g. power, prestige, asymmetry in resource) differentially modulate the attentional resources allocated to higher vs. lower ranking individuals. Another important factor is the distance between the individuals in the hierarchy, that is, the number of ranks a hierarchy contains. The results obtained in the current experiment might result from the relatively low number of ranks (i.e. 3). In a competition-based hierarchy which involves many ranks (e.g. 100), and many contestants, individuals who did not reach the peak of the hierarchy but who are close to it (e.g. 2nd or 3rd rank) may be considered as much more prestigious than those who are far away from it (e.g. 98th or 99th). It could thus be that a large social distance between a higher and a lower ranking target may modulate the resource allocated to such targets.

Another factor that might also have contributed to the current pattern is the instability of the hierarchy in the first phase of the experiment. After each perceptive task the ranking was updated, and one of the participant's positions differed from his final position (see also Zink et al., 2008). Past studies have found that unstable hierarchies cause greater stress and increase the level vigilance of individuals at the top of the hierarchy (R. M. Sapolsky, 2005). In the current experiment this might have incited participants to gaze more at their equal when they are in the highest-ranking position than when they are in the lowest ranking-position.

In highlighting that the highest vs. lowest ranking contrast modulated more social attention than the higher vs. lower contrast, we suggested that the highest-ranking individuals are likely to receive more attention than others, but of course this is based on the assumption that every else is equal. In fact, when the participants were in the two extreme positions, it is the middle-ranking individual who did receive more attention (see Figure 20, p. 114). However, this can trivially be explained by the central spatial position occupied by this individual: a central position in a given space necessarily attracts attention more than peripheral positions. Although being trivial, this explanation shows the importance of spatial factors in scanning a hierarchy.

Spatial orientation is one of the factors we actually manipulated. For half of the participants the ranking orientation was upright (highest-ranking individuals at the top of the vertical axis) and for the other half it was inverted (highest-ranking individuals at the bottom of the vertical axis). This manipulation had a large impact and modulated the effects we described so far. In the upright orientation a very clear advantage for the highest-ranking individual was observed: wherever the participants were located in the hierarchy, namely in the lowest, middle or highest position, and whatever the measure taken into account, namely MNF or MOT, the results demonstrated that more attentional resources were allocated to the highest- than lowest-ranking individual. In contrast, this advantage systematically disappeared in the inverted orientation and it was even found that the MOT for participants in the highest-ranking position who looked at the lowest-ranking individuals was longer than the MOT for participants in the lowest-ranking position who looked at the highest-ranking individuals. Another way to consider the influence of orientation was to compare how the same social targets were looked at in the two types of ranking. It appeared that participants allocated more resources to the highest-ranking individuals in the upright than inverted ranking. In particular, when participants were in the middle and in the lowest position, they made more fixations and looked longer at the highest-ranking individuals in the upright than in the inverted orientation.

These results can be accounted for by the fact that spatial verticality is a metaphor of hierarchy and that the top of a vertical axis implicitly represents the highest rank of a social hierarchy (Dahl & Adachi, 2013; Giessner & Schubert, 2007; Lakens et al., 2011; Meier et al., 2007; Schubert, 2005; Zanolie et al., 2012). If more attention is allocated to cues indicating the highest rank, the congruent orientation (highest rank at the top and lowest rank at the bottom of the vertical axis) conveys more such cues than the incongruent one (highest rank at the bottom and lowest rank at the top of the vertical axis). It then becomes understandable that the highest-ranking individuals were more fixated in the upright than inverted orientation. Such individuals might be perceived as exhibiting a higher rank in the upright than inverted orientation. Past research has actually shown that the perception of status of highest-ranking individuals could be modulated by spatial factors. For instance, in a study by (Giessner & Schubert (2007, Study 1), participants could see organization charts showing either a long (7 cm) or a short (2 cm) distance between two successive hierarchical ranks. The authors reported that when the distance was long, the participants perceived the individual associated with the highest rank as being more powerful than when the distance was short. Similarly, Schubert (2005, Study 6) found that powerful animals (gorilla, lion)

were evaluated as more powerful when their pictures appeared at the top than at the bottom of a screen.

We now turn to the discussion of the face presentation phase. The analysis on MNF and MOT did not show that faces were looked differently according to their rank. In particular, participants did not specifically look more at the eyes of the highest-ranking faces as compared to other faces. This absence of effect may seem at odds with three findings: i) the greater gaze cueing effect for dominant and high status-faces (Jones et al., 2010; Dalmaso et al., 2012; 2014); ii) the larger Late Positive Component (Breton et al., 2014; see also Hu et al., 2014; Feng et al., 2015) and iii) the higher gaze allocation to the highest-ranking faces in the first phase of the experiment. All these findings indicate that faces associated with a top of a social hierarchy capture cognitive resources more and given that the eyes are the central element of people look in a face, it could be expected that the advantage for the eyes would be more pronounced for those faces. This is not what was found, but in the two earlier studies that previously investigated how status modulates the scanning pattern of faces, the authors did not either report a significantly greater advantage for the eyes of the higher-status faces as compared to other faces (Foulsham et al., 2010; Gobel et al., 2015). The social rank itself may thus not be sufficient to deeply modulate the nature of a face’s visual exploration.

The lack of status modulation on the observation of players’ eyes can also be compared with results obtained in an EEG study using the same paradigm (Breton et al., 2014). While the Event-Related Potentials analysis revealed that the rank of the face modulated the LPP, which indexes high-order social evaluation, it did not show any influence on the N170 component, which reflects the structural encoding of faces. Interestingly, previous research has found that the exploration of the eye region impacts N170 characteristics. For instance, when the eyes are presented alone they elicit a larger N170 than the entire face (Bentin et al., 1996; Itier et al., 2006, 2007) and the rate of early fixations on the eye region is negatively correlated with N170 amplitude (Meaux et al., 2014). The absence of status modulation on the N170 (Breton et al., 2014) and on the scanning of players’ eyes both suggest that hierarchy, as instantiated in the current paradigm, does not affect the perceptual processing of face. This does not however mean that hierarchy has no effect on a more cognitive aspect of face processing, as revealed by the modulation of LPP (Breton et al., 2014), nor that a more physical instantiation of hierarchy, through dominance displays for instance, might influence the visual scanning of faces (Chiao et al., 2008).

Even though no effect of player's rank was found, factors related to the participant revealed an interesting pattern. As indicated in the introduction, Gobel et al. (2015) manipulated the participants' beliefs regarding what people, whom they are looking the face, will later do. They observed that participants looked less at the eyes of high-status individuals, when they believed those individuals will later look back at them than when then they did not believe so. In the present experiment, a key factor that was manipulated is participant's own rank. As in Gobel et al's (2015) study, this participant-related factor also influenced the face exploration strategy. In particular, in the upright condition, participants in highest-ranking position were less likely to make fixations on the eyes of the players' faces than in the middle- and lowest-ranking positions. This suggests that those participants are less likely to pay attention to the key feature of the others' face, namely their eyes. This could be accounted for by the tendency of high-status people to pay less attention to what others feel, think, or communicate. For example, during interpersonal interactions, higher-status individuals are less accurate at detecting others' emotions (Kraus et al., 2010), and are less likely to gaze at their partners, laugh or nod their heads (Kraus & Keltner, 2009). Likewise, individuals who are assigned to a high power role discount advice they received from others to a greater extent than individuals assigned to a low power role (Tost et al., 2013). They are also less likely to take the others' perspective (Galinsky et al., 2006) and demonstrated less prosocial behaviors, such as generosity, charity, or helpfulness (Piff et al., 2010). Neuroimaging findings even revealed that when dealing with social information, high-status individuals, compared to low-status individuals exhibited reduced activity in brain networks associated with the processing of mental states of others (Muscatell et al., 2012).

In conclusion, the current study showed that a number of interacting factors can influence the level of visual resources allocated to individuals enrolled in a hierarchy and the way those people are looked at. Player's rank, participant's rank and ranking orientation differentially contributed to the visual exploration strategy elicited by hierarchical rankings. First, while there was no attentional advantage for the player who was ranking higher than the participant, there was a clear advantage for the highest-ranking player whatever the participant's position. Second, this advantage was much more pronounced for upright than inverted rankings, which confirmed that spatial orientation communicates hierarchy-related information. Third, while player's rank did not influence the visual exploration of face's characteristics, the participant's rank did show such an influence in the upright orientation. Of course, these findings emerge in a specific experimental situation and future research

should explore how the nature of the hierarchy, the stability of the hierarchy, and the population characteristics, such as gender, and culture may modulate the current pattern.

*
* *

Chapitre VIII. Etude 3

Les corrélats électrophysiologiques du traitement d'un statut social associé à un visage : interaction avec le genre.

Ce chapitre présente la seconde étude menée en électrophysiologie sur le traitement neuronal d'un signal hiérarchique. Dans cette étude, les catégories professionnelles étaient employées pour associer un statut social à un visage. Tout comme dans l'**Etude 1**, j'ai tenté de caractériser le décours temporel du traitement d'un statut social au niveau cérébral, en examinant à la fois les potentiels neuronaux précoces et tardifs évoqués par les visages. Cette étude avait également pour but d'explorer l'influence du **genre**, des visages et des participants, sur la perception du statut social. Des visages d'hommes et de femmes, associées à un statut social élevé ou plus bas étaient présentés à des participants hommes et femmes. Cette étude a également été construite de sorte à permettre de tester conjointement l'influence du statut social et du genre sur la reconnaissance mnésique des visages.

How gender shapes the processing of occupational status: an ERP study.

Audrey Breton, Romain Ligneul, Karim Jerbi, Nathalie George, Jean-Yves Baudouin & Jean-Baptiste Van der Henst.

VIII.1. Introduction

“My word, sir, I have never seen anything like it. [...] there was such power and majesty in his look that if he had bade me lie down that he might walk over me I would have done it at once, English midddy though I was. The look on Napoleon's face was the revelation of the man and the explanation of his power. He was born to command (Admiral Eden, 1887)”. Presumably, the stunning experience of Admiral Eden would have been radically different had he thought the face of the former Emperor of the French was that of a secondary junior officer. Our perception of other people heavily relies upon the social context in which we deal with them, and believing a face is that of an emperor or is that of a low-ranking individual makes a huge difference. In the current study, we investigate how

the hierarchical social context influences the neural processing of neutral, non-expressive, faces.

Hierarchies constitute a critical factor that structures our social environment. They arise in all social mammals, and among humans they are found in the most egalitarian hunter-gatherer groups (Boehm, 1999) as well as in groups of two-year old children (Boyce, 2004a; Strayer & Strayer, 1976). Living in an asymmetrical social world comes with critical consequences. As they monopolize survival and reproductive resources, high-ranking individuals tend to benefit from greater reproductive success. Hierarchies have also a striking influence on health, well-being, life span and self-esteem.

According to evolutionary accounts, the influence of social stratification on reproductive success and quality of life exerts selective pressure on motivational and cognitive mechanisms. Experimental works indicate that the desire for a high status, which is often considered as a fundamental human motive (Maslow, 1943; Barkow et al., 1975) emerges at preschool years and guides a number of behaviors among men and women from different cultures (Anderson, Hildreth, & Howland, 2015). At a cognitive level, a wide range of results shows that adults and even infants display subtle abilities in detecting status (Charafeddine et al., 2014; Schmid Mast, Jonas, & Hall, 2009), memorizing hierarchies (Zitek & Tiedens, 2012) and making transitive inferences from dominance relations (Mascaro & Csibra, 2012).

The evolutionary approach also predicts that, as high-ranking individuals represent a higher risk of threat in conflicting interactions or, alternatively, a greater source of social support, they should be monitored more. Consistent with this view, recent results obtained in the field of face processing indicate that the investment of cognitive resources is asymmetrical and more directed towards the top of the hierarchy. Eye-tracking studies show that faces of individuals who are dressed in high-status attire (Maner, DeWall, & Gailliot, 2008), who are ranked better in competitive situations (Breton et al., in preparation, see Chapter VII, p. 99, of the present thesis) or who influence more interactive group decision making tasks (Foulsham et al., 2010) receive more visual attention. Moreover, participants look more into the direction gazed by male faces associated with a high-status CV than into the direction gazed male faces associated with a low-status CV (Dalmaso, Pavan, Castelli, & Galfano, 2012; 2014). A memory bias is also observed and reveals that i) faces associated with high occupational status faces are better remembered (Ratcliff, Hugenberg, Shriver, & Bernstein, 2011), ii) their location in a space is better memorized (Ratcliff et al., 2011) and iii) they tend to be overestimated, when high-status faces are those of men (Maner et al., 2008).

Recently a handful of studies examined the temporal dynamics of neural events while participants observed high- and low-ranking faces and aimed to identify the ERP components modulated by the social status (Chiao et al., 2008; Breton et al., 2014; Hu et al., 2014; Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015). A key issue emerging from this literature is whether hierarchy affects the early perceptual stage of face processing, as indexed by the N170 component, or influences more cognitive and controlled mechanisms, which occur after the face has been identified. Using a gender categorization task, Chiao et al. (2008) presented male participants with a series of faces displaying various social and emotional postures. They found that dominant faces (64 trials before artefacts rejection) elicited a larger N200 (N170-like) component (time-window: 160-215 ms), whose topography was similar to that of the N170, as compared to submissive faces. However, both types of faces differed with respect to head tilt and gaze direction, which are features known to influence early ERP components regardless of the social meaning of these features.

More recent work used neutral posture faces and built a hierarchical context on the basis of performance obtained in a competitive game involving perceptual and cognitive skills. In Breton et al.'s study (Breton et al., 2014), male participants had to learn a vertical hierarchy that ranked a set of players' faces on three levels of performance. After the learning phase, they were presented with each face and had to compare their own rank with that of the player. Breton et al. (2014) found no modulation of the N170 amplitude but reported a larger LPP component and a greater reduction of alpha power for high-ranking faces. Other studies used a star-system to convey performance and hierarchy: high-ranking faces were presented together with three stars underneath and low-ranking faces with only one star (Santamaria et al., 2015; Feng et al., 2015). The LPP effect was replicated (Feng et al., 2015) but in addition, these studies reported that the amplitude of the N170 was greater for high-ranking (three-stars) than low-ranking (one-star) faces.

The current study extends these results in two ways. First, the present study differs from earlier EEG work with respect to the type of hierarchy involved. In the above mentioned studies, hierarchy was contextualized through competitive games; however such games are far from the most typical examples of a hierarchy people experience. More importantly, games explicitly introduce elements of fiction, so that players are well aware that the reality of the game is not the reality of their life outside the game situation (Caillois, 1958). The social categories induced in games (i.e. winners, good performers, losers...) are transitory, unstable, and are unlikely to reflect the social status of the players in real life. In the current study, social status was operationalized with a form of hierarchy that was more

stable and more directly rooted in daily social life, namely *occupational status*. Occupational status is a predictor individuals' income and education, which are two important constructs used to assess others' status, and can easily be divided into high and low status (e.g. doctor vs. worker). High occupational status (as measured by the level of income or education) is associated with better health (Ellis, 1995b) and a greater level of well-being than low occupational status (Sapolsky, 2004; Elo, 2009)

Second, we examined how the perception of social status interacts with the face's gender and the participant's gender. Gender was largely overlooked in earlier EEG studies. Some studies only involved male participants (Chiao et al., 2008; Breton et al., 2014), others included both male and female participants but did not analyze a potential effect of the participants' gender (Hu et al, 2014; Feng et al., 2015) and although Santamaria et al. (2015), found that the modulation of status on the N170 amplitude was greater for male than for female participants, it is unclear whether this difference was an effect of the participants themselves or an effect of the stimuli, as male participants were presented only with male faces and female participants only with female faces.

Gender is particularly important when considering status because it can largely be characterized as a hierarchical concept. The distinction between the social categories of "men" and "women", and their associated stereotypes, deeply rely on status beliefs that differentially value men and women (Wagner & Berger, 1997; Ridgeway, 2001). Men are traditionally associated with a greater power, prestige, dominance, and status than women. Studies investigating interactions in mix-gender groups show that males exert more influence on females than females on males and that information brought about by women tend to be ignored (Carli, 2001). For instance, in a group decision making task concerning a conflict situation, information introduced by male participants were twice as more likely to be used in the discussion by the group in order to come to a decision than those introduced female participants (Propp, 1995). Moreover, a direct and assertive style of communication tends to be less effective at influencing others when it is adopted by women than by men (Carli, 1990; Carli, LaFleur, & Loeber, 1995). Gender differences also emerge with respect to attribution of competence. Men tend to be associated with a greater level of competence especially in valued social domains while a greater level of domestic skills are assigned to women (Ridgeway, 2001). Moreover, dominance behavior is more likely to be associated with men than women and more negative reactions are observed for women adopting dominant attitudes than for males adopting the same attitudes (Copeland, Driskell, & Salas, 1995). The evaluation of leadership is also modulated by gender. Many laboratory

experiments show that hypothetical female leaders are more negatively assessed than their male counterparts (Eagly, Makhijani, & Klonsky, 1992; Johnson, Murphy, Zewdie, & Reichard, 2008), while this is less true when the methodology involves actual bosses rather than imaginary bosses (Elsesser & Lever, 2011). Overall, this literature suggests that female faces associated with a high-status occupational title may be perceived and assessed as of lower status than a male faces associated with a high-status occupational status. It could thus be predicted that the greater N170 and LPP amplitudes observed for high-status faces might be reduced for female faces as compare to male faces. In the current study female and male participants were presented with both female and male participants in high- and low-status conditions.

VIII.2. Methods

VIII.2.1. Participants

Fourty-four healthy right handed volunteers (twenty-two women) aged between 19 and 26 years (men: mean = 22.92 years $\pm$ 1.89 SD, median = 22.81 years, women: mean = 22.99 years $\pm$ 1.75 SD, median = 22.92 years) gave their informed written consent to participate in this study and were compensated for their participation. All participants were French, had comparable educational backgrounds and had normal or corrected-to-normal vision. The protocol of this study was approved by the local medical ethics committee.

VIII.2.2. Stimuli

The stimulus set consisted of 120 high-resolution photographs of caucasian neutral faces (60 female and 60 male faces) picked from the NimStim Set of Facial Expressions standardized database (Tottenham et al., 2009) and from the stimuli set used by Baudouin and Gallay (2006). We transformed them into grayscale images and normalized them in size, luminance and contrast. Faces were displayed on a screen with a light grey background and subtended horizontal and vertical visual angles of 10.1 x 10.1 ° at a viewing distance of 80 cm (400 x 400 pixels). One hundred twenty supplementary new faces (60 female faces) were created following the same procedure to serve as fillers in the last phase of the experiment.

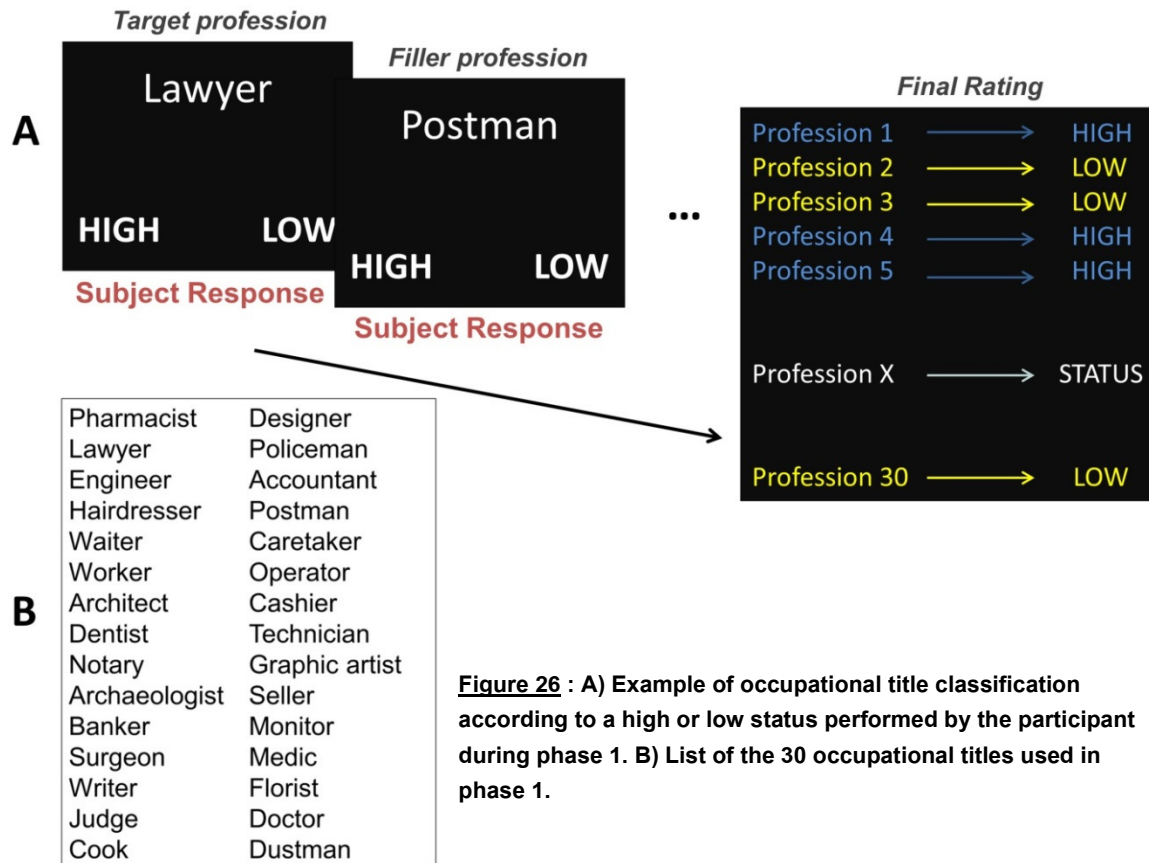
To convey a high or low occupational status, six professional titles were presented in French before the faces. These nouns were selected on the basis of a pretest online study in which 292 French-speaking participants (146 females) comparable in age and in educational background with participants included in this EEG study, had to evaluate a set of eighteen profession titles according to two criteria. First, they were requested to estimate whether

they thought there were more women or men for each occupational title using the following 5-point scale: (1) “many more women”, (2) “a little more women”, (3) “as many women as men”, (4) “a little more men”, (5) “many more men”. Second, they then had to assign each occupational title to the high or low-status category. The analysis of the data lead us to select three high-status occupational terms in French: “pharmacien - pharmacienne” (pharmacist), “ingénieur - ingénieure” (engineer), “avocat - avocate” (lawyer); and three low-status occupational terms: “ouvrier - ouvrière” (worker²), “coiffeur - coiffeuse” (hairdresser), “serveur - serveuse” (waiter). Regarding the first question, overall participants were not more likely to associate the three high-status occupational titles to masculinity than the three low-status occupational. Regarding the second question, 100% of the participants assigned the “lawyer”, “engineer” and “pharmacist” titles to the high-status category and the quasi-totality of participants assigned the “waiter” (98.3%), the “hairdresser” (95.7%) and “worker” (97.7%) to the low-status category. It is important to indicate that these nouns displayed a different spelling in the masculine and feminine forms. As a consequence, when processing each profession noun the participant knew whether the upcoming face would be a female or a male face.

VIII.2.3. Design and Procedure

Upon her/his arrival to the lab, the participant was explicitly told that he was participating in a scientific project on the perception of social status based on occupational titles. To make sure the participants clearly understand the notion of status investigated in this study, they were told that some high-status professions require a high educational background and entail a high level of responsibility, associated with a high salary and a lot of prestige. On the opposite, professions that do not require long years of study, imply little responsibility, with lower pay and low social reputation, confer less social status to individuals. As a cover story, the participant was told that we previously photographed the faces of a large sample of individuals working in various professions. S/He would be presented with some of those faces preceded by their occupational title. The participant was then explained the EEG recording technique and principles before being comfortably seated in front of a screen, in a dimly lit room. The experiment was designed using Presentation®14.3 (Neurobehavioral System, <http://www.neurobs.com/>) and was divided into two different phases: the *priming phase*, the *status-face association phase*, the *status unrelated*

² In French, the tittle « worker » (ouvrier) depicts a specific profession, not just a general qualifier for people who “works” in various areas. This tittle is particularly associated to a low social status.



phase and the *status recall phase*. The participant was not informed of the existence of the fourth phase.

1. The priming phase: During this phase, the participant had to classify 30 professions (the 6 “target” professions and 24 “fillers” professions) as being of high or low social status. Participants were presented with a profession noun on the top of a computer screen and had to categorize it by selecting the “HIGH” or “LOW” response (Figure 26A, p. 135) with two buttons on the keyboard. The presentation order of the thirty professions was randomly set up for each participant. After completing this task, the participant was presented with the full set of her/his categorizations (Figure 26B, p. 135). We explored her/his whole choices and s/he was then told that 3 high-status and 3 low-status titles (as classified by the participant) would be selected from the list. For all participants, the 6 titles described in the stimulus section were selected to be used in the status-face association phase. All participants categorized pharmacist, engineer and lawyer as high-status titles, and worker, hairdresser and waiter as low-status titles. Hence, the first phase not only primed the association of occupational titles with either a high or a low status, it also reinforced participant’s commitment by taking into account her/his own categorizations. The

participant was then informed that s/he would be presented with photographs of men and women occupying the 6 selected titles.

2. The status-face association phase: During the second phase, in which the EEG signal was recorded, participants were presented with three blocks of 360 trials according to a 2 (gender of the face) by 2 (status) design resulting in four conditions (90 trials per condition). The set of stimuli was administered in three blocks (120 trials per block) each separated by a short break. Each trial adhered to the following sequence: i) the gendered noun (feminine or masculine) of a profession that appeared in the center of the screen during 1000 ms, ii) a fixation cross (1000-1400 ms randomized ISI), and iii) a female or male face, depending on the gender form of the occupation (female face after a feminine title and male face after masculine title), presented for 600 ms, followed by a black screen. The inter-stimulus interval separating each trial was randomized between 1600 and 2000 ms (Figure 27, p. 137). To maintain participant's attention, ten percent of the sequences (i.e. 36 randomly chosen among 360, 12 per block) were followed by a question about the status associated to the preceding face. The participant had to determine as fast as possible if the individual s/he just saw was of high- or of low-status by pressing the instructed buttons (Figure 27, p. 137). Participants were explicitly asked to focus on the status-face association they were presented with. Before starting the experiment, participants were requested to limit head movements, facial muscles contractions and they were invited to avoid blinking during the title and face presentation to reduce signal artifacts. The 120 face pictures were presented 3 times and were displayed in a pseudo-randomized order, with no face appearing in two consecutive trials. For a given participant, each occupational title (6 in total) was associated with 10 different female faces and 10 different male faces, and these associations remained unchanged over the course of the experiment and were counterbalanced across participants. Thus, the critical trials corresponded to 30 trials of occupations (3 by status) x face's gender (men, women) sub-conditions; that is 90 trials by status (high-status occupations, low-status occupations) x face's gender (men, women).

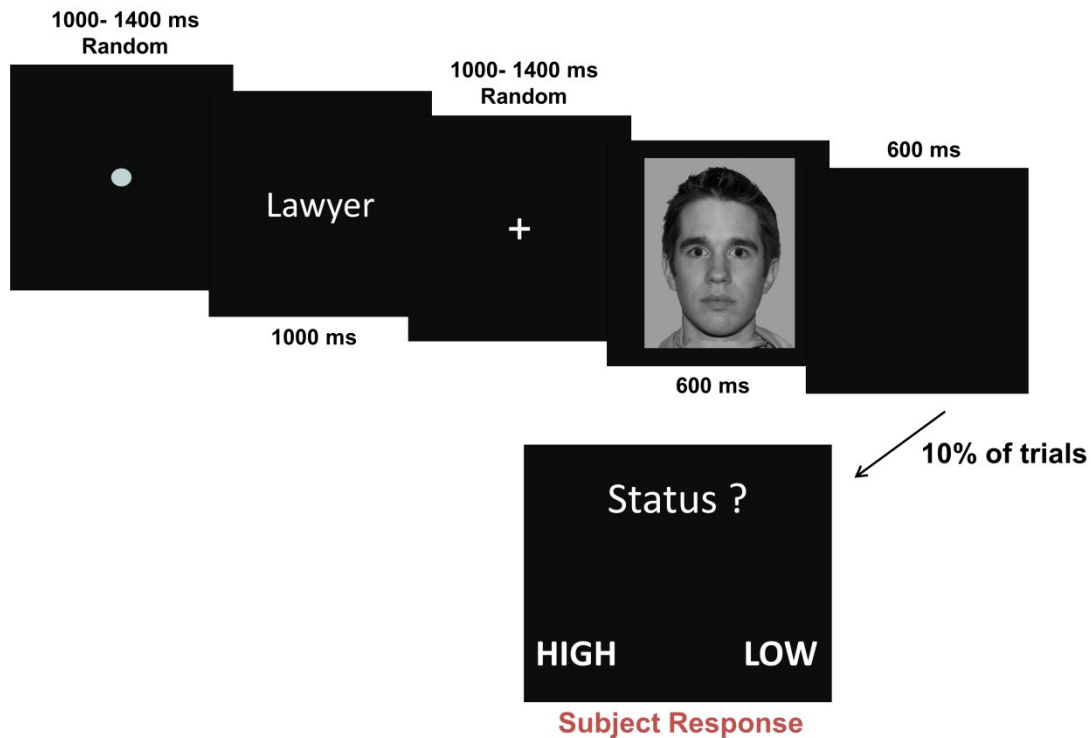


Figure 27 : Example of trials displayed during the status-face association phase (2). EEG recordings of interest were performed during face presentation.

3. The status-unrelated task: After the last block of the second phase was completed, participants were given a resting interval during which their brain activity was also recorded. Participants were asked to relax while we performed a 3 minutes closed eyes recording period followed by a 3 minutes opened eyes recording period. Then, the participant was proposed a completely new task, unrelated to the previous status learning one, concerning rhythm perception and preferences. Twelves short rhythmic loops varying in their basic melody were created and played to the participants via headphones. Using the mouse scroll wheel, the participant had the possibility to accelerate or slow down the tempo (in a range from 80 to 180 bpp). For each musical loop, the participant was asked to find her/his preferred listening rhythm. This phase lasted approximately 12 minutes.

4. The status recall phase: At the end of the third phase, the participant was incidentally informed that s/he would have to complete a fourth and last phase testing her/his memories of the previously seen faces. This phase was designed to investigate both faces recall and status recall. We presented the participants with the 120 familiar and 120 new faces. Participant had to discriminate as fast as possible between faces s/he previously saw (by pressing the left arrow on the keyboard) and those he never saw (by pressing the right arrow). After answering this first question, a fixation cross appeared followed by a second question. If the participant judged the face as familiar, s/he had to try to recall its associated

status (“HIGH” by pressing the left arrow or “LOW” by pressing the right arrow). If the participant judged the face as new, s/he had to guess arbitrarily (according her/his own intuition) the individual’s status (Figure 28, p. 138). Accuracy and response time were recorded during this phase. This fourth phase lasted approximately 10 minutes.

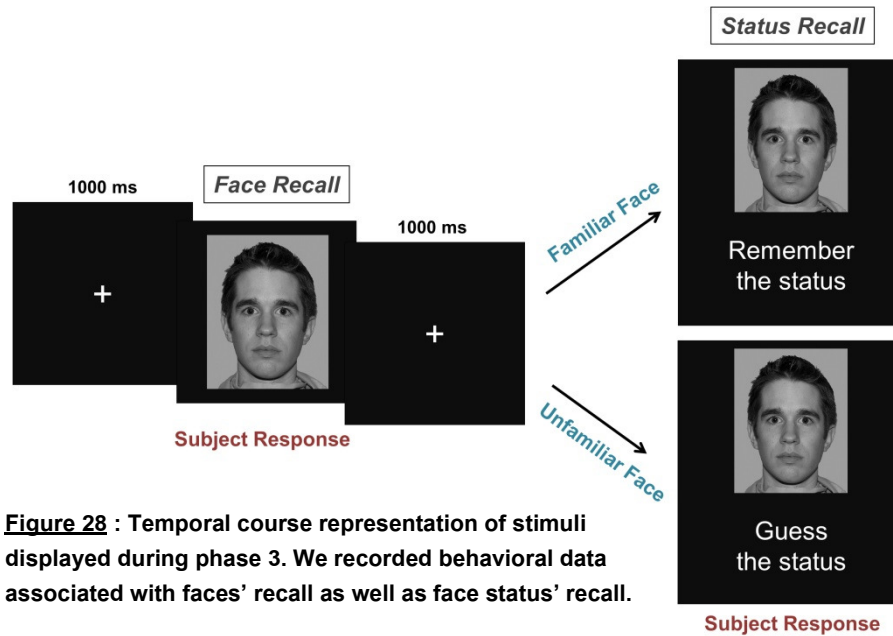


Figure 28 : Temporal course representation of stimuli displayed during phase 3. We recorded behavioral data associated with faces’ recall as well as face status’ recall.

VIII.2.4. EEG recordings

EEG recordings were performed simultaneously from 64 electrodes connected to an *Acticap* (International 10-20 System, American Encephalographic Society, 1994) amplified by a BrainAmp amplifier (Brain Products, Gilching, Germany). The sampling rate was of 1024 Hz through a bandwidth of 0.01-100 Hz. The ground electrode was placed on the forehead. The reference electrode was defined on the tip of the nose during the experiment and was kept for off-line analysis. Two supplementary external electrodes were placed on each ear lobe, and vertical and horizontal eye movements (EOG) were monitored on-line using two bipolar montages. All the electrodes had their impedances below 5 k Ω before starting recordings. Using ELAN software developed by the INSERM U1028 at the Lyon Neuroscience Research Center (CRNL), Lyon, FRANCE (Aguera et al., 2011, <http://elan.lyon.inserm.fr>), we rejected off-line trials contaminated by ocular movements or blinks (changes in EOG activity greater than 80 μ v for 80 ms) or electrical drifts (voltage changes on any scalp electrode greater than ± 150 μ v). After these artifact rejections, a minimum of 15 valid trials for each subject was kept for each occupational title (6) x face’s gender (2) sub-condition, i.e. at least 45 valid trials for each status (2) x face’s gender (3)

condition. Participants who did not reach this criterion were excluded from the analysis (4 men and 4 women).

VIII.2.5. ERPs Analysis

Status-face association phase

This ERP analysis was conducted on the signal of 18 men and 18 women (Men: mean = 23.06 years $\pm$ 2.02 SD, median = 22.82 years; Women: mean = 22.95 years $\pm$ 1.89 SD, median = 22.92 years) (Student t-test $t(18,17) = -0.19$; $p = 0.85$). EEG data associated with the perception of faces was notch filtered (50 Hz) and then band-pass filtered between 0.05 and 35 Hz. We segmented the signal into temporal epochs of 1600 ms, 600 ms prior to the stimulus onset and 1000 ms post-stimulus. For creating the ERPs, segments were then averaged for each subject according to the four status x gender conditions. The averaged activity from -300 ms to 0 ms pre-stimulus was used as the baseline.

Concerning low-level neuronal response, our focus was mainly centered on the early P100 and the N170 ERPs. According to the graphs, another early component, the N70 potential, was also analyzed. These potentials were measured on the electrodes where they were the most prominent, namely occipital sites for the N70 (OZ) (Figure 29, p. 142) and for the P100 (O1 and O2) (Figure 31A, p. 144) and on temporo-parietal sites (P7 and P8) for the N170 (Figure 30A, p. 143). Their amplitudes were averaged on a 40 ms time-window centered on the peak, i.e. [100-140 ms] for the P100 and [140-180 ms] for the N170. We reduced the temporal interval at 20 ms around the maximum peak amplitude [61-81 ms] for the N70 to better fit with the tightness of this potential.

Concerning late electrophysiological responses, we explored EEG plots (according to faces' status and faces' gender presented in Figure 32, p. 146) and identified two presumed different components, each displaying a specific temporality. According to the graphs, we isolated a first potential in the [280 - 380 ms] interval, assumed to be a P300 wave (Ritter & Ruchkin, 1992). The second, more sustained potential observed over the [380 - 680 ms] interval, was associated to a Late Positive Potential (corresponding to the temporal definition proposed in Breton et al., 2014 and Pastor et al., 2008 for studying LPPs). To examine these two late potentials, we first selected a cluster of nine electrodes covering the frontal (F3-Fz-F4), central (C3-Cz-C4), and parietal (P3-Pz-P4) regions over the scalp. Then, the average amplitude of the presumed P300 and LPP were calculated for each sub-condition, during [280-380 ms] and [380-680 ms] respectively.

To investigate the temporality related to the neural processing of social status conveyed by faces of distinct genders, the mean signals associated with early potentials and the mean amplitude corresponding to late potentials were submitted to distinct repeated measure ANOVAs. For the early components, the ANOVA included **social status** (high vs. low), **face's gender** (male vs. female) and, for the P100 and N170, **laterality** (left vs/ right) as within-subject factors, and **participant's gender** (2 levels) as a between-subject factor. For the late components, the ANOVA tested the topography of the ERP waves by including, instead of the electrodes, the spatial parameters caudality (frontal, central and parietal) and laterality (left, midline and right) as supplementary within-subject factors. The effect of relative hierarchical status (Superior, Equal or Inferior) on the perception of faces was studied by examining the interaction between face and participant ranks. Least significant difference (LSD) Fischer tests were used for post-hoc comparisons.

VIII.2.6. Behavioral Analysis

Status recall phase

Using the proportion of hits and response time (RT), we analyzed the accuracy and speed in discriminating familiar faces from new faces. First, we computed, for each participant, the d' ("dee prime") as an index reflecting the detectability of the target (familiar). This variable integrates both the hit probability for target faces and the false alarm probability (perceiving a new face as a familiar one) as following a standard normal distribution. We also computed for each participant the mean response time (RT) of correct recall. We excluded values comprised in the $[\text{general mean} \pm 3 \times \text{SD}]$ interval and lower than 300 ms (the minimal time required for initiating a motor response) to remove outlier responses. Thus, participants having a d' lower than 0.9 (i.e. indirectly reflecting a hit rate lower than 50%) and having more than 10% outlier response time were not included in further RT statistical analyses. Second, we analyzed accuracy and response time in status recall. Again participants with an accuracy rate lower than 50 % and with more than 10% of outliers were excluded from the statistical analysis.

To determine whether the strategy and time to identify a familiar face was influenced by its status and/or gender, we performed repeated measured ANOVAs on the associated d' and mean RT comprising participant's gender (2) as between-subjects factors and social status (2) x face's gender (2) as within-subject factors. Post-hoc comparisons were performed using Low Significant Differences (LSD) Fisher tests. We applied the same statistical analyses to investigate the influence of status and gender of a face in the recall process of its

status. Behavioral results associated to the whole status recall phase were presented for the restricted set of the participants conserved only for ERP analyses (36).

VIII.3. Results : Status-face association phase

VIII.3.1. Behavioral data

We analyzed behavioral responses (hit and RT) related to the status-categorization task during the face-status association phase for the 36 participants. Men and women participants were very accurate in categorizing faces' status (Male participants: $94,14 \pm 10,1$ % of hits and Female participants: $95,52 \pm 7,9$ % of hits among 36 trials). Applying an arcsinus transformation, the ANOVA performed on Hit rates revealed no main effects of status ($F(1,34) = 2,49$; $p = .12$), face's gender ($F(1,34) = 0,02$; $p = .89$) and participant's gender ($F(1,34) = 0,21$; $p = .65$) and no interaction between these factors.

For participants included in the ERP analysis, response time associated with rank categorization were averaged in every condition, using only correct responses and values comprised in the $[\text{general mean} \pm 3 \times \text{SD}]$ interval. No participant of this set was below the 75% correct responses criteria and had more than 10% outliers RTs. On average, participants needed $1350,5 \pm 279,1$ ms to answer. The second ANOVA performed on RT including status (2) x face's gender (2) x participant's gender (2) showed no main effects of status ($F(1,34) = 0,31$; $p = .58$) and face's gender ($F(1,34) = 0,89$; $p = .35$) but showed a marginally significant effect of participant's gender ($F(1,34) = 2,96$; $p = .09$): women categorized face's status marginally faster than men (men: $1430,4 \pm 269,6$ ms and women: $1268,3 \pm 274,4$ ms). There was no interaction between these factors.

To further explore a gender effect in response time we performed a supplemental analysis with the whole group included in the experiment ($N=44$), from which we excluded one male volunteer showing less than 75% of correct responses and one female volunteer showing more than 10% of outlier responses. The ANOVA performed on RTs of 42 participants (21 women) revealed again a main effect of participant's gender ($F(1,40) = 7,21$; $p = .01$); with women having shorter RTs than men in the status categorization task (mean RT for men: $1576,05 \pm 750,38$ ms and women: $1382,43 \pm 787,07$ ms).

VIII.3.2. Electrophysiological data

a) N70

We performed a statistical analysis on the N70 (maximum amplitude at 71 ms on OZ). The ANOVA revealed only a main effect of participant's gender on the N70 amplitude ($F(1,34) = 13,45$; $p < .001$, Figure 29B and Figure 29B, p. 142), indicating that men the N70 amplitude was larger for female than for male participants (Figure 29B & C).

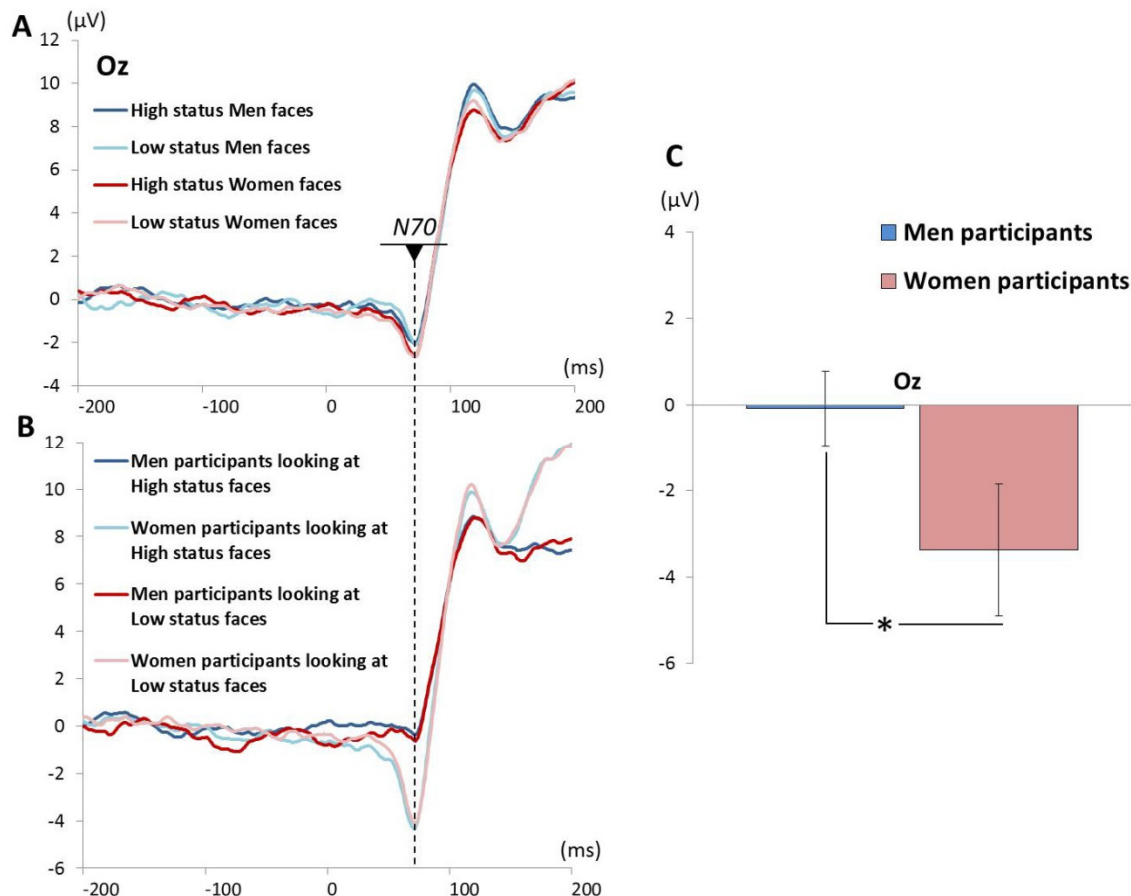


Figure 29: ERP waveforms of N70 potential evoked in response A) to the four face's gender x face's status conditions, B) to faces in two status conditions viewed by male and female participants. C) Averaged N70 amplitude in the 61-81 ms time window computed in the occipital recording site Oz for male and female participants. * indicates a significant difference.

b) P100

The P100 potential reached its maximal amplitude at 120 ms (Figure 31A, p. 144). The ANOVA revealed no main effects of participant's gender, face's status and laterality on the P100 amplitude. However, a tendency of face's gender main effect was observed ($F(1,34) = 3,78$; $p = .06$), suggesting that male faces elicited marginally greater P100 than female faces. An interaction between face's status x face's gender x laterality was observed ($F(1,34) = 4,45$; $p < 0.05$, see Figure 31B, p. 144, Table 7, p. 144). On the left electrode O1, the P100

amplitude was affected by faces gender: male faces evoked greater P100 than female faces (high-status male compared to high-status female: $p < 0.001$; low-status men compared to low-status women: $p < .001$), regardless of their social status (high-status men compared to low-status men: $p = .86$; high-status women compared to low-status women: $p = .69$). On the right electrode O2, the P100 amplitude was submitted to a differential status' effect according to face's gender: high-status men evoked larger P100 than low-status men ($p < .05$) whereas high-status women evoked marginally smaller P100 than low-status women ($p = .06$) (Figure 31B). Moreover, the P100 amplitude for male faces was also larger than P100 amplitude for female faces (high-status men generating greater P100 than high-status women: $p < .001$; low-status men generating greater P100 than low-status women: $p = .03$) but this face's gender effect was less pronounced than on O1.

c) N170

The ANOVA on the N170 component, which peaked at 160 ms (Figure 30A, p. 143), showed no main effects of face's status, participant's gender and laterality, but revealed a main effect of face's gender ($F(1,34) = 7.46$; $p < 0.01$, Figure 30B). Female faces elicited a larger N170 than male faces. No significant interaction between face's status and gender was observed on the N170 amplitude ($F(1,34) = 0.0002$; $p = .99$).

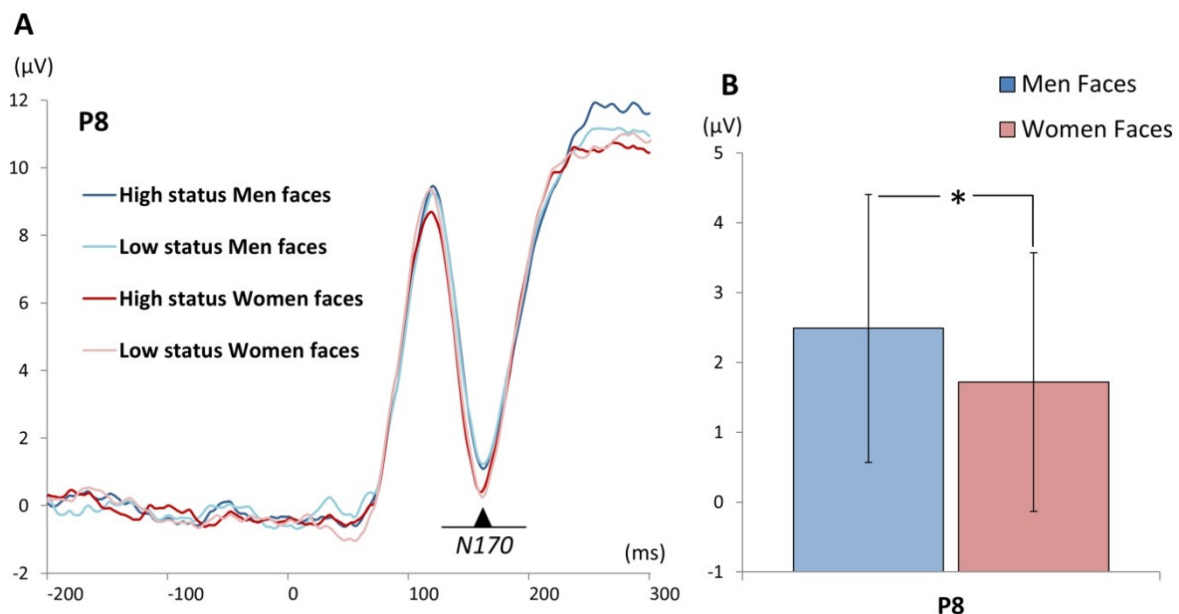


Figure 30: A) ERP waveforms of the N170 potential evoked in response to the four face's gender x face's status conditions. B) Averaged N170 amplitude in the 140-180 ms time window computed in the right parietal recording site P8.

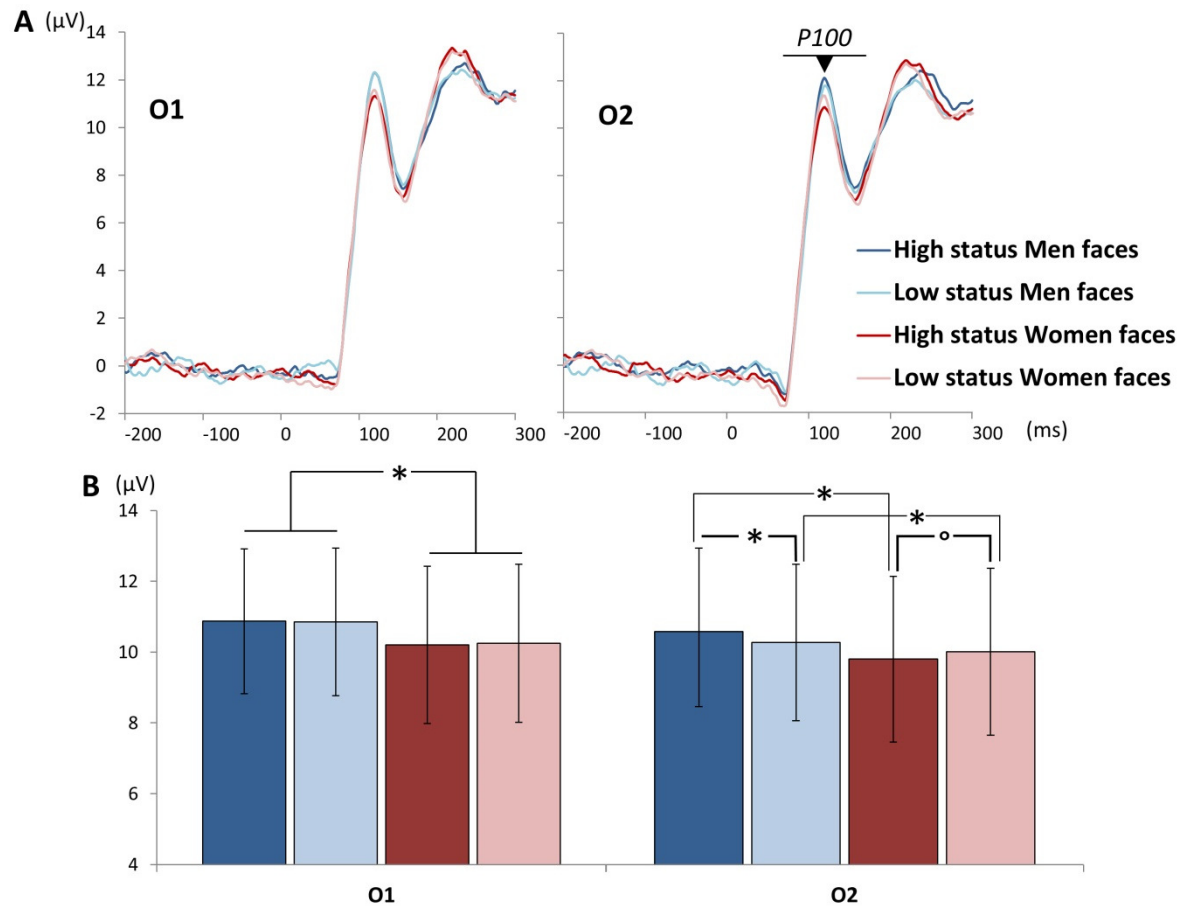


Figure 31 : A) ERP waveforms of the P100 potential evoked in response to the four face's gender x face's status conditions. B) Averaged P100 amplitude in the 100-140 ms time window computed in the two occipital sites O1 and O2.

Electrode	High-status				Low-status			
	Male face		Female face		Male face		Female face	
	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
O1	10,87	6,26	10,20	6,80	10,85	6,38	10,25	6,82
O2	10,61	7,24	9,83	7,19	10,30	6,80	10,04	7,24

Table 7: Mean ($\pm$ SE) P100 amplitude (in Microvolts; 100-140 msec) for the four face's gender x face's status conditions, as a function of the electrode (O1 and O2).

d) P300-like component

According to the graphs (presented in Figure 32, p. 146), we also observed a positive wave peaking around 320ms and demonstrating a right parieto-occipital topography. The ANOVA performed on this component revealed a main effect of caudality ($F(2,68) = 161,22$; $p < .001$) showing that the P300-like component followed a frontal < central < parietal amplitude pattern. The analysis also revealed a main effect of laterality ($F(2,68) = 39,08$; $p < .001$). As indicated by the post-hoc analysis, this potential was larger over left and right

domains, compared to midline regions ($p < 0.001$ compared to left and $p < 0.001$ compared to right). Caudality and laterality significantly interacted ($F(4,136) = 16,64$; $p < 0.001$), revealing that the laterality pattern described above was observed only on central and parietal sites. There was no main effects of participant's gender ($F(1,34) = 0,01$; $p = .90$), and face's status ($F(1,34) = 2,54$; $p = .12$), but a main effect of face's gender was observed ($F(1,34) = 8,73$; $p = .006$); indicating that male faces evoked a larger P300 than female faces. Although the graphs showed a larger peak for high-status male faces compared to the other conditions on the parietal domain at this latency, the interaction turned out to be only marginally significant (caudality x face's gender x face's status: $F(2,68) = 2,75$; $p = .07$).

e) Late Positive Potential

The second late electrophysiological response by displaying a parietal, centro-parietal topography and being sustained during the [380-680ms] interval, was related to a LPP (Figure 32, p. 146 and Figure 33, p. 148). The ANOVA conducted on the LPP mean amplitude demonstrated that this potential followed a frontal < central < parietal gradient (main effect of caudality: $F(2,68) = 129,23$; $p < .001$), and was specifically lateralized over the right hemisphere (main effect of laterality: $F(2,68) = 129,23$; $p < .001$; left vs right: $p < .001$; mid vs right: $p < .001$). The interaction between caudality and laterality ($F(4,136) = 129,23$; $p < .001$) showed that the right lateralization of LPP was the most pronounced over the central region and quasi nonexistent in the frontal region. There were no main effects of participant's gender ($F(1,34) = 0,03$; $p = .87$), of face's gender ($F(1,34) = 1,88$; $p = .18$), but we reported a marginally significant main effect of face's status over the whole scalp location selected ($F(1,34) = 3,75$; $p = .06$, LPP's amplitude associated to high-status faces: $1,24 \pm 3,55$ μV , and to low-status faces: $0,90 \pm 3,40$ μV , see Figure 33A, p. 148); suggesting that high-status faces tended to evoked larger LPP than low-status faces.

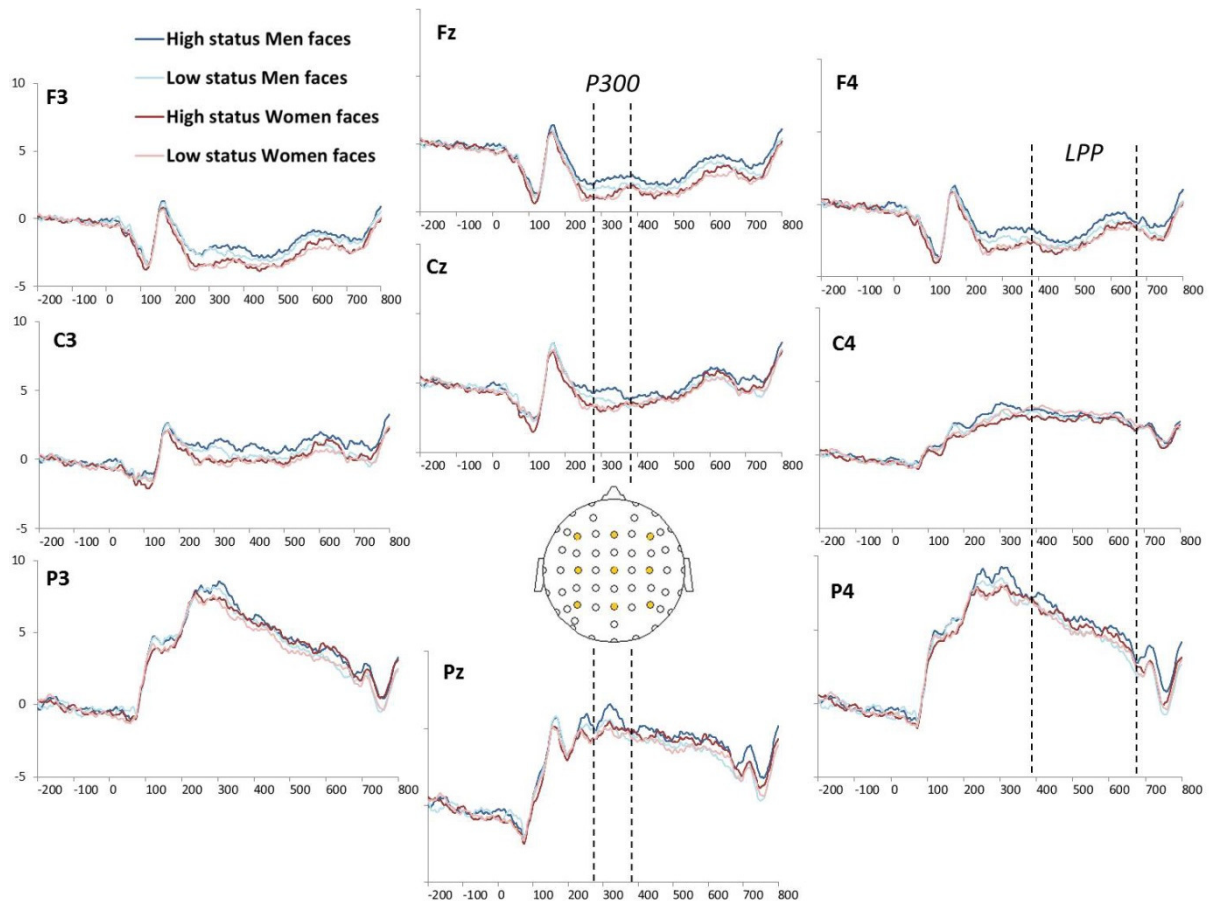


Figure 32: ERP waveforms in the four face's gender x face's status conditions, on the cluster of nine electrodes covering the frontal (F3-Fz-F4), central (C3-Cz-C4), and parietal (P3-Pz-P4) regions over the scalp. According to the graph, we defined the P300-like component on the 280-380 ms interval and the LPP on the 380-680 ms interval (represented on the graph).

Interestingly, the interaction between face's status and participant's gender ($F(1,34) = 11,67$; $p = .002$, Figure 33B, p. 148 and Figure 34A, p. 149) revealed that the effect of status on the LPP amplitude was only supported by women. Precisely, the LPP difference between high- and low-status faces for men participants was not significant ($p = .30$) while high-status faces evoked a larger LPP than low-status faces when perceived by women ($p < .001$). Moreover, this interaction arose according to a specific topography, as indicated by the quadruple interaction between face's status x participant's gender x laterality x caudality ($F(4,136) = 2,44$; $p = .05$, see Table 8, p. 149 and Figure 34B, p. 149). First, the post-hoc analysis demonstrated that the three sites in the frontal domain presented the same electrophysiological response pattern, that is, no difference in men between their LPP amplitude evoked by high- and low-status faces, while a larger LPP response for high status compared to low status faces was observed for women (left site: $p < .001$, middle site: $p < .001$, right site: $p < .001$, Figure 34B – left panel). In the central domain, we again reported the same pattern, except for the right lateralized electrode C4, where there was no difference

between the LPP response evoked by women viewing high- and low-status faces ($p = .99$) (Figure 34B – middle panel). Finally, in the parietal domain, where the LPP was the most prominent, there was no difference in men participants between the LPP evoked by high- and low-status faces in the three lateral sites (left: $p = .71$; midline: $p = .41$; right: $p = .50$). On the contrary, for women participants, LPP were larger for high-status faces compared to low-status faces in the three selected sites (left: $p < .001$, middle: $p < .001$, right: $p < .001$, Figure 34B – right panel), as observed in the frontal and central domains. We noticed that, in the frontal and central domains, men LPP's amplitude was smaller or equal to women LPP's amplitude, whereas in the parietal domain, men LPP's response was higher than women LPP's response to faces, but these differences were not significant.

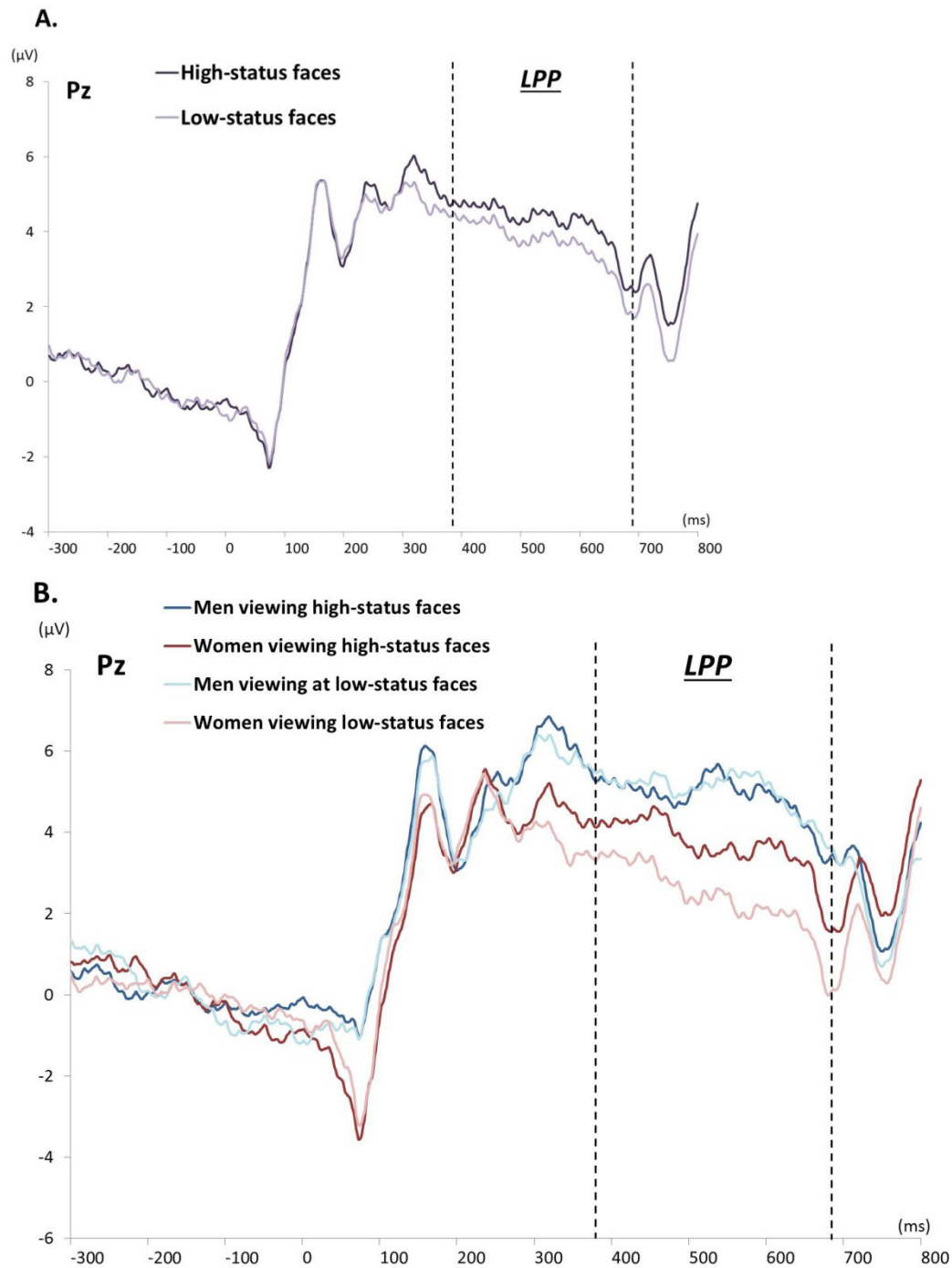


Figure 33: ERP waveforms of the LPP recorded on Pz and evoked by A) high- and low- status faces, B) the four participants' gender x faces' status conditions.

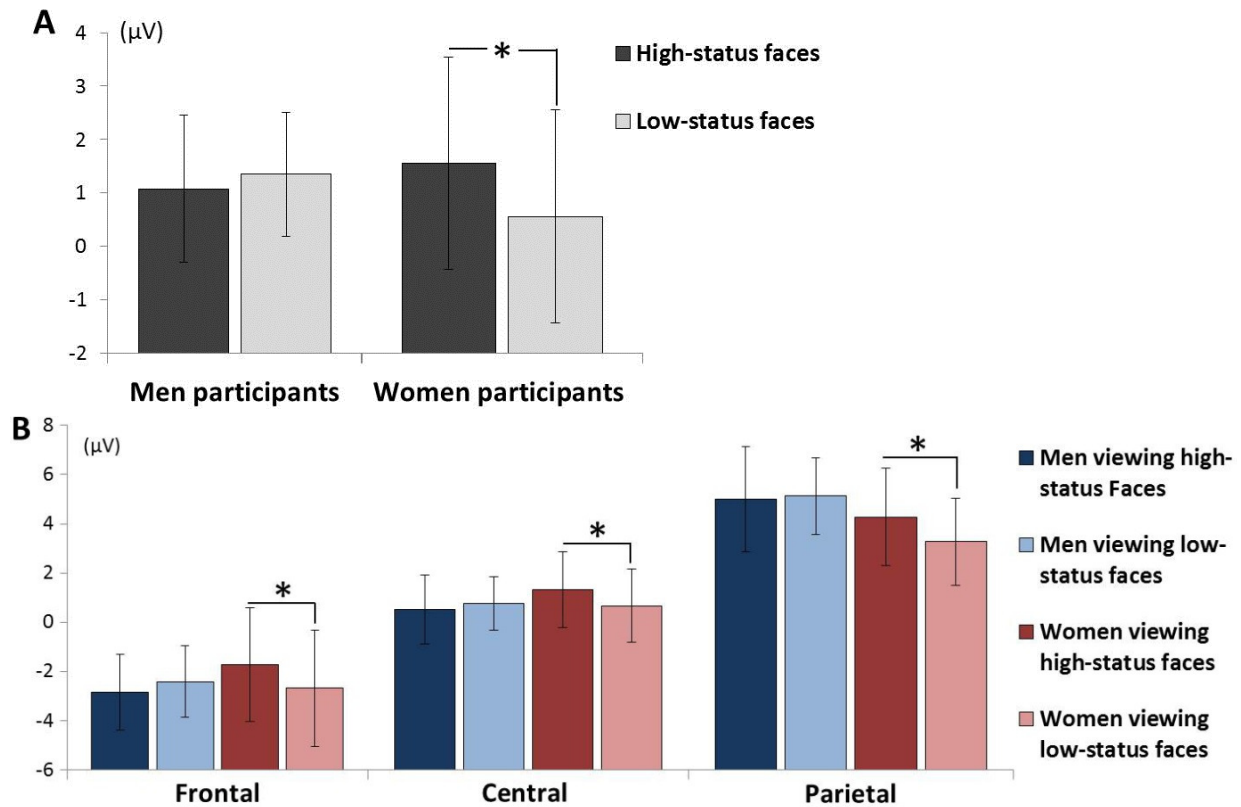


Figure 34: Averaged LPP amplitude in the 380-680ms time window computed A) over the cluster of nine electrodes (F3-Fz-F4-C3-Cz-C4-P3-Pz-P4) for men and women participants viewing high- and low-status faces and B) on the frontal (F3, Fz, F4), central (C3, Cz, C4) and parietal (P3, Pz, P4) scalp regions in the four participant's gender x face's status conditions. Significant differences ($p < 0.05$) are indicated by *.

Scalp domain	Male perceivers				Female perceivers			
	High-status faces		Low-status faces		High-status faces		Low-status faces	
	M (μV)	± SE	M (μV)	± SE	M (μV)	± SE	M (μV)	± SE
Frontal	-2,84	3,33	-2,41	3,12	-1,71	5,01	-2,67	5,12
Central	0,56	3,03	0,82	2,38	1,38	3,36	0,72	3,22
Parietal	5,07	4,64	5,20	3,39	4,34	4,32	3,32	3,86

Table 8: Mean (± SE) LPP amplitude (in Microvolts; 380-680 msec) for the four participants' gender x face's status conditions, computed in the Frontal, Central and Parietal domains.

VIII.4. Results: Faces recall phase

VIII.4.1. Behavioral data related to faces recall

On average, familiar faces were correctly remembered in $60,54 \pm 20,51$ % of the trials (Hit percent for men participants : $66,30 \pm 21,26$ %, minimum: 26,67 %, maximum: 98,33 % ; Hit percent for women participants: $53,36 \pm 18,05$ %, minimum: 22,92 %, maximum: 85,42 %). First, to investigate how familiar face's recall is influenced by social status and/or gender, we performed an ANOVA on the d' (detectability of target faces among fillers). By

including the status (2 levels) x face's gender (2 levels) x participant's gender (2 levels), we reported only a main effect of face's gender on the detectability of familiar faces ($F(1,34) = 4,98$; $p = .03$): familiar male faces were detected with more efficiency than familiar female faces. Second, we explored whether social status and/or gender modulated RTs associated to faces recall. The analysis showed no significant main effects on faces' recall RTs (status: $F(1,34) = 2,78$; $p = .10$; faces' gender: $F(1,34) = 0,02$; $p = .89$; participants' gender: $F(1,34) = 0,11$; $p = .73$).

VIII.4.2. Behavioral data related to status recall

We investigated whether status and/or gender affected the time and accuracy with which participants recalled the status of familiar faces. Participants remembered status of familiar faces in $62,04 \pm 10\%$ of the trials (Men participants: $65,56 \pm 12,01\%$ hits; Women participants: $57,64 \pm 5,30\%$ hits). The ANOVA performed on hits rates of faces' status recall (using the same 3 three factors as below) revealed only a main effect of participant's gender ($F(1,34) = 6,54$; $p = .015$): men participants were more accurate than women participants in remembering the social status of familiar faces.

Second, we analyzed the response time associated with status recall according to status and (faces' and participants') gender. All the men participants included in this analysis had less than 5% of RTs rejected trials (i.e. 6), whereas most of women participants had between 5 and 10% of their trials rejected, with one woman having 19 outliers trials. According to the ANOVA, men participants tended to be faster to recall the status of familiar faces ($F(1,34) = 3,32$; $p = .07$). There was an interaction between faces' status and participants gender ($F(1,34) = 4,27$; $p = .05$). According to the post-hoc analysis, men participants were faster than women participants remembering the status of low-status faces ($p = .02$), and women participants were marginally faster remembering the status of high-status faces compared to low-status faces ($p = .09$). We didn't observe any significant difference for men participant between high and low status faces ($p = .2$).

VIII.5. Discussion

In line with our previous study (Breton et al., 2014), the N170 amplitude was unaffected by the face's social status. Moreover, both female and male participants displayed the same N170 pattern. The N170 component is usually considered as a processing step reflecting the structural encoding of faces (Bentin et al., 1996; see Eimer, 2011 for a review), that is the configural processing of facial subcomponents (the eye, the nose, the mouth) enabling the

recognition of a visual stimulus (Rossion, 2014). Typically, experimental manipulations resulting in modifications of the N170 characteristics involve the manipulation of structural traits of the face (such as the eyes: Bentin et al., 1996; Watanabe, Kakigi, Koyama, & Kirino, 1999; Itier, Latinus, & Taylor, 2006), of its configuration and orientation (Eimer & others, 2000; Rossion et al., 2000; Anaki, Zion-Golumbic, & Bentin, 2007; Zion-Golumbic & Bentin, 2007).

More recently, scientists have investigated whether social categories modulate the N170 in order to determine whether they influence the early step of face of perception. Race (racial in-group vs. racial out-group faces), familiarity (familiar vs. stranger faces), and gender (female vs. male faces) were the main social categories used in this purpose. However, the results turned out to be inconsistent across studies. On the one hand, some researchers failed to find that social information associated with a face modulated the N170 characteristics, suggesting that social information is processed regardless of the structural encoding of the face (familiarity: Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000; Henson et al., 2003; Jemel, Calabria, Delvenne, Crommelinck, & Bruyer, 2003; Rossion et al., 1999; Schweinberger, Pickering, Burton, & Kaufmann, 2002; Schweinberger, Pickering, Jentsch, Burton, & Kaufmann, 2002; race: Caldara et al., 2003; Caldara, Rossion, Bovet, Hauert, & others, 2004; Ito, Thompson, & Cacioppo, 2004; gender: Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Mouchetant-Rostaing, Giard, Bentin, Aguera, & Pernier, 2000; Ito & Urland, 2005). On the other hand, other researchers did report that the N170 was sensitive to social cues and argued that social information is integrated as soon as the structure of the face is encoded (familiarity: Caharel et al., 2002; Caharel, Courtay, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2005; Caharel, Fiori, Bernard, Lalonde, & Rebaï, 2006; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008; Wild-Wall, Dimigen, & Sommer, 2008; gender: Freeman et al., 2010; race: Ito & Urland, 2005; Senholzi & Ito, 2012; Walker, Silvert, Hewstone, & Nobre, 2008). Considering the present results and the other few studies investigating the influence of social hierarchy on the ERP components elicited by faces, the same discrepancy arises. While in the present study and in our earlier work (Breton et al., 2014) the face-specific N170 component was not sensitive to social status, Feng et al. (2015) and Santamaria et al. (2015) did find such modulation: in both of these studies, which followed almost the same method, high-status faces elicited a larger N170 amplitude than low-status faces.

However, critical methodological decisions distinguish these two studies and ours, and may account for differences regarding the N170 face-specific component. As indicated in the introduction, Feng et al. (2015) and Santamaria et al. (2015) used a star-system to convey

status: three stars below the face indicated that the face was of high-status, and a single star indicated it was of low-status. A potential drawback of such design is that high-ranking faces were associated with more complex visual stimuli than low-ranking faces, namely three stars vs. one star. To overcome a confound between status and the number of stars, the authors, in both studies, conducted an additional control experiment in which the stars under the faces had no specific meaning, and observed no difference between three- and one-star faces on the N170 amplitude. However, we think this method does not fully overcome the confound because the stars entail different levels of contextual complexity in the hierarchy and the control experiments. In the hierarchy experiment, the stars create a context within which the face had to be processed, and in the high-status condition, the face contextually interacts with a greater number of stimuli than in the low-status condition (3 stars vs. 1 star). Hence, a more complex contextual interaction is likely to arise for 3-star faces than for 1-star faces. In contrast, in the control experiment, even though the face and the star(s) are presented together, the two kinds of stimuli remain independent from each other: the stars do not mean anything for the face and vice versa. This implies that the processing of the face does not interact with the processing of the stars and that the greater interactional complexity for 3-star faces than for 1-star faces are unlikely to arise. In Feng et al.'s study, the procedure even reinforces the disconnection between the two kinds of stimuli: participants were either asked to evaluate the number of stars regardless of the face or to identify the gender of the face regardless of the number of stars. In other words, the task encouraged to process faces alone or only stars alone. Hence, since the control experiments do not fully control for a potential influence of visual complexity of the stars, it cannot be excluded that ERP differences found between high-status faces and low-status faces are due to such complexity. In contrast, in the current experiment, when the face was presented, there was no concomitant visual marker of status that could interfere with its processing. The occupational title was always presented before the face and disappeared when the face was presented.

Another and even more problematic issue concerns the discrepancy between the two populations used in the hierarchy experiment and the control experiment by Santamaria et al. (2015). In that study the hierarchy experiment, which tests the influence of status on face processing, was carried out with a set of 22 participants that included as many female as male participants (gender-ratio: 1:1). Interestingly, the authors report a significant interaction between gender and hierarchy indicating that the effect of stars on the N170 amplitude was greater for male than for female participants. However, the control experiment, which aims at testing the null hypothesis, was conducted with a set of 20

participants (2 less than in the hierarchy experiment), which however included 4 times more female than male participants (16 vs. 4; gender-ratio: 4:1). A chi-square test indicates that the proportions of female and male participants significantly differ between the two experiments ($\chi^2(1)=4.107$, $p=.0427$). Hence, the control experiment, which was designed to remove the hierarchy factor and to keep all the other factors identical to the hierarchy experiment, did actually introduce a key difference in the sample of the participants. What is evidently highly problematic is that, on the basis of the hierarchy experiment, the amplitude of the N170 component is more sensitive to the star manipulation for male than for female participants. With four times less males than females, the control experiment was much more likely to obtain a null result than the hierarchy experiment, which contained an equal number of males and females. As a consequence, the method of the control experiment is not sound enough to overcome the confound between the number of stars and hierarchical status, which was the main purpose of that experiment. We therefore conclude that N170 effects found in the Santamaria et al.'s and Feng et al.'s experiments are not convincing enough to firmly establish an influence of hierarchy on this face-specific component.

That said, we did not deny that hierarchy can potentially influence the N170 amplitude, and we do not deny that the effects found in these two studies might actually be a consequence of the hierarchical manipulation. We simply claim that the existing evidence is not sufficiently strong to draw such a conclusion, and we will not be surprised that more convincing evidence of such modulation will soon arise in the field. We will now discuss some methodological aspects of the current experiment that might have hindered a modulation of the N170 by status. First, although the present study involves a kind of hierarchy that is highly relevant to our everyday social environment, the participants' own status was not really at stake. Participants were all undergraduate students with an undefined occupational title. They were therefore dealing with an allocentric hierarchy, one that concerns external agents, rather than a self-referential hierarchy, which involves the participant's position within the hierarchy (Farrow et al., 2011). It might be that hierarchy could penetrate early facial processing only when participant can directly compare her/his status to that of the individual he/she is seeing. For instance, with respect to familiarity, faces of personal importance for the participant (her/his own face or her/his mother's face) elicits a larger N170 amplitude than faces of people whose familiarity is based on fame (Caharel et al., 2002; 2005; 2006; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008). It would therefore be worth investigating in the future whether the self-referential hierarchies involving occupational titles are more likely to elicit an N170 modulation.

Second, although the occupational status is more deeply entrenched in everyday social life than the fictitious status resulting from competitive games, status might be harder to associate with a face than other social categories such as race, familiarity or gender, which can directly be perceived from facial physical features. The face of an individual does not immediately tell the truth about her or his social status. Appreciating that a specific face is that of a high status individual might therefore require more experience with that individual to elicit a robust face-status association. This again supports the need to investigate in future research hierarchies which are daily experienced such as those encountered in the work place.

Although we did not find any effect of status on the N170 amplitude, we did find that the N170 amplitude was larger for female than male faces. Such effect may actually reflect processing differences between female and male faces in terms of low-level physical characteristics rather than an influence of the gender social category *per se* (Freeman et al. 2010). However, it should be noted that earlier studies, which compared the N170 component elicited by male vs. female faces, did not find any significant difference (Mouchetant-Rostaing, Giard, Bentin, Aguera, & Pernier, 2000 ; Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Ito & Urland, 2005, Experience 2)³. Another explanation that goes beyond the consideration of low-level physical traits might therefore be envisioned. A critical difference between the current experiment and the studies that did not find any gender modulation of the N170 was the social context in which the task was embedded. In those studies the task required participants to distinguish male from female faces with no specific context emphasizing the social difference between these two gender categories. In contrast, in the current experiment, male and female faces were presented in a heavily social context, which was highly relevant to gender since men and women often differ in terms of occupational status and more generally differ in terms of high- vs. low-status. Before each face the participant saw a social cue which, by referring to status and occupation, was likely to activate gender stereotypes. Such procedure may have therefore fostered, to a greater extent than in previous studies, the very social distinction between men and women. In other words, in previous studies the male vs. female opposition might have been more likely to be viewed as a *sex* distinction, based on biological differences, while in our study it might have been more likely to be viewed as a *gender* distinction based on different social constructs. Interestingly, the emergence of N170 effects by the experimental activation of social

³ The only study that reports a gender effect is one that compares male and female sex-typical faces to male and female sex-atypical faces (i.e. more androgynous faces).

information and social stereotypes has been previously observed in the case of race by Ito & Urland (2005, Experiment 1). While they did not find any race effect on the N170 in a non-social categorization task they did find such an effect when the task had a social categorization goal. However, as already indicated, the explanation suggesting a social influence of gender on the N170 amplitude, should obviously be considered with caution because the two types of stimuli not only differ in terms of social constructs but also differ in terms of low-level physical features.

Finally, we did observe an influence of status on the LPP in the 380-680 time-window. High-status faces elicited a larger LPP amplitude than low-status faces. This finding replicates what we previously observed in a study in which status resulted from the performance obtained in a competitive game (Breton et al., 2014). Hence, in these two studies the encoding of social status arises separately and after the encoding of the structural features of the faces, which is indexed by the N170. It is also worth noting that the LPP effect was also observed by Feng et al. (2015) who used star-system approach. More generally, LPPs are widely observed in the field of social categorization (familiarity, race and gender). The LPP evoked by familiar faces has been considered to reflect activation of semantic and personal identity representations (Eimer, 2000a; Paller, Gonsalves, Grabowecky, Bozic, & Yamada, 2000; Schweinberger, Pickering, Burton, et al., 2002), while those elicited by race and gender have been interpreted as the cognitive assessment of face and category-related information (Ito & Urland, 2003; Walker et al., 2008) or as the manifestation of evaluative social judgments (Ito et al., 2004). In the current study the greater LPP observed for high- than low-status faces could reflect greater investment of cognitive resources allocated to the former than to the latter (see also Breton et al., 2014). Due to their potential greater impact in social life, high-status individuals are more likely to be monitored than low-status individuals. In line with this view, behavioral studies show that high-status individuals receive more attention and are better remembered than low-status individuals (Maner et al., 2008; Foulsham et al., 2010; Ratcliff et al., 2011).

However, the striking point in the results we reported here is that only female participants did show a hierarchy-related LPP effect. In contrast, in our previous study (Breton et al., 2014); the LPP difference was obtained with male participants as only males were included in the experiment. This suggests that the sensitivity to a high-status vs. a low-status cue might interact with participants' gender and the type of hierarchy involved. A potential account of the gender effect reported here might result from differences in task involvement. Behavioral results showed that women were faster than men at categorizing

faces' status during the association learning phase. During this phase, participants were explicitly told to focus on the label preceding the face (indicating its status and gender), as well as on the face itself. The higher performance of women suggests a greater attentional investment on task's requirements in general and they were more attuned to hierarchical dimension of the task

Another argument in line with this interpretation stems from the N70 pattern showing that the amplitude of that component was larger for women participants than for men participants (the N70 was almost absent for men). It has already been established that the N70 reflects the very first step of human visual processing in the primary cortex V1 (Saint-Amour, Saron, Schroeder, & Foxe, 2005). Earlier studies have also demonstrated that the N70 amplitude is influenced by attentional allocation (Eimer & Forster, 2003; Santos, Iglesias, Olivares, & Young, 2008; Zani & Proverbio, 2012). When participants sustain their attention to a particular stimulus or attend to a specific location in the visual field, the N70 amplitude increases (Eimer & Forster, 2003). This early neural response observed only in women suggests that, as compared to men, they allocated more attention to the task requirements. In conclusion, we believe that the modulation of the LPP amplitude according to faces' status found for women might reflect a differential gender-based engagement in the task rather than a differential gender-based sensitivity to social status *per se*. Further work would obviously need to be performed in order to fully disentangle this issue.

*
* *

Chapitre IX. Préliminaire - Etude 4

La valence motivationnelle de visages contextualisés dans une situation de compétition.

Ce chapitre décrit une expérience préliminaire réalisée pour déterminer si un signal hiérarchique est associé à une valence motivationnelle non neutre. Cette étude reprend le paradigme de contextualisation hiérarchique de **l'Etude 1** (Chapitre V, p. 70) : le rang hiérarchique, des participants et d'autres joueurs (fictifs), était établi dans le contexte d'une compétition. Par des enregistrements de la conductance électrodermale (EDA), j'ai tenté de révéler des variations de l'activité du système nerveux autonome en réponse à des visages associés à des rangs hiérarchiques différents. L'hypothèse était que les visages de rang élevé seraient plus pertinents d'un point de vue motivationnel que les visages de rang moyen ou plus faible, et déclencheraient des réponses électrodermales de plus grande amplitude et/ou en plus grand nombre.

Cette expérience préliminaire a été menée sur une population de trente-sept participants masculins (âge moyen = 22,42 ans $\pm$ 2,61 SD, médiane = 21,85 ans), français, droitiers et sans trouble neurologique particulier. Comme dans l'Etude 1, cette expérience était divisée en plusieurs blocs, chacun organisé en trois phases. La phase de **compétition (phase 1)** permettait de contextualiser des visages dans une hiérarchie à trois niveaux (meilleur, moyen, moins bon). Pendant cette phase, les participants étaient classés par rapport à d'autres joueurs selon leurs performances dans des jeux. La phase de **restitution du classement (phase 2)** permettait de s'assurer que le participant avait appris correctement le classement. Pendant la phase de **catégorisation du rang des visages (phase 3)**, les visages des compétiteurs de rangs hiérarchiques différents étaient présentés au participant. Les enregistrements d'intérêt de l'EDA étaient effectués pendant cette dernière phase. Ce courant était recueilli grâce à deux électrodes disposées sur la paume de la main gauche des participants. Les données ont été enregistrées en utilisant le système d'acquisition Biopac MP 36R (Biopac Systems, Inc) contrôlé par le logiciel AcqKnowledge®, à une fréquence d'échantillonnage de 500 Hz. Les réponses électrodermales évoquées spécifiquement (SSCRs) par la perception des visages ont été extraites de ce signal. Les analyses portaient sur le nombre de SSCR et sur leur amplitude en fonction du rang du visage et du rang du

participant. Les comparaisons statistiques n'ont révélé aucun effet significatif, ni du rang hiérarchique du visage, ni du rang du participant, sur ces deux paramètres. Lorsque le rang hiérarchique est induit seulement par le contexte, il n'influencerait pas la réponse électrodermale.

A première vue, cette absence de modulation de l'EDA par la hiérarchie laissait penser que, chez l'humain, un rang hiérarchique n'était pas associé à une valence motivationnelle particulière. Certains travaux rapportent pourtant que la réponse électrodermale varie en fonction de certains paramètres de catégorisation sociale, comme le genre ou le groupe ethnique des personnes observées (Vrana & Rollock, 1998; Brown, Bradley, & Lang, 2006). Comme dans notre expérience, Brown et al. (2006) ont enregistré l'activité électrodermale pendant la présentation de photographies d'individus, mais Vrana & Rollock (1998) ont réalisé les enregistrements pendant que le participant interagissait avec des acteurs de genre et d'origine ethnique différentes. Il est alors possible que notre procédure expérimentale n'ait pas été assez écologique pour déclencher chez le participant des réactions au niveau physiologique. D'autant plus que les photographies utilisées dans notre étude ne portaient aucun indice externe de hiérarchie. Alors, créer un contexte plus engageant pour le participant, comme par exemple une situation d'interaction avec une personne réelle, pourrait peut-être favoriser l'observation d'un effet de la hiérarchie sur la SCR. De plus, dans cette expérience préliminaire, le rang des visages et du participant était déterminé selon leurs performances dans des jeux compétitifs. Un classement établi dans un jeu est transitoire, fictif et ne vaut que dans ce contexte précis. Les participants avaient conscience que leur rang dans le jeu ne représentait pas leur position sociale dans la vie réelle. Par exemple, les professions sont des indices de hiérarchie plus stables et beaucoup plus ancrés dans la vie quotidienne. L'utilisation du statut socio-professionnel, plus écologique pour le participant, pour contextualiser les visages aurait peut-être été plus susceptible d'induire un effet de la hiérarchie sur la réponse électrodermale.

J'ai donc proposé une nouvelle expérience, en collaboration avec Laurent Cordonnier, pour étudier l'influence de la hiérarchie sur les réponses physiologiques chez l'humain. Cette expérience présentait deux modifications majeures par rapport à la précédente. D'une part, les participants étaient placés dans une situation d'interaction réelle avec un acteur, et d'autre part, les catégories professionnelles étaient utilisées pour générer un contexte hiérarchique. Ainsi, pour induire le statut de l'acteur, nous avons choisi deux professions médicales qui différaient largement en termes de salaire, de parcours académique et de prestige social (Album & Westin, 2008). L'acteur était présenté au participant soit en tant

que neurochirurgien (haut-statut social), soit en tant qu'aide-soignant (bas-statut social). D'après les procédures utilisées par Kleinke & Williams (1994) et Vrana & Rollock (1998), nous avons segmenté l'interaction en plusieurs phases distinctes : l'acteur se présentait au participant (phase 1), il s'approchait de lui (phase 2), il avait un contact physique bref avec lui (phase 3) puis se levait et partait (phase 4). L'ensemble de l'interaction était contrôlée entre les deux conditions hiérarchiques, et le statut de l'acteur était manipulé uniquement par sa tenue vestimentaire et par le nom du métier qu'il donnait lorsqu'il se présentait au participant. Pour caractériser plus finement la réactivité du système nerveux autonome dans un contexte hiérarchique, nous avons enregistré à la fois la conductance électrodermale des participants pendant la durée de l'interaction, et également leur rythme cardiaque. Il a déjà été montré que ce paramètre est sensible à certaines dimensions hiérarchiques (voir section I.4.3, p. 22).

*
* *

Chapitre X. Etude 4

Réactions physiologiques à une asymétrie hiérarchique en situation d'interaction réelle

Experiencing other's status: A psychophysiological investigation.

Laurent Cordonnier & Audrey Breton, Emmanuel Trouche, and Jean-Baptiste Van der Henst.

X.1. Introduction

Social primates live in hierarchically structured groups wherein some individuals are in an advantageous position with respect to others. Those individuals may control more resources, exert greater power or enjoy greater prestige. In humans, hierarchies are found even amongst the most egalitarian hunter-gatherer societies (Boehm, 1999) and linear dominance hierarchies spontaneously emerge in groups of preschoolers as young as two (Strayer & Strayer, 1976; Boyce, 2004b). Living in an asymmetrical social world comes with critical consequences for individuals. Insofar as they monopolize reproductive and survival resources, high-ranking individuals tend to benefit from higher reproductive success, especially when resource access is scarce (Cowlshaw & Dunbar, 1991; Ellis, 1995b; Majolo et al., 2012). Correlations between hierarchical rank and reproductive success are not only observed in non-human social animals, but also in hunter-gatherer societies, and even in homogeneous groups from Western post-industrial societies (Kanazawa, 2003; Fieder et al., 2005b; Hopcroft, 2006). Moreover, people of high socioeconomic status (SES) enjoy better health than their lower SES counterparts, and are especially less vulnerable to stress, cardiovascular disease and hypertension (Sapolsky, 2004; 2005; Wilkinson & Pickett, 2006; Elo, 2009).

As hierarchy exerts a recurring pressure on individuals, ethologists and evolutionary psychologists argue that natural selection favors psychological and physiological mechanisms well-attuned to social stratification (Ellis, 1995b; Henrich & Gil-White, 2001; Cummins, 2005). These include cognitive processes enabling the identification of others' rank, motivational processes leading to maintain and enhance one's own rank, and autonomic psychophysiological reactions that induce to act efficiently in hierarchical

environments. Previous research has shown that such processes are targeted towards the top of the hierarchy, thus revealing that more resources are invested in upper ranks. More specifically, cognitive studies have reported that high-status individuals receive more attention (Maner et al., 2008; Foulsham et al., 2010), are better remembered (Ratcliff et al., 2011), and influence more the allocation of cognitive resources of their observers (Jones, DeBruine, Main, Little, Welling, Feinberg & Tiddeman, 2010; Dalmaso et al., 2012; 2014). At a motivational level, cross-cultural and cross-gender investigations show that human beings universally favor situations offering higher status position and are very vigilant to threats to status (Anderson et al., 2015). Moreover, even at preschool ages, children show concerns for status, as they tend to systematically overestimate their dominance rank (Edelman & Omark, 1973; Strayer, Chapeskie & Strayer, 1978) and find dominant peers to be attractive social partners (Hawley, 1999). Viewing high-ranking individuals is also a source of motivation for non-human primates. For instance, male Rhesus macaques “pay”, by sacrificing some valuable reward, in order to view the faces of dominant conspecifics (Deaner, Khera & Platt, 2005).

High-ranking individuals also seem to be more emotionally striking than others. For instance, when individuals are asked to imagine themselves interacting with authority figures, they report intensified emotional arousal as compared to interacting with peers (Vrana & Rollock, 1996). In particular, they report more positive emotions in positive situations and more negative emotions in negative situations. The greater emotional arousal elicited by high-ranking individuals can also be more directly captured by measuring responses of the autonomic nervous system (ANS). Several studies using such methodology focused on dominance, a form of relationship that necessarily involves social tension. Indeed, dominance relations result from antagonistic interactions wherein one individual, the dominant, fulfills his goal (e.g. competing over a scarce resource) at the expense of the other individual, the subordinate. These conflictual interactions may lead to physical agonism, and the reinforcement of dominance often relies on intimidation, threat or even aggression. In many species, being approached by a dominant can thus be a quite threatening experience. Past researches with human and non-human primates have shown that encountering a dominant or coping with a dominant behavior enhances cardiovascular reactivity. For instance, Aureli et al. (1999) observed that heart rate of two female Rhesus macaques steadily increased when dominant individuals approached them. Moreover, in discussion tasks involving dyads of opposite-sex partners, it has been found that for women, systolic blood pressure correlated with the dominance behavior (e.g. interrupting, dominating the flow of conversation) of their male partners (Newton & Bane, 2001). Similarly, when

participants had to deal with experimenters' confederates adopting an assertive and confident stance, they showed an increased systolic blood pressure as compared to dealing with deferential and unconfident confederates (Mendelson, Thurston & Kubzansky, 2008).

Another, more human-specific dimension of hierarchy is social status. In contrast with dominance, status does not result from confrontation or strength displays. Rather than being imposed, it is accorded by others or by institutions and may involve respect, prestige or leadership (Henrich & Gil-White, 2001; Magee & Galinsky, 2008). A recent research in which status was operationalized by wealth has shown that cardiovascular reactivity is sensitive to subjective financial status (Cloutier, Norman & Berntson, 2013). In particular, participants with high subjective financial status exhibited a decrease in parasympathetic cardiac control when viewing the face picture of a potential interlocutor with higher financial status, a result which was interpreted as a reaction to potential threat; on the contrary, when viewing faces of lower or equal status interlocutors, participants exhibited a disengagement of sympathetic cardiac responses, which was interpreted as a sign of higher confidence. However, financial status is only one of the components of social status, which can be operationalized in a much broader way by focusing on occupational status. Occupational status encompasses not only the amount of resources one can benefit from; it is also an indicator of educational and intellectual achievement. Moreover, high occupational status usually carries prestige and commands respect (Berger, Cohen & Zelditch, 1972; Berger & Fişek, 2006). Some early studies proposed that interacting with an individual of high-occupational status causes an increase of heart rate and blood pressure (Kleinke & Williams, 1994; Long, Lynch, Machiran, Thomas & Malinow, 1982). However, in those studies, status was confounded with social distance: while the high-status confederate who interacted with the participants was dressed in a more formal way than them (Kleinke & Williams, 1994; Long et al., 1982) and adopted a formal, and thus distant stance during the interaction (Long et al., 1982), the lower status confederate adopted a less formal stance and was dressed in a casual way, much like the participants.

The aim of the current study is to further assess the impact of occupational status on the ANS during social interactions. In order to do so, we set up a brief encounter between each participant of the experiment and a confederate deceitfully introduced to him as having either a high or a low occupational status. To manipulate the confederate's occupational status, we chose two medical professions differing widely in terms of income level, educational attainment, and social prestige (according to Albin & Westin (2008)). The confederate was thus introduced as either a neurosurgeon (i.e. high occupational status) or a

nurse aide (i.e. low occupational status). The interaction between the participants and the confederate encompassed typical phases of a real encounter, that is, the introduction of the confederate, an approach phase, a proximal interaction characterized by a body contact, and the confederate's departure. The participants' heart rate (HR) and electrodermal activity (EDA) were recorded during the whole interaction.

From a methodological viewpoint, our study extends earlier work in three ways. First, HR and EDA are known to be accurate physiological indicators of emotional responses, with increases reflecting general arousal states (Lang, 1994; Mauss & Robinson, 2009). While HR is classically monitored in studies assessing the ANS reactivity to dominance or status, EDA is usually ignored. Yet monitoring HR and EDA together would allow to better specify the ANS response to status. It is indeed known that an increase in EDA along with a decrease in HR characterize the response pattern to environmental stimuli demanding attention, whereas an increase in both HR and EDA characterizes preparation for action in an stressful and highly arousing situation (Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001; Lacey, 1967; Wilhelm, Kochar, Roth & Gross, 2001). Second, in order to avoid a confound between social status and social distance, as it was the case in previous studies (i.e. Kleinke & Williams, 1994; Long et al. 1982), the confederate in the current experiment was equally distant from the participants in the high- and in the low-status conditions. Not only he displayed the same degree of formality when communicating with them but he also wore white medical clothing in both conditions. Third, a social interaction does not unfold in a uniform and linear way. It is typically made of distinct phases that are likely to result in different reactions (see Bradley et al., 2001). For instance, beginning an interaction with a threatening individual may be more stressful than terminating it. Past research overlooked the dynamics of interactions with high- vs. low-status individuals. In the current study we aimed at investigating the phases during which interacting with a high- or low-status individual may lead to similar or distinct ANS responses.

We expected that during the most engaging interaction phases of the current experiment, i.e. during the approach and the contact phases, participants who thought to interact with a neurosurgeon would display greater HR and/or EDA reactions than the participants who thought to interact with a nurse aide.

X.2. Material and Methods

X.2.1. Participants

Thirty-six right-handed male subjects were recruited in this study (mean age = 24.46, $SD = 1.95$, median = 23.62 years). All participants were undergraduate French students with similar academic backgrounds and levels. By definition, these students did not yet reached a defined occupational status. None of the participants declared having psychiatric or neurological history. We chose to test only male subjects interacting with a male confederate, since females and males are reported to display different sensitivity to hierarchy (Niederle & Vesterlund, 2007) as well as different psychophysiological reaction patterns to social interactions (Newton, Bane, Flores, & Greenfield, 1999; Newton & Bane, 2001; Newton, Watters, Philhower, & Weigel, 2005). Participants were randomly confronted to a confederate playing either the high occupational status role (18 participants; mean age = 23.2 years $\pm$ 2.0 SD) or the low occupational status role (18 participants; mean age = 25.1 years $\pm$ 3.6 SD). There was no difference between these two groups in terms of age (t -test; $p = .21$). Participants gave their informed consent to participate in this research and received financial compensation after the experiment. All participants completed the experiment at the same research lab in a major city in France.

X.2.2. Experimenters' confederates

We recruited two French male confederates (44 and 40 y/o) to interact with the participants of the study. Each confederate played the same number of times the high and the low occupational status role (6 times each role for Confederate 1, and 12 times each role for Confederate 2), and each participant was confronted to only one of the two confederates (see procedure section). Both confederates were naive regarding the purpose of the study, and none of the participants reported knowing the confederate with whom they interacted during the experiment.

Two medical titles were used as label to confer fake occupational status to the confederates: neurosurgeon for the high occupational status and nurse aide for the low occupational status. According to hospitals dress code policy, the confederates wore a white coat when they were playing the neurosurgeon role and a medical white shirt when they were playing the nurse aide role. Professional title and corresponding medical clothing were the two only variables manipulated to convey status. The confederates were duly instructed and trained to behave in a same and consistent way across sessions, independently of the

role they were playing. In both the high- and the low-status conditions, they interacted with the participants in a courteous and respectful manner.

X.2.3. Procedure and design

Participants were tested individually in a quiet room. Upon his arrival to the lab, a male investigator informed the participant that he was taking part in a study on psychophysiological responses to social interactions. After signing the consent form, the participant was invited to seat in a comfortable chair behind a desk in front of a computer screen while the investigator settled the sensors of the physiological measuring devices on his hand (see Physiological recordings section).

Next, the investigator told the participant that this study was conducted in collaboration with a hospital research team. The participant was then informed that before the experiment could begin, one member of the hospital research team would come to control the physiological measurement devices he was equipped with. More precisely, the investigator told the participant that “Either the Doctor Wibaux, a neurosurgeon, or Erwan, a nurse aide, will come in few minutes, before the beginning of the experiment, to ensure that the system is operating correctly.” The investigator also told the participant that he would receive all the instructions about the (alleged) coming experiment after this (pretended) check. The participant was then asked to stay still and relax while waiting for the neurosurgeon or the nurse aide. The waiting time lasted fifteen minutes and was used to record the participant’s physiological signal baseline. During all the experiment, the investigator stayed in the room but was masked behind an opaque partition.

The participant then encountered a confederate playing either the low or the high occupational status role. Half of the participants interacted with the “nurse aide” and the other half with the “neurosurgeon”. The interaction was divided into four different phases: the confederate’s entrance (1), approach (2), contact (3) and departure (4). For each session, the investigator coded online the beginning of each phase of the interaction. During the first phase, the confederate entered into the experimental room through a door facing the participant and introduced himself by giving his name and medical title. The confederate then approached the participant (phase 2) and seated next to him. During the following proximal interaction, the confederate pretended to control the physiological measuring devices, asking the participant to look at a fixation cross on a computer screen and to relax. While inviting the participant to relax, the confederate touched him by placing his right hand on the participant’s left shoulder during five seconds (phase 3). He then stayed silently

beside him for ten additional seconds, watching a monitor. Finally, during the departure phase (4), the confederate rose from his chair, telling the participant that everything was working properly and that the experimenter would soon give him instructions about the (alleged) coming experiment. The confederate then left the room.

A few minutes after the confederate's departure, the participant was informed that the experiment was actually completed. The investigator then debriefed the participant, explaining to him the exact purpose and setting of the experiment. Finally, the participant was asked to re-sign the consent form, giving thereby its approval for exploiting his data.

X.2.4. Physiological recordings

Skin electrical conductivity and blood pulses were recorded online during the whole interaction. Blood pulses were collected using a photoplethysmograph transducer. This approach is based on refraction properties of light depending on the blood volume in vessels. The device was attached to the left index finger with a Velcro patch. In addition, skin conductance was collected using two Ag/AgCl disposable snap electrodes filled with electrolytes paste (gel contact cavity: 11 mm dia). The two patches were disposed on the participant's left palmar surfaces, in the thenar and hypothenar eminences of the hand. Room temperature was maintained constant across participants. Data acquisition was performed using MP 36R Biopac system (Biopac Systems, Inc) and controlled by the AcqKnowledge® software, at a sampling rate of 500 Hz. Raw electrodermal signal was low-pass filtered online at 35 Hz, following the presets of AcqKnowledge®. No supplementary filter was applied on data to allow monitoring sustained drifts in the skin conductance level.

X.2.5. Data Reduction

First, Heart Rate (HR) was estimated by calculating blood cycles frequency over the whole interaction period. Then, we averaged HR values for each interaction phase on a 5 sec epoch, starting at the phase onset. As a baseline, we used a 30 seconds epoch ending 3 seconds before the confederate entered in the room and we subtracted it to the mean HR values. Second, we examined the tonic component of the electrodermal signal (Skin Conductance Level – SCL). Data were first high-pass filtered at 0.05 Hz. To characterize changes in SCL over time, we applied the same procedure as for HR. We computed SCL for each interaction phase by following the same epoch definitions and baseline time-window. On the other hand, we extracted phasic SCRs from the raw activity using AcqKnowledge®

programmed functions. We first derived the phasic part of the SCL signal. Then, according to the threshold proposed in the Handbook of Psychophysiology (Cacioppo et al., 2007)(Cacioppo, Tassinary & Berntson, 2007), we defined a SCR as a phasic increase in conductance higher than $0.02 \mu\text{Siemens}$. Finally, we performed an event-related analysis to isolate Specific SCR (SSCRs): a SCR was considered to be specifically elicited by an event when it occurred between 1 and 4 seconds after this event onset.

X.3. Results

X.3.1. Heart rate

In order to characterize the time-course of the HR during the interaction, we computed an ANOVA using the interaction's phase (4 levels: entrance / approach / contact / departure) as within-subject factor, and confederate's social status (2 levels: high vs. low) as between-subject factor. The analysis revealed no main effect of the interaction's phase ($F(1,34) = 0,22$; $p = .88$) and no main effect of the confederate's status ($F(1,34) = 0,25$; $p = .62$). However, a significant interaction between these two factors was found ($F(3,102) = 2,96$; $p = .036$; see Figure 35, p.168). A Fischer Low Significant Difference (LSD) post-hoc analysis indicated that during the approach phase, the participants' HR was significantly higher when they were confronted to the high- than to the low-status confederate ($p = .007$). When facing the nurse aide, a significant HR decrease was observed between the entrance and the approach ($p = .028$), but not between others interaction's phases. When confronted to the neurosurgeon, participants' HR was marginally higher during the approach phase compared to the entrance ($p = .079$), the contact ($p = .064$) and the departure ($p = .17$) phases.

To better specify the aforementioned variations of the participants' cardiac frequency dependent on the confederate's status, we compared each data point in the two status conditions with the null value to examine absolute changes of the HR over time. Using t-test comparisons against a standard, the only significant participants' HR change compared to the baseline we observed was in the high-status interaction context, when the neurosurgeon was approaching the participants (entrance: $p = .50$ / approach: $p = .04$ / contact: $p = .42$ / departure: $p = .62$). In the low-status interaction condition, no HR variation was significantly different from the baseline (entrance: $p = .29$ / approach: $p = .25$ / contact: $p = .88$ / departure: $p = .90$) (Figure 35, p.168).

Finally, using non-parametrical statistics we investigated whether the HR recorded in the 4 interaction phases differed according to the confederate. We used a non-parametrical Kruskal Wallis ANOVA including interaction's phases (4 levels) as within subject factor and confederates (2 levels) as between-subject factor. According to the analysis, the confederate had an effect on HR, but only during the departure phase ($H(1,36) = 7,03$; $p = .008$). As we did not report a confederate's effect at any other phase of the interaction (Entrance: $p = .25$; Contact: $p = .69$), and especially during the approach ($p = .76$), we excluded the hypothesis that the participants' HR increase we observed during the approach phase in the high-status condition was due to the confederate per se instead of the occupational status he conveyed.

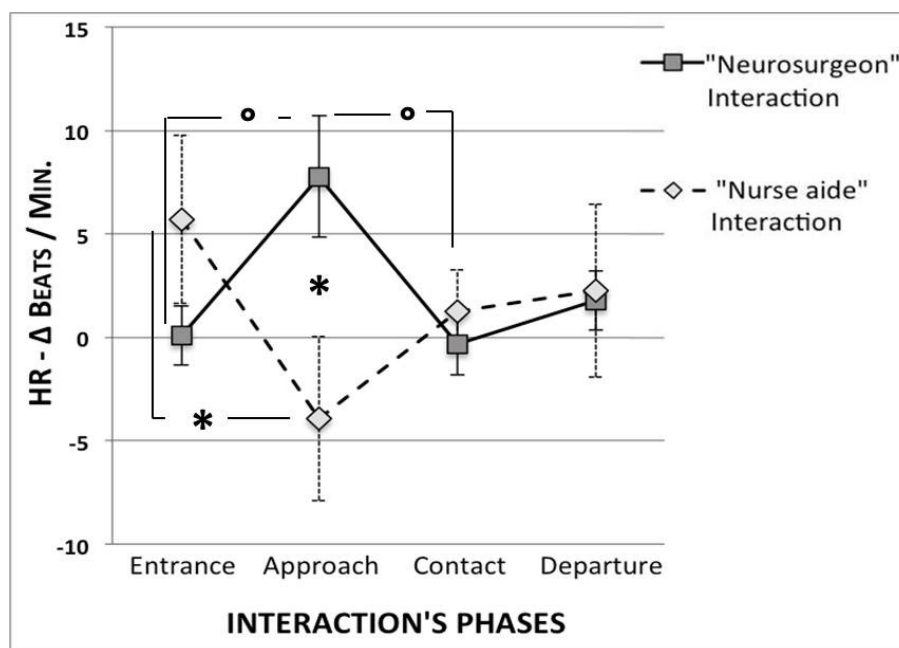


Figure 35: Temporal dynamics of HR variations compared to the baseline (in beat per minute) during the interaction with the “neurosurgeon” (dark-gray) and the “nurse-aide” (light-gray). * indicates significant differences and ° indicates a marginal effect.

X.3.2. Electrodermal activity

Using the same within and between-subjects factors, we conducted a second ANOVA to determine whether the mean SCL, as a tonic, sustained physiological response was sensitive to the confederate's occupational status and/or to the phases of the interaction. The analysis showed that the confederate's occupational status had no main effect on SCL ($F(1,34) = 0,01$; $p = .92$).

In contrast, we did report a main effect of interaction's phases ($F(3,102) = 9,87$; $p < .001$; see Figure 36, p. 169). As indicated by post-hoc results, the skin conductance exhibited a gradual increase throughout the interaction. At the entrance, the SCL was lower than at

any other phase ($p = .005$ compared to the approach, $p < .001$ compared to the contact, and $p < .001$ compared to the departure). At the approach, SCL was marginally lower than at the contact event ($p = .08$) and lower than at the departure phase ($p = .05$). Participants' SCL rose from the confederate's entrance to the contact phase and then reached a plateau, as there was no difference between SCL measured during the contact and the departure phase ($p = .84$) (see Figure 36, p. 169). There was no interaction between confederate's status and interaction's phases ($F(1,34) = 0,01$; $p = .92$).

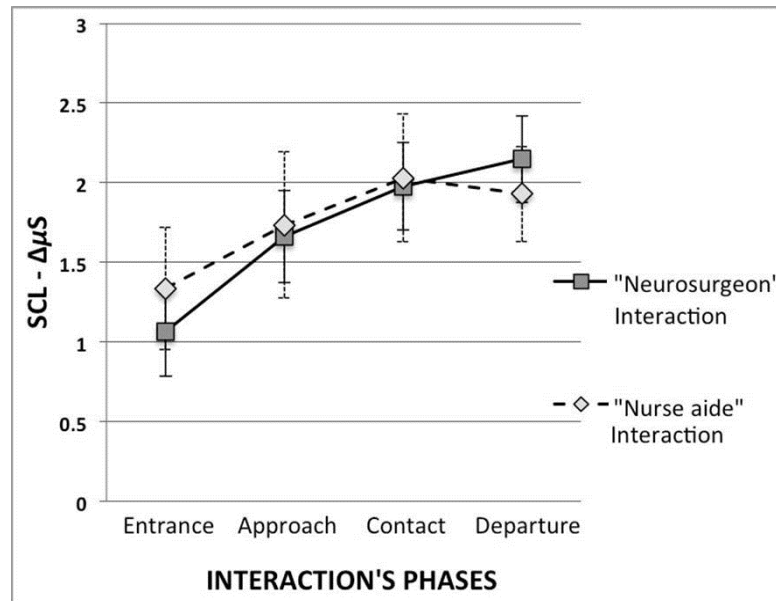


Figure 36: Temporal dynamics of SCL variations compared to the baseline (in $\mu\text{Siemens}$) during the interaction with the “neurosurgeon” (dark-gray) and the “nurse-aide” (light-gray).

X.3.3. SSCRs

We finally examined the phasic part of the electrodermal activity by considering the number of evoked SCRs depending on social status. We focused on two critical interaction's phases: the approach (2) and the touch event (3). During the approach, only 2 participants demonstrated a specific SCR when seeing the low-status interactor, while 6 of them showed a SSCR when the high-status interactor was approaching. In contrast, during the proximal interaction, more than one third of the participants (14 among 18, i.e. 78%) displayed a SSCR when touched by the low-status interactor, whereas half of participants (9 among 18, i.e. 50%) elicited a SSCR in response to the high-status interactor's touch. Although there was an apparent difference between these two distributions, interactor's status had no significant effect on the SSCRs number evoked by the touch ($M = 50\%$; $M = 78\%$; fishers exact, $p = .16$; $OR=3.4$).

X.4. Discussion

The aim of the current study was to determine how *occupational status* influences participants' heart rate (HR) and electrodermal activity (EDA), during phases of an elementary social interaction. In contrast with earlier studies, i) the high- and low-status confederate were equally distant from the participant displaying the same degree of formality in communication and attire, and ii) we investigated the dynamic of ANS responses by looking at each phase of the minimal interaction.

First, the results indicated that participants' HR was differentially modulated according to confederate's status and interaction phases. While participants in the *nurse aide* condition did not show any HR modulation, participants in the *neurosurgeon* condition demonstrated an HR increase when they approached by the confederate, and then an HR decrease at the contact phase. These findings suggest that HR, as a low-level, automatic physiological reaction, was sensitive to the social status of others. This is in line with earlier findings reporting that an interaction with individuals of high-occupational status causes an increase of heart rate and blood pressure (Long et al., 1982; Kleinke & Williams, 1994). However, in contrast with these studies, we controlled the degree of formality in the two critical conditions, ensuring us to avoid a possible major confound between social distance and status. Hence, this study provides the first empirical evidence that social status induced by *occupational* title only is sufficient to influence parasympathetic control.

In human and non-human primates, comparable HR increases have been reported mainly in the context of dominance interactions (Aureli et al., 1999; Newton & Bane, 2001; Mendelson et al., 2008). This cardiovascular reaction was interpreted as a physiological marker of stress in response to threatening social situations. Threat response can be induced by a multitude of cues, from a very simple perceptual signal, such as sharp tones, flashing lights (Elliot, Payen, Brisswalter, Cury, & Thayer, 2011) to the appraisal of social relationships, such as dealing with a high-rank person. Given the evolutionary importance of threat detection and adaptation, many authors supported the view that this cardiovascular reaction serves to mobilize biological resources for further rapid reactions. When the environment is novel and/or uncertain, this "default" excitatory response would ensure automatic preparation for action; a mechanism well-known as the "fight or flight" reaction (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001; Herry et al., 2007; Thayer & Lane, 2009; see also Thayer, Åhs, Fredrikson, Sollers, & Wager, 2012 for a review)

In contrast to dominant individuals, high-status individuals do not constitute or exert a direct threat to other, since they do not need to resort to aggression to access valuable resources or to get obedience and deference. Social status is conferred by institutions or by others and is publicly displayed by means of social labels (e.g. occupational titles), sometimes accompanied by corresponding clothing or distinguishing insignia. If high-status individuals do not represent a *physical* threat to other individuals, they may however be perceived as a potential *social* threat. For instance, in conflictual contexts, their status in the hierarchy enables them, by definition, to prevail over others. Moreover, in our modern human life, our own status, our level of competence, our self-esteem is constantly assessed by others. Confronted to a high-status individual, this evaluation may constitute a very stressful situation, much more than when confronted to a lower-status individual. In the current experiment, confederates did not behave in a more aggressive or dominant way when playing the high- than the low-status role. Moreover, participants knew that the confederate was not there to evaluate them in a specific task. In other words, the participants had apparently no reason to be anxious or afraid when the high-status individual approached them. Nonetheless, the HR modulation by high-status cues reported here suggests that participants tend to automatically apprehend unknown high-status others as a potential social threat and may associate a non-neutral (negative) valence to them. It supports also the view that interacting with a high-status individual demands more (physiological) resources than interacting with a low-status one, as more is at stake when facing a higher-status interlocutor.

Interestingly, participant's threat-like reaction interacting with the neurosurgeon was only observed during the approach phase. Intuitively, this may seem surprising, given that the contact phase should have been perceived as more threatening by the participants than the approach phase, as the "neurosurgeon" had physical contact with them at this point. Previous studies investigating the effect of social parameters (i.e. status, race, gender) in similar minimal encounter did not report any significant difference of HR with the baseline during a touching phase as well (status: Kleinke & Williams, 1994; race and gender: Vrana & Rollock, 1998). In Vrana et al's study (1998), the entrance and approach phases were merged and analyzed into one single period, which makes it difficult to determine which phase exactly led to HR increase. However, their general HR dynamic throughout the interaction was similar to the HR pattern we reported in the current experiment. Thus, it is possible that the participant perceived the approach phase (and perhaps the entrance phase) as carrying more uncertainty about the confederate's intentions than the contact phase. This would have led the participants to react in a more anxious way during the confederate's

approach. The results of an earlier study supported this hypothesis by reporting larger HR increase before, and not after the (positive or negative) outcome of an uncertain situation, and not. In Löw et al.'s study (2008), pictures of neutral (a house), appetitive (money as a reward) and aversive (a gun as a threat) stimuli loomed to the participant on a screen. Depending on his reaction time, the participant had the opportunity to (virtually!) obtain the reward/avoid the punishment depending on the condition. The authors observed that participants' heart rate initially accelerated in response to the motivationally relevant cues when they were approaching, compared to neutral cues, and then decelerated as the outcome became more and more imminent. Moreover, this particular HR pattern was more pronounced for threat than for reward stimuli. Compared to our results, this suggests that the approach of a high-status individual would be effectively perceived as a potential threat.

Second, in contrast with HR, SCL was not affected by confederate's social status: in both high- and low-status condition, participants exhibited a phasic SCL increase from the entrance to the contact phase, and then this level was sustained until confederate's departure. In the existing literature, skin conductance modulations have been largely associated with (cognitively-driven) changes in body states of arousal. Precisely, SCL modulations are known to be related to stimulus significance evaluation, and would reflect activation of the motivational system in response to appetite/aversive pictures or relevant situations (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Schupp et al., 2004; Pastor et al., 2008). Assuming that a high-status individual carries a non-neutral motivational value compared to a low-status individual, one would have thus expected that interacting with the neurosurgeon would have led to a greater SCL increase than interacting with the nurse-aide. In their study, Löw et al. (2008) reported also that participants' SCL was sensitive to the presence of a motivationally relevant stimulus. The authors observed a sustained increase of tonic skin conductance level during the virtual approach of (positive and negative) motive cues, compared to neutral pictures. The SCL reached its maximal amplitude at the penultimate stage, when situation's outcome was imminent before participants' answer. In our study, we reported a similar SCL response pattern during the minimal encounter, as SCL increased from the entrance to the contact phase, and then reached a plateau until confederate's departure, in both high- and low-status conditions. This finding suggests that interacting with an unknown person would constitute an arousing situation *per se*, independently of his social status.

Moreover, electrodermal activity has already been shown to be modulated by social dimensions conveyed by the person one interacted with, such as his gender or race (Vrana &

Rollock, 1998; Brown, Bradley, & Lang, 2006). In these studies, the confederate had either the same or a different gender/ethnicity than the participant. In the context of a real interaction, one would have thus expected that social status, as a critical social parameter, would have also influenced skin conductance level. However, unlike Vrana & Rollock's, (1998) and Brown et al's (2006) researches, the encounter set-up did not incite the participant to directly compare his own category (i.e. his social status) to the confederate's one. In our study, the experimental procedure was specifically designed to control for the social distance between the participants and the confederate in the two status conditions. But this procedure may also have reinforced the social distinction between the participant and the confederate; leading the participants to perceive him, in both the *nurse-aide* and the *neurosurgeon* conditions, more as an “out-group” member (medical professional) than as different “status-category” member. Hence, it could be possible that SCL modulations by social status would be enhanced by social comparison; that is, when participants are directly involved into the hierarchy investigated. To clarify this issue, further experiments are needed, using a similar minimal encounter set-up, but in which the relative, rather than the absolute, status of the confederate (respectively, the distinction between *higher vs lower status* rather than *high- vs low-status*) is manipulated.

In conclusion, participants of this study showed distinct ANS responses during the interaction depending on the occupational status displayed by the confederate, with participants in the high-status condition exhibiting a threat-like reaction characterized by a brief HR increase. It is worth noting that, in addition with social status per se, the context surrounding an interaction with a high-status individual would have probably affected ANS reactivity. For instance, interacting with her or his company's CEO in a professional environment is likely to elicit enhanced autonomous psychophysiological responses compared to encountering an unknown high-status individual in a less formal context. Further investigations are needed to clarify how the ANS reacts to social status in everyday life. It would therefore help understanding the mechanisms that lead low social status individuals to be more affected than others by cardiovascular and stress diseases.

*
* *

Chapitre XI. Commentaire d'article

N170 et Hiérarchie : la question de l'influence top-down par des facteurs de catégorisation sociale

Le commentaire proposé dans ce chapitre a été écrit en collaboration avec Romain Ligneul suite à la publication de l'étude électrophysiologique de Santamaria-Garcia, Burgaleta, & Sebastian-Galles, 2015, *The Journal of Neuroscience*, 35(30). Dans cette étude, les auteurs rapportent que le potentiel N170 est influencé par le rang hiérarchique associé aux visages. Ils tentent également de corrélérer cet effet avec certains aspects d'anatomie cérébrale. Ce commentaire porte sur le premier point de leur étude et a deux objectifs principaux. Le premier objectif est de resituer leur résultat sur la N170 dans la littérature existante. Plusieurs travaux ont déjà exploré l'effet de la hiérarchie sociale sur le traitement neuronal précoce des visages. Et ces travaux ne sont pas abordés par Santamaria-Garcia et al. (2015). Le second objectif est de proposer une explication fonctionnelle du phénomène observé sur le potentiel N170. Dans ce commentaire, un mécanisme neuronal et cognitif est proposé pour rendre compte de leur résultat. Ce commentaire s'inscrit dans le débat général de l'influence top-down de la N170 par les catégories sociales. Il se présente sous la forme d'un article court réservé à un Journal Club.

Social brain gazing at star-systems:

Accounting for the early neural sensitivity to faces' social rank

Audrey Breton & Romain Ligneul

Social hierarchy is a broad and multi-faceted concept that characterizes asymmetrical interactions within social species. It can be derived from many traits (such as body size, aggressiveness, competence, wealth, etc.), and influences health and quality of life in a group. In the last decade, social neuroscientists have begun to investigate how primate brains detect, learn and adapt to the social rank of others, leading to a wealth of findings which turned challenging sociological issues into exciting neuroscientific questions. How do we represent social hierarchies? To which extent do they impact individual behavior and

cognition? What can be predicted by anatomical and functional neuroimaging about the range of behaviors and personality dimensions related to social dominance?

The electro-encephalographic (EEG) study of Santamaria-Garcia and colleagues (Santamaria-Garcia, Burgaleta, & Sebastian-Galles, 2015, *The Journal of Neuroscience*, 35(30)) contributes to this undertaking by uncovering, at a temporal level, one of the earliest neural signature of social hierarchy found so far in human brains (see also Feng et al., 2015). The authors used a competitive task to investigate brain responses to high-ranked faces, explicitly characterized by 3 “stars”, compared to low-ranked faces characterized by a single star. They report that the star-system can modulate the face-related N170 potential (Santamaria-Garcia et al., Figure 2). In order to explain the large inter-individual variability in this early neural correlate of social rank perception (termed $\Delta N170$), the authors performed a model-based neuroanatomical analysis (FreeSurfer, <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/>). This revealed that the surface or the thickness of several brain regions correlated with the intensity of the $\Delta N170$ (Santamaria-Garcia et al., Figure 3 and 4). Significant correlations were detected in the anterior temporal lobe, the caudate nucleus, the right insula, and in the superior temporal sulcus (STS), which is one of the most likely neural generators of the N170 potential (Nguyen & Cunnington, 2014).

Taken together, Santamaria-Garcia’s results strengthen the view that social dominance hierarchy is a potent force which profoundly shapes animal bodies, brains and behaviors (Sapolsky, 2005). Supporting this interpretation, the authors found that the $\Delta N170$ phenomenon also correlated with a personality questionnaire related to social dominance ($r=0.39$). This parallels the robust correlations reported between dominance ranks and regional gray matter volumes in the STS, the caudate nucleus and other brain regions of monkeys (Noonan et al., 2014). In humans, while the preconscious evaluation of dominance traits was previously linked with gray matter volumes within the right insula (Getov, Kanai, Bahrami, & Rees, 2015), the ability to perform transitive inferences about the social rank of others involved the amygdala (Kumaran et al., 2012). These breaches open the path toward the development of predictive brain classification techniques in the domain of managerial and organizational sciences. Here, we focus on the key result in Santamaria-Garcia’s study – the N170 modulation – which raises important questions in itself, besides linking brain morphology and social hierarchy. We will further argue that cues explicitly conveying social rank might be necessary to elicit a hierarchy-related modulation of the N170.

The N170 is considered as reflecting the structural encoding of faces, namely the early processing of facial subcomponents (the eye, the nose, the mouth) in a specific configuration

(Eimer, 2011; Rossion, 2014). However, a debate persists regarding a potential influence of social cues (e.g. race, gender, familiarity) on the N170 characteristics. Several findings indicate that such top-down influence on the early step of facial encoding is highly dependent on tasks demands and requires participants to explicitly attend to the social dimension investigated (Ito et al., 2005; Marzi et al., 2007). Interestingly, a careful comparison of the existing EEG studies exploring the association of social ranks with neutral faces would suggest that the modulation of early brain activity (150-200ms) by hierarchy depends on the use of a “star-system” employed to make social ranks visually explicit. While modulations of late positive potentials (LPP; 400-700ms) were consistently reported across studies (Breton et al., 2014; Feng et al., 2015; Hu et al., 2014), the face-sensitive N170 was only modulated in the subset of studies using such explicit symbolic cues (i.e. stars) – and only when those cues denoted the competitive performance of others (Feng et al., 2015; and now Santamaria-Garcia et al., 2015).

In these studies, star-systems actively contributed to process neutral faces in a hierarchical context. They conveyed salient social information that may enrich or even compete with the perception of faces – from their visual exploration to their (early) neural encoding indexed by the N170. In both Santamaria’s and Feng’s studies, control experiments were set up to demonstrate that hierarchy-related N170 modulations were not generated by perceptual differences across conditions (i.e. by different numbers of stars displayed with faces). While in the competitive condition, star-systems had to be integrated concomitantly with the faces and predicted competitive outcomes (i.e., a victory or a defeat), in the control condition they no longer displayed any social relevance, any predictive information about upcoming events and their processing was dissociated from that of faces due to task-demand. Thus, such control experiments do not preclude that symbolic star-systems depicting social ranks constitute salient, if not task-relevant, information for the subject, which may actually mediate the phenomenon observed by Santamaria-Garcia and colleagues.

An appealing mechanism to account for the N170 modulation unraveled by Santamaria-Garcia and co-authors would be that the information conveyed by stars are automatically integrated by the brain, only if this information is relevant for the participant (i.e. reflecting self-other asymmetries in cognitive performance). When viewing a face, observers generally favor the successive fixation of one eye, the mouth, and the other eye, to maximize ‘diagnostic information’ about facial traits, expressions or social categories. Related to this, the temporal unfolding of the N170 reflects this progressive integration of facial features

until a perceptual *decision* about the face can be made with confidence (Schyns, Petro, & Smith, 2007). But observers may also deviate from this stereotypical scanning pattern, hence generating different N170 waveforms, depending on facial information already integrated (e.g. a fearful expression inferred from the examination of one single eye) or on competing sources of *relevant information* in the visual field.

Several lines of evidence already supported that social ranks induces changes in facial viewing strategy *per se*. First, humans tend to gaze first and longer at the face of high-status individuals as compared to low-status individuals (Foulsham et al., 2010). Second, the tendency to avoid or to look for eye-contacts with others is strongly dependent on social hierarchy, not only in animals but also in humans (Gobel et al., 2015). During real competitive interactions, the perception of hierarchical cues may elicit specific exploration pattern, such as the active discrimination of anger from fear, based on the shape of the eyes and eyebrows, to the detriment of other emotions conveyed by others facial features (fear and anger can convey useful information regarding opponents' next moves). In the context of Santamaria's study, the presence of stars signaling hierarchy could also drive this exploration pattern, with three stars below high-rank faces generating bigger or more frequent saccades toward the bottom of the screen than a single star associated with low-rank faces would do.

From a neurobiological perspective, such regulation of social gaze might be mediated by the early, preconscious sensitivity of the amygdala for salient and/or affective information available in the visual field (Figure 37, p. 178). The amygdala is ideally located to modulate gazing behavior and facial exploration in social contexts. It receives visual inputs from both a preconscious subcortical route and a ventro-temporal visual stream, and it is bi-directionally connected with the prefrontal cortex. Moreover, it is causally involved in facial exploration and in the preconscious processing of eye contacts and threatening facial expressions (Pessoa & Adolphs, 2010). In the context of social hierarchy processing, amygdala activity was directly associated with the perception or attribution of social ranks in two fMRI studies relying on very different behavioral tasks (Kumaran et al., 2012; Zink et al., 2008). Thus, although the anatomical analyses performed by the authors yielded no consistent relationship between the amplitude of the N170 modulations and amygdalar morphology, this negative finding does not cancel the functional importance of this structure for social hierarchy processing and rank-dependent modulation of gazing behavior. It is also possible that a canonical voxel- or deformation-based morphometry (VBM-DBM) analysis to quantify regional gray matter volumes would have led to significant finding in

the amygdala, in line with previous studies relying on such VBM-DBM methods (Kumaran et al., 2012; Noonan et al., 2014). In order to establish the functional involvement of the amygdala in the modulation of N170 potential by social ranks, one would ideally record from depth electrodes implanted in the amygdala of treatment-resistant epileptic patients. Intracranial recordings constitute the only method offering both the anatomical and the temporal precisions required to demonstrate the precedence of an amygdalar sensitivity for social hierarchy, relative to the fusiform gyrus and the posterior temporal sulcus which underlie facial perception (Nguyen & Cunnington, 2014). Conversely, in order to determine whether different patterns of visual exploration translating into different N170 potentials can be induced by symbolic social status cues, future experiments may vary the presence or the meaning of such cues, while recording EEG and eye-tracking simultaneously.

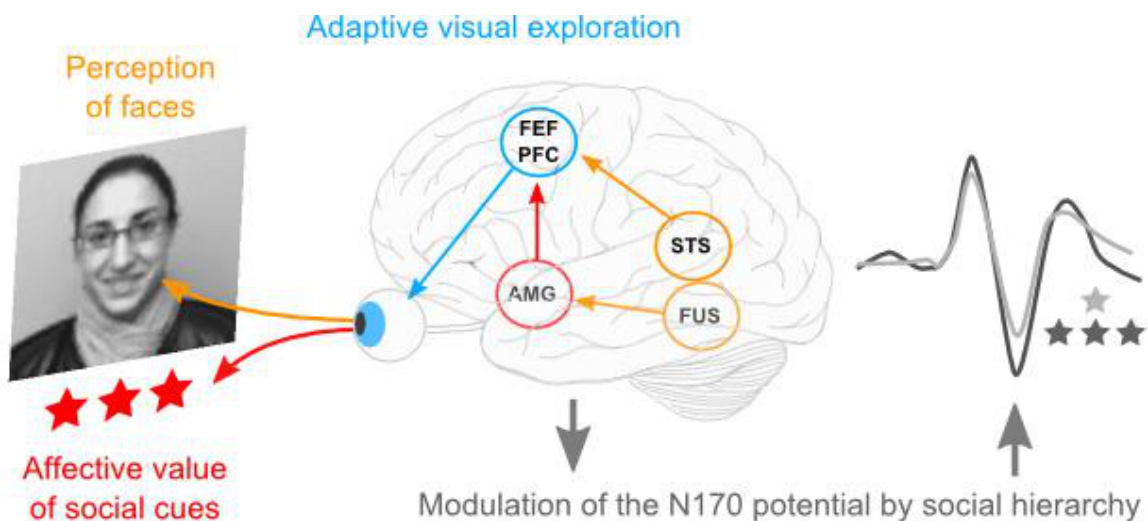


Figure 37 : The modulation of the N170 potential by cues of social status.

Santamaria-Garcia et al. (J. Neurosci. 2015, 35(30)) revealed that an early EEG potential involved in facial processing can be modulated by abstract cues of social status. Three interacting neurocognitive processes may mediate the phenomenon. The fusiform gyrus (FUS) and the superior temporal sulcus (STS) may integrate local facial information into a unitary percept while the amygdala (AMG) would react to the affective value of social status cues. Together, the two processes would exert an adaptive, task-dependent influence over visual exploration driven by the frontal eye field (FEF). In turn, the optic flow and the information to be integrated by the brain would change as a function of perceived social ranks, finally leading to modulations in this electrophysiological marker associated with social perception.

*
* *

Conclusion générale et Perspectives

Dans ce travail de thèse, je me suis intéressée à une dimension fondamentale des interactions sociales chez l'être humain : la hiérarchie. Par quatre études, j'ai tenté de caractériser certains mécanismes cérébraux et cognitifs impliqués dans la détection et l'analyse d'un signal hiérarchique chez l'humain. Les visages, les stimuli les plus importants sur le plan social, ont été utilisés dans cette thèse comme vecteurs privilégiés des informations hiérarchiques.

Pour caractériser la nature du traitement de la hiérarchie au niveau cérébral, j'ai exploré l'influence que cette dimension exerce sur le traitement neuronal des visages. Dans les deux études 1 (Chapitre V, p. 70) et 3 (Chapitre VIII, p. 129) en électrophysiologie, je n'ai pas observé d'effet du contexte hiérarchique sur la N170. Ce potentiel est très largement considéré dans la littérature comme reflétant l'étape d'encodage de la structure d'un visage (Bentin et al., 1996; Eimer, 2011 pour une revue); c'est-à-dire le traitement précoce des différents composants d'un visage (les yeux, le nez, la bouche) dans une configuration spécifique (Eimer, 2011; Rossion, 2014). Des manipulations des caractéristiques faciales perceptuelles, comme par exemple lorsque la configuration naturelle des composants faciaux n'est plus respectée ou que l'orientation standard du visage est inversée (Eimer & others, 2000; Rossion et al., 2000; Anaki, Zion-Golumbic, & Bentin, 2007; Zion-Golumbic & Bentin, 2007), modulent la latence et l'amplitude de ce potentiel (voir section III.3.2, p. 54). De plus, les yeux évoquent une N170 plus ample que les autres composants du visages (Bentin et al., 1996; Watanabe, Kakigi, Koyama, & Kirino, 1999; Itier, Latinus, & Taylor, 2006). Dans les deux études en EEG de cette thèse, les propriétés perceptuelles des visages étaient identiques entre les conditions hiérarchiques. Seul le contexte (induit par une compétition ou par un nom de métier présenté au préalable) permettait d'associer aux visages un rang hiérarchique particulier. Au contraire, dans l'étude de Chiao et al. (2008) l'amplitude plus grande de la N170 rapportée en réponse aux visages d'individus dominants pouvait être le résultat de manipulations des propriétés physiques des stimuli, plus que de la hiérarchie en elle-même. En effet, dans cette étude, des postures faciales différentes (un regard direct ou dévié, et des orientations différentes de la tête) étaient utilisées pour induire la perception de rangs hiérarchiques différents sur les visages. Cela introduisait un biais méthodologique

majeur dans l'interprétation des résultats et ne permettait pas de conclure de l'influence de la hiérarchie sur le traitement neuronal précoce des visages.

Les résultats concernant la sensibilité de la N170 aux catégories sociales sont, de manière générale, très controversés dans la littérature. De nombreux travaux en EEG n'observent pas d'influence des dimensions sociales sur la N170 (familiarité: Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000; Henson et al., 2003; Jemel et al., 2003; Rossion et al., 1999; Schweinberger et al., 2002; Schweinberger et al., 2002; ethnicité: Caldara et al., 2003; Caldara et al., 2004; Ito et al., 2004; genre: Mouchetant-Rostaing & Giard, 2003; Mouchetant-Rostaing et al., 2000; Ito & Urland, 2005), tandis que d'autres suggèrent que ces catégories sont traitées simultanément à la structure du visage, et influencent donc le potentiel N170 (familiarité: Caharel et al., 2002; 2005; 2006; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008; Wild-Wall, Dimigen, & Sommer, 2008; genre: Freeman et al., 2010; ethnicité: Ito & Urland, 2005; Senholzi & Ito, 2012; Walker et al., 2008). Pour tenter d'expliquer cette inconsistance de résultat, certains auteurs avancent que l'influence top-down des paramètres sociaux est plus susceptible de se produire lorsque la tâche nécessite que les participants se focalisent sur la dimension sociale explorée (Ito & Urland, 2005; Walker et al., 2008; Marzi & Viggiano, 2007) et lorsque les visages sont présentés dans le contexte d'autres visages, plutôt que parmi d'autres stimuli (Ito & Urland, 2005). Ce point ne permet pas d'expliquer l'absence d'effet de la hiérarchie sur la N170, car les paradigmes que j'ai utilisés dans les expériences 1 et 3 satisfaisaient ces deux conditions.

La parution de deux autres études en électrophysiologies qui, elles, observaient des modulations hiérarchiques du potentiel N170 (Feng et al., 2015; Santamaria-Garcia et al., 2015) alimentait le débat autour de mes propres observations. Dans ces travaux, les visages de rang hiérarchique élevé généraient une N170 plus ample que les visages de rang hiérarchique plus faible. La méthodologie de ces deux études était similaire : des indices externes (un nombre d'étoiles différents) permettaient d'associer un rang à des visages neutres, sans manipuler leur trait ou leur posture. A première vue, ces données suggéraient que la hiérarchie était un paramètre de catégorisation social traité simultanément à la structure faciale. Mais la dimension hiérarchique n'était pas la seule variable qui pouvait expliquer cet effet. Bien que les propriétés des visages aient été contrôlées entre les conditions hiérarchiques, les variations d'amplitudes de la N170 pouvaient également s'expliquer par des degrés différents de complexité perceptuelle entre les conditions, générés par les étoiles (3 étoiles pour les visages de haut-statut contre une seule pour les visages de bas-statut, voir le commentaire, Chapitre XI, p. 174). Par rapport à la condition de

hiérarchie, les expériences contrôles développées dans Feng et al. (2015) et Santamaria-Garcia et al. (2015) n'induisait plus d'interaction entre les traitements des étoiles et des visages, qui pouvait être responsable de l'effet observé. Les visages étaient toujours présentés avec les étoiles, mais celles-ci n'avaient plus aucune dimension hiérarchique. Dans Santamaria-Garcia et al. (2015), la tâche contrôle demandait à ce que les deux éléments (le visage et le groupe d'étoile) soient traités en même temps, mais soient traités séparément. Un problème encore plus important émergeait de la tâche contrôle de Feng et al. (2015). Les participants devaient soit juger du nombre d'étoiles ou soit déterminer le genre du visage. En d'autres termes, ils devaient soit traiter le visage indépendamment des étoiles, soit traiter les étoiles indépendamment du visage. Ces deux expériences ne permettaient donc pas d'exclure l'hypothèse selon laquelle l'effet observé sur l'amplitude du potentiel N170 ne serait généré que par le traitement concomitant de ces indices externes avec les visages, et non pas de la dimension hiérarchique en elle-même. A l'inverse, dans les deux expériences EEG de cette thèse, certes, aucun effet de la hiérarchie n'a été observé sur le traitement précoce des visages, mais ceux-ci n'étaient associés à aucun indice externe lorsqu'ils étaient présentés. Tout comme l'étude de Chaio et al. (2008), les études de Feng et al. (2015) et Santamaria-Garcia et al. (2015) n'apportent pas d'arguments empiriques en faveur d'une influence top-down de la hiérarchie sur l'encodage neuronal de la structure des visages.

Par ailleurs, dans les deux études 1 et 3, j'ai observé un effet de la hiérarchie sur les LPP, des potentiels associés au traitement plus tardif (400-700 ms) des visages. Ces ondes étaient plus amples en réponse aux visages de supérieurs hiérarchiques ou d'individus de haut-statut social. Cet effet a été observé de façon consistante dans les différents travaux en électrophysiologie sur le traitement de la hiérarchie (Feng et al., 2015; Hu et al., 2014). Ces potentiels refléteraient le recrutement de plus de ressources cognitives pour traiter les stimuli les plus pertinents (Ritter & Ruchkin, 1992). La diminution plus importante de l'énergie dans la bande fréquence alpha pour les visages des supérieurs, rapportée dans l'étude 1, permet de supposer que les LPP traduisent une focalisation attentionnelle plus intense pour les visages de haut rang. Cette interprétation était en accord avec de précédentes travaux en psychologie montrant que l'attention des individus s'orientent préférentiellement vers les visages des haut-statuts (Maner et al., 2008, Foulsham et al., 2010). Mais elle soulevait également deux questions.

D'une part, je souhaitais déterminer si cette focalisation attentionnelle plus grande pour les haut-statuts traduisait une attention plus grande accordée à des parties spécifiques de

leur visage, notamment à la région des yeux. Gobel et al., (2015) ont observé un effet de la hiérarchie sur l'exploration visuelle des visages, mais seulement dans un contexte particulier, lorsque les participants pensaient être observés en retour. Ils regardaient moins les yeux de personnes jugées de haut-statut, uniquement lorsqu'ils croyaient que ceux-ci avaient la possibilité de les voir plus tard en train de les regarder, par rapport à la situation où ils pensaient que ces personnes ne pouvaient pas les voir. Dans ce contexte particulier, le statut social des individus contraignait l'orientation de l'attention vers la région des yeux, la partie la plus informative des visages. Mais d'une part, cette étude ne rapportait pas de différence entre les deux conditions de statut. Et d'autre part, la question de l'influence de la hiérarchie dans une situation plus standard d'exploration passive de visages, méritait encore d'être approfondie. Les mesures oculométriques réalisées dans l'étude 2 (Chapitre VII, p. 99) n'ont pas mis en évidence de différence dans la stratégie d'exploration visuelle des visages en fonction de leur rang hiérarchique. Précisément, les participants passaient autant de temps à explorer les yeux des meilleurs joueurs, des joueurs moyens et moins bons. Le biais attentionnel pour les individus au sommet d'une hiérarchie ne s'accompagnerait donc pas d'une modification de la stratégie d'exploration de leurs visages. Plusieurs études ont révélé que les caractéristiques du potentiel N170 évoqué par un visage sont dépendantes de la manière avec laquelle il est exploré. Grâce à des enregistrements couplés en eye-tracking et en électrophysiologie, Meaux et al. (2014) ont montré qu'un temps d'observation plus long de la région des yeux est corrélé à une N170 de moins grande amplitude, et un taux plus important de première fixation dans cette région réduirait la latence de la N170. De la même manière, Nemrodov, Anderson, Preston, & Itier (2014) observent une N170 de plus grande amplitude lorsque les fixations sont réalisées sur les yeux, par rapport aux autres parties du visages. Une interprétation possible de l'absence de modulation de la N170 par la hiérarchie rapporté dans l'étude 1 serait liée à un temps d'observation similaire des yeux des visages, quel que soit le rang qui leur est associé. Dans ce contexte expérimental particulier, si le rang hiérarchique associé à un visage n'exerce pas d'influence sur l'étape encodage des traits faciaux, il semble qu'il n'en exerce pas non plus au niveau de son exploration visuelle, c'est-à-dire sur l'étape en amont du traitement de la structure faciale, lorsque l'information perceptive est encodée visuellement. De plus, les mesures oculométriques réalisées pendant la présentation des classements (étude 2) ont montré que les individus exploraient plus longuement les visages des meilleurs joueurs par rapport aux autres visages. En regard des résultats obtenus dans l'étude 1, ceci corroborait l'interprétation selon laquelle les LPP seraient la signature électrophysiologique d'une focalisation attentionnelle plus intense pour les visages de haut-rang dans leur ensemble.

D'autre part, j'ai tenté de savoir si une information de haut-rang était plus pertinente du fait d'une plus grande valeur motivationnelle (positive ou négative) ou non. En d'autres termes, j'ai cherché à déterminer si l'effet de la hiérarchie observé sur les LPP pour les visages de haut-statut traduisait une attention plus grande guidée par une plus forte charge émotionnelle et/ou motivationnelle de ces visages, ou indépendamment de cela. Chez le primate non-humain, un signal hiérarchique est associé à une forte valence motivationnelle (interprété par Deaner et al., 2005 comme ayant une valeur de récompense). Mais il n'existe pas de telles données comportementales chez l'humain. Par ailleurs, il a été montré que des stimuli ayant une forte charge émotionnelle/motivationnelle (des visages exprimant de la peur, des scènes érotiques), comme cela pouvait être le cas de visages de haut-statut, déclenchent des LPP plus amples, mais également des réponses électrodermales de plus grande amplitude (Cuthbert et al., 2000; Pastor et al., 2008). Dans l'étude 4 (Chapitre IX, p. 157 et Chapitre X, p. 160), j'ai observé que la conductance dermique augmentait de façon similaire lorsque les participants interagissaient avec un individu de haut- et de bas-statut. Aucune variation de la réponse électrodermale n'avait par ailleurs été observée lors de la perception de photographies de visages ayant des rangs hiérarchiques différents (préliminaire étude 4). A première vue, l'effet de la hiérarchie rapporté sur les LPP dans les études 1 et 3 ne serait donc pas porté par une dimension motivationnelle différente entre les visages de haut et de bas rang. Ceci ne permettait pas de conclure à l'association d'une valence motivationnelle/émotionnelle différente entre des indices de haut et de bas statut. De précédents travaux rapportaient pourtant une sensibilité de cette réponse physiologique à d'autres paramètres de catégorisation sociale, comme le genre ou l'ethnicité (Vrana & Rollock, 1998; Brown et al., 2006). Dans ces études, le participant pouvait comparer sa propre catégorie (son genre, son origine ethnique) à celle de la personne avec laquelle il interagissait, ce qui n'était pas le cas de l'étude 4. Il est possible que le paradigme mis en place dans ma dernière étude, bien que plus écologique, ait limité l'apparition d'un effet de la dimension hiérarchique sur la réponse électrodermale. Pour capturer la dimension motivationnelle de la hiérarchie, et préciser alors la nature du traitement capturé par les LPP, d'autres expériences semblent nécessaires, dans lesquelles par exemple le participant interagirait avec des membres d'une hiérarchie dont il fait réellement partie.

Enfin, le genre des individus et des stimuli qu'ils perçoivent est un paramètre essentiel à intégrer dans les travaux sur le traitement cérébral et cognitif de la hiérarchie. Dans les études 1 et 2 de cette thèse, comme dans la plupart des travaux en neurosciences sur la perception de la hiérarchie (Cloutier et al., 2012; Kumaran et al., 2012; Mason et al., 2014), j'avais fait le choix de n'inclure que des participants masculins et de ne les confronter qu'à

des joueurs masculins. Le paradigme de ces deux expériences reposait sur une situation de compétition. Et de précédentes données de la littérature avait montré que les hommes étaient plus sensibles que les femmes aux situations de compétition (Niederle & Vesterlund, 2007). Mais le genre est un vecteur de statut social (Scott, 1986). Les inégalités entre les hommes et les femmes sont récurrentes dans toutes les sociétés humaines. Les hommes occupent plus souvent que les femmes de rôles de pouvoir (Diekmann & Eagly, 2000), et les stéréotypes traduisent une association entre masculinité et dominance et entre féminité et subordination. Il existe par ailleurs d'importantes différences intergenres dans la manière d'exprimer son statut et de percevoir le statut des autres (voir avant section I.3.4-b), p. 15) (Mast & Hall, 2004 ; Maner et al., 2008 ; Marsh et al., 2009). Il y a donc des raisons de penser que le genre module le traitement du statut social. L'étude 3 en EEG permettait de comparer les réponses neuronales d'hommes et de femmes, évoquées par la perception d'un statut social associé soit à un visage masculin, soit à un visage féminin. De manière assez surprenante, la modulation des potentiels neuronaux tardifs (LPP) en fonction du statut des visages n'était observée que chez les femmes. Ceci suggérait que la sensibilité aux indices de haut et de bas statut est dépendante du genre des participants et du type de hiérarchie considéré. Ce résultat a été interprété comme la marque, non pas d'une sensibilité plus grande des femmes au statut social, mais d'un engagement plus grand des participantes dans la tâche, par rapport aux hommes. Les femmes étaient meilleures que les hommes à catégoriser le statut des visages, et ceci suggérait qu'elles faisaient preuve d'un plus grand engagement attentionnel dans l'expérience, les rendant plus sensible à la dimension hiérarchique. De futures recherches semblent nécessaires pour clarifier l'influence du genre dans la perception de la hiérarchie.

*
* *

Un prolongement relativement évident de ce travail de thèse concerne la contextualisation hiérarchique et les futurs paradigmes à mettre en place. A la lumière des résultats obtenus, on peut envisager que d'autres paradigmes conduisent à des résultats différents, voire à une éventuelle modulation du composant N170 par la hiérarchie. Dans l'Eude 1, la hiérarchie était établie par le biais de jeux compétitifs. L'avantage de ce paradigme était que les participants étaient intégrés à la hiérarchie expérimentale. Ils pouvaient donc comparer leur rang hiérarchique par rapport à celui des autres joueurs. Mais,

comme mentionné auparavant, ce contexte introduisait également une dimension importante de fiction. Les participants avaient conscience que cette hiérarchie n'était que transitoire et se limitait au cadre de l'expérience. De plus, leur position dans cette hiérarchie n'avait pas de lien avec leur statut social réel. Une hiérarchie plus stable et plus ancrée dans la réalité aurait peut-être favorisée une influence « top-down » de ce paramètre sur le potentiel N170. Ce facteur a peut-être également contribué à l'absence d'effet du rang sur la stratégie d'exploration visuelle (cf. l'Etude 2). A l'inverse, dans l'Etude 3, la hiérarchie était établie par des indices très présents dans le quotidien des individus : les catégories professionnelles. Ces informations sont récurrentes et pertinentes pour les individus, et la hiérarchie qui en résulte paraît naturelle et assez stable dans le temps. Mais l'inconvénient est que, cette fois, la tâche ne nécessitait pas que les participants comparent leur propre statut à celui des personnes qu'ils voyaient. Le paradigme de cette étude incite donc les participants à traiter les visages comme faisant partie d'une hiérarchie qui leur est extérieure.

Une manière de maximiser l'apparition d'un effet de la hiérarchie sociale sur la N170 pourrait consister à réunir ces deux méthodes. La hiérarchie s'appuierait alors à la fois sur des catégories écologiques, comme les professions, et également sur des situations réellement vécues, dans lesquelles le participant pourrait comparer son statut à des personnes qu'il connaît. On peut notamment penser aux populations de militaires, pour lesquels les indices hiérarchiques sont extrêmement saillants et très bien définis, ou encore aux personnels du milieu médical, en utilisant la hiérarchie existante entre les médecins, les infirmiers et les aides-soignants. Les résultats des études précédentes sur la perception des visages suggèrent qu'une influence des catégories sociales sur la N170 a plus de chance de se produire lorsque l'attention du participant porte sur la dimension sociale explorée (Ito & Urland, 2005; Walker et al., 2008; Marzi & Viggiano, 2007) et/ou lorsque le participant est personnellement lié aux individus dont il perçoit les visages (par exemple, l'effet de la familiarité observé sur la N170 pour des visages d'individus personnellement proches du participant : Caharel et al., 2002; 2005 ; 2006 ; Kloth et al., 2006; Harris & Aguirre, 2008).

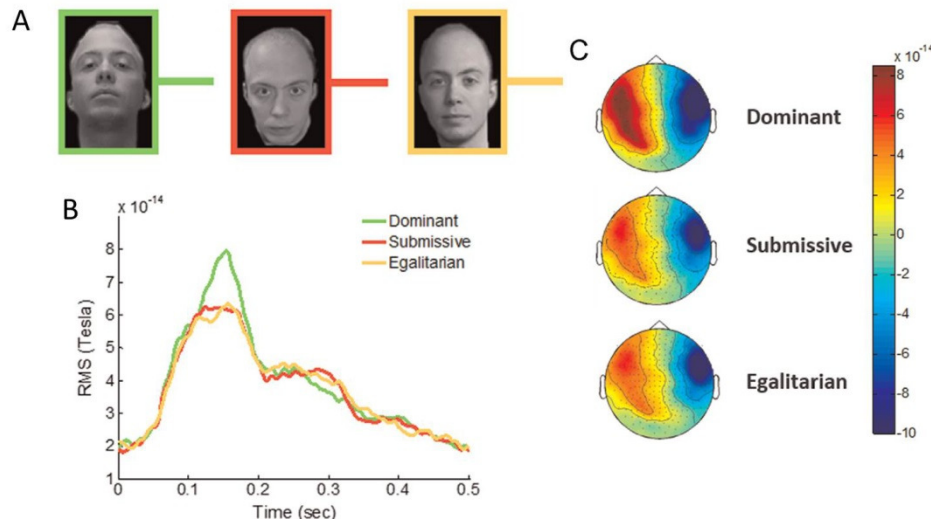


Figure 38 : A) Stimuli utilisés dans l'étude de Arviv et al. (2015). L'orientation de la tête était manipulée pour induire la perception d'un rang de dominance particuliers (de gauche à droite : dominance, subordination et neutre). B) Champs magnétiques globaux (RMS) moyennés sur tous les essais pour tous les participants dans les trois conditions de rang social. C) Cartes topographiques moyennées sur l'intervalle correspondant à la M170 pour chaque condition de rang social. Arviv et al. (2015).

Par ailleurs, d'autres types de hiérarchie pourraient être explorés. Dans cette thèse, je me suis intéressée à deux dimensions de la hiérarchie qui relevaient plutôt de la notion de prestige (voir section I.2, p. 10). Mais il existe une autre dimension susceptible de moduler la perception des visages : la hiérarchie de dominance. La dominance est associée à la capacité de contrôle des ressources (Hawley, 1999). Chez l'être humain, elle s'exprime principalement sous la forme d'intimidation psychologique, de coercition, et du monopole de certains privilèges. Les corrélats électrophysiologiques du traitement de cette dimension ont été explorés dans l'étude de Chiao et al. (2008) et dans une étude parue très récemment en MEG (Arviv et al., 2015). Dans ces recherches, des postures faciales différentes permettaient d'induire la perception de la dominance/subordination (Chiao et al. (2008) : Figure 9, p. 64, et Arviv et al. (2015) : Figure 38A, p. 186). Contrairement à mes travaux, ces deux études rapportent une influence de la hiérarchie sur le traitement neuronal précoce des visages. Les visages des individus dominants évoquaient une N170 (M170 en MEG, voir Figure 38B et C, p. 186) plus ample que les visages des individus neutres ou subordonnés. La dominance constituerait alors une dimension hiérarchique plus à même d'influencer l'encodage précoce des visages. Mais comme mentionné plus haut, les conclusions de ces deux études sont à nuancer car, pour étudier le traitement d'un signal hiérarchique de dominance, elles ont manipulé les caractéristiques structurales des visages (l'orientation du regard et/ou de la tête). La question de savoir si la perception d'un signal de dominance associé à un visage altère l'encodage de sa structure est donc encore en suspens. Comment dès-lors étudier

l'influence de ce paramètre sur la perception des visages sans recourir à des manipulations des traits faciaux ?

Les études de Chiao et al. (2008) et Arviv et al. (2015) en électrophysiologie, comme d'autres recherches en neurosciences portant sur la perception de la dominance (Todorov et al., 2008 ; Marsh et al., 2009), ont considéré cette dimension comme un ensemble de traits faciaux particuliers, qui traduisent certains aspects psychologiques des individus. Par exemple, les postures faciales utilisées pour marquer la dominance peuvent s'apparenter à du dédain (le menton levé et le regard direct) (Mignault & Chaudhuri, 2003) à de la colère ou à de l'agressivité (Hess et al., 2000; Carney et al., 2005). Certes, ces traits psychologiques permettent d'intimider, d'imposer sa volonté aux autres, ou sont des conséquences d'un plus grand sentiment de pouvoir. Mais la reconnaissance d'un individu dominant ne nécessite pas forcément qu'il adopte une posture agressive ou qu'il exprime son dédain. Plus qu'un trait individuel, la dominance caractérise une relation. Elle est la résultante d'une interaction, souvent agonistique dans le monde animal, entre deux individus, à l'issue de laquelle l'un obtient plus de ressources et plus de pouvoir que l'autre. Alors, une manière de contextualiser une hiérarchie de dominance sans manipuler les traits faciaux pourrait être d'utiliser des scènes d'asymétrie de pouvoir entre deux individus.

Dans la continuité directe de cette thèse, je prévois de réaliser un ensemble d'études portant sur la perception des visages dans des situations d'asymétries de pouvoir, en électrophysiologie, en oculométrie et par des mesures de la réponse électrodermale. En utilisant un paradigme de contextualisation similaire à ceux développés ici je présenterai des scènes montrant deux individus qui entretiennent une asymétrie de pouvoir, puis le visage de chacun d'eux. Je m'intéresserai également à l'influence du genre des protagonistes de la scène ainsi qu'au genre de l'observateur dans la perception de ces asymétries. Je souhaite notamment déterminer si la perception d'un visage sans expression et sans posture faciale particulière mais associé à un statut de dominance module le potentiel N170.

Nous avons déjà débuté ce projet par la création des scènes qui serviront de stimuli dans les différentes expériences de ce nouveau projet (Figure 39, p. 188). Pour réaliser ces stimuli, nous avons organisé au Musée de Confluences, un événement dans le cadre de la Nuit des Musées (2015). Pendant tout un week-end, les visiteurs du Musée étaient invités, par binôme hommes-femmes, à se faire photographier dans trois décors que nous avons installés. Ces décors représentaient les trois environnements dans lesquels les individus évoluent au quotidien : le domaine professionnel (un bureau), le domaine personnel (un salon) et l'extérieur. Chaque binôme se voyait attribuer trois scénarios différents, un pour chaque

décor. Pour chaque scénario, chaque personne posait dans la posture de dominant et dans la posture de subordonné. Les visages de chacun des acteurs étaient ensuite photographiés dans une posture neutre.



Figure 39 : Exemples de photographies réalisées pendant l'événement "Hey M'mam, Let's play Master and Servant" (Musée des Confluences, Nuit des Musées 2015) par Oram S. Dannreuther (OSD Studio). Nous invitons les visiteurs à poser dans des décors selon différentes postures, pour créer des scènes d'asymétrie de pouvoir. Les visages des acteurs ont été également photographiés. Ces images serviront de stimuli dans la suite de ce projet de thèse.

*
* *

Bibliographie

- Adams, R. B., Gordon, H. L., Baird, A. A., Ambady, N., & Kleck, R. E. (2003). Effects of gaze on amygdala sensitivity to anger and fear faces. *Science*, 300(5625), 1536–1536.
- Adolph, D., Schlösser, S., Hawighorst, M., & Pause, B. M. (2010). Chemosensory signals of competition increase the skin conductance response in humans. *Physiology & Behavior*, 101(5), 666–671.
- Adolphs, R. (1999). Social cognition and the human brain. *Trends in cognitive sciences*, 3(12), 469–479.
- 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.
- Aguera, P. E., Jerbi, K., Caclin, A., & Bertrand, O. (2011). ELAN: A software package for analysis and visualization of MEG, EEG, and LFP signals. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011, 5.
- Album, D., & Westin, S. (2008). Do diseases have a prestige hierarchy? A survey among physicians and medical students. *Social science & medicine*, 66(1), 182–188.
- Allison, T., Ginter, H., McCarthy, G., Nobre, A. C., Puce, A., Luby, M., & Spencer, D. D. (1994). Face recognition in human extrastriate cortex. *Journal of neurophysiology*, 71(2), 821–825.
- Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D., & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological Studies of Human Face Perception. I: Potentials Generated in Occipitotemporal Cortex by Face and Non-face Stimuli. *Cerebral Cortex*, 9(5), 415–430.
- Althoff, R. R., & Cohen, N. J. (1999). Eye-movement-based memory effect: a reprocessing effect in face perception. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(4), 997.
- Anaki, D., Zion-Golumbic, E., & Bentin, S. (2007). Electrophysiological neural mechanisms for detection, configural analysis and recognition of faces. *Neuroimage*, 37(4), 1407–1416.
- Anderson, C., & Berdahl, J. L. (2002). The experience of power: Examining the effects of power on approach and inhibition tendencies. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(6), 1362–1377.
- Anderson, C., Hildreth, J. A. D., & Howland, L. (2015). Is the desire for status a fundamental human motive? A review of the empirical literature. *Psychological Bulletin*, 141(3), 574–601.
- Anllo-Vento, L., Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1998). Spatio-temporal dynamics of attention to color: evidence from human electrophysiology. *Human brain mapping*, 6(4), 216–238.
- Argouarc'h, J., & Calavrezo, O. (2014). La répartition des hommes et des femmes par métiers. Une baisse de la ségrégation depuis 30 ans. *Dares Analyses*. 79. pp. 1–13.
- Arviv, O., Goldstein, A., Weeting, J. C., Becker, E. S., Lange, W.-G., & Gilboa-Schechtman, E. (2015). Brain response during the M170 time interval is sensitive to socially relevant information. *Neuropsychologia*, 78, 18–28.
- Aureli, F., Preston, S. D., & de Waal, F. (1999). Heart rate responses to social interactions in free-moving rhesus macaques (*Macaca mulatta*): a pilot study. *Journal of Comparative Psychology*, 113(1), 59.
- Azzi, J. C., Sirigu, A., & Duhamel, J.-R. (2012). Modulation of value representation by social context in the primate orbitofrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(6), 2126–2131.

- Bahrnick, H. P., Bahrnick, P. O., & Wittlinger, R. P. (1975). Fifty years of memory for names and faces: A cross-sectional approach. *Journal of experimental psychology: General*, 104(1), 54.
- Bamberger, J. (1974). The myth of matriarchy: Why men rule in primitive society. *Woman, culture, and society*, 263–280.
- Barkow, J. H., Akiwowo, A. A., Barua, T. K., Chance, M. R. A., Chapple, E. D., Chattopadhyay, G. P., ... Sarles, H. B. (1975). Prestige and Culture: A Biosocial Interpretation. *Current Anthropology*, 16(4), 553–572.
- Bartels, A., & Zeki, S. (2000). The neural basis of romantic love. *Neuroreport*, 11(17), 3829–3834.
- Barton, R. A., & Dunbar, R. I. (1997). Evolution of the social brain. *Machiavellian intelligence II: Extensions and evaluations*, 2, 240.
- Batki, A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Connellan, J., & Ahluwalia, J. (2000). Is there an innate gaze module? Evidence from human neonates. *Infant Behavior and Development*, 23(2), 223–229.
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 613–620.
- Baudouin, J. Y., & Gallay, M. (2006). Is face distinctiveness gender based? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(4), 789.
- Baudouin, J.-Y., & Gallay, M. (2006). Is Face Distinctiveness Gender Based? *Journal of Experimental Psychology*, 32(4), 789–798.
- Baudouin, J.-Y., Gilibert, D., Sansone, S., & Tiberghien, G. (2000). When the smile is a cue to familiarity. *Memory*, 8(5), 285–292.
- Beehner, J. C., Bergman, T. J., Cheney, D. L., Seyfarth, R. M., & Whitten, P. L. (2006). Testosterone predicts future dominance rank and mating activity among male chacma baboons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59(4), 469–479.
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of cognitive neuroscience*, 8(6), 551–565.
- Bentin, S., & Deouell, L. Y. (2000). Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1–3), 35–55.
- Berger, J., & Fisek, M. H. (2006). Diffuse Status Characteristics and the Spread of Status Value: A Formal Theory1. *American Journal of Sociology*, 111(4), 1038–1079.
- Berger, J., Rosenholtz, S. J., & Zelditch, M., Jr. (1980). Status Organizing Processes. *Annual Review of Sociology*, 6, 479–508.
- Birmingham, E., Bischof, W. F., & Kingstone, A. (2008). Gaze selection in complex social scenes. *Visual Cognition*, 16(2–3), 341–355.
- Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2008). Culture Shapes How We Look at Faces. *PLoS ONE*, 3(8), e3022.
- Boehm, C. (1999). *Hierarchy in the forest: Egalitarianism and the evolution of human altruism*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Bond, A. B., Kamil, A. C., & Balda, R. P. (2003). Social complexity and transitive inference in corvids. *Animal Behaviour*, 65(3), 479–487.
- Bond, A. B., Kamil, A. C., & Balda, R. P. (2004). Pinyon jays use transitive inference to predict social dominance. *Nature*, 430(7001), 778–781.
- Booth, A., Shelley, G., Mazur, A., Tharp, G., & Kittok, R. (1989). Testosterone, and winning and losing in human competition. *Hormones and Behavior*, 23(4), 556–571.
- Boyce, W. T. (2004a). Social Stratification, Health, and Violence in the Very Young. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1036(1), 47–68.
- Boyce, W. T. (2004b). Social stratification, health, and violence in the very young. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1036(1), 47–68.

- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention: Orienting and emotion. *Psychophysiology*, 46(1), 1–11.
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3), 276–298.
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Sabatinelli, D., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation II: Sex differences in picture processing. *Emotion*, 1(3), 300–319.
- Breton, A., Jerbi, K., Henaff, M.-A., Cheylus, A., Baudouin, J.-Y., Schmitz, C., ... Van der Henst, J.-B. (2014). Face the Hierarchy: ERP and Oscillatory Brain Responses in Social Rank Processing. *PLoS ONE*, 9(3), e91451.
- Brown, D. E. (1991). *Human universals*. Temple University Press.
- Brown, E., & Perrett, D. I. (1993). What Gives a Face its Gender? *Perception*, 22(7), 829–840.
- Brown, L. M., Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2006). Affective reactions to pictures of ingroup and outgroup members. *Biological Psychology*, 71(3), 303–311.
- Bruce, V., Ellis, H. D., Gibling, F., & Young, A. (1987). Parallel processing of the sex and familiarity of faces. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 41(4), 510.
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British journal of psychology*, 77, 305–327.
- Bruce, V., & Young, A. (1998). *In the eye of the beholder: the science of face perception*. Oxford University Press.
- Brüne, M. (2008). *Textbook of evolutionary psychiatry: The origins of psychopathology*. Oxford University Press, USA.
- Bukach, C. M., Gauthier, I., & Tarr, M. J. (2006). Beyond faces and modularity: the power of an expertise framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 159–166.
- Burgoon, J. K., & Le Poire, B. A. (1999). Nonverbal cues and interpersonal judgments: Participant and observer perceptions of intimacy, dominance, composure, and formality. *Communications Monographs*, 66(2), 105–124.
- Burton, A. M., Bruce, V., & Dench, N. (1993). What's the Difference between Men and Women? Evidence from Facial Measurement. *Perception*, 22(2), 153–176.
- Bushnell, I. W. R., Sai, F., & Mullin, J. T. (1989). Neonatal recognition of the mother's face. *British Journal of Developmental Psychology*, 7(1), 3–15.
- Byrne, R., & Whiten, A. (1989). Machiavellian intelligence: social expertise and the evolution of intellect in monkeys, apes, and humans. *Oxford Science Publication*
- Cacioppo, J. T., & Berntson, G. G. (1994). Relationship between attitudes and evaluative space: A critical review, with emphasis on the separability of positive and negative substrates. *Psychological bulletin*, 115(3), 401.
- Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. G. (2007). *Handbook of psychophysiology*. Cambridge (England); New York: Cambridge University Press.
- Caharel, S., Courtay, N., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2005). Familiarity and emotional expression influence an early stage of face processing: An electrophysiological study. *Brain and Cognition*, 59(1), 96–100.
- Caharel, S., Fiori, N., Bernard, C., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2006). The effects of inversion and eye displacements of familiar and unknown faces on early and late-stage ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, 62(1), 141–151.
- Caharel, S., Poiroux, S., Bernard, C., Thibaut, F., Lalonde, R., & Rebaï, M. (2002). ERPs associated with familiarity and degree of familiarity during face recognition. *International Journal of Neuroscience*, 112(12), 1499–1512.
- Caillois, R. (1958). *Les jeux et les hommes*.

- Caldara, R., Rossion, B., Bovet, P., Hauert, C. A., & others. (2004). Event-related potentials and time course of the « other-race » face classification advantage. *Neuroreport*, 15(5), 905.
- Caldara, R., Thut, G., Servoir, P., Michel, C. M., Bovet, P., & Renault, B. (2003). Face versus non-face object perception and the other-race' effect: a spatio-temporal event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, 114(3), 515–528.
- Carey, S., De Schonen, S., & Ellis, H. D. (1992). Becoming a Face Expert. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 335(1273), 95–103.
- Carli, L. L. (1990). Gender, language, and influence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 59(5), 941.
- Carli, L. L. (2001). Gender and social influence. *Journal of Social Issues*, 57(4), 725–741.
- Carli, L. L., LaFleur, S. J., & Loeber, C. C. (1995). Nonverbal behavior, gender, and influence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 68(6), 1030.
- Carmel, D., & Bentin, S. (2002). Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83(1), 1–29.
- Carney, D. R., Cuddy, A. J. C., & Yap, A. J. (2010). Power Posing: Brief Nonverbal Displays Affect Neuroendocrine Levels and Risk Tolerance. *Psychological Science*, 21(10), 1363–1368.
- Carney, D. R., Hall, J. A., & LeBeau, L. S. (2005). Beliefs about the nonverbal expression of social power. *Journal of Nonverbal Behavior*, 29(2), 105–123.
- Chance, M. R. A. (1967). Attention structure as the basis of primate rank orders. *Man*, 2(4), 503–518.
- Charafeddine, R., Mercier, H., Clément, F., Kaufmann, L., Berchtold, A., Reboul, A., & Van der Henst, J.-B. (2015). How preschoolers use cues of dominance to make sense of their social environment. *Journal of Cognition and Development*, 16(4).
- Charlesworth, W. R., & Dzur, C. (1987). Gender comparisons of preschoolers' behavior and resource utilization in group problem solving. *Child development*, 191–200.
- Cheney, D. L., & Seyfarth, R. M. (1990). The representation of social relations by monkeys. *Cognition*, 37(1), 167–196.
- Cheng, J. T., & Tracy, J. L. (2014). Toward a Unified Science of Hierarchy: Dominance and Prestige are Two Fundamental Pathways to Human Social Rank. In J. T. Cheng, J. L. Tracy, & C. Anderson (éd.), *The Psychology of Social Status* (p. 3–27). New York, NY: Springer New York.
- Cheng, J. T., Tracy, J. L., Foulsham, T., Kingstone, A., & Henrich, J. (2013). Two ways to the top: Evidence that dominance and prestige are distinct yet viable avenues to social rank and influence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 104(1), 103–125.
- Chiao, J. Y., Adams, R. B., Tse, P. U., Lowenthal, W. T., Richeson, J. A., & Ambady, N. (2008). Knowing who's boss: fMRI and ERP investigations of social dominance perception. *Group Processes & Intergroup Relations*, 11(2), 201–214.
- Chiao, J. Y., Bordeaux, A. R., & Ambady, N. (2004). Mental representations of social status. *Cognition*, 93(2), B49–B57. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.07.008>
- Chiao, J. Y., Harada, T., Oby, E. R., Li, Z., Parrish, T., & Bridge, D. J. (2009). Neural representations of social status hierarchy in human inferior parietal cortex. *Neuropsychologia*, 47(2), 354–363.
- Chiao, J. Y., Mathur, V. A., Harada, T., & Lipke, T. (2009). Neural Basis of Preference for Human Social Hierarchy versus Egalitarianism. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1167(1), 174–181.
- Church, R. M. (1962). The effects of competition on reaction time and palmar skin conductance. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65(1), 32.

- Cloutier, J., Ambady, N., Meagher, T., & Gabrieli, J. D. E. (2012). The neural substrates of person perception: Spontaneous use of financial and moral status knowledge. *Neuropsychologia*, 50(9), 2371–2376.
- Cloutier, J., Norman, G. J., Li, T., & Berntson, G. G. (2013). Person perception and autonomic nervous system response: The costs and benefits of possessing a high social status. *Biological Psychology*, 92(2), 301–305.
- Clutton-Brock, T. H., & Harvey, P. H. (1980). Primates, brains and ecology. *Journal of Zoology*, 190(3), 309–323. <http://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1980.tb01430.x>
- Cohen, S., Doyle, W. J., & Baum, A. (2006). Socioeconomic Status Is Associated With Stress Hormones: *Psychosomatic Medicine*, 68(3), 414–420.
- Cohen, S., Janicki-Deverts, D., Doyle, W. J., Miller, G. E., Frank, E., Rabin, B. S., & Turner, R. B. (2012). Chronic stress, glucocorticoid receptor resistance, inflammation, and disease risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 5995–5999.
- Conty, L., N'Diaye, K., Tijus, C., & George, N. (2007). When eye creates the contact! ERP evidence for early dissociation between direct and averted gaze motion processing. *Neuropsychologia*, 45(13), 3024–3037.
- Copeland, C. L., Driskell, J. E., & Salas, E. (1995). Gender and reactions to dominance. *Journal of Social Behavior & Personality*, 10(6), 53–68.
- Cowlshaw, G., & Dunbar, R. I. M. (1991). Dominance rank and mating success in male primates. *Animal Behaviour*, 41(6), 1045–1056.
- Crites, S. L., & Cacioppo, J. T. (1996). Electrocutaneous differentiation of evaluative and nonevaluative categorizations. *Psychological Science*, 7(5), 318–321.
- Crone, E. A., Somsen, R. J. M., Beek, B. V., & Van Der Molena, M. W. (2004). Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. *Psychophysiology*, 41(4), 531–540.
- Crouzet, S., Kirchner, H., & Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades towards faces: Face detection in just 100 ms. *Journal of vision (Charlottesville, Va.)*, 10(4), 1–17.
- Cuddy, A. J., Wilmut, C. A., & Carney, D. R. (2012). The benefit of power posing before a high-stakes social evaluation. Harvard Business School working paper, No 13-027.
- Cummins, D. (2005). Dominance, status, and social hierarchies. *The handbook of evolutionary psychology*, 676–697.
- Cuthbert, B. N., Schupp, H. T., Bradley, M. M., Birbaumer, N., & Lang, P. J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological psychology*, 52(2), 95–111.
- Dahl, C. D., & Adachi, I. (2013). Conceptual metaphorical mapping in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *elife*, 2, e00932.
- Dalmaso, M., Galfano, G., Coricelli, C., & Castelli, L. (2014). Temporal Dynamics Underlying the Modulation of Social Status on Social Attention. *PLoS ONE*, 9(3), e93139.
- Dalmaso, M., Pavan, G., Castelli, L., & Galfano, G. (2012a). Social status gates social attention in humans. *Biology Letters*, 8(3), 450–452.
- Dalmaso, M., Pavan, G., Castelli, L., & Galfano, G. (2012b). Social status gates social attention in humans. *Biology letters*, 8(3), 450–452.
- Damasio, A. R., Damasio, H., & Van Hoesen, G. W. (1982). Prosopagnosia: Anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology*, 32(4), 331–331.
- Dambacher, M., & Hübner, R. (2014). Time pressure affects the efficiency of perceptual processing in decisions under conflict. *Psychological Research*, 79(1), 83–94.
- Danescu-Niculescu-Mizil, C., Lee, L., Pang, B., & Kleinberg, J. (2012). Echoes of power: Language effects and power differences in social interaction. In *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web* (p. 699–708). ACM.

- Deaner, R. O., Khera, A. V., & Platt, M. L. (2005). Monkeys Pay Per View: Adaptive Valuation of Social Images by Rhesus Macaques. *Current Biology*, 15(6), 543–548.
- Deaner, R. O., & Platt, M. L. (2003). Reflexive social attention in monkeys and humans. *Current Biology*, 13(18), 1609–1613.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3–6), 487–506.
- Descola, P. (1993). Les lances du crépuscule: relation Jivaros. Haute Amazonie. *Les Lances du Crépuscule: Relation Jivaros. Haute Amazonie*.
- Deutsch, F. M. (1990). Status, Sex, and Smiling The Effect of Role on Smiling in Men and Women. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 16(3), 531–540.
- De Waal, F. (2007). *Chimpanzee politics: Power and sex among apes*. JHU Press.
- DeWall, C. N. (2008). High status men (but not women) capture the eye of the beholder. *Evolutionary Psychology*.
- Diamond, R., & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology. General*, 115(2), 107–117.
- Diekmann, A. B., & Eagly, A. H. (2000). Stereotypes as dynamic constructs: Women and men of the past, present, and future. *Personality and social psychology bulletin*, 26(10), 1171–1188.
- Dixon, J. A., & Foster, D. H. (1998). Gender, Social Context, and Backchannel Responses. *The Journal of Social Psychology*, 138(1), 134–136.
- Dovidio, J. F., & Ellyson, S. L. (1982). Decoding visual dominance: Attributions of power based on relative percentages of looking while speaking and looking while listening. *Social Psychology Quarterly*, 106–113.
- Driver, J., Davis, G., Ricciardelli, P., Kidd, P., Maxwell, E., & Baron-Cohen, S. (1999). Gaze perception triggers reflexive visuospatial orienting. *Visual cognition*, 6(5), 509–540.
- Dunbar, R. I. (1992). Neocortex size as a constraint on group size in primates. *Journal of Human Evolution*, 22(6), 469–493.
- Dunbar, R. I. (1993). Coevolution of neocortical size, group size and language in humans. *Behavioral and brain sciences*, 16(04), 681–694.
- Dunbar, R. I. M. (2011). Evolutionary basis of the social brain. *Oxford handbook of social neuroscience*. Oxford University press, Oxford, 28–38.
- Dunbar, R. I. M., & Shultz, S. (2007). Evolution in the social brain. *science*, 317(5843), 1344–1347.
- Eagly, A. H., Makhijani, M. G., & Klonsky, B. G. (1992). Gender and the evaluation of leaders: A meta-analysis. *Psychological bulletin*, 111(1), 3.
- Eagly, A. H., & Wood, W. (1999). The origins of sex differences in human behavior: Evolved dispositions versus social roles. *American psychologist*, 54(6), 408.
- Edelman, M. S., & Omark, D. R. (1973). Dominance hierarchies in young children. *Social Science Information/sur les sciences sociales*.
- Eimer, M. (2000). Attentional modulations of event-related brain potentials sensitive to faces. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1–3), 103–116.
- Eimer, M. (2000a). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical neurophysiology*, 111(4), 694–705.
- Eimer, M. (2000b). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *Neuroreport*, 11(10), 2319.
- Eimer, M. (2011). The face-sensitive N170 component of the event-related brain potential. *Oxford Handbook of Face Perception*, 329.
- Eimer, M., & Forster, B. (2003). Modulations of early somatosensory ERP components by transient and sustained spatial attention. *Experimental Brain Research*, 151(1), 24–31.

- Eimer, M., & others. (2000). Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces. Evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 10(1-2), 145–158.
- Eisenberger, N. I. (2012). The pain of social disconnection: examining the shared neural underpinnings of physical and social pain. *Nature Reviews Neuroscience*.
- Eisenberger, N. I., Inagaki, T. K., Muscatell, K. A., Haltom, K. E. B., & Leary, M. R. (2011). The neural sociometer: brain mechanisms underlying state self-esteem. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3448–3455.
- Elliot, A. J., Payen, V., Brisswalter, J., Cury, F., & Thayer, J. F. (2011). A subtle threat cue, heart rate variability, and cognitive performance: Heart rate variability. *Psychophysiology*, 48(10), 1340–1345.
- Ellis, H. D., Bruce, V., & De Schonen, S. (1992). The Development of Face Processing Skills. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 335(1273), 105–111.
- Ellis, H. D., & Young, A. W. (1989). Are faces special. *Handbook of research on face processing*, 1–26.
- Ellis, L. (1995a). Dominance and reproductive success among nonhuman animals: A cross-species comparison. *Ethology and Sociobiology*, 16(4), 257–333.
- Ellis, L. (1995b). Dominance and reproductive success among nonhuman animals: a cross-species comparison. *Ethology and Sociobiology*, 16(4), 257–333.
- Elo, I. T. (2009). Social Class Differentials in Health and Mortality: Patterns and Explanations in Comparative Perspective. *Annual Review of Sociology*, 35(1), 553–572.
- Elsesser, K. M., & Lever, J. (2011). Does gender bias against female leaders persist? Quantitative and qualitative data from a large-scale survey. *Human Relations*, 64(12), 1555–1578.
- Fairbanks, L. A., Jorgensen, M. J., Huff, A., Blau, K., Hung, Y.-Y., & Mann, J. J. (2004). Adolescent impulsivity predicts adult dominance attainment in male vervet monkeys. *American Journal of Primatology*, 64(1), 1–17.
- Farah, M. J. (1996). Is face recognition ‘special’? Evidence from neuropsychology. *Behavioural brain research*, 76(1), 181–189.
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), 9602–9605.
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F., & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(14), 9602.
- Farrow, T. F. D., Jones, S. C., Kaylor-Hughes, C. J., Wilkinson, I. D., Woodruff, P. W. R., Hunter, M. D., & Spence, S. A. (2011). Higher or lower? The functional anatomy of perceived allocentric social hierarchies. *NeuroImage*, 57(4), 1552–1560.
- Feng, C., Tian, T., Feng, X., & Luo, Y.-J. (2015). Attention modulations on the perception of social hierarchy at distinct temporal stages: An electrophysiological investigation. *Neuropsychologia*, 70, 21–29.
- Fieder, M., Huber, S., Bookstein, F. L., Iber, K., Schäfer, K., Winckler, G., & Wallner, B. (2005a). Status and Reproduction in Humans: New Evidence for the Validity of Evolutionary Explanations on Basis of a University Sample. *Ethology*, 111(10), 940–950.
- Fieder, M., Huber, S., Bookstein, F. L., Iber, K., Schäfer, K., Winckler, G., & Wallner, B. (2005b). Status and reproduction in humans: new evidence for the validity of evolutionary explanations on basis of a university sample. *Ethology*, 111(10), 940–950.
- Fiske, A. P. (1992). The four elementary forms of sociality: framework for a unified theory of social relations. *Psychological review*, 99(4), 689.
- Fiske, S. T. (1993). Controlling other people: The impact of power on stereotyping. *American psychologist*, 48(6), 621.

- Fiske, S. T. (2010). Interpersonal Stratification: Status, Power, and Subordination. In S. T. Fiske, D. T. Gilbert, & G. Lindzey (éd.), *Handbook of Social Psychology*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Fletcher-Watson, S., Findlay, J. M., Leekam, S. R., & Benson, V. (2008). Rapid detection of person information in a naturalistic scene. *Perception*, 37(4), 571-583.
- Foulsham, T., Cheng, J. T., Tracy, J. L., Henrich, J., & Kingstone, A. (2010). Gaze allocation in a dynamic situation: Effects of social status and speaking. *Cognition*, 117(3), 319-331.
- Foulsham, T., Walker, E., & Kingstone, A. (2011). The where, what and when of gaze allocation in the lab and the natural environment. *Vision Research*, 51(17), 1920-1931.
- Fournier, M. A. (2009). Adolescent Hierarchy Formation and the Social Competition Theory of Depression. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 28(9), 1144-1172.
- Fragale, A. R., Overbeck, J. R., & Neale, M. A. (2011). Resources versus respect: Social judgments based on targets' power and status positions. *Journal of Experimental Social Psychology*, 47(4), 767-775.
- Freeman, J. B., Ambady, N., & Holcomb, P. J. (2010). The face-sensitive N170 encodes social category information. *Neuroreport*, 21(1), 24-28.
- Freeman, J. B., Rule, N. O., Adams Jr., R. B., & Ambady, N. (2009). Culture shapes a mesolimbic response to signals of dominance and subordination that associates with behavior. *NeuroImage*, 47(1), 353-359.
- Friesen, C. K., & Kingstone, A. (1998). The eyes have it! Reflexive orienting is triggered by nonpredictive gaze. *Psychonomic bulletin & review*, 5(3), 490-495.
- Fries, P., Reynolds, J. H., Rorie, A. E., & Desimone, R. (2001). Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention. *Science*, 291(5508), 1560-1563.
- Fu, G., Hu, C. S., Wang, Q., Quinn, P. C., & Lee, K. (2012). Adults Scan Own- and Other-Race Faces Differently. *PLoS ONE*, 7(6).
- Furey, M. L., Tanskanen, T., Beauchamp, M. S., Avikainen, S., Uutela, K., Hari, R., & Haxby, J. V. (2006). Dissociation of face-selective cortical responses by attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(4), 1065-1070.
- Galinsky, A. D., Magee, J. C., Inesi, M. E., & Gruenfeld, D. H. (2006). Power and perspectives not taken. *Psychological science*, 17(12), 1068-1074.
- Gauthier, I., Curran, T., Curby, K. M., & Collins, D. (2003). Perceptual interference supports a non-modular account of face processing. *Nature Neuroscience*, 6(4), 428-432.
- George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J., & Renault, B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, 4(2), 65-76.
- George, N., Jemel, B., Fiori, N., Chaby, L., & Renault, B. (2005). Electrophysiological correlates of facial decision: insights from upright and upside-down Mooney-face perception. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 663-673.
- George, N., Jemel, B., Fiori, N., & Renault, B. (1997). Face and shape repetition effects in humans: A spatio-temporal ERP study. *NeuroReport*, 8(6), 1417-1422.
- Gestin, M., & Mathieu, N.-C. (2010). 4. Claude Lévi-Strauss et (toujours) l'échange des femmes: analyses formelles, discours, réalités empiriques.
- Getov, S., Kanai, R., Bahrami, B., & Rees, G. (2015). Human brain structure predicts individual differences in preconscious evaluation of facial dominance and trustworthiness. *Social cognitive and affective neuroscience*, 10(5), 690-699.
- Giessner, S. R., & Schubert, T. W. (2007). High in the hierarchy: How vertical location and judgments of leaders' power are interrelated. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 104(1), 30-44.
- Gliga, T. (2003). La reconnaissance des visages par le nourrisson. *Médecine & enfance*, 23(9), 553-564.

- Gliga, T., Elsabbagh, M., Andravizou, A., & Johnson, M. (2009). Faces Attract Infants' Attention in Complex Displays. *Infancy*, 14(5), 550-562.
- Gobbini, M. I., & Haxby, J. V. (2006). Neural response to the visual familiarity of faces. *Brain research bulletin*, 71(1), 76-82.
- Gobbini, M. I., & Haxby, J. V. (2007). Neural systems for recognition of familiar faces. *Neuropsychologia*, 45(1), 32-41.
- Gobel, M. S., Kim, H. S., & Richardson, D. C. (2015). The dual function of social gaze. *Cognition*, 136, 359-364.
- Godelier, M. (1982). La production des Grands Hommes. Pouvoir et domination masculine chez les Baruya de Nouvelle-Guinée.
- Goffaux, V., Jemel, B., Jacques, C., Rossion, B., & Schyns, P. . (2003). ERP evidence for task modulations on face perceptual processing at different spatial scales. *Cognitive Science*, 27(2), 313-325.
- Goffman, E. (1977). The arrangement between the sexes. *Theory and society*, 4(3), 301-331.
- Goldinger, S. D., He, Y., & Papesh, M. H. (2009). Deficits in cross-race face learning: Insights from eye movements and pupillometry. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(5), 1105-1122.
- Goldstein, A. G. (1983). Behavioral scientists' fascination with faces. *Journal of Nonverbal Behavior*, 7(4), 223-255.
- Goodman, M. D., & Gareis, K. C. (1993). The influence of status on decisions to help. *The Journal of Social Psychology*, 133(1), 23-31.
- Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. K. (1975). Visual Following and Pattern Discrimination of Face-like Stimuli by Newborn Infants. *Pediatrics*, 56(4), 544-549.
- Gould, R. V. (2002). The Origins of Status Hierarchies: A Formal Theory and Empirical Test1. *American journal of sociology*, 107(5), 1143-1178.
- Grammer, K., & Thornhill, R. (1994). Human (*Homo sapiens*) facial attractiveness and sexual selection: The role of symmetry and averageness. *Journal of Comparative Psychology*, 108(3), 233-242.
- Grosenick, L., Clement, T. S., & Fernald, R. D. (2007). Fish can infer social rank by observation alone. *Nature*, 445(7126), 429-432.
- Gruenfeld, D. H., & Tiedens, L. Z. (2010). Organizational Preferences and Their Consequences. In *Handbook of Social Psychology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Güroglu, B., Haselager, G. J. T., van Lieshout, C. F. M., Takashima, A., Rijpkema, M., & Fernández, G. (2008). Why are friends special? Implementing a social interaction simulation task to probe the neural correlates of friendship. *NeuroImage*, 39(2), 903-910.
- Hajcak, G., & Nieuwenhuis, S. (2006). Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 6(4), 291-297.
- Halevy, N., Y. Chou, E., & D. Galinsky, A. (2011). A functional model of hierarchy: Why, how, and when vertical differentiation enhances group performance. *Organizational Psychology Review*, 1(1), 32-52.
- Halit, H., de Haan, M., & Johnson, M. H. (2000). Modulation of event-related potentials by prototypical and atypical faces. *Neuroreport*, 11(9), 1871-1875.
- Hall, J. A., Coats, E. J., & LeBeau, L. S. (2005). Nonverbal Behavior and the Vertical Dimension of Social Relations: A Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 131(6), 898-924.
- Hall, J. A., Latu, I. M., Carney, D. R., & Mast, M. S. (2014). Nonverbal communication and the vertical dimension of social relations. In *The psychology of social status* (p. 325-343). Springer.

- Hare, B., Call, J., Agnetta, B., & Tomasello, M. (2000). Chimpanzees know what conspecifics do and do not see. *Animal Behaviour*, 59(4), 771-785.
- Hareli, S., Shomrat, N., & Hess, U. (2009). Emotional versus neutral expressions and perceptions of social dominance and submissiveness. *Emotion*, 9(3), 378-384.
- Harrigan, J. A., Gramata, J. F., Lucic, K. S., & Margolis, C. (1989). It's how you say it: Physicians' vocal behavior. *Social Science & Medicine*, 28(1), 87-92.
- Harris, A. M., & Aguirre, G. K. (2008). The effects of parts, wholes, and familiarity on face-selective responses in MEG. *Journal of Vision*, 8(10).
- Hawley, P. H. (1999). The ontogenesis of social dominance: A strategy-based evolutionary perspective. *Developmental Review*, 19(1), 97-132.
- 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.
- 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.
- Hayhoe, M., & Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 188-194.
- Heath, D. B. (1958). Sexual division of labor and cross-cultural research. *Social Forces*, 77-79.
- Heisz, J. J., Pottruff, M. M., & Shore, D. I. (2013). Females Scan More Than Males: A Potential Mechanism for Sex Differences in Recognition Memory. *Psychological Science*, 24(7), 1157-1163.
- Heisz, J. J., & Shore, D. I. (2008). More efficient scanning for familiar faces. *Journal of Vision*, 8(1), 9-9.
- Helweg-Larsen, M., Cunningham, S. J., Carrico, A., & Pergram, A. M. (2004). To nod or not to nod: An observational study of nonverbal communication and status in female and male college students. *Psychology of Women Quarterly*, 28(4), 358-361.
- Henderson, J. M., Falk, R., Minut, S., Dyer, F. C., & Mahadevan, S. (2001). Gaze control for face learning and recognition by humans and machines. *From fragments to objects: Segmentation processes in vision*, 463-481.
- Henderson, J. M., Williams, C. C., & Falk, R. J. (2005). Eye movements are functional during face learning. *Memory & cognition*, 33(1), 98-106.
- Henderson, R. M., McCulloch, D. L., & Herbert, A. M. (2003). Event-related potentials (ERPs) to schematic faces in adults and children. *International journal of psychophysiology*, 51(1), 59-67.
- Henley, N. M., & Patrick, D. (1977). *Body Politics: Power, Sex, and Nonverbal Communication*. Prentice Hall.
- Henrich, J., & Gil-White, F. J. (2001). The evolution of prestige: Freely conferred deference as a mechanism for enhancing the benefits of cultural transmission. *Evolution and human behavior*, 22(3), 165-196.
- Henrich, J., & McElreath, R. (2003). The evolution of cultural evolution. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 12(3), 123-135.
- Henson, R. N., Goshen-Gottstein, Y., Ganel, T., Otten, L. J., Quayle, A., & Rugg, M. D. (2003). Electrophysiological and haemodynamic correlates of face perception, recognition and priming. *Cerebral Cortex*, 13(7), 793-805.
- Héritier, F. (1996). Masculin/Féminin. La pensée de la différence. *Paris, Odile Jacob*, 8, 26.
- Hernandez, N., Metzger, A., Magné, R., Bonnet-Brilhault, F., Roux, S., Barthelemy, C., & Martineau, J. (2009). Exploration of core features of a human face by healthy and autistic adults analyzed by visual scanning. *Neuropsychologia*, 47(4), 1004-1012.
- Herrmann, C. S., & Knight, R. T. (2001). Mechanisms of human attention: event-related potentials and oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(6), 465-476.

- Herrmann, M. J., Ehlis, A.-C., Ellgring, H., & Fallgatter, A. J. (2004). Early stages (P100) of face perception in humans as measured with event-related potentials (ERPs). *Journal of Neural Transmission*, 112(8), 1073-1081.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A.-C., Ellgring, H., & Fallgatter, A. J. (2005). Early stages (P100) of face perception in humans as measured with event-related potentials (ERPs). *Journal of Neural Transmission*, 112(8), 1073-1081.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A.-C., Muehlberger, A., & Fallgatter, A. J. (2005). Source Localization of Early Stages of Face Processing. *Brain Topography*, 18(2), 77-85.
- Herry, C., Bach, D. R., Esposito, F., Di Salle, F., Perrig, W. J., Scheffler, K., ... Seifritz, E. (2007). Processing of Temporal Unpredictability in Human and Animal Amygdala. *Journal of Neuroscience*, 27(22), 5958-5966.
- Hess, U., Adams, R., & Kleck, R. (2005). Who may frown and who should smile? Dominance, affiliation, and the display of happiness and anger. *Cognition & Emotion*, 19(4), 515-536.
- Hess, U., Blairy, S., & Kleck, R. E. (2000). The influence of facial emotion displays, gender, and ethnicity on judgments of dominance and affiliation. *Journal of Nonverbal behavior*, 24(4), 265-283.
- Hills, P. J., & Pake, J. M. (2013). Eye-tracking the own-race bias in face recognition: Revealing the perceptual and socio-cognitive mechanisms. *Cognition*, 129(3), 586-597.
- Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3), 781-787.
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature neuroscience*, 3(1), 80-84.
- Holmstrom, N. (2010). Karl Marx: En quoi peut-il contribuer à comprendre le genre? In *Sous les sciences sociales, le genre*, Paris: La Découverte.
- Hopcroft, R. L. (2006). Sex, status, and reproductive success in the contemporary United States. *Evolution and Human Behavior*, 27(2), 104-120.
- Hu, J., Blue, P. R., Yu, H., Gong, X., Xiang, Y., Jiang, C., & Zhou, X. (2015). Social status modulates the neural response to unfairness. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, nsv086.
- Hu, J., Cao, Y., Blue, P. R., & Zhou, X. (2014). Low social status decreases the neural salience of unfairness. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8.
- Hunt, L. T., Kolling, N., Soltani, A., Woolrich, M. W., Rushworth, M. F. S., & Behrens, T. E. J. (2012). Mechanisms underlying cortical activity during value-guided choice. *Nature Neuroscience*, 15(3), 470-476.
- Iacoboni, M., Lieberman, M. D., Knowlton, B. J., Molnar-Szakacs, I., Moritz, M., Throop, C. J., & Fiske, A. P. (2004). Watching social interactions produces dorsomedial prefrontal and medial parietal BOLD fMRI signal increases compared to a resting baseline. *NeuroImage*, 21(3), 1167-1173.
- Inagaki, T. K., & Eisenberger, N. I. (2011). Neural Correlates of Giving Support to a Loved One. *Psychosomatic Medicine*, 74(1), 3-7.
- Itier, R. J., Alain, C., Kovacevic, N., & McIntosh, A. R. (2007). Explicit versus implicit gaze processing assessed by ERPs. *Brain research*, 1177, 79-89.
- Itier, R. J., Alain, C., Sedore, K., & McIntosh, A. R. (2007). Early Face Processing Specificity: It's in the Eyes! *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1815-1826.
- Itier, R. J., & Batty, M. (2009). Neural bases of eye and gaze processing: The core of social cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(6), 843-863.

- Itier, R. J., Latinus, M., & Taylor, M. J. (2006). Face, eye and object early processing: what is the face specificity? *Neuroimage*, 29(2), 667–676.
- Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2002). Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *Neuroimage*, 15(2), 353–372.
- Itier, R. J., & Taylor, M. J. (2004). N170 or N1? Spatiotemporal Differences between Object and Face Processing Using ERPs. *Cerebral Cortex*, 14(2), 132–142.
- Ito, T. A., Thompson, E., & Cacioppo, J. T. (2004). Tracking the timecourse of social perception: The effects of racial cues on event-related brain potentials. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 30(10), 1267–1280.
- Ito, T. A., & Urland, G. R. (2003). Race and gender on the brain: Electro cortical measures of attention to the race and gender of multiply categorizable individuals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(4), 616–626.
- Ito, T. A., & Urland, G. R. (2005). The influence of processing objectives on the perception of faces: An ERP study of race and gender perception. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 5(1), 21–36.
- Jacklin, C. N., & Maccoby, E. E. (1978). Social behavior at thirty-three months in same-sex and mixed-sex dyads. *Child Development*, 557–569.
- Jeffreys, D. A., Tukmachi, E. S. A., & Rockley, G. (1992). Evoked potential evidence for human brain mechanisms that respond to single, fixated faces. *Experimental Brain Research*, 91(2), 351–362.
- Jemel, B., Calabria, M., Delvenne, J.-F., Crommelinck, M., & Bruyer, R. (2003). Differential involvement of episodic and face representations in ERP repetition effects. *Neuroreport*, 14(3), 525–530.
- Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. *Frontiers in human neuroscience*, 4.
- Johnson, M. H., Dziurawiec, S., Ellis, H., & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40(1), 1–19.
- Johnson, S. K., Murphy, S. E., Zewdie, S., & Reichard, R. J. (2008). The strong, sensitive type: Effects of gender stereotypes and leadership prototypes on the evaluation of male and female leaders. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 106(1), 39–60.
- Johnston, V. S., & Oliver-Rodriguez, J. C. (1997). Facial beauty and the late positive component of event-related potentials. *Journal of Sex Research*, 34(2), 188–198.
- Jones, B. C., DeBruine, L. M., Main, J. C., Little, A. C., Welling, L. L. M., Feinberg, D. R., & Tiddeman, B. P. (2010). Facial cues of dominance modulate the short-term gaze-cuing effect in human observers. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1681), 617–624.
- Kanazawa, S. (2003). Can evolutionary psychology explain reproductive behavior in the contemporary United States? *The Sociological Quarterly*, 44(2), 291–302.
- Kang, S. K., Galinsky, A. D., Kray, L. J., & Shirako, A. (2015). Power Affects Performance When the Pressure Is On Evidence for Low-Power Threat and High-Power Lift. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 41(5), 726–735.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *The Journal of Neuroscience*, 17(11), 4302–4311.
- Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1476), 2109–2128.

- Kaplan, J. R., Manuck, S. B., Fontenot, M. B., & Mann, J. J. (2002). Central Nervous System Monoamine Correlates of Social Dominance in Cynomolgus Monkeys (*Macaca fascicularis*). *Neuropsychopharmacology*, 26(4).
- Karafin, M. S., Tranel, D., & Adolphs, R. (2004). Dominance attributions following damage to the ventromedial prefrontal cortex. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(10), 1796–1804.
- Kawakami, K., Williams, A., Sidhu, D., Choma, B. L., Rodriguez-Bailón, R., Cañadas, E., ... Hugenberg, K. (2014). An eye for the I: Preferential attention to the eyes of ingroup members. *Journal of Personality and Social Psychology*, 107(1), 1–20.
- Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Ito, K., ... Nakamura, K. (1999). The human amygdala plays an important role in gaze monitoring. *Brain*, 122(4), 779–783.
- Keating, C. F., Mazur, A., & Segall, M. H. (1981). A cross-cultural exploration of physiognomic traits of dominance and happiness. *Ethology and Sociobiology*, 2(1), 41–48.
- Keil, A., Bradley, M. M., Hauk, O., Rockstroh, B., Elbert, T., & Lang, P. J. (2002). Large-scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 39(5), 641–649.
- Keverne, E. B., Leonard, R. A., Scruton, D. M., & Young, S. K. (1978). Visual monitoring in social groups of talapoin monkeys (*Miopithecus talapoin*). *Animal Behaviour*, 26, 933–944.
- Kirouac, G., & Hess, U. (1999). Group membership and the decoding of nonverbal behavior. *The social context of nonverbal behavior*, 182–210.
- Kishida, K. T., Yang, D., Quartz, K. H., Quartz, S. R., & Montague, P. R. (2012). Implicit signals in small group settings and their impact on the expression of cognitive capacity and associated brain responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 367(1589), 704–716.
- Klein, J. T., Deaner, R. O., & Platt, M. L. (2008). Neural Correlates of Social Target Value in Macaque Parietal Cortex. *Current Biology*, 18(6), 419–424.
- Klein, J. T., & Platt, M. L. (2013). Social information signaling by neurons in primate striatum. *Current Biology*, 23(8), 691–696.
- Klein, J. T., Shepherd, S. V., & Platt, M. L. (2009). Social Attention and the Brain. *Current Biology*, 19(20), R958–R962.
- Kleinke, C. L., & Williams, G. (1994). Effect of interviewer status, touch and gender on cardiovascular reactivity. *The Journal of Social Psychology*, 134(2), 247–249.
- Kleinke, C. L., & Williams, G. (1994). Effects of Interviewer Status, Touch, and Gender on Cardiovascular Reactivity. *The Journal of Social Psychology*, 134(2), 247–249.
- Klimesch, W., Sauseng, P., & Hanslmayr, S. (2007). EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis. *Brain research reviews*, 53(1), 63–88.
- Kloth, N., Dobel, C., Schweinberger, S. R., Zwitserlood, P., Bölte, J., & Junghöfer, M. (2006). Effects of personal familiarity on early neuromagnetic correlates of face perception. *European Journal of Neuroscience*, 24(11), 3317–3321.
- Knight, E. L., & Mehta, P. H. (2014). Hormones and Hierarchies. In *The Psychology of Social Status* (p. 269–301).
- Knyazev, G. G. (2007). Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(3), 377–395.
- Koski, J. E., Xie, H., & Olson, I. R. (2015). Understanding social hierarchies: The neural and psychological foundations of status perception. *Social Neuroscience*, 1–24.
- Kraus, M. W., Côté, S., & Keltner, D. (2010). Social class, contextualism, and empathic accuracy. *Psychological Science* 21(11), 1716–1723.

- Kraus, M. W., & Keltner, D. (2009). Signs of Socioeconomic Status: A Thin-Slicing Approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 97(6), 992-1004.
- Kumaran, D., Melo, H. L., & Duzel, E. (2012). The Emergence and Representation of Knowledge about Social and Nonsocial Hierarchies. *Neuron*, 76(3), 653-666.
- Lachaux, J.-P., Baillet, S., Adam, C., Ducorps, A., Jerbi, K., Bertrand, O., ... Martinerie, J. (2007). A simultaneous MEG and intracranial EEG study of task-related brain oscillations. *International Congress Series*, 1300, 421-424.
- Lachaux, J. P., George, N., Tallon-Baudry, C., Martinerie, J., Hugueville, L., Minotti, L., ... Renault, B. (2005). The many faces of the gamma band response to complex visual stimuli. *Neuroimage*, 25(2), 491-501.
- LaFrance, M. (1992). Gender and Interruptions Individual Infraction or Violation of the Social Order? *Psychology of Women Quarterly*, 16(4), 497-512.
- La Freniere, P., & Charlesworth, W. R. (1983). Dominance, attention, and affiliation in a preschool group: A nine-month longitudinal study. *Ethology and Sociobiology*, 4(2), 55-67.
- Lakens, D., Semin, G. R., & Garrido, M. V. (2011). The sound of time: Cross-modal convergence in the spatial structuring of time. *Consciousness and cognition*, 20(2), 437-443.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press.
- Lamichhane, B., Adhikari, B. M., Brosnan, S. F., & Dhamala, M. (2014). The Neural Basis of Perceived Unfairness in Economic Exchanges. *Brain Connectivity*, 4(8), 619-630.
- Lang, P. J., & Bradley, M. M. (2010). Emotion and the motivational brain. *Biological Psychology*, 84(3), 437-450.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N., & others. (1997). Motivated attention: Affect, activation, and action. *Attention and orienting: Sensory and motivational processes*, 97-135.
- Langton, S. R., & Bruce, V. (1999). Reflexive visual orienting in response to the social attention of others. *Visual Cognition*, 6(5), 541-567.
- Lansu, T. A. M., Cillessen, A. H. N., & Karremans, J. C. (2014). Adolescents' Selective Visual Attention for High-Status Peers: The Role of Perceiver Status and Gender. *Child Development*, 85(2), 421-428.
- Larsen, K. S., Triplett, J. S., Brant, W. D., & Langenberg, D. (1979). Collaborator Status, Subject Characteristics, and Conformity in the Asch Paradigm. *The Journal of Social Psychology*, 108(2), 259-263.
- Leonards, U., & Scott-Samuel, N. E. (2005). Idiosyncratic initiation of saccadic face exploration in humans. *Vision Research*, 45(20), 2677-2684.
- Levi-Strauss, C. (1949). *Les Structures Elementaires de la Parente*. Paris: Presses Universitaires de France. 1953 Social Structure. *Anthropology Today*. AL Kroeber, ed, 524-553.
- Lewis, M. B., & Ellis, H. D. (2003). How we detect a face: A survey of psychological evidence. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 13(1), 3-7.
- Lieberman, M. D. (2013). *Why our brains are wired to connect*. New York, NY: Crown Publishers.
- Li, L., Power, C., Kelly, S., Kirschbaum, C., & Hertzman, C. (2007). Life-time socio-economic position and cortisol patterns in mid-life. *Psychoneuroendocrinology*, 32(7), 824-833.
- Lips, H. M. (2013). The gender pay gap: Challenging the rationalizations. Perceived equity, discrimination, and the limits of human capital models. *Sex Roles*, 68(3-4), 169-185.
- Liu, J., Harris, A., & Kanwisher, N. (2002). Stages of processing in face perception: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 5(9), 910-916.

- Liu, Y., Huang, H., McGinnis-Deweese, M., Keil, A., & Ding, M. (2012). Neural Substrate of the Late Positive Potential in Emotional Processing. *Journal of Neuroscience*, 32(42), 14563–14572.
- Long, J. M., Lynch, J. J., Machiran, N. M., Thomas, S. A., & Malinow, K. L. (1982). The effect of status on blood pressure during verbal communication. *Journal of Behavioral Medicine*, 5(2), 165–172.
- Löw, A., Lang, P. J., Smith, J. C., & Bradley, M. M. (2008). Both Predator and Prey: Emotional Arousal in Threat and Reward. *Psychological Science*, 19(9), 865–873.
- Lueschow, A., Sander, T., Boehm, S. G., Nolte, G., Trahms, L., & Curio, G. (2004). Looking for faces: Attention modulates early occipitotemporal object processing. *Psychophysiology*, 41(3), 350–360.
- Ly, M., Haynes, M. R., Barter, J. W., Weinberger, D. R., & Zink, C. F. (2011). Subjective Socioeconomic Status Predicts Human Ventral Striatal Responses to Social Status Information. *Current Biology*, 21(9), 794–797.
- MacLean, E. L., Merritt, D. J., & Brannon, E. M. (2008). Social complexity predicts transitive reasoning in prosimian primates. *Animal behaviour*, 76(2), 479–486.
- Magee, J. C., & Galinsky, A. D. (2008). 8 Social Hierarchy: The Self-Reinforcing Nature of Power and Status. *The Academy of Management Annals*, 2(1), 351–398.
- Magee, J. C., & Galinsky, A. D. (2008). The Self-Reinforcing Nature of Social Hierarchy: Origins and Consequences of Power and Status. In *IACM 21st Annual Conference Paper*.
- Mah, L., Arnold, M. C., & Grafman, J. (2004). Impairment of social perception associated with lesions of the prefrontal cortex. *American Journal of Psychiatry*, 161(7), 1247–1255.
- Majolo, B., Lehmann, J., de Bortoli Vizioli, A., & Schino, G. (2012). Fitness-related benefits of dominance in primates. *American Journal of Physical Anthropology*, 147(4), 652–660.
- Maner, J. K., DeWall, C. N., & Gailliot, M. T. (2008). Selective attention to signs of success: Social dominance and early stage interpersonal perception. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34(4), 488–501.
- Markey, P. M., Funder, D. C., & Ozer, D. J. (2003). Complementarity of Interpersonal Behaviors in Dyadic Interactions. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(9), 1082–1090.
- Marsh, A. A., Blair, K. S., Jones, M. M., Soliman, N., & Blair, R. J. R. (2009). Dominance and submission: The ventrolateral prefrontal cortex and responses to status cues. *Journal of cognitive neuroscience*, 21(4), 713–724.
- Marzi, T., & Viggiano, M. P. (2007). Interplay between familiarity and orientation in face processing: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 65(3), 182–192.
- Mascaro, O., & Csibra, G. (2012). Representation of stable social dominance relations by human infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(18), 6862–6867.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4), 370.
- Mason, M., Magee, J. C., & Fiske, S. T. (2014). Neural Substrates of Social Status Inference: Roles of Medial Prefrontal Cortex and Superior Temporal Sulcus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1–10.
- Mast, M. S. (2002). Dominance as expressed and inferred through speaking time. *Human Communication Research*, 28(3), 420–450.
- Mast, M. S. (2005). The World According to Men: It Is Hierarchical and Stereotypical. *Sex Roles*, 53(11–12), 919–924.
- Mast, M. S., & Hall, J. A. (2004). Who is the boss and who is not? Accuracy of judging status. *Journal of Nonverbal Behavior*, 28(3), 145–165.

- Maurer, D., Le Grand, R., & Mondloch, C. J. (2002). The many faces of configural processing. *Trends in cognitive sciences*, 6(6), 255–260.
- Mazur, A. (1973). A Cross-Species Comparison of Status in Small Established Groups. *American Sociological Review*, 38(5), 513–530.
- Mazur, A. (1985). A biosocial model of status in face-to-face primate groups. *Social Forces*, 64(2), 377–402.
- Mazur, A., & Booth, A. (1998). Testosterone and dominance in men. *Behavioral and brain sciences*, 21(03), 353–363.
- Mazur, A., Susman, E. J., & Edelman, S. (1997). Sex difference in testosterone response to a video game contest. *Evolution and human behavior*, 18(5), 317–326.
- McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997). Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of cognitive neuroscience*, 9(5), 605–610.
- McCaul, K. D., Gladue, B. A., & Joppa, M. (1992). Winning, losing, mood, and testosterone. *Hormones and Behavior*, 26(4), 486–504.
- McDonnell, G. P., Bornstein, B. H., Laub, C. E., Mills, M., & Dodd, M. D. (2014). Perceptual Processes in the Cross-Race Effect: Evidence From Eyetracking. *Basic and Applied Social Psychology*, 36(6), 478–493.
- McNelis, N. L., & Boatright-Horowitz, S. L. (1998). Social monitoring in a primate group: the relationship between visual attention and hierarchical ranks. *Animal Cognition*, 1(1), 65–69.
- Meaux, E., Hernandez, N., Carreau-Martin, I., Martineau, J., Barthélémy, C., Bonnet-Brilhault, F., & Batty, M. (2014). Event-related potential and eye tracking evidence of the developmental dynamics of face processing. *European Journal of Neuroscience*, 39(8), 1349–1362.
- Meese, G. B., & Ewbank, R. (1973). The establishment and nature of the dominance hierarchy in the domesticated pig. *Animal Behaviour*, 21(2), 326–334.
- Mehta, P. H., & Beer, J. (2010). Neural mechanisms of the testosterone–aggression relation: the role of orbitofrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(10), 2357–2368.
- Meier, B. P., Hauser, D. J., Robinson, M. D., Friesen, C. K., & Schjeldahl, K. (2007). What's« up » with God? Vertical space as a representation of the divine. *Journal of personality and social psychology*, 93(5), 699.
- Mendelson, T., Thurston, R. C., & Kubzansky, L. D. (2008). Affective and cardiovascular effects of experimentally-induced social status. *Health Psychology*, 27(4), 482–489.
- Mertens, I., Siegmund, H., & Grüsser, O.-J. (1993). Gaze motor asymmetries in the perception of faces during a memory task. *Neuropsychologia*, 31(9), 989–998.
- Mignault, A., & Chaudhuri, A. (2003). The many faces of a neutral face: Head tilt and perception of dominance and emotion. *Journal of Nonverbal Behavior*, 27(2), 111–132.
- Milgram, S. (1965). Some Conditions of Obedience and Disobedience to Authority. *Human Relations*, 18(1), 57–76.
- Monnin, T., & Peeters, C. (1999). Dominance hierarchy and reproductive conflicts among subordinates in a monogynous queenless ant. *Behavioral Ecology*, 10(3), 323–332.
- Morgan, D., Grant, K. A., Gage, H. D., Mach, R. H., Kaplan, J. R., Prioleau, O., ... Nader, M. A. (2002). Social dominance in monkeys: dopamine D2 receptors and cocaine self-administration. *Nature Neuroscience*, 5(2), 169–174.
- Moscovitch, M., Winocur, G., & Behrmann, M. (1997). What is special about face recognition? Nineteen experiments on a person with visual object agnosia and dyslexia but normal face recognition. *Cognitive Neuroscience, Journal of*, 9(5), 555–604.
- Moser, J. S., Hajcak, G., Bukay, E., & Simons, R. F. (2006). Intentional modulation of emotional responding to unpleasant pictures: an ERP study. *Psychophysiology*, 43(3), 292–296.

- Mouchetant-Rostaing, Y., & Giard, M. H. (2003). Electrophysiological correlates of age and gender perception on human faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 900–910.
- Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E., & Pernier, J. (2000). Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *European Journal of Neuroscience*, 12(1), 303–310.
- Mueller, U., & Mazur, A. (1997). Facial dominance in *Homo sapiens* as honest signaling of male quality. *Behavioral Ecology*, 8(5), 569–579.
- Muscattell, K. A., Morelli, S. A., Falk, E. B., Way, B. M., Pfeifer, J. H., Galinsky, A. D., ... Eisenberger, N. I. (2012). Social status modulates neural activity in the mentalizing network. *NeuroImage*, 60(3), 1771–1777.
- Nemrodov, D., Anderson, T., Preston, F. F., & Itier, R. J. (2014). Early sensitivity for eyes within faces: A new neuronal account of holistic and featural processing. *NeuroImage*, 97, 81–94.
- Newton, T. L., & Bane, C. M. (2001). Cardiovascular correlates of behavioral dominance and hostility during dyadic interaction. *International Journal of Psychophysiology*, 40(1), 33–46.
- Newton, T. L., Bane, C. M., Flores, A., & Greenfield, J. (1999). Dominance, gender, and cardiovascular reactivity during social interaction. *Psychophysiology*, 36(02), 245–252.
- Newton, T. L., Watters, C. A., Philhower, C. L., & Weigel, R. A. (2005). Cardiovascular reactivity during dyadic social interaction: The roles of gender and dominance. *International Journal of Psychophysiology*, 57(3), 219–228.
- Ng, S. H., & Bradac, J. J. (1993). *Power in language: Verbal communication and social influence* (Vol. x). Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Nguyen, V. T., & Cunnington, R. (2014). The superior temporal sulcus and the N170 during face processing: Single trial analysis of concurrent EEG–fMRI. *Neuroimage*, 86, 492–502.
- Niederle, M., & Vesterlund, L. (2007). Do Women Shy Away From Competition? Do Men Compete Too Much? *The Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1067–1101.
- Nishida, T. (1983). Alpha status and agonistic alliance in wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*). *Primates*, 24(3), 318–336.
- Noonan, M. P., Sallet, J., Mars, R. B., Neubert, F. X., O'Reilly, J. X., Andersson, J. L., ... Rushworth, M. F. S. (2014). A Neural Circuit Covarying with Social Hierarchy in Macaques. *PLoS Biology*, 12(9), e1001940.
- Ohlsen, G., van Zoest, W., & van Vugt, M. (2013). Gender and Facial Dominance in Gaze Cuing: Emotional Context Matters in the Eyes That We Follow. *PLoS ONE*, 8(4), e59471.
- Oliveira, T., Gouveia, M. J., & Oliveira, R. F. (2009). Testosterone responsiveness to winning and losing experiences in female soccer players. *Psychoneuroendocrinology*, 34(7), 1056–1064.
- Olson, I. R., Plotzker, A., & Ezzyat, Y. (2007). The Enigmatic temporal pole: a review of findings on social and emotional processing. *Brain*, 130(7), 1718–1731.
- Omark, D. R., & Edelman, M. S. (1975). A comparison of status hierarchies in young children: An ethological approach. *Social Science Information*, 14(5), 87–107.
- Ostrove, J. M., Adler, N. E., Kuppermann, M., & Washington, A. E. (2000). Objective and subjective assessments of socioeconomic status and their relationship to self-rated health in an ethnically diverse sample of pregnant women. *Health Psychology*, 19(6), 613.
- Ostrov, J. M., & Keating, C. F. (2004). Gender differences in preschool aggression during free play and structured interactions: An observational study. *Social Development*, 13(2), 255–277.

- Paller, K. A., Gonsalves, B., Grabowecky, M., Bozic, V. S., & Yamada, S. (2000). Electrophysiological correlates of recollecting faces of known and unknown individuals. *Neuroimage*, 11(2), 98–110.
- Pannozzo, P. L., Phillips, K. A., Haas, M. E., & Mintz, E. M. (2007). Social monitoring reflects dominance relationships in a small captive group of brown capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Ethology*, 113(9), 881–888.
- Parke, R. D., & Slaby, R. G. (1983). The development of aggression. *Handbook of child psychology*, 4, 547–641.
- Pascalis, O., de Schonen, S., Morton, J., Deruelle, C., & Fabre-Grenet, M. (1995). Mother's face recognition by neonates: A replication and an extension. *Infant Behavior and Development*, 18(1), 79–85.
- Pastor, M. C., Bradley, M. M., Löw, A., Versace, F., Moltó, J., & Lang, P. J. (2008). Affective picture perception: emotion, context, and the late positive potential. *Brain research*, 1189, 145–151.
- 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), 773–783.
- Pettit, G. S., Bakshi, A., Dodge, K. A., & Coie, J. D. (1990). The emergence of social dominance in young boys' play groups: Developmental differences and behavior correlates. *Developmental Psychology*, 26(6), 1017.
- Piff, P. K., Kraus, M. W., Côté, S., Cheng, B. H., & Keltner, D. (2010). Having less, giving more: the influence of social class on prosocial behavior. *Journal of personality and social psychology*, 99(5), 771.
- Pineda, J. A., & Nava, C. (1993). Event-related potentials in macaque monkey during passive and attentional processing of faces in a priming paradigm. *Behavioural brain research*, 53(1), 177–187.
- Propp, K. M. (1995). An experimental examination of biological sex as a status cue in decision-making groups and its influence on information use. *Small Group Research*, 26(4), 451–474.
- Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1996). Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 16(16), 5205–5215.
- Purcell, D. G., & Stewart, A. L. (1986). The face-detection effect. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 24(2), 118–120.
- Purcell, D. G., & Stewart, A. L. (1988). The face-detection effect: Configuration enhances detection. *Perception & Psychophysics*, 43(4), 355–366.
- Quist, M. C., Watkins, C. D., Smith, F. G., DeBruine, L. M., & Jones, B. C. (2011). Facial masculinity is a cue to women's dominance. *Personality and Individual Differences*, 50(7), 1089–1093.
- Ratcliff, N. J., Hugenberg, K., Shriver, E. R., & Bernstein, M. J. (2011). The allure of status: High-status targets are privileged in face processing and memory. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 37(8), 1003–1015.
- Reynolds, V. (1965). Some behavioral comparisons between the chimpanzee and the mountain gorilla in the wild. *American Anthropologist*, 67(3), 691–706.
- Rhodes, G. (1986). Memory for lateral asymmetries in well-known faces: Evidence for configural information in memory representations of faces. *Memory & cognition*, 14(3), 209–219.
- Ridgeway, C. L. (2001). Gender, Status, and Leadership. *Journal of Social Issues*, 57(4), 637–655.
- Rilling, J. K., Winslow, J. T., & Kilts, C. D. (2004). The neural correlates of mate competition in dominant male rhesus macaques. *Biological Psychiatry*, 56(5), 364–375.

- Ritter, W., & Ruchkin, D. S. (1992). A Review of Event-Related Potential Components Discovered in the Context of Studying P3a. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 658(1), 1–32.
- Rodriguez-Bailón, R., Cañadas, E., Chung, D., & Hugenberg, K. (s. d.). An Eye for the I: Preferential Attention to the Eyes of Ingroup Members. *Journal of Personality and Social Psychology*, 107, 1–20.
- Rolls, E. T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral cortex*, 10(3), 284–294.
- Ronay, R., Greenaway, K., Anicich, E. M., & Galinsky, A. D. (2012). The Path to Glory Is Paved With Hierarchy: When Hierarchical Differentiation Increases Group Effectiveness. *Psychological Science*, 23(6), 669–677.
- Rossion, B. (2014). Understanding face perception by means of human electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(6), 310–318.
- Rossion, B., Campanella, S., Gomez, C. M., Delinte, A., Debatisse, D., Liard, L., ... Guerit, J. M. (1999). Task modulation of brain activity related to familiar and unfamiliar face processing: An ERP study. *Clinical Neurophysiology*, 110(3), 449–462.
- Rossion, B., Delvenne, J. F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Crommelinck, M., & Guérit, J. M. (1999). Spatio-temporal localization of the face inversion effect: An event-related potentials study. *Biological psychology*, 50(3), 173–189.
- Rossion, B., Gauthier, I., Goffaux, V., Tarr, M. J., & Crommelinck, M. (2002). Expertise Training with Novel Objects Leads to Left-Lateralized Facelike Electrophysiological Responses. *Psychological Science*, 13(3), 250–257.
- Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M. J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte, S., & Crommelinck, M. (2000). The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain. *Neuroreport*, 11(1), 69.
- Ro, T., Russell, C., & Lavie, N. (2001). Changing faces: A detection advantage in the flicker paradigm. *Psychological science*, 12(1), 94–99.
- Ruz, M., Aranda, C., Sarmiento, B. R., & Sanabria, D. (2015). Attention to individual identities modulates face processing. *Experimental Brain Research*.
- Saad, G., & Vongas, J. G. (2009). The effect of conspicuous consumption on men's testosterone levels. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 110(2), 80–92.
- Sabatinelli, D., Bradley, M. M., Lang, P. J., Costa, V. D., & Versace, F. (2007). Pleasure rather than salience activates human nucleus accumbens and medial prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 98(3), 1374–1379.
- Sabatinelli, D., Keil, A., Frank, D. W., & Lang, P. J. (2013). Emotional perception: Correspondence of early and late event-related potentials with cortical and subcortical functional MRI. *Biological psychology*, 92(3), 513–519.
- Sæther, L., Belle, W. V., Laeng, B., Brennen, T., & Øvervoll, M. (2009). Anchoring gaze when categorizing faces' sex: Evidence from eye-tracking data. *Vision Research*, 49(23), 2870–2880.
- Saint-Amour, D., Saron, C. D., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2005). Can whole brain nerve conduction velocity be derived from surface-recorded visual evoked potentials? *Neuropsychologia*, 43(12), 1838–1844.
- Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications* (p. 71–78). ACM.
- Sanderson, S. K., Heckert, D. A., & Dubrow, J. K. (2005). Militarist, Marxian, and non-Marxian materialist theories of gender inequality: A cross-cultural test. *Social forces*, 83(4), 1425–1441.

- Santamaria-Garcia, H., Burgaleta, M., & Sebastian-Galles, N. (2015). Neuroanatomical Markers of Social Hierarchy Recognition in Humans: A Combined ERP/MRI Study. *Journal of Neuroscience*, 35(30), 10843-10850.
- Santos, I. M., Iglesias, J., Olivares, E. I., & Young, A. W. (2008). Differential effects of object-based attention on evoked potentials to fearful and disgusted faces. *Neuropsychologia*, 46(5), 1468-1479.
- Sapolsky, R. M. (1999). Glucocorticoids, stress, and their adverse neurological effects: relevance to aging. *Experimental gerontology*, 34(6), 721-732.
- Sapolsky, R. M. (2004). Social Status and Health in Humans and Other Animals. *Annual Review of Anthropology*, 33(1), 393-418.
- Sapolsky, R. M. (2005). The Influence of Social Hierarchy on Primate Health. *Science*, 308(5722), 648-652.
- Sauseng, P., Klimesch, W., Stadler, W., Schabus, M., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., ... Birbaumer, N. (2005). A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *European Journal of Neuroscience*, 22(11), 2917-2926.
- Scheib, J. E., Gangestad, S. W., & Thornhill, R. (1999). Facial attractiveness, symmetry and cues of good genes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 266(1431), 1913-1917.
- Schilbach, L., Wohlschlaeger, A. M., Kraemer, N. C., Newen, A., Shah, N. J., Fink, G. R., & Vogeley, K. (2006). Being with virtual others: Neural correlates of social interaction. *Neuropsychologia*, 44(5), 718-730.
- Schjelderup-Ebbe, T. (1922). Beiträge zur sozialpsychologie des haushuhns. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Abt. 1. Zeitschrift für Psychologie*.
- Schmid Mast, M., Jonas, K., & Hall, J. A. (2009). Give a person power and he or she will show interpersonal sensitivity: The phenomenon and its why and when. *Journal of Personality and Social Psychology*, 97(5), 835-850.
- Schubert, T. W. (2005). Your highness: vertical positions as perceptual symbols of power. *Journal of personality and social psychology*, 89(1), 1.
- Schupp, H., Cuthbert, B., Bradley, M., Hillman, C., Hamm, A., & Lang, P. (2004). Brain processes in emotional perception: Motivated attention. *Cognition & Emotion*, 18(5), 593-611.
- Schupp, H. T., Cuthbert, B. N., Bradley, M. M., Cacioppo, J. T., Ito, T., & Lang, P. J. (2000). Affective picture processing: the late positive potential is modulated by motivational relevance. *Psychophysiology*, 37(2), 257-261.
- Schupp, H. T., Öhman, A., Junghöfer, M., Weike, A. I., Stockburger, J., & Hamm, A. O. (2004). The facilitated processing of threatening faces: an ERP analysis. *Emotion*, 4(2), 189.
- Schweinberger, S. R., Pickering, E. C., Burton, A. M., & Kaufmann, J. M. (2002). Human brain potential correlates of repetition priming in face and name recognition. *Neuropsychologia*, 40(12), 2057-2073.
- Schweinberger, S. R., Pickering, E. C., Jentzsch, I., Burton, A. M., & Kaufmann, J. M. (2002). Event-related brain potential evidence for a response of inferior temporal cortex to familiar face repetitions. *Cognitive Brain Research*, 14(3), 398-409.
- Schweinberger, S. R., & Soukup, G. R. (1998). Asymmetric relationships among perceptions of facial identity, emotion, and facial speech. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 24(6), 1748.
- 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.

- Schyns, P. G., Petro, L. S., & Smith, M. L. (2007). Dynamics of Visual Information Integration in the Brain for Categorizing Facial Expressions. *Current Biology*, 17(18), 1580-1585.
- Scott, J. W. (1986). Gender: A useful category of historical analysis. *The American historical review*, 91(5), 1053-1075.
- Senholzi, K. B., & Ito, T. A. (2012). Structural face encoding: How task affects the N170's sensitivity to race. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*.
- Shelton, B. A. (1992). *Women, men, and time: Gender differences in paid work, housework, and leisure*. Greenwood Pub Group.
- Shepherd, S. V., Deaner, R. O., & Platt, M. L. (2006). Social status gates social attention in monkeys. *Trends Cogn. Sci*, 4, 138-147.
- Sidanius, J., & Pratto, F. (1999). *Social dominance: An integrative theory of social hierarchy and oppression*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Slater, A., & Quinn, P. C. (2001). Face recognition in the newborn infant. *Infant and Child Development*, 10(1-2), 21-24.
- Smith, M. L., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2007). From a face to its category via a few information processing states in the brain. *Neuroimage*, 37(3), 974-984.
- Smith, P. K., Smith, P. K., Jostmann, N. B., Galinsky, A. D., van Dijk, W. W., & others. (2008). Power and Executive Functions. *Psychological Science*.
- Spunt, R. P., Meyer, M. L., & Lieberman, M. D. (2015). The Default Mode of Human Brain Function Primes the Intentional Stance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1-9.
- Sreenivasan, K. K., Goldstein, J. M., Lustig, A. G., Rivas, L. R., & Jha, A. P. (2009). Attention to faces modulates early face processing during low but not high face discriminability. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(4), 837-846.
- Sreenivasan, K. K., & Jha, A. P. (2007). Selective Attention Supports Working Memory Maintenance by Modulating Perceptual Processing of Distractors. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(1), 32-41.
- Strayer, F. F., Chapeskie, T. R., & Strayer, J. (1978). The perception of preschool social dominance. *Aggressive behavior*, 4(2), 183-192.
- Strayer, F. F., & Strayer, J. (1976). An Ethological Analysis of Social Agonism and Dominance Relations among Preschool Children. *Child Development*, 47(4), 980-989.
- Strayer, F. F., & Trudel, M. (1984). Developmental changes in the nature and function of social dominance among young children. *Ethology and Sociobiology*, 5(4), 279-295.
- Talahite, F. (2010). Genre, marché du travail et mondialisation. in Falquet et al. (Ed.) *Genre, Classe, Race*. Paris: Presses de Sciences Po. 43 - 56.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Delpuech, C., & Pernier, J. (1996). Stimulus specificity of phase-locked and non-phase-locked 40 Hz visual responses in human. *The Journal of Neuroscience*, 16(13), 4240-4249.
- Tanaka, J., Luu, P., Weisbrod, M., & Kiefer, M. (1999). Tracking the time course of object categorization using event-related potentials. *NeuroReport*, 10(4), 829-835.
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 46(2), 225-245.
- Tanaka, J. W., & Sengco, J. A. (1997). Features and their configuration in face recognition. *Memory & Cognition*, 25(5), 583-592.
- Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clinical neurophysiology*, 113(12), 1903-1908.
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747-756.

- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88.
- Thomsen, L., Frankenhuys, W. E., Ingold-Smith, M. C., & Carey, S. (2011). Big and mighty: preverbal infants mentally represent social dominance. *Science*, 331(6016), 477.
- Thut, G., Nietzel, A., Brandt, S. A., & Pascual-Leone, A. (2006). Alpha-Band electroencephalographic activity over occipital cortex indexes visuospatial attention bias and predicts visual target detection. *The Journal of neuroscience*, 26(37), 9494–9502.
- Tiberghien, G & Baudouin, J.-Y. (2004). Ce qui est beau est bien... Psycho-sociobiologie de la beauté. Presses Universitaires de Grenoble.
- Tiedens, L. Z., & Fragale, A. R. (2003). Power moves: complementarity in dominant and submissive nonverbal behavior. *Journal of personality and social psychology*, 84(3), 558.
- Tiedens, L. Z., Unzueta, M. M., & Young, M. J. (2007). An unconscious desire for hierarchy? The motivated perception of dominance complementarity in task partners. *Journal of Personality and Social Psychology*, 93(3), 402–414.
- Todorov, A., Said, C. P., Engell, A. D., & Oosterhof, N. N. (2008). Understanding evaluation of faces on social dimensions. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(12), 455–460.
- Tost, L. P., Gino, F., & Larrick, R. P. (2013). When power makes others speechless: The negative impact of leader power on team performance. *Academy of Management Journal*, 56(5), 1465–1486.
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., ... Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry research*, 168(3), 242–249.
- Touraille, P. (2008). *Hommes grands, femmes petites: une évolution coûteuse*. Les Editions de la MSH.
- Tremblay, L., & Schultz, W. (1999). Relative reward preference in primate orbitofrontal cortex. *Nature*, 398(6729), 704–708.
- Valentine, T. (1988). Upside-down faces: A review of the effect of inversion upon face recognition. *British journal of psychology*, 79(4), 471–491.
- Valenza, E., Simion, F., Cassia, V. M., & Umiltà, C. (1996). Face preference at birth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(4), 892–903.
- Van Belle, G., Ramon, M., Lefèvre, P., & Rossion, B. (2010). Fixation patterns during recognition of personally familiar and unfamiliar faces. *Cognitive Science*, 1, 20.
- Van Der Werf, J., Buchholz, V. N., Jensen, O., & Medendorp, W. P. (2009). Neuronal synchronization in human parietal cortex during saccade planning. *Behavioural Brain Research*, 205(2), 329–335.
- Vaughn, B. E., & Waters, E. (1981). Attention structure, sociometric status, and dominance: Interrelations, behavioral correlates, and relationships to social competence. *Developmental Psychology*, 17(3), 275.
- Vecera, S. P., & Johnson, M. H. (1995). Gaze detection and the cortical processing of faces: Evidence from infants and adults. *Visual Cognition*, 2(1), 59–87.
- Von Rueden, C., Gurven, M., & Kaplan, H. (2008). The multiple dimensions of male social status in an Amazonian society. *Evolution and Human Behavior*, 29(6), 402–415.
- Votinov, M., Pripfl, J., Windischberger, C., Sailer, U., & Lamm, C. (2015). Better you lose than I do: neural networks involved in winning and losing in a real time strictly competitive game. *Scientific Reports*, 5, 11017.
- Vrana, S. R., & Rollock, D. (1996). The social context of emotion: Effects of ethnicity and authority/peer status on the emotional reports of African American college students. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 22(3), 296–305.

- Vrana, S. R., & Rollock, D. (1998). Physiological response to a minimal social encounter: Effects of gender, ethnicity, and social context. *Psychophysiology*, 35(04), 462–469.
- Vuilleumier, P., & Pourtois, G. (2007). Distributed and interactive brain mechanisms during emotion face perception: evidence from functional neuroimaging. *Neuropsychologia*, 45(1), 174–194.
- Wagner, D. G., & Berger, J. (1997). Gender and interpersonal task behaviors: Status expectation accounts. *Sociological Perspectives*, 40(1), 1–32.
- Walker, P. M., Silvert, L., Hewstone, M., & Nobre, A. C. (2008). Social contact and other-race face processing in the human brain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 16–25.
- Walker-Smith, G. J., Gale, A. G., & Findlay, J. M. (1977). Eye movement strategies involved in face perception. *Perception*, 6(3), 313 – 326.
- Watanabe, S., Kakigi, R., Koyama, S., & Kirino, E. (1999). Human face perception traced by magneto-and electro-encephalography. *Cognitive Brain Research*, 8(2), 125–142.
- Watanabe, S., Miki, K., & Kakigi, R. (2002). Gaze direction affects face perception in humans. *Neuroscience Letters*, 325(3), 163–166.
- Watkins, C. D., Jones, B. C., & DeBruine, L. M. (2010). Individual differences in dominance perception: Dominant men are less sensitive to facial cues of male dominance. *Personality and Individual Differences*, 49(8), 967–971.
- Werheid, K., Schacht, A., & Sommer, W. (2007). Facial attractiveness modulates early and late event-related brain potentials. *Biological Psychology*, 76(1-2), 100–108.
- Wheeler, L. (1966). Motivation as a determinant of upward comparison. *Journal of Experimental Social Psychology*, 1, 27–31.
- Whiten, A., & Byrne, R. W. (1988). Machiavellian intelligence hypothesis. *Machiavellian intelligence*, 1–9.
- Whyte, M. K. (1978). Cross-cultural codes dealing with the relative status of women. *Ethnology*, 211–237.
- Wiese, H., Kaufmann, J. M., & Schweinberger, S. R. (2012). The Neural Signature of the Own-Race Bias: Evidence from Event-Related Potentials. *Cerebral Cortex*.
- Wild-Wall, N., Dimigen, O., & Sommer, W. (2008a). Interaction of facial expressions and familiarity: ERP evidence. *Biological Psychology*, 77(2), 138–149.
- Wild-Wall, N., Dimigen, O., & Sommer, W. (2008b). Interaction of facial expressions and familiarity: ERP evidence. *Biological Psychology*, 77(2), 138–149.
- Wilkinson, R. G., & Pickett, K. E. (2006). Income inequality and population health: A review and explanation of the evidence. *Social Science & Medicine*, 62(7), 1768–1784.
- Williams, J. E., & Best, D. L. (1990). *Measuring sex stereotypes: A multinational study (rev. ed.)*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Wu, E. X. W., Laeng, B., & Magnussen, S. (2012a). Through the eyes of the own-race bias: eye-tracking and pupillometry during face recognition. *Social Neuroscience*, 7(2), 202–216.
- Wu, E. X. W., Laeng, B., & Magnussen, S. (2012b). Through the eyes of the own-race bias: eye-tracking and pupillometry during face recognition. *Social Neuroscience*, 7(2), 202–216.
- Yamaguchi, M. K., Hirukawa, T., & Kanazawa, S. (2013). Judgment of Gender through Facial Parts. *Perception*, 42(11), 1253–1265. <http://doi.org/10.1068/p240563n>
- Yap, A. J., Galinsky, A. D., & Anderson, C. (2014). The impact of professional and organizational status on subjective well-being: Local status is focal status, *submitted for publication*.
- Yarbus, A. L. (1967a). *Eye Movements and Vision*. Boston, MA: Springer US.

- Yarbus, A. L. (1967b). Eye Movements During Perception of Complex Objects. In *Eye Movements and Vision* (p. 171-211). Springer US.
- Zani, A., & Proverbio, A. M. (2012). Is that a belt or a snake? Object attentional selection affects the early stages of visual sensory processing. *Behav. Brain Funct*, 8(6).
- Zanolie, K., van Dantzig, S., Boot, I., Wijnen, J., Schubert, T. W., Giessner, S. R., & Pecher, D. (2012). Mighty metaphors: Behavioral and ERP evidence that power shifts attention on a vertical dimension. *Brain and cognition*, 78(1), 50–58.
- Zhang, Z., & Deng, Z. (2012). Gender, facial attractiveness, and early and late event-related potential components. *Journal of Integrative Neuroscience*, 11(04), 477-487.
- Zilioli, S., Mehta, P. H., & Watson, N. V. (2014). Losing the battle but winning the war: uncertain outcomes reverse the usual effect of winning on testosterone. *Biological psychology*, 103, 54–62.
- Zink, C. F., Tong, Y., Chen, Q., Bassett, D. S., Stein, J. L., & Meyer-Lindenberg, A. (2008). Know Your Place: Neural Processing of Social Hierarchy in Humans. *Neuron*, 58(2), 273-283.
- Zion-Golumbic, E., & Bentin, S. (2007). Dissociated neural mechanisms for face detection and configural encoding: Evidence from N170 and induced gamma-band oscillation effects. *Cerebral Cortex*, 17(8), 1741–1749.
- Zion-Golumbic, E., Kutas, M., & Bentin, S. (2010). Neural dynamics associated with semantic and episodic memory for faces: Evidence from multiple frequency bands. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(2), 263–277.
- Zitek, E. M., & Tiedens, L. Z. (2012). The fluency of social hierarchy: The ease with which hierarchical relationships are seen, remembered, learned, and liked. *Journal of Personality and Social Psychology; Journal of Personality and Social Psychology*, 102(1), 98.

Curriculum Vitae

Audrey Breton

Date of birth: August 11th 1987, 28 years - Citizenship: French

PhD candidate

L2C2, Institut des Sciences Cognitives

67 boulevard Pinel

69675 Bron - FRANCE

+33(0) 4 37 91 12 65

+33(0) 6 73 65 78 62

audrey.breton@isc.cnrs.fr

Education

- 2014 - 2015 **Research and Teaching Assistant** in the Biology department, Neurosciences section
Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, France
- 2011 - **PhD in Cognitive Neurosciences** under the supervision of Jean-Baptiste Van der Henst
and Pierre Krolak-Salmon
Laboratory on Language, Brain and Cognition, CNRS/UCBL, Lyon, France
Université Claude Bernard, Lyon, France
- 2008 - 2011 **MSc in Neurosciences, with Honours**
1st year: **Cogmaster, specialized in Neurosciences**, *ENS Ulm, Paris, France*
2nd year: gap year
3rd year: **Physiology and Neurosciences**, *Université Claude Bernard, Lyon, France*
ENS final graduation, *ENS Ulm, Paris, France*
- 2007 - 2008 **BSc in Life Science, specialized Cell Biology and Physiology, with Honours**
ENS graduation: cognitive psychology, functional imaging, neuropsychology.
ENS(Ecole Normale Supérieure) Ulm, Paris, France
- 2005 - 2007 **Classes preparing for entrance examinations to the French Grandes Ecoles** (Biology,
Physics, Chemistry) *Lycée La Martinière Monplaisir, Lyon, France*
- 2005 Baccalauréat in Sciences, specialized in Biology, with Honours
Lycée Jean-Michel, Lons-le-Saunier, France

Research experience

- Oct 2011 – present **PhD project: Neural and behavioral basis of social hierarchy conveyed by faces: from perception to adaptation.** Under the supervision of Jean-Baptiste Van der Henst and Pierre Krolak-Salmon.
Laboratory on Language, Brain and Cognition, CNRS/UCBL, Lyon, France
- Sep 2010 – Jun 2011 **The processing of a social rank associated to faces in a competitive game context: looking for an electrophysiological signature.**
Under the supervision of Jean-Baptiste Van der Henst and Pierre Krolak-Salmon
Laboratory on Language, Brain and Cognition, CNRS/UCBL, Lyon, France
- April – Aug 2010 **Electrophysiological correlates to the processing of pronominal reference ambiguity in Spanish-English bilingual speakers.** Under the supervision of Clara Martin and Albert Costa Martinez
Pompeu Fabra University, Barcelona

Sep 2009 – Mar 2010	Reading habits influence the visual exploration of objects, but not faces: an eye-tracking study. Under the supervision of Jean-Baptiste Van der Henst. <i>Laboratory on Language, Brain and Cognition, CNRS/UCBL, Lyon, France</i>
Feb – Jun 2009	Facial electromyographic responses to neutral faces in various emotional contexts / The role of mimicry in detecting the emotion expressed on a face. Under the supervision of Stephanie Dubal. <i>Emotion Center (now ICM), Pitié Salpêtrière hospital, Paris, France</i>
Jun – Aug 2008	The visual scanning pattern of emotional faces. Under the supervision of Guy Tiberghien <i>Laboratory on Language, Brain and Cognition, CNRS/UCBL, Lyon, France</i>

Funding

2011 – 2014 PhD grant from the Direction Générale de l'Armement (DGA) – French Ministry of Defense

Trainings

Nov 2012	Statistics: Mixed Models with R, <i>CNRS</i>
Mar 2012	First Aid Certificate
Feb 2012	Conflicts management, <i>NSCo Doctoral School</i>
Dec 2011	JIRFNI: SPM8 Initiation EEG-MEG, <i>INSERM & CNRS, Paris, France</i>
Oct 2011	Brain Oscillations EEG MEG sEEG, <i>CNRS, Paris, France</i>

Computer and Technical skills

EEG Recording / ERP – TF Analysis	Acticap System, BrainProducts, Elan, Brain Vision Analyzer 2
Eye tracking Recording / Analysis	Tobii Eye-tracker X120, Tobii Studio 3.1 software, Matlab, SQL
Electrodermal Response –	Biopac MP36 Device, Biopac Acknowledge 4 software
Electromyographic Activity / Analysis	
Statistical Analysis	Statistica, SPSS, R
Programming	Matlab, Presentation, Shell, Python, Visual Basic, SQL
Others	Microsoft Office, Linux, Gimp, Squirrel Morph

Languages

French (native), English (advanced), German (scholar) -and Spanish (beginner), Italian (beginner)

Professional activities

2012 -	Co-organizer of lab's seminars, <i>L2C2, Lyon, France</i>
2015	Nuit européenne des Musées (16-17 Mai): organizer of "Hey madam, Let's play Master and Servant !" : <i>Installation photographique participative, Musée des Confluences, Lyon.</i>

Student supervision

2016	Jeremy Collomb-Clerc, BSc Cognitive Psychology, Université Lyon 2
2015	Mathilda Froesel. BSc Physiology and Neurosciences, Université Claude Bernard, Lyon, France
2014	Antoire Berrot. BSc Physiology and Neuroscience, <i>Université Claude Bernard, Lyon, France</i>

- 2013 Contribution in supervising Nathanaël Draï (main supervisor: Jérôme Prado). MSc Physiology and Neurosciences, *Université Claude Bernard, Lyon, France*
Training in EEG recordings and analysis.
- 2012 Mathilde Berger. BSc Physiology and Neuroscience, *Université Claude Bernard, Lyon, France*

Publications

Audrey Breton, Karim Jerbi, Marie-Anne Henaff, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, Christina Schmitz, Pierre Krolak-Salmon and Jean-Baptiste Van der Henst (2014). Face the Hierarchy: ERP and Oscillatory Brain Responses in Social Rank Processing. *PLoS ONE* 9(3): e91451.

Audrey Breton, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin and Jean-Baptiste Van der Henst. Status lies in the eye of the beholder: Evidence from eye-tracking data. (*In prep*)

Audrey Breton & Laurent Cordonier, Emmanuel Trouche and Jean-Baptiste Van der Henst. Experiencing other's status: A psychophysiological investigation. (*In prep*)

Audrey Breton, Romain Ligneul, Karim Jerbi, Jean-Yves Baudouin, Nathalie Georges, and Jean-Baptiste Van der Henst. How gender shapes the processing of occupational status: an ERP study. (*In prep*)

Clara D Martin, Xavier Garcia, **Audrey Breton**, Guillaume Thierry, Albert Costa (2014). From literal meaning to veracity in two hundred milliseconds. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8: 40.

Clara D Martin, Xavier Garcia, **Audrey Breton**, Guillaume Thierry, Albert Costa (2015). World knowledge integration during second language comprehension. *Language, Cognition and Neurosciences*.

Oral Communications

- April 2014 **Audrey Breton**. Faire face aux statuts des autres : marqueurs électrophysiologiques et comportementaux du traitement de la hiérarchie social chez l'homme.
Cognitive Sciences doctoral seminar, ENS Lyon, France.

Posters

- May 2013 **Audrey Breton**, Karim Jerbi, Marie-Anne Henaff, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, Christina Schmitz, Pierre Krolak-Salmon and Jean-Baptiste Van der Henst. Face the hierarchy: processing the social rank of faces is associated with specific modulations of Event-related Potentials and Alpha power.
Colloque de la société des Neurosciences, Lyon, France
- April 2013 **Audrey Breton**, Karim Jerbi, Marie-Anne Henaff, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, Christina Schmitz, Pierre Krolak-Salmon and Jean-Baptiste Van der Henst. Faces the hierarchy: ERP and oscillatory brain responses in social rank processing.
6th Annual Meeting of the Social & Affective Neuroscience Society, San Francisco, California
- April 2013 **Audrey Breton**, Karim Jerbi, Marie-Anne Henaff, Anne Cheylus, Jean-Yves Baudouin, Christina Schmitz, Pierre Krolak-Salmon and Jean-Baptiste Van der Henst. Faces the hierarchy: ERP and oscillatory brain responses in social rank processing.
New Frontiers in social neuroscience IPSEN Foundation, Paris, France

*« Il va y avoir du sport.
Mais moi je reste tranquille ! »*

*Jean-Baptiste Van der Henst
(Interprétation d'après la version originale de Silmaris)*