

Université de Montréal

**Traitements analytiques et configural dans la reconnaissance des visages :
étude électrophysiologique chez le sujet normal**

par

Sophie Lecours

Département de psychologie,
Faculté des arts et sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade
de Philosophiæ Doctor (Ph.D.) en psychologie
option neuropsychologie clinique

Juin 2004

© Sophie Lecours, 2004



Direction des bibliothèques

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

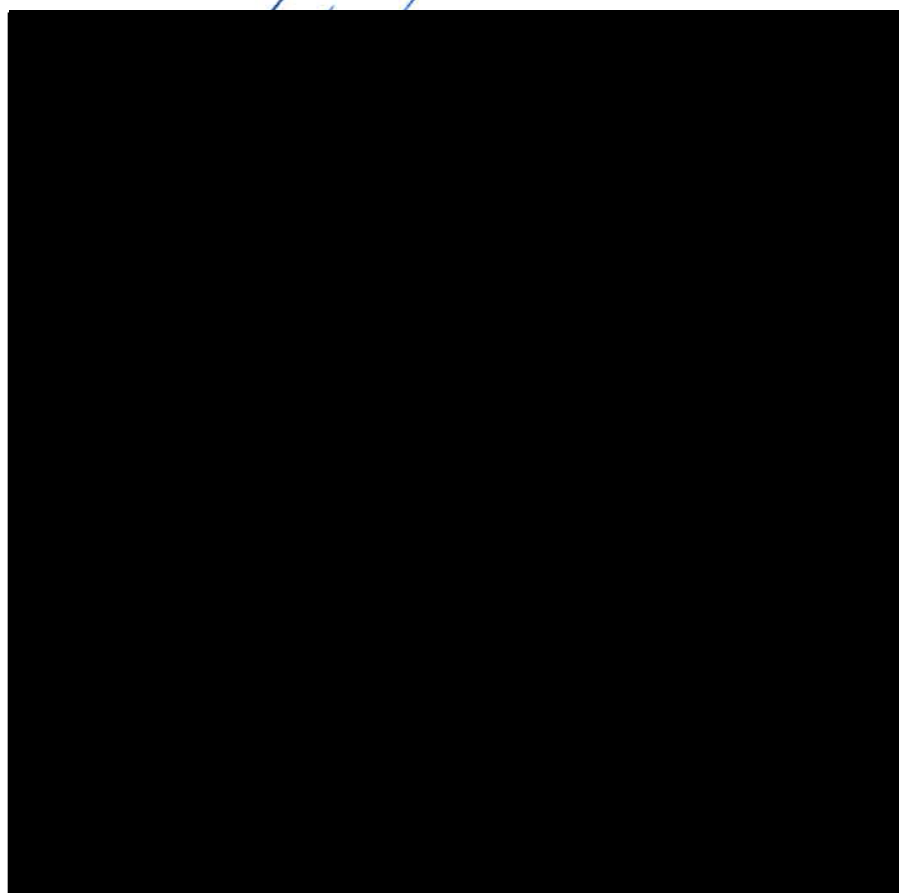
Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

**Traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages :
étude électrophysiologique chez le sujet normal**

présentée par Sophie Lecours

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:



RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

La question de la perception des visages peut se résumer en ces termes : perçoit-on les visages plutôt sur la base de leur apparence globale ou plutôt sur la base de leurs traits et de la configuration de ceux-ci? Le débat est ouvert. Le traitement des visages est-il exclusivement holistique, repose-t-il sur l'appréhension d'un visage en une 'seule pièce', ou doit-on admettre une sorte de conjonction entre deux types de traitement, d'une part, une procédure analytique permettant de repérer les différents traits d'un visage et, d'autre part, un traitement configural consistant à appréhender les relations spatiales qui existent entre les traits d'un visage particulier.

L'objectif de cette thèse était de préciser la contribution des traitements analytique et configural mis en jeu lors de l'encodage de parties de visage. Un examen systématique de cette question a été rendu possible grâce à l'utilisation de stimuli faciaux visant à minimiser toute confusion entre les informations portant sur les traits du visage (segments naturels) et sur les relations qui existent entre eux (segments arbitraires). Dans le cadre d'un paradigme d'appariement séquentiel, l'impact de différentes manipulations expérimentales sur l'encodage de ces segments a été évalué à l'aide de la technique des PÉCs. Ainsi, des mesures tant comportementales qu'électrophysiologiques ont été obtenues chez des sujets normaux, en particulier celles portant sur les caractéristiques de la déflexion négative temporo-occipitale autour de 170 msec associée au traitement des visages.

Dans une première étude, l'examen des facteurs 'contexte facial' et 'stratégie perceptive' a révélé que les unités constitutives sur lesquelles opère

le traitement analytique sont des parties naturelles de visage, alors que la configuration faciale constitue une information cruciale pour la mise en œuvre d'un traitement holistique. La contribution de ces deux modes de traitement à la reconnaissance des visages est apparue tributaire non seulement des caractéristiques physiques des stimuli, mais aussi de la stratégie perceptive adoptée par les sujets au moment de l'encodage.

Une seconde étude a montré principalement que l'inversion des stimuli perturbait le traitement des segments naturels autant que celui des segments arbitraires. Ces résultats entraînent une remise en question de l'hypothèse selon laquelle l'effet d'inversion de visage résulte d'un changement dans le mode de traitement habituel des visages, provoquant ainsi le recours à un mécanisme de traitement analytique.

En conclusion, il apparaît que les traitements analytique et configural sont tous deux mis en œuvre au cours de l'encodage structural des visages. De plus, le système visuel semble avoir recours, de façon indépendante, à l'un ou à l'autre mode de traitement selon la nature de l'information disponible et selon la stratégie perceptive utilisée au moment de l'encodage. Enfin, l'ensemble des résultats obtenus va à l'encontre de l'hypothèse d'un traitement exclusivement holistique des visages, mais il milite plutôt en faveur d'une contribution des traitements analytique et configural à la reconnaissance des visages.

Mots clés :

Perception visuelle des visages, Effet d'inversion de visage, PÉCs, N170

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

An enduring issue in face recognition research is whether face perception depends upon the processing of its global appearance or engages the processing of individual features and their configuration? On the one hand, the holistic view of face recognition assumes that face perception exclusively entails the extraction of a whole-face configuration. On the other hand, the relational view of face recognition emphasizes the joint contribution of an analytic mechanism based on the decomposition of the stimulus into its constituent parts and a configural mechanism based on the processing of the spatial relations among the features of a specific face.

The aim of this thesis is to specify the relative contribution of the analytic and holistic mechanisms during face part encoding. A systematic examination of this issue was conducted by using facial stimuli which minimized confusion between information pertaining to facial features (natural segments) and their spatial relations (arbitrary segments). Face matching experiments were conducted in normal subjects in order to examine the impact of different experimental manipulations on face part encoding through performance as well as electrophysiological measurements, in particular the occipito-temporal negative deflection around 170 ms associated with face processing.

In a first study designed to explore the influence of 'perceptual strategy' and 'facial context' on face part encoding, the results suggested that the basic constituents on which the analytic mechanism acts would be natural face segments, while configural information would be crucial to engage the holistic mechanism. Regarding the relative involvement of these mechanisms in face processing, our data provided evidence that it is not only a function of

the physiognomic value of the available facial input, but also of the encoding strategy involved in visual analysis.

In a second study, it was observed that stimulus inversion affects the processing of both arbitrary and natural parts. These results contradict the notion that the face inversion effect is caused by a forced switch from configural to componential processing.

To conclude, it appears that the analytic and holistic mechanisms are both involved at the structural encoding stage of face recognition. Our data also provided evidence that the visual system is able to encode the face configuration as well as to integrate face parts encoded individually and that these two processes are triggered independently by the relevant type of face input and the encoding strategy used in visual analysis. Taken together, these results contradict the holistic view of face recognition, but support the relational view of face recognition, according to which both an analytic and a holistic mechanism contribute to face recognition.

Key words :

Visual face perception, Inversion effect, Event-related potentials, N170

TABLE DES MATIÈRES

IDENTIFICATION DU JURY	ii
RÉSUMÉ EN FRANÇAIS	iii
RÉSUMÉ EN ANGLAIS	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	xiii
REMERCIEMENTS	xiv
CHAPITRE PREMIER: INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Thèse de la spécialisation anatomo-fonctionnelle.....	3
Reconnaissance visuelle: une définition	3
Neuropathologie	4
Imagerie fonctionnelle.....	5
Présentation latéralisée.....	7
Paradigme de l'inversion	7
Conclusion	8
Remise en question de la thèse de la spécialisation anatomo-fonctionnelle.....	8
Catégorisation.....	8
Expertise	9
Homogénéité.....	10
Conclusion	11
Processus perceptifs liés à la reconnaissance des visages	11
Hypothèse holistique du traitement configural des visages	12

Hypothèse relationnelle du traitement configural des visages....	13
Paradigme de l'inversion.....	15
Conclusion	17
PÉCs associés au traitement perceptif des visages	18
N170 spécifique au traitement perceptifs des visages ?	19
Conclusion	21
Contribution de ce travail à l'étude des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages	22
Première étude.....	25
Deuxième étude.....	26
CHAPITRE DEUXIÈME: PREMIER ARTICLE	27
ERP manifestations of face structural encoding: from isolated feature detection to holistic analysis of configural relations among facial parts	28
Abstract.....	29
Introduction	30
Materials and methods.....	39
Results.....	45
Discussion	55
Acknowledgements	62
References.....	63
Figures captions	71
Tables	72
Figures	74

CHAPITRE TROISIÈME: DEUXIÈME ARTICLE.....	82
The face inversion effect: an ERP study of face part encoding.....	83
Abstract.....	84
Introduction.....	85
Methods.....	92
Results.....	98
Discussion.....	104
Acknowledgements.....	112
References.....	113
Figures captions.....	121
Tables.....	122
Figures.....	123
CHAPITRE QUATRIÈME: DISCUSSION GÉNÉRALE.....	132
Rappel méthodologique.....	134
Composante électrophysiologique étudiée (N200).....	135
Première étude.....	138
Rappel des principaux résultats.....	138
Rappel des principales conclusions.....	140
Deuxième étude.....	144
Rappel des principaux résultats.....	145
Rappel des principales conclusions.....	145
Perspectives expérimentales.....	149
Méthode utilisée.....	149
Critiques de la méthode utilisée.....	150
Applications futures de la méthode.....	152
Conclusions.....	154
RÉFÉRENCES GÉNÉRALES.....	157

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE DEUXIÈME

Table I. Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component for Exp. 1 as a function of congruity, segmentation and context..... 72

Table II. Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component for Exp. 2 as a function of congruity, segmentation and context..... 73

CHAPITRE TROISIÈME

Table Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component as a function of congruity, segmentation and orientation 122

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE DEUXIÈME

- Figure 1. Stimulus material consisting of eight grey-level frontal-view pictures of unknown young women chosen from the University of Stirling's face data base 74
- Figure 2: Exemplars of the face part stimuli used in Exps. 1 and 2: A) natural segments, B) arbitrary segments, C) context face within which face segments were presented, in this case a mouth..... 75
- Figure 3. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for parts shown in isolation and in context in Exp. 1. over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads..... 78
- Figure 4. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for isolated segments as a function of segmentation in Exp. 2. over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads..... 79
- Figure 5. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for segments in context as a function of segmentation in Exp. 2. over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads..... 80
- Figure 6. Mean peak latency for natural and arbitrary face segments as a function of context and hemisphere lateralization in Exp. 2.; * : $p < 0,005$. 4) 81

CHAPITRE TROISIÈME

- Figure 1. Stimulus materials consisting of eight grey-level frontal-view pictures of unknown young women chosen from the University of Stirling's face data base 123
- Figure 2. Exemplars of the face part stimuli used: A) natural segments and B) arbitrary segments 124
- Figure 3. Mean RTs for upright and inverted parts as a function of congruency 126
- Figure 4. Percent errors for upright and inverted parts as a function of congruency 127
- Figure 5. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for upright and inverted parts over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads. 128
- Figure 6. Mean peak latency for upright and inverted parts as a function of segmentation and hemisphere lateralization: A) at electrode site PO7 and B) at electrode site PO8. 129
- Figure 7 ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for natural and arbitrary face segments over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads 131

LISTE DES ABRÉVIATIONS

cm = centimeter

EEG = électroencéphalogramme

e.g. = example given

EOG = électro-oculogramme

ERP = event-related potentials

Exp. = experience

Fig. = figure

fMRI = functional magnetic resonance imaging

i.e. = c'est-à-dire

ISI = inter-stimulus interval

ms = millisecond

msec = milliseconde

PÉC = potentiels évoqués cognitifs

Ref. = reference

RT = Reaction time

SD = standard deviation

μ V = microvolt

REMERCIEMENTS

C'est grâce au soutien de plusieurs personnes que j'ai pu mener à terme cette thèse, qui est le fruit d'un long et laborieux parcours. En premier lieu, je suis redevable à mon directeur de thèse, Martin Arguin, sans qui ce projet n'aurait pu voir le jour, ni aboutir. Grâce à sa rigueur intellectuelle, à son sens critique, à son souci du travail bien fait et à ses connaissances étendues dans le domaine de la neuropsychologie cognitive, il a bien su guider mon travail. En deuxième lieu, je tiens à remercier l'ensemble des professeurs du département de psychologie qui ont contribué à ma formation académique et clinique en neuropsychologie, je pense notamment à Maryse Lassonde, à Sylvie Belleville et à Isabelle Peretz.

Je tiens également à souligner la contribution importante de Marc Lavoie à la réussite de cette thèse, qui m'a offert une aide cruciale sur le plan technique et méthodologique. Au laboratoire de neuropsychologie de l'université de Montréal, je suis reconnaissante à plusieurs étudiants et assistants de recherche qui m'ont proposé leur appui au cours des années, tout particulièrement Daniel Saumier, Stéphanie Fiset et Catherine Vanasse. Merci beaucoup à vous trois d'avoir partagé avec moi vos réflexions et vos expériences; elles m'ont encouragées.

Finalement, je remercie du fond du coeur mes proches et mes amis pour leur soutien inconditionnel. Tout d'abord, mes parents qui n'ont cessé d'appuyer mes efforts depuis mon entrée à l'Université de Montréal et qui ont suivi avec intérêt l'avancée de mes travaux. Ensuite, je veux souligner le soutien précieux de mes amis. Je pense surtout à Fabienne Lagueux qui m'a accompagnée dans des moments difficiles pouvant laisser place au découragement. Par ailleurs, j'ai une reconnaissance infinie envers mon

conjoint, Philippe, dont la présence, l'écoute et les conseils m'ont aidée jusqu'à la toute fin. C'est aussi Philippe qui, avec l'arrivée d'un bébé dans le contexte d'une grossesse difficile, a fait preuve d'une grande générosité et d'un sens pratique qui m'ont permis de réunir les conditions nécessaires et favorables à la poursuite de ma thèse. À cet égard, j'ajoute une mention spéciale à Léane Laforest, notre gardienne aux qualités inestimables, sans qui je n'aurais pu rédiger ma thèse l'esprit tranquille. Enfin, je remercie mon fils, Emmanuel, pour m'avoir souri tous les matins en guise d'encouragement!

CHAPITRE PREMIER:

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La reconnaissance des visages fait l'objet de nombreuses recherches expérimentales, surtout en raison du présupposé voulant que les visages constituent un objet perceptif particulier. On conçoit facilement que les visages forment une catégorie spécifique d'objets en raison de leur grande valeur sémantique, symbolique et affective. Cependant l'étude de la reconnaissance des visages, chez le sujet normal comme chez le sujet cérébrolésé, montre que le traitement qui sous-tend l'identification d'un visage peut être réalisé indépendamment du traitement des autres catégories d'information, telles que l'expression émotionnelle, les gestes labiaux de la parole et les caractères catégoriels (âge, sexe, statut social) de l'individu (Bruyer, 1990). La question de la spécificité du traitement, soulevée à plusieurs reprises, consiste donc à se demander si la reconnaissance de la structure des visages implique des mécanismes psychologiques et neurologiques distincts de ceux qui permettent la reconnaissance d'autres types d'objets.

Si, dans un premier temps, les observations semblaient soutenir la thèse de la spécialisation fonctionnelle de certains systèmes neuronaux dans le traitement des visages, la littérature de recherche récente justifie une position plus nuancée. Des conclusions concordantes issues de la recherche en psychologie cognitive et en neuropsychologie montrent que les visages sont en effet 'spéciaux' mais probablement pas 'uniques', c'est-à-dire qu'ils ne sont pas associés à des processus cognitifs qualitativement différents de ceux qui président à la reconnaissance d'autres types de stimuli. Le débat n'est cependant pas clos et il s'alimente d'arguments fondés sur des distinctions tantôt fonctionnelles, tantôt neuro-psychologiques ou neuro-anatomiques, entre la reconnaissance des visages et des objets.

Les première et deuxième parties de cette introduction générale traitent de la thèse de la spécialisation anatomo-fonctionnelle, présentant tout d'abord les arguments en sa faveur puis ceux qui la remettent en question. La troisième partie examine les processus perceptifs associés à la reconnaissance des visages puis la façon dont ils permettent d'éclairer le débat concernant la spécificité du traitement des visages. La quatrième partie évalue l'apport de la technique des potentiels évoqués cognitifs (PÉCs) à l'étude du traitement perceptif des visages. Enfin, la dernière partie spécifie la contribution de la présente recherche à l'étude des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages.

I. Thèse de la spécialisation anatomo-fonctionnelle

A. Reconnaissance visuelle: une définition

La reconnaissance visuelle est conçue comme une organisation de processus hiérarchisés en vertu de laquelle des opérations perceptives préliminaires sont requises avant que soit possible l'accès aux informations sémantiques. Plus spécifiquement, les travaux de Marr et Nishihara (1978) en intelligence artificielle suggèrent qu'à partir des informations rétinienne, le traitement perceptif d'un objet procède selon des stades distincts, chacun correspondant à la construction d'une description de l'objet de plus en plus abstraite. Une telle conception trouve des confirmations empiriques chez les patients qui, à la suite d'une atteinte cérébrale présentent une agnosie visuelle, c'est-à-dire un trouble de la reconnaissance d'objets auparavant familiers en l'absence de troubles sensoriels élémentaires ou d'une détérioration intellectuelle générale.

Chez ces patients, un échec de la reconnaissance peut être lié à une perturbation à divers niveaux de l'architecture du traitement (Sergent, 1994; Parkin, 1996). En effet, le déficit peut résulter d'un trouble au niveau de l'encodage visuel, c'est-à-dire dans le traitement des caractéristiques physiques du stimulus ou il peut survenir plus loin dans le processus de traitement de l'information, à l'étape au cours de laquelle sont extraits les invariants (le patient ne parvient pas à déterminer si un objet vu selon deux perspectives différentes est le même ou non) et, finalement, le déficit peut se situer à l'étape subséquente, celle de l'accès à la spécification sémantique.

B. Neuropathologie

La prosopagnosie, un syndrome neurologique qui affecte de façon disproportionnée la capacité à reconnaître des visages, constitue potentiellement la preuve la plus solide d'un système de traitement propre aux visages. En effet, certains patients présentent un trouble de reconnaissance spécifique aux visages (DeRenzi, 1986a; McNeil et Warrington, 1993; Sergent et Signoret, 1992; Farah, 1990), alors que d'autres ne présentent qu'un trouble relatif aux objets (McCarthy et Warrington, 1986; Moscovitch et al., 1997). En terme d'organisation du système visuel normal, la double dissociation observée suggère que la reconnaissance des visages diffère de celle des autres objets.

Au plan neuroanatomique, la prosopagnosie est typiquement associée à une atteinte cérébrale bilatérale du lobe inférotemporal dans la région du gyrus fusiforme (Benton 1980; Damasio et al., 1990; Farah, 1990), quoiqu'un dommage unilatéral du côté droit, affectant les mêmes régions, semble suffisant pour causer le déficit, préservant alors à des degrés divers la

capacité de reconnaître les objets (DeRenzi, 1986a; DeRenzi, 1986b; DeRenzi et al., 1994). Pour sa part, Sergent (1994) considère que la contribution de l'hémisphère gauche à la reconnaissance des visages n'est en fait ni indispensable ni suffisante puisque, d'un côté, une lésion ne touchant que l'hémisphère gauche ne conduit pas à la prosopagnosie, et que, de l'autre, les patients prosopagnosiques dont l'hémisphère gauche est intact n'en tirent aucun bénéfice en ce qui concerne la reconnaissance des visages. La dissociation inverse, soit un trouble de la reconnaissance des objets mais non de la reconnaissance des visages, s'observe dans le cas d'une atteinte du cortex inférotemporal gauche, plus précisément lors d'une interruption des fibres qui relient le gyrus fusiforme aux structures temporales (Jankowiak et Albert, 1994). Mais, tout comme dans la prosopagnosie, l'agnosie des objets est plus généralement associée à une atteinte bilatérale (Farah, 1990).

C. Imagerie fonctionnelle

Des études utilisant soit l'imagerie fonctionnelle chez des patients et des sujets normaux, soit des techniques d'enregistrements effectués à partir d'électrodes implantées dans le cerveau à des fins diagnostiques chez des patients épileptiques, corroborent les données de la neuropathologie en révélant que des régions du cerveau associées à la reconnaissance des visages et des objets diffèrent sensiblement (Allison et al., 1994; Haxby et al., 1991; Seek et al., 1995; Sergent et al., 1992). Dans une étude importante réalisée à l'aide de la tomographie par émission de positons, Sergent et al. (1992) ont directement comparé l'activité cérébrale associée à la reconnaissance des visages et des objets.

Cette étude comportait trois tâches différentes: (1) déterminer le sexe de visages inconnus, (2) identifier des visages de personnes célèbres, et (3) catégoriser des objets. Les résultats ont montré que la détermination du sexe d'un visage met en jeu de façon prédominante des aires extrastriées du côté droit. L'identification d'un visage active quant à elle des aires temporo-occipitales plus antérieures, incluant le gyrus lingual du côté droit et le gyrus fusiforme des deux côtés mais, surtout, l'activation cérébrale est importante du côté droit dans le gyrus parahippocampique, une région située dans le cortex limbique, ainsi que dans la partie ventro-médiale du cortex temporal antérieur. Enfin, l'activité cérébrale associée à la tâche de catégorisation d'objets contraste avec celle de la précédente: des régions temporo-occipitales inférieures sont activées alors qu'il y a absence d'activation des régions temporales antérieures, régions qui semblent donc spécifiques à la reconnaissance des visages connus.

Plusieurs études indiquent que la région du lobe temporal ventral, incluant une partie du gyrus fusiforme et du gyrus temporal inférieur, est spécialement dédiée à la reconnaissance des visages (Kanwisher et al., 1997; Puce et al., 1995; Sergent et al., 1992; Sergent et Signoret, 1992). Kanwisher et al. (1997) considèrent le gyrus fusiforme comme un véritable module de traitement des visages car ils ont trouvé que les visages, comparativement à des objets non faciaux, génèrent chez la majorité des sujets une activation sélective de la partie antérieure du gyrus fusiforme droit. Selon Sergent (Sergent et Signoret, 1992; Sergent, 1994), le gyrus fusiforme, en association au gyrus lingual, sous-tend les opérations perceptives impliquées dans la représentation et l'analyse des configurations faciales.

D. Présentation latéralisée

Des études utilisant la technique de présentation sélective d'informations à un hémisphère suggèrent également un système spécialisé dans le traitement des visages. Dans une tâche de présentation latéralisée, St. John (1981) a trouvé un avantage de l'hémisphère droit dans le traitement des visages mais aucun pour les stimuli non faciaux utilisés dans l'expérience (ex: souliers). De plus, cet avantage ne peut s'expliquer par la différence de complexité des stimuli puisque Hillger et Koenig (1991) ont observé la même asymétrie hémisphérique droite pour le traitement des visages présentés à l'endroit, mais cette fois comparativement au traitement des mêmes visages présentés à l'envers.

E. Paradigme de l'inversion

Au plan fonctionnel, l'effet d'inversion montre que les performances de reconnaissance avec des visages se distinguent de celles associées aux objets. Yin (1969, 1970) a comparé tant chez des sujets normaux que chez des patients cérébrolésés l'influence de l'inversion haut / bas sur le traitement de plusieurs stimuli complexes qui ont une orientation 'habituelle' (visages, bâtiments, voiture, etc.). Chez les sujets normaux, il a trouvé que les visages présentés à l'endroit sont mieux reconnus que tous les autres types de stimuli, mais qu'une fois inversés, ils sont moins bien reconnus que les autres stimuli. Par contre, l'influence de l'inversion s'est avérée différente chez les patients porteurs d'une lésion postérieure à l'hémisphère droit: chez ces derniers, c'est à l'envers que les visages étaient mieux reconnus que les autres types de

stimuli alors qu'à l'endroit, ils étaient moins bien reconnus que tous les autres types de stimuli.

E. Conclusion

Des indices concordants provenant des recherches de la neuropsychologie, de l'imagerie fonctionnelle et de la psychologie cognitive appuient la thèse d'un traitement spécifique des visages lié à une structure cérébrale particulière. Cependant des distinctions importantes entre la reconnaissance des visages et des objets sur le plan de la catégorisation, de l'expertise imposée par les conditions de la vie quotidienne et de l'homogénéité des stimuli à l'intérieur de leur classe d'appartenance, appellent une remise en question de la thèse de la spécialisation.

II. Remise en question de la thèse de la spécialisation anatomo-fonctionnelle

A. Catégorisation

La reconnaissance des objets opère à trois niveaux d'abstraction différents. Dans une étude classique portant sur la structure des catégories naturelles, Rosch et al. (1976) ont démontré empiriquement que la reconnaissance d'objets au niveau de base (ex: chien), est meilleure et plus rapide que celle aux autres niveaux, qu'il s'agisse du niveau supérieur (ex: animal) ou inférieur (ex: caniche). Le niveau de base s'est avéré plus important que les autres niveaux dans l'utilisation courante des mots car il permet une différenciation maximale entre catégories: à ce niveau, les objets

d'une catégorie partagent les mêmes caractéristiques perceptives et fonctionnelles. Cette conception de différenciation maximale est issue de l'observation de la structure du monde réel, lequel est formé d'un ensemble de stimuli, dont la combinaison de leurs attributs possibles n'est pas équiprobable.

En ce qui a trait aux visages humains, les jugements d'identité (sous-classe) sont aussi rapides que les jugements catégoriels (niveau de base), tel que l'identification du genre (Tanaka, communication personnelle, 1997, cité dans Gauthier et Tarr, 1997). Damasio et ses collègues (1990; Damasio, 1990) ont formulé l'hypothèse que c'est la capacité d'individualiser les membres d'une catégorie d'objets particuliers qui fait défaut aux patients prosopagnosiques. À l'exception de quelques rares cas où le déficit semble limité aux visages (DeRenzi, 1986b; McNeil et Warrington, 1993), typiquement, les patients prosopagnosiques ont aussi des problèmes avec des classes d'objets autres que celles des visages (Damasio, 1985, 1990; Farah, 1990). Autrement dit, la prosopagnosie serait plutôt une agnosie spécifique concernant la capacité de différencier les membres d'une catégorie d'objets, c'est pourquoi il n'existe pas de cas de prosopagnosie indemne de tout autre trouble de nature perceptive et/ou mnésique.

B. Expertise

L'expertise joue un rôle prépondérant dans la détermination du niveau d'accès sémantique privilégié d'un objet. Dans une étude systématique du phénomène, Tanaka et Taylor (1991) ont montré que, pour les experts d'un domaine (ex: des observateurs d'oiseaux), la capacité à classer les objets de façon sous-ordonnée est comparable à celle du niveau de base. Ainsi, le

niveau d'accès sémantique privilégié d'un objet, qui habituellement coïncide avec une catégorisation de niveau de base, peut passer au niveau sous-ordonné lorsque les observateurs percevant cet objet détiennent l'expertise nécessaire. Même si, pour chaque individu, la capacité de différencier les membres d'une catégorie s'applique à quelques catégories d'objets de la vie quotidienne, il reste que, de manière universelle c'est pour celle des visages que l'humain est le plus performant (Bruyer, 1990).

C. Homogénéité

Contrairement aux objets qui se distinguent les uns des autres par leurs parties constitutives (Biederman, 1987), les visages constituent une classe d'objets homogène sur le plan de la similarité structurale. L'examen des visages montre en effet qu'ils sont tous construits sur le même modèle et qu'ils ne se différencient les uns des autres que par des nuances minimales (Leder et Bruce, 2000). D'un point de vue objectif, deux visages différents vus de face sont plus similaires entre eux, qu'un même visage présenté de face et de profil (Bruce et Green, 1993). Pour leur part, Diamond et Carey (1986) ont fait l'hypothèse que les catégories d'objets homogènes au plan structural posent des exigences perceptives particulières que d'autres catégories d'objets ne comportent pas. Ils ont démontré que si les stimuli sont homogènes et familiers (ex: pour des éleveurs des espèces de chiens), leur reconnaissance est sensible aux effets d'orientation retrouvés pour les visages.

Gauthier et Tarr (1997) en arrivent à la même conclusion, cette fois en étudiant expérimentalement l'impact de l'expertise sur les mécanismes de reconnaissance visuelle. En effet, un entraînement intensif à reconnaître des 'Greebles' – une nouvelle classe de stimuli tridimensionnels dont les membres partagent les mêmes parties ainsi que la configuration globale –

provoque les mêmes effets sur la reconnaissance que ceux typiquement associés à la reconnaissance des visages. Qui plus est, l'activité cérébrale associée à la reconnaissance des 'Greebles' est chez les experts principalement localisée dans le gyrus fusiforme, la région généralement considérée comme étant spécialisée dans le traitement des visages (Gauthier, résumé des intérêts de recherche, 1997).

D. Conclusion

En résumé, les facteurs de la catégorisation, de l'expertise développée naturellement dans les conditions de la vie quotidienne et de l'homogénéité à l'intérieur de la classe d'objets peuvent rendre compte, en grande partie, de la différence observée entre la reconnaissance des visages et des objets. En d'autres mots, le caractère 'spécial' des visages ne tient pas aux visages *per se* mais semble plutôt relié aux mécanismes perceptifs développés chez les experts afin de différencier les membres d'une classe de stimuli homogènes. La problématique de la spécificité des visages sera maintenant révisée en regard des processus perceptifs liés à la reconnaissance des visages.

III. Processus perceptifs liés à la reconnaissance des visages

La question de la perception des visages remonte à Galton (1879) et peut se résumer en ces termes: perçoit-on les visages plutôt sur la base de leurs traits ou plutôt sur la base de leur apparence globale ? Comme les visages sont très similaires entre eux, il a été suggéré que le caractère 'spécial' des visages repose sur l'utilisation de mécanismes perceptifs différents de ceux qui entrent en jeu lors de la reconnaissance des objets (Tanaka et Farah,

1993), lesquels sont essentiellement fondés sur la décomposition du stimulus en ses parties constitutives (Biederman, 1987; Marr, 1982). Le débat est cependant ouvert quant à savoir si le traitement des visages est exclusivement holistique (Farah, 1991, 1992, 1996; Farah et al., 1992, 1995; Tanaka et Farah, 1993) ou si l'on doit admettre une sorte de conjonction entre ce type de traitement et une procédure analytique qui consiste à repérer les différents traits qui composent un visage (Diamond et Carey, 1986; Sergent, 1984; Rhodes, 1988; Rhodes et al., 1993; Moscovitch et al., 1997; Arguin et Saumier, soumis 2003).

A. Hypothèse holistique du traitement configural des visages

Farah (Farah, 1991, 1992, 1996; Farah et al., 1992, 1995; Tanaka et Farah, 1993) défend l'hypothèse selon laquelle le caractère 'spécial' des visages tient au fait que leur reconnaissance s'effectue sur un mode holistique, c'est-à-dire que les visages sont ici appréhendés en une 'seule pièce' comme des gabarits (templates), les parties ou propriétés n'étant pas représentées par des unités structurales distinctes. Dans une étude importante, Tanaka et Farah (1993) observent en effet que les traits faciaux sont moins bien reconnus lorsqu'ils sont isolés de tout environnement que dans leur contexte facial habituel. Ces résultats indiquent que les informations sur les yeux, le menton et les autres éléments du visage ne sont pas des unités structurales distinctes mais des parties intégrantes de la représentation. Par contre, lorsqu'il s'agit d'objets non faciaux (ex: maison) ou lorsque l'encodage des visages se fait de manière analytique, c'est-à-dire lorsque les stimuli faciaux sont appris sous une forme brouillée (où les traits sont disposés aléatoirement) ou inversée, la

reconnaissance est tout aussi performante pour les parties prises isolément que pour celles présentées à l'intérieur de leur contexte.

À l'encontre de l'hypothèse holistique, des données indiquent toutefois qu'un traitement sélectif des traits faciaux aurait aussi un rôle à jouer dans le processus de reconnaissance des visages (Bruyer, 1983; Haig, 1986; Cabeza et Cato, 2000; Leder et Bruce, 2000; Macho et Leder, 1998). Notamment, Rakover et Teucher (1997) ont rapporté que les performances de reconnaissance de traits pris isolément prédisent 91% de la variance des performances associées à la reconnaissance de visages. De plus, Macho et Leder (1998) ont noté que, si les performances des sujets lors de la reconnaissance de traits isolés étaient plutôt mauvaises dans l'étude de Tanaka et Farah (1993), elles demeuraient malgré tout supérieures au niveau du hasard. Cette dernière observation est incompatible avec l'hypothèse holistique stipulant que les visages sont perçus comme des 'touts', sans qu'aucune unité constitutive ne soit représentée de façon distincte.

B. Hypothèse relationnelle du traitement configural des visages

Une hypothèse différente postule la coexistence des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages (Sergent, 1984; Diamond et Carey, 1986; Rhodes, 1988; Rhodes et al., 1993; Searcy et Bartlett, 1996). Les unités constitutives des visages correspondent ici à la fois aux traits (nez, bouche, yeux) qui composent le visage et à leur configuration. Alors que dans la théorie holistique le traitement configural renvoie à l'appréhension d'un 'tout' indifférencié, dans la théorie relationnelle il réfère plutôt à l'encodage des relations spatiales qui existent entre les traits du visage.

Selon Diamond et Carey (1986), le traitement configural opère à partir de distinctions perceptives subtiles. En effet, reconnaître une personne à partir de son visage nécessite une sensibilité qui ne se limite pas seulement à la configuration dite de 'premier ordre', soit celle du nez, de la bouche et des yeux, qui caractérise un visage. Plutôt, elle doit donner accès à la configuration dite de 'second ordre' de la structure faciale de base, c'est-à-dire aux variations à l'intérieur de la configuration fixe des parties (ex: la distance entre la bouche et le nez, particulière à un visage donné). Un bon nombre d'études ont montré que la configuration de 'second ordre' joue effectivement un rôle crucial dans le traitement des visages (Diamond et Carey, 1986; Rhodes et al., 1993, Bartlett et Searcy, 1993; Searcy et Bartlett, 1996).

Par ailleurs, des données suggèrent que la configuration de 'premier ordre' serait importante dans le traitement de parties spécifiques d'un visage. Utilisant une tâche de recherche visuelle, Suzuki et Cavanagh (1995) ont trouvé que des éléments locaux (des arcs) étaient mieux détectés lorsqu'ils étaient présentés à l'intérieur d'un visage schématique plutôt que dans un 'pattern' sans signification. Toutefois, ces résultats ont été observés seulement lorsque la recherche visuelle de la cible reposait sur la détection d'une conjonction de propriétés. À l'inverse, le traitement des cibles était retardé si elle faisait partie d'une configuration visage lorsque la recherche visuelle reposait sur la détection d'une propriété unique.

Les observations de Suzuki et Cavanagh (1995) révèlent que l'organisation spatiale d'éléments locaux peut modifier la perception lorsqu'il s'agit d'une configuration de 'premier ordre'. Pour la reconnaissance des visages, ces résultats suggèrent que seuls les traits présentés à l'intérieur d'un contexte facial suscitent la mise en jeu de processus de traitement spécifiques aux visages, lesquels requerraient une configuration de 'premier ordre'. Dans la mesure où le contexte facial agit effectivement comme une 'propriété

émergente qui peut changer la perception des parties qui composent un visage, il est possible de concevoir que, dans l'étude de Tanaka et Farah (1993), la difficulté reliée à la reconnaissance des traits du visage résulte de l'absence d'un contexte facial générique.

Arguin et Saumier (soumis 2003) ont apporté une contribution supplémentaire à ces observations, en examinant l'effet d'amorçage de parties de visage. En effet, ils ont montré que l'effet d'amorçage de parties 'naturelles' de visage (la bouche, le nez, les yeux et le contour du visage) est toujours présent lorsque ces parties sont intégrées à l'intérieur d'un contexte facial générique, alors que cet effet est observé pour certaines parties (yeux et contour du visage) et non pour d'autres (bouche, nez), lorsqu'elles sont présentées isolément. En résumé, il semble que les parties du visage, ou du moins certaines d'entre elles, ne soient pas traitées par le système visuel comme des unités faciales à part entière lorsqu'elles sont isolées de tout contexte (Arguin et Saumier, soumis 2003).

C. Paradigme d'inversion

Plusieurs études ont été effectuées dans lesquelles on présente les visages de manière inversée. Bien qu'elle respecte en tous points la structure physique du stimulus, cette manipulation conduit pourtant à de piètres performances comparativement à celles portant sur des visages présentés à l'endroit. Le fait que la reconnaissance des visages soit particulièrement sensible à l'inversion haut / bas est souvent interprétée comme la manifestation d'un changement dans le mode de traitement habituel des visages. L'inversion rendrait difficile l'appréhension des relations spatiales entre les traits, provoquant ainsi le recours à un mécanisme analytique, soit le

repérage de traits particuliers du visage (Diamond et Carey, 1986; Sergent, 1984; Rhodes et al., 1993; Bartlett et Searcy, 1993; Searcy et Bartlett, 1996; Murray et al., 2000).

À cet effet, l'étude de Rhodes et al. (1993) mérite attention puisqu'elle a été la première à comparer directement l'influence de l'inversion sur le traitement des parties de visage, de leur configuration de 'premier ordre' et de celle de 'second ordre'. Dans une tâche de reconnaissance d'items nouveaux et anciens ('old-new recognition test'), ces auteurs ont trouvé que la détérioration des performances liée à l'inversion était plus grande lorsque la détection des visages reposait sur des relations spatiales de 'second ordre' que sur des relations spatiales de 'premier ordre' ou des traits du visage. De plus, d'autres études ont montré que les parties de visage prises isolément n'étaient pas affectées par l'inversion (Bruyer et Coget, 1987; Farah et al., 1995).

Par contre, des résultats récents ont révélé l'existence d'un effet d'inversion non seulement pour des visages entiers mais aussi pour des traits isolés (Rakover et Teucher, 1997; Naschson et Schechory, 2004), ce qui entraîne une remise en question de la conception à l'effet que seul le traitement des propriétés configurales du visage soit affecté par l'inversion. Notamment, Rakover et Teucher (1997) ont observé que la reconnaissance du front, des yeux, du nez, de la bouche et du menton est moins performante lorsque ces traits sont inversés plutôt qu'à l'endroit. Ces auteurs suggèrent que la présence d'information configurale ne constitue pas une condition nécessaire à l'obtention d'un effet d'inversion puisque les traits du visage ne véhiculent pas ce type d'information, qu'ils soient présentés dans leur orientation habituelle ou de façon inversée. Naschson et Schechory (2004) ont tout dernièrement reproduit ces résultats en montrant que l'inversion perturbe non seulement la perception de visages complets mais aussi celle des traits du visage. L'hypothèse de Valentine (1988, 1991), stipulant que

l'effet d'inversion résulte d'une augmentation du niveau de difficulté lors de l'encodage des visages, pourrait rendre compte de ces résultats.

C. Conclusion

L'hypothèse selon laquelle la reconnaissance des visages s'effectue sur un mode exclusivement holistique explique bien la spécificité des visages, mais rend difficilement compte des données portant sur le traitement des éléments qui composent un visage. Dans l'état actuel des connaissances, il apparaît nécessaire d'admettre une forme de combinaison d'un traitement analytique et d'un traitement configural dans la reconnaissance des visages, ce qui force à conclure que les mécanismes perceptifs qui président à la reconnaissance des visages sont communs au traitement d'autres objets visuels complexes. Toutefois, il apparaît que la perception des visages présente certaines caractéristiques particulières, d'une part quant à la pondération relative des traitements analytique et configural, le second ayant possiblement un poids plus important et, d'autre part quant à l'importance de la configuration de 'premier ordre' dans le traitement analytique des traits.

En bref, les résultats de la littérature indiquent que le traitement configural joue un rôle crucial dans la perception des visages, principalement en s'attachant à l'analyse des relations spatiales entre les traits du visage (configuration de 'second ordre'). De plus, un traitement analytique, analogue à celui qui participe à la reconnaissance des objets et qui consiste à décomposer un tout en ses parties, apparaît également mis en jeu dans le cas des visages. Toutefois, cette analyse des traits du visage semble nécessiter la présence d'une configuration de 'premier ordre' pour devenir efficace.

Enfin, de nombreuses études ont rapporté que l'inversion des visages empêche l'appréhension des informations configurales, ce qui donnerait lieu à un traitement sériel des traits. En révélant que l'inversion a un effet à la fois sur le traitement de visages complets et de parties de visage, des données récentes obligent toutefois à remettre en question de la notion voulant que l'inversion n'affecte que le traitement configural des visages. En ce sens, la perturbation liée à l'inversion pourrait résulter d'une augmentation du niveau de difficulté lors de l'encodage des visages (Valentine, 1988, 1991).

IV. PÉCs associés au traitement des visages

Le développement récent de la méthode des PÉCs permet d'étudier, par des mesures directes de l'activité électrique cérébrale, la neurophysiologie sous-jacente au traitement perceptif des visages. Cette technique sensible aux manipulations portant sur la structure des visages (Bentin et al., 1996; Eimer, 1998, 2000b; George et al., 1996; Jemel et al., 1999a) peut contribuer à mettre en évidence, d'une part, des opérations perceptives difficiles à observer par des méthodes exclusivement comportementales et, d'autre part, des différences hémisphériques liées à la nature des mécanismes perceptifs mis en jeu (Schweinberger et Sommer, 1991). Relativement à cette dernière question, le système de reconnaissance de l'hémisphère droit est conçu comme étant plus apte à traiter les configurations ou les formes globales, tandis que celui de l'hémisphère gauche serait plus apte à traiter les éléments constituants d'une forme (Hillger et Koenig, 1991; Parkin et Williamson 1986; Valentine, 1988; Yin, 1969).

A. N170 spécifique au traitement perceptifs des visages ?

En lien avec la présente étude, les PÉCs associés aux visages comprennent une onde négative qui culmine vers 170 msec après le début de la présentation du stimulus au niveau des cortex occipito-temporaux. Cette onde, appelée N170, est reconnue par plusieurs chercheurs comme étant spécifique au traitement des visages (Bentin et al., 1996; Carmel et Bentin, 2002; Eimer, 2000a, 2000b; Sagiv et Bentin, 2001). Chez les sujets normaux, la N170 est, en effet, plus ample après la présentation de visages comparativement à d'autres catégories d'objets, tels que des voitures, des édifices, des meubles, etc. (Bentin et al., 1996; Carmel et Bentin, 2002; Eimer, 2000a) et elle est plus ample dans l'hémisphère droit que dans l'hémisphère gauche (Bentin et al., 1996; George et al., 1996).

De plus, la N170 est insensible à l'aspect familier des visages, ce qui suggère que cette composante électrophysiologique reflète un stade précoce de l'analyse visuelle (Bentin et Deouell, 2000; Eimer, 2000a, 2000b), possiblement celui de l'encodage structural proposé par Bruce et Young (1986). Les ondes apparaissant subséquentement lors du traitement des visages (N400, P600) semblent correspondre au stade de l'identification d'un visage particulier (Bentin et Deouell, 2000; Eimer, 2000a). Finalement, la N170 n'est pas observée chez les patients qui souffrent de prosopagnosie, ce qui confirme qu'un déficit sélectif de la reconnaissance des visages puisse résulter d'une difficulté dans l'encodage structural des visages (Eimer et Mc Carthy, 1999).

Bien qu'il soit généralement admis que la N170 reflète l'analyse perceptive des visages, la nature des processus impliqués demeure une question controversée. Bentin et al. (1996) ont montré que la N170 est peu

sensible aux manipulations qui affectent typiquement la reconnaissance des visages, comme la distorsion (altération de l'organisation spatiale des composantes du visage) et l'inversion. Également, ils ont observé que la N170 est retardée et de plus grande amplitude lorsque les yeux sont présentés de manière isolée que lors de la présentation de visages complets. Sur la base de ces observations, Bentin et collaborateurs ont suggéré que la N170 reflète un mécanisme de prise d'information sur les composantes du visage, plutôt que sur leur organisation spatiale.

Toutefois, Eimer (2000b) a démontré une sensibilité de la N170 à la fois pour les traits internes et les traits externes du visage, puisque l'absence de l'un ou l'autre type de traits entraînait une diminution similaire de l'amplitude de la N170. Selon cet auteur, cette onde traduit un stade tardif de l'encodage structural au cours duquel l'analyse perceptive doit porter sur la configuration des visages et permettre la construction d'une représentation servant aux étapes subséquentes du processus de reconnaissance. Rossion et al. (2000) ont également trouvé que la N170 est sensible aux informations relatives à la configuration, mais que cette sensibilité n'est pas spécifique aux visages. En effet, la différence d'amplitude observée entre différentes catégories d'objets non-faciaux (ex: voitures, souliers) pouvait être aussi grande que celle qui existait entre des visages et d'autres objets non-faciaux. Cependant, une fois les stimuli inversés, seuls les visages entraînaient une N170 plus ample et retardée. Ces résultats sont compatibles avec ceux issus des études comportementales (Valentine, 1988; Yin, 1969), suggérant que l'inversion rend difficile le traitement des informations configurales.

Dans une tâche d'amorçage, Jemel et ses collaborateurs (1999b) ont observé une augmentation de la latence de la N170 lorsque les sujets devaient porter attention à une partie du visage, en l'occurrence les yeux, même si celle-ci était incluse à l'intérieur d'un visage complet. Les amorces choisies,

c'est-à-dire des visages connus dont la région des yeux étaient masqués par une bande noire, étaient suivies du visage complet correspondant mais dont les yeux étaient soit appropriés, soit non appropriés (appartenant à un autre visage). Comparativement à ce qui était observé pour les amorces, la N170 était retardée pour les visages complets (cible). Jemel et al. (1999b) ont conclu que la contrainte imposée par la tâche, c'est-à-dire de porter attention aux yeux, avait induit le délai observé au niveau de la N170 en suscitant la mise en jeu d'un traitement analytique. En d'autres mots, l'utilisation d'une stratégie perceptive lors de l'accomplissement d'une tâche, dans ce cas-ci la détection d'une caractéristique particulière, apparaît suffisante à elle seule pour retarder l'onde N170.

B. Conclusion

En conclusion, les études électrophysiologiques sur la reconnaissance des visages suggèrent que l'encodage structural des visages débute dès 170 msec après l'apparition du stimulus et qu'il porte à la fois sur l'analyse des traits faciaux et de leur configuration. Enfin, il apparaît que ces mécanismes oeuvrent de façon indépendante et sont sollicités à des degrés variables selon les contraintes expérimentales imposées lors de l'encodage.

V. Contribution de ce travail à l'étude des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages

Le but de la présente recherche est de démontrer que la perception des visages ne se déroule pas de manière exclusivement 'holistique' (Farah et Tanaka, 1993) mais qu'un mécanisme perceptif de type analytique, analogue à celui qui opère dans l'analyse visuelle des objets, contribue à la reconnaissance des visages en assurant une décomposition initiale du stimulus en ses parties constitutives. Pour ce faire, il est important de mieux comprendre les facteurs qui président à la mise en œuvre des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages; surtout, il s'agit de préciser leur poids respectif selon les contraintes imposées par la tâche et le type d'input visuel présenté.

La question de la contribution relative des traitements analytique et configural lors de l'encodage des visages en est une à laquelle il est difficile de répondre puisque les informations sur lesquelles reposent ces traitements se confondent à l'intérieur d'un visage complet. Déjà reconnue par plusieurs auteurs (Bruce, 1988; Haig, 1984; Sergent, 1984; Leder et Bruce, 2000; Rhodes et al., 1993), l'ambiguïté qui affecte la distinction entre traits et configuration a parfois donné lieu à des manipulations expérimentales dont les résultats n'ont pas toujours été ceux escomptés. Par exemple, dans l'étude de Rhodes et al. (1993) citée précédemment, une des manipulations qui visait l'examen de l'effet d'inversion sur le traitement des traits du visage, a eu un impact tant sur les propriétés locales que configurales des visages. Plus particulièrement, la substitution d'une composante d'un visage à un autre n'affectait pas seulement l'analyse des traits du visage mais aussi l'analyse des relations spatiales entre ces traits, puisque la configuration était alors

changée (la présence d'une nouvelle bouche a modifié les relations spatiales qui existent entre la bouche et le nez).

Afin de minimiser toute confusion entre le traitement des traits qui composent le visage et celui de leur configuration, la présente recherche a utilisé des segments de visage, plutôt que des visages complets dont certains paramètres sont altérés (traits ou relations spatiales). Les deux types de segments utilisés dans le contexte de la présente thèse: (1) des segments 'naturels' de visage (nez, yeux, bouche, contour de visage) que l'on suppose correspondre à la décomposition en parties de l'image faciale par le système visuel et (2) des segments 'arbitraires', similaires à des morceaux de puzzle, qui ne révèlent aucune partie naturelle de façon complète mais comportent des informations sur relations spatiales de 'second ordre'.

L'utilisation de ces deux types de segments dans la recherche visait à préciser la nature des unités constitutives des visages: s'agit-il effectivement des parties au sens courant du terme ou plutôt de relations spatiales entre ces parties? L'hypothèse émise est que les relations spatiales entre les traits du visage (configuration de 'second ordre') sont d'emblée l'objet d'un traitement perceptif, mais que celui-ci porte également sur les parties 'naturelles' du moins dans certaines circonstances. La comparaison du traitement de ces deux types de segments permettra donc (1) de vérifier si les parties naturelles sont des éléments valides dans la perception des visages et, dans un tel cas, (2) de déterminer la pondération relative de ces parties et de la configuration de 'deuxième ordre' dans la reconnaissance des visages.

Dans les deux études qui vont être rapportées ici, le traitement perceptif de ces segments de visage a été examiné à l'aide de tâches

d'appariement, un paradigme qui a l'avantage d'autoriser, non seulement la comparaison de différents types de stimuli faciaux, mais aussi celle de deux stratégies d'encodage, l'une favorisant un traitement analytique et l'autre un traitement holistique. En bref, la première étude a examiné le traitement des segments de visage en lien avec la présence ou l'absence d'un contexte facial et avec l'utilisation d'une stratégie perceptive analytique ou holistique. La seconde étude a permis l'examen du traitement de ces segments en conjonction avec l'effet d'inversion. Ces deux études ont été menées chez des sujets normaux à l'aide de la technique des PÉCs.

Les prédictions sous-jacentes à cette recherche sont tout d'abord à l'effet que les stimuli faciaux présentés provoquent l'utilisation de mécanismes perceptifs liés au traitement des visages. Ensuite, elles sont à l'effet que les modulations observées au niveau comportemental et électrophysiologique constituent des indices de la vitesse d'exécution et de l'efficacité des opérations mentales étudiées. Plus spécifiquement, la précision et la rapidité avec laquelle les sujets effectueront les tâches d'appariement, de même que la latence et l'amplitude de l'onde négative autour de 170 msec, seront interprétées comme le reflet des mécanismes perceptifs mis en œuvre lors de l'encodage structural des stimuli faciaux présentés. L'interprétation des résultats suivra une logique selon laquelle un input visuel requiert un temps de traitement et des capacités additionnelles s'il ne constitue pas une information optimale pour le système de traitement visuel, et vice-versa. Autrement dit, une difficulté devrait se traduire au niveau comportemental par des temps de réaction plus longs et un nombre d'erreurs plus élevé, alors qu'au niveau électrophysiologique, on pourrait observer une onde négative plus ample et plus tardive.

A. Première étude

La première étude de ce travail comporte deux expériences d'appariement séquentiel similaires, à l'exception du fait que (1) la première favorise un encodage analytique par le biais d'un appariement 'partie-visage', et que (2) la seconde favorise un encodage holistique par le biais d'un appariement 'visage-partie'. Les contraintes liées à la première expérience orientent d'abord l'attention du sujet sur un segment de visage, ce qui devrait favoriser l'utilisation d'une stratégie analytique. À l'inverse, les contraintes de la seconde expérience devraient favoriser l'utilisation d'une stratégie holistique, puisque l'attention du sujet porte d'abord sur un visage complet sans que ce dernier sache quelle partie du visage sera ensuite présentée.

L'hypothèse émise ici est que le facteur 'stratégie perceptive' (analytique ou holistique) devrait interagir avec celui de la 'segmentation' (naturelle ou arbitraire). Un effet facilitateur est attendu lorsqu'il y a concordance entre la stratégie perceptive utilisée et le matériel visuel à traiter. Plus spécifiquement, une stratégie analytique devrait faciliter le traitement de segments naturels de visage puisqu'ils correspondent à la décomposition du stimulus en ses parties, alors qu'une stratégie holistique devrait, par ailleurs, faciliter le traitement de segments arbitraires puisqu'ils comportent des informations sur les relations de 'second ordre'. De plus, les résultats permettront de savoir si, dans une situation où il y a de fortes contraintes qui orientent vers un traitement soit analytique soit holistique, les deux types de traitement demeurent opérants.

Outre l'impact de la stratégie perceptive utilisée lors de l'encodage, ces deux expériences veulent tester l'influence d'un contexte facial (configuration

de 'premier ordre') dans le traitement perceptif de segments de visage. La présentation des segments à l'intérieur d'un contexte facial sera donc comparée à celle de segments isolés de tout contexte. L'hypothèse à valider est que l'influence du contexte devrait surtout se faire sentir dans le cas des segments 'naturels' de visage, les seuls à nécessiter la présence d'une configuration de 'premier ordre' pour être traités efficacement (Arguin et Saumier, soumis 2003).

B. Deuxième étude

L'objet de la seconde étude de ce travail porte sur l'effet d'inversion de visage, une perturbation généralement interprétée comme une incapacité à appréhender les informations configurales, qui provoque un traitement sériel des traits. Afin de mieux comprendre pourquoi les visages présentent une sensibilité marquée à l'inversion, il s'avère pertinent d'investiguer l'interaction entre les facteurs 'orientation' (à l'endroit ou à l'envers) et 'segmentation' (naturelle ou arbitraire). Les résultats escomptés sont d'abord à l'effet que l'inversion perturbe le traitement des segments arbitraires de visage. Si les segments 'naturels' sont peu ou pas affectés par la manipulation, il sera possible de conclure que l'inversion est la manifestation d'un changement dans le mode de traitement des visages (Searcy et Bartlett, 1996). Par contre, des résultats montrant l'existence d'un effet d'inversion pour des segments 'naturels' de visage, forceront à une remise en question de cette hypothèse voulant que l'inversion n'affecte que le traitement configural des visages. Si la sensibilité à l'inversion des parties naturelles et des parties arbitraires est similaire, alors l'effet d'inversion pourrait être interprété comme une augmentation du niveau de difficulté associé à l'encodage des visages (Valentine, 1988, 1991).

CHAPITRE DEUXIÈME:

PREMIER ARTICLE

**ERP manifestations of face structural encoding:
From isolated feature detection to holistic analysis
of configural relations among facial parts**

Sophie Lecours¹, Martin Arguin¹⁻² & Marc E. Lavoie³

¹Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition,
Département de psychologie, Université de Montréal,

²Centre de Recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal,

³Centre de Recherche Fernand-Seguin, Hôpital L-H. Lafontaine,
Département de psychiatrie, Université de Montréal

Article soumis à la revue *Cognitive Brain Research*

Correspondance should be addressed to:

Martin Arguin, Ph. D.

Département de psychologie, Université de Montréal, C.P. 6128,

Succ. Centre-ville, Montréal, Qc, Canada, H3C 3J7

Tel: 514-343-2167, Facsimile number: 514-343-5787,

E-mail: 

Abstract

The joint contribution of face parts, their spatial relations, facial context and encoding strategy was examined in face matching experiments through performance as well as electrophysiological measurements. Subjects performed a *part-to-whole* face matching task assumed to elicit an analytic encoding strategy (Exp. 1) as well as a *whole-to-part* face matching task assumed to elicit a holistic encoding strategy (Exp.2). The face parts corresponded to intuitive natural face segments (mouth, nose, and eyes) or arbitrary face segments (cutting across natural parts) and they were shown either in isolation or within a generic facial context. Behavioral results revealed that facial context facilitated face parts processing in both experiments. At the ERP level, the occipito-temporal N200 component indicated that context interfered with face part processing when the task favored an analytic encoding strategy while it facilitated face part processing when the task favored a holistic encoding strategy. A segmentation effect was also found to reverse direction across experiments, as reflected by higher accuracy with natural parts than arbitrary segments in Exp. 1 and the opposite pattern in Exp. 2. Our findings suggest that facial parts and their configuration are effectively processed during early visual analysis but via functionally distinct routes conveyed by either an analytic or a holistic processing system, respectively. Regarding the relative involvement of these systems in face processing, our data provide evidence that it is not only a function of the physiognomic value of the available facial input, but also of the perceptual strategy adopted by the observer.

Theme: Neural basis of behavior

Topic: Cognition

Key words: Event-related potentials, N170, Visual face perception

1. Introduction

The recognition of familiar faces is a human ability of critical adaptative importance which is achieved effortlessly and almost instantaneously. Findings from neuropsychological [37,48] and neuroimaging [28,29] studies suggest a functional and neuroanatomical specialization for face recognition (however see Ref. [19, 20] for a different characterization of the specialization issue). Notably, studies of brain injured patients have provided convincing evidence for face-specific processing modules through a double dissociation between face and object recognition impairments [18]. Thus, in prosopagnosia, which usually follows bilateral occipito-temporal damage, face recognition is disproportionately impaired while visual object recognition is intact [18,35,48]. In contrast, other patients present the opposite pattern: spared face recognition with impaired object recognition [34,37]. Moreover, neuroimaging studies in normal subjects have provided additional evidence in support of the idea that face processing may involve specific neural regions distinct from those supporting general object recognition. Indeed, Kanwisher et al. [28,29] have identified a fusiform face area which was strongly activated when faces were presented, but not in response to houses, scrambled faces, or hands. In the present study, the cognitive and neural bases of face processing is addressed by examining behavioral performance and ERP modulations to face structural encoding, a stage of face recognition at which physiognomic information is processed without regard to personal identity or facial expression [c.f. 9].

1.1. Face encoding: holistic vs part-based processing

It has been suggested that face recognition involves different perceptual mechanisms [e.g. 52] than those used for object recognition, which are largely based upon the decomposition of the stimulus into its constituent parts [7,32]. Compared to most other object classes, faces are rather similar: they all share the same basic configuration and their constituent parts often differ only very slightly [30]. Relatedly, it has been suggested that face recognition would not only engage the processing of individual parts (mouth, nose, etc.), but would mostly be dependent upon the processing of their configuration [13,30,46,47,53]. However, as described below, controversy remains regarding the relative contribution and nature of these part-based and configural perceptual mechanisms to face recognition.

On the one hand, the holistic view put forward by Tanaka and Farah [52] assumes that face recognition normally depends on the global processing of the entire face, with feature processing playing little or no role. Thus, faces would be processed and represented in memory as templates, without decomposition into parts. This view is supported by results which indicate that, in normal subjects, the recognition of face parts is greatly impaired when shown in complete isolation rather than within their original face context. In contrast, the recognition of the parts of non-face objects is less affected by isolation. Similarly, Homa et al. [25] have shown that facial parts (nose, mouth, and eyes) are better recognized when they are included in a normal facial context than in a disorganized, or 'scrambled' face ('the face superiority effect'). Finally, there is evidence that face recognition performance is much more affected by stimulus inversion than object recognition ('the face

inversion effect'), a finding that is usually interpreted as indicating a global dominance in face processing given the assumption that upside-down faces provide inadequate configural information [54,56].

On the other hand, some researchers have argued that facial parts independently contribute to the face recognition process [10,31]. Congruently, Rakover and Teucher [39] reported that 91% of the variance of the recognition performance for upright whole faces can be predicted by performance on their individual isolated parts. Moreover, Macho and Leder [31] have noted that, even though performance with isolated face parts was quite poor in the Tanaka and Farah [52] study, it remained above chance. This better-than-chance performance is not consistent with the assumption proposed by the holistic view that face parts are not explicitly represented within the visual system.

Finally, the relational view of face recognition emphasizes the joint importance of basic units for face processing, and of their spatial relations, or configuration [13,40,41]. According to Diamond and Carey [13], it is possible to distinguish between two types of configural information: (1) 'first-order spatial relations' corresponding to a common spatial organization of parts shared by all faces (e. g. mouth below the nose), which would be involved for instance in the discrimination between face and non-face objects or scrambled faces ; and (2) 'second-order spatial relations' representing the distinctive relations among the parts that define the shared facial configuration (e.g. nose-mouth distances specific to a particular face) and which are assumed to be involved in the identification of specific faces.

Empirical evidence suggests that first-order spatial relationships among face parts are crucial for individual face part processing since they have been found to modify the perception and representation of the local properties of the stimulus. Notably, Suzuki & Cavanagh [51] showed that the processing of local targets (i.e. arcs) embedded within a schematic face is facilitated relative to a meaningless pattern in a conjunction search task, but in contrast, it was slowed down in a feature search task. These results suggest that if the spatial organization of local elements is compatible with facial first-order relations, there is a triggering of face-specific processes that modify the perception and representation of the local properties of the stimulus. If indeed facial context acts as an emergent feature affecting the perception of local targets, it raises the possibility that, in the Tanaka and Farah [52] study, the absence of facial context may account for the difficulty of recognizing isolated face parts. Specifically, the observations of Suzuki and Cavanagh [51] suggest that face parts shown in complete isolation may fail to address face-specific processing mechanisms (which would require a first-order facial organization of the stimulus), whereas face parts shown within a facial context would succeed in doing so. In other words, it appears possible that isolated face parts are processed by a distinct system from the one involved in the representation of complete faces, thus preventing them from being truly processed as facial components [3].

To summarize, the behavioral data available in the literature suggests that face processing relies on a holistic dimension but also on an analytic one involving face parts, although the factors affecting the degree of their relative contribution remain to be specified. The present study addresses the issue of

whether natural face parts (eyes, nose and mouth) are psychologically valid elements in visual face processing. Thus, two types of face segments were examined in the context of a matching task involving whole faces and facial parts: (1) 'natural' face segments, which are assumed to correspond to the decomposition of facial images into parts by the visual system, and (2) 'arbitrary' (i.e. 'puzzle-like') face segments, which do not completely reveal any natural face part. An additional aim of the present study was to examine whether a first-order facial organization of the stimulus is required to engage the putative analytic face-specific mechanism. To do so, the processing of face parts displayed within a facial context was compared to face parts displayed in complete isolation.

1.2. Event-related potentials (ERPs) correlates of visual face processing

In addition to the behavioral investigations reviewed above, recording the ERPs that are elicited by the visual exposure to faces in humans may help distinguish between the analytic and holistic perceptual mechanisms involved in face recognition. The ERPs are the averaged electroencephalographic (EEG) signals time-locked to stimuli and are constituted by various components that are characterized in terms of their amplitude (in μV) and latency (in ms). Their main feature resides in their greater sensitivity to the cognitive demand than to the physical characteristics of the stimulus per se. Also, ERPs allow to follow a rapid stream of processing with millisecond accuracy.

Of interest for the present study is a negative potential peaking at about 170ms (N170) following stimulus onset at temporo-occipital sites,

which appears to be linked to face-specific neural processing [4,11,15,45]. The N170 is characterized by an enhanced amplitude for faces compared to non-face objects, i.e. cars, buildings, furniture, etc. [4,11] and is larger over the right than the left cerebral hemisphere [4,21]. In addition, the N170 is unaffected by face familiarity, thereby suggesting that this component reflects a fairly early stage of visual analysis [5,15] that may correspond to the structural encoding stage proposed by Bruce and Young [9]. The subsequent ERP modulations (N400, P600) observed in visual face processing seem to be involved in individual face recognition [5,15]. The absence of the N170 component in prosopagnosia is also consistent with the fact that selective impairments of face recognition may result from an impaired structural encoding of faces [17].

Although clearly involved in the perceptual analysis of faces, the specific nature of the process tapped by the N170 component remains an unresolved issue. Bentin et al.'s [4] investigations indicated that the N170 component is not significantly affected by manipulations known to impair face recognition, such as face distortion (e.g. alteration of the spatial organization of the inner components of faces) and face inversion, and that isolated eyes elicit a larger and delayed N170 relative to whole faces. On the basis of these observations, Bentin and colleagues [4,5,11,45] suggested that the N170 is related to a mechanism that acts on the basic constituents of the face, rather than their spatial organization. They proposed that this analytic processor is probably located in the lateral posterior temporal lobe, while a holistic processor required for the perception of full-face configuration is probably located in the middle fusiform gyrus as reflected by the intracranially recorded N200 [1,33,38].

In contrast to Bentin et al.' findings [4], Eimer [16] demonstrated that the N170 is not exclusively tuned to the internal features of faces since eliminating these features resulted in the same reduction of the amplitude of the N170 as when only external face components were absent. According to this author, the N170 reflects a late stage of structural encoding where the configurational analysis of faces takes place in order to generate representations for subsequent face recognition processes. Rossion et al. [43] also found that the N170 is sensitive to the configural information in faces but argued that it is not specific to facial stimuli. Indeed, these authors showed that the difference in amplitude observed between some non-face categories (e.g. cars and shoes) can be as large as between faces and non-face categories. However, when stimuli were inverted, a delayed and enhanced N170 was found only for faces. The results of Rossion et al.'s [43] are compatible with previous behavioral experiments [54,56], suggesting that the loss of configural information caused by inversion can increase the difficulty of face processing.

Recently, Jemel et al. [27] observed a shift in the N170 associated with the analytic processing of faces in a priming experiment in which subjects were required to attend to the eyes shown in a complete face. In their task, the primes, which portrayed familiar faces with the eye region masked, were followed by a whole face target completed either with the proper features or incorrect ones. The ERP data revealed a N170 latency delay for the whole face target compared to the primes. Jemel et al. [27] argued that the presence of the task-relevant attended eyes led to this delay since it implied the extraction of the eye characteristics. In other words, the perceptual strategy involved in the face processing task, i.e. to focus attention on a particular feature rather than on the entire face, is sufficient to delay the whole-face related N170.

Overall, ERP studies suggest that facial features and whole-face configurations may be processed independently by an analytic and a global processing system, respectively, and that these systems could be involved in face processing to a variable degree depending on the task constraints placed upon the encoding strategy. The purpose of the present study is to examine how face processing is jointly influenced by the type of face input the visual system is exposed to and by the perceptual strategy applied for facial structural encoding. More specifically, the facial parts as well as the task constraints within a matching task, either favoring a part-based or a holistic perceptual strategy, were varied in order to specify the nature of the process tapped by the N170 component in face perception. Finally, it has long been proposed that the right hemisphere plays a particularly important role in holistic processing, whereas the left hemisphere is preferentially involved in analytic processing ([50]; see also Ref. [8] for a review). Accordingly, the present investigation will also examine the cerebral lateralization of face processing mechanisms.

1.3. The present study

To obtain further insights into which facial structural encoding process -from isolated feature detection to holistic analysis of configural relations among facial parts- is reflected by the early posterior ERP negativity associated with visual face perception, as well as its time course and hemispheric lateralization, two ERP experiments were conducted with facial stimuli. The main factors manipulated were (1) the type of face segmentation that was performed to construct the face parts, which either kept intact facial

features or second-order spatial relations, and (2) whether these segments were shown in complete isolation or within a first-order facial context (i.e. a blurred face background over which a particular face part was pasted), where no information regarding second-order spatial relations was visible.

Furthermore, the present study was designed to explore the sensitivity of the N170 electrophysiological correlate to the perceptual strategy involved in face perception. This was examined by manipulating face encoding conditions in two similar tasks: one in which the subjects' attention was directed to facial parts and another where matching performance could be achieved on the basis of holistic face processing. More specifically, we report (1) a *part-to-whole face matching experiment* (Exp. 1), likely to engage an analytic perceptual strategy since an individual face part was presented first to subjects, as well as (2) a *whole-to-part face matching experiment* (Exp. 2), likely to induce a holistic perceptual strategy since a whole face was presented first to subjects who were unaware of which individual face part was to be shown next.

It is assumed that the facial stimuli presented should trigger face-specific neural processing mechanisms and that the modulations of matching performance will be a function of the speed and efficiency of the processing of the face inputs. As the difficulty to process face parts increases, RTs and error rates are expected to increase, while the early negative ERP component with an approximate latency of 170ms post-stimulus onset is expected to be enhanced and delayed. It is on the basis of this underlying logic –stipulating that sub-optimal information for face analysis would require additional

processing time and capacity- that the results of the experiments reported below will be interpreted [21,42,44].

2. Materials and methods

2.1. Subjects

Fourteen French speaking paid volunteers (6 men and 8 women) with a mean handedness score (Edinburgh Handedness Inventory) of 81.4 (range: 38-100), gave their formal consent for participating in this study. Subjects ranged in age from 19 to 25 years and had between 11 and 15 years of education. They scored average or above average on the short version of the Raven non-verbal intelligence test (average = 28/30 ; range = 24-30) [49] and on the Benton face recognition test (average = 48/54 ; range = 44-51) [6]. All had normal or corrected-to-normal vision and reported no history of neurological or psychiatric disorders. Prior to the ERP recordings, subjects were asked to get a good night of sleep, not to consume any alcohol or other recreational drugs, nor to drink coffee other than their usual consumption. They all claimed to have complied to these requirements.

2.2. Face stimuli

The stimulus materials consisted of eight gray-scale digitized images of unknown female faces (University of Stirling face data base). The faces were presented in frontal view and had a neutral emotional expression. The images were digitally modified so as to hide hair, ears and neck, and to

standardize the facial contour, which was adjusted to a vertical length of 9.8 cm (see Fig. 1). Face part stimuli were created from each face and consisted of either 'natural' parts, i.e. eyes, nose and mouth; or 'puzzle' parts, which were facial sections that cut across natural facial features (see Fig. 2). The face parts were either presented in complete isolation or within their original facial context, but where all other internal features (eyes, nose and mouth) were masked by visual noise (Gaussian blur) using the Morph program (Gryphon Software Corporation). All face stimuli were presented on a black background using a high resolution 19" computer monitor (viewsonic). Participants were seated at about 90 cm from the screen.

Insert Figs. 1 and 2 about here.

2.3. Procedure

The subjects took part in a series of four different ERP experiments, of which two are reported below. The sequence of administration of the experiments was counterbalanced across subjects using a Latin square design. Prior to the first experiment, subjects sat in a comfortable chair and the EEG electrodes were affixed. Once seated in front of the computer monitor in a sound attenuated and dimly-lit chamber, they were instructed to minimize body and eye movements as much as possible during the test session. Subjects were also told that they would see pairs of stimuli displayed in the center of the screen to which they should indicate whether they match or not, and that they should emphasize both speed and accuracy in their responses.

In order to gain familiarity with the materials used, a two-minute inspection period of the eight faces photo set preceded the experiment proper.

Each trial consisted of the following event sequence: (1) a 500 ms fixation point, (2) a 500 ms blank interval, (3) a first facial stimulus (reference) of 400 ms duration, (4) a constant interstimulus interval of 175 ms duration, (5) a second facial stimulus (target) of 1400 ms duration, and finally (6) a 575 ms intertrial interval. The reference stimulus of the matching sequence, which occurred first, was randomly displayed 1 cm below, above, to the right, or the left of the center of the screen. In Exp. 1, the reference stimulus was a face part with properties defined by the factors of (1) part segmentation ('natural' part or 'puzzle-like' part) and (2) part context (with or without facial context). The target stimulus, which was displayed second, was a complete face sampled from the face set described above. Exp. 2 followed the same procedure as Exp. 1, except for the stimulus sequence: the reference stimulus was a complete face and the target was a face part. Consequently, Exps. 1 and 2 were designed to assess part-to-whole and whole-to-part face matching, respectively.

On every trial, subjects were required to perform a forced-choice decision in which they indicated whether the first stimulus matched the second, i.e. whether both stimuli belong to the same face. Half of the subjects had to press a button with their right hand to respond 'yes' and another button with their left hand to respond 'no'. The response button assignments were reversed for the other half of the subjects. Each experiment consisted of two blocks of 120 trials, with 50% match and 50% mismatch trials distributed in a random order within each block. An equal number of trials (60) was

assigned to each possible combination of the segmentation X context factors which were equally divided across matching and mismatching stimulus pairs. The various combinations of face parts and whole faces were presented in random order, except for the constraint that no two identical stimuli occurred on successive trials. Between each block, which lasted about 8 minutes, subjects took a pause for a few minutes in order to help maintain their concentration level throughout the whole experiment.

2.4. ERP data acquisition

The INSTEP data acquisition program (InstEP Systems, Inc) was used to acquire the data and then to analyze it offline. Raw EEG data was collected from 58 tin electrodes inserted in a customized nylon cap (ElectroCap International Inc.). The electrodes were placed according to the guidelines for standard electrode position by the American EEG Society [2] at five anterior-frontal (AFz, AF3, AF4, AF7, AF8), nine frontal (Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8), seven fronto-central (FCz, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6), seven central (Cz, C1, C2, C3, C4, C5, C6), seven centro-parietal (CPz, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6), seven parietal (Pz, P1, P2, P3, P4, P5, P6), eight temporal (P7, TP7, T7, FT7, P8, TP8, T8, FT8), and eight occipital (Oz, O1, O2, PO3, PO4, PO7, PO8, Poz). All electrodes were referred to linked earlobes and to a common ground located at Fpz. The Electro-Oculogram (EOG) was recorded using four additional tin external bipolar electrodes for EOG artifact correction. The horizontal EOG electrodes were placed at the outer canthus of each eye and the vertical EOG were positioned infra- and supra-orbitally to the left eye, in line with the pupil when looking straight ahead. All electrode impedances were kept below five kOhms. The EEG was acquired continuously at a

sampling rate of 250 Hz and stored on disk for off-line analysis. A bioelectric amplifier model ISS3-32BA (SA Instrumentation, Inc) amplified the EEG signals with a gain of 10,000 and the EOG with a gain of 3000. All signals were band-pass filtered between 0.01- 30 Hz.

2.5. Behavioral and ERP data extraction

Behavioral measures (reaction times (RT) and error rates) were recorded on-line by the control computer and incorrect responses or outlier trials were excluded from further ERP analysis. RT was defined as the interval between the onset of the target (second stimulus of the matching sequence) and the subject's key press. RTs more than three standard deviations away from each subject's mean per condition were considered as outliers. From the total of 3360 trials per experiment (240 trials \times 14 subjects), subjects responded accurately on 79% and 76% of the trials for part-to-whole face matching (Exp. 1) and whole-to-part face matching (Exp. 2), respectively. Outliers occurred on 0.07% of all trials and were excluded from further analysis. Even though the task was more challenging for some subjects than others, chi-squared analyses performed on error rates showed that all subjects performed above the chance level (smallest $\chi^2(1) = 11.05$, $p < 0.001$).

Ocular artifacts were corrected from the EEG recordings with the Woestenburg method [55] using a dynamic regression in the frequency domain (Instep-Talo). The remaining artefacted epochs of EEG exceeding $\pm 150 \mu\text{V}$ were excluded from averaging (less than 3 % in both experiments). A marker was set at the onset of the target stimulus and the off-line averaging

time window departed at 100 ms before the marker and ended at 500 ms post-marker. The averaged evoked responses were then computed separately for each experimental condition and response type (i.e. match vs. mismatch trials), but averaging was only performed on the trials including a correct behavioral response.

At posterior electrodes, the first visible deflection was a P100, which was followed by a N200. For each ERP waveform, baseline to peak amplitude and latency was used within a time-window between 140 ms and 350 ms to measure the temporo-occipital negativity associated with face processing. This negativity, which we will refer to as the N200 component, peaked on average at 231 ms (SD = 45) in Exp. 1 and at 229 ms (SD = 44) in Exp. 2. Inspection of the scalp distribution showed that the negative deflection did not occur at frontal sites, but was present in the occipito-temporal region for all subjects. Therefore, the statistical analysis focused on the N200 component at three left (P7/ PO7/ O1) and three right occipito-temporal sites (P8/ PO8/ O2), where the component reached its maximum amplitude. One missing value related to one condition in one subject was found in Exp.1 and another in Exp. 2. These were replaced by the mean peak latency and amplitude of the corresponding experimental condition.

2.6. Statistical Analyses

Repeated measures analyses of variance (ANOVA's) were carried out on behavioral data and on ERP amplitude and latency values (SPSS v9.0 for Windows). The analysis of the behavioral data (reaction times and accuracy)

included three within-subject factors: congruency (matching trials vs. mismatching trials), segmentation (natural part vs. arbitrary part), and context (isolated part vs. part in context). For the psychophysiological data, there were two additional factors: hemispheric lateralization (left hemisphere vs. right hemisphere) and electrode location (three electrodes). In all analyses, the significance level was set at 5% (two-tailed) and Huynh-Feldt corrections for degrees of freedom were used when necessary.

3. Results

3.1. *Experiment 1: part-to-whole matching*

The behavioral and ERP mean results of Exp. 1 are shown in Table 1. The correlation between mean RTs and error rates (+0.56, ns) was positive and not significant, indicating that there was no speed-accuracy trade-off.

Insert table 1 about here.

3.1.1. *Behavioral data*

3.1.1.1. *Reaction time.* The analysis of correct RTs revealed a main effect of context ($F(1,13) = 14.82, p < 0.005$), with shorter RTs for parts in context compared to isolated parts, and a significant interaction between context and segmentation ($F(1,13) = 6.67, p < 0.05$). The simple effects of this interaction indicated shorter RTs when arbitrary segments were included in a facial context than when shown in isolation ($F(1,13) = 24.29, p < 0.001$). In contrast,

natural parts did not show a significant context effect ($F(1,13) = 1.01$, ns). No other interaction approached significance.

3.1.1.2. Error rates. The analysis of error rates yielded two main effects: one of congruity ($F(1,13) = 10.05$, $p < 0.01$), showing better accuracy on mismatching trials than on matching trials, and another of segmentation showing better accuracy for natural face segments as compared to arbitrary ones ($F(1,13) = 30.11$, $p < 0.001$). The results also revealed a significant three-way interaction of congruity \times segmentation \times context ($F(1,13) = 10.24$, $p < 0.01$). Further analyses of this interaction did not indicate any effect of segmentation ($F(1,13) = 2.63$, ns), context ($F(1,13) < 1$) or interaction thereof on mismatching trials ($F(1,13) = 1.54$, ns), but there was a significant interaction of segmentation \times context on matching trials ($F(1,13) = 30.26$, $p < 0.001$). The latter reflected better accuracy for natural parts in isolation compared to natural parts in context ($t(13) = 3.96$, $p < 0.005$). By contrast, the reverse pattern of performance was found for arbitrary segments, with better accuracy for parts in context than for isolated parts ($t(13) = 2.21$, $p < 0.05$).

3.1.2. ERP data

On average, the N200 to natural parts peaked at 228 ms and reached an amplitude of $-4.21 \mu\text{V}$, with a similar latency and amplitude for arbitrary parts (229 ms, $-4.59 \mu\text{V}$). The ERPs evoked by parts in context peaked at 232 ms and were more negative ($-5.54 \mu\text{V}$) than those elicited by isolated parts ($-3.25 \mu\text{V}$), which peaked at 225 ms. Fig. 3 depicts the grand-averaged ERPs over the PO7 and PO8 scalp sites associated with parts presented in isolation and in context. These ERP waveforms which were recorded in the first 500 ms

following target onset included a P100 and a N200. The occipito-temporal morphology of the N200 was similar for all experimental conditions.

Insert Fig. 3 about here.

3.1.2.1. Latency. The results showed a trend toward a significant effect of electrode site ($F(2,26) = 3.01 ; p < 0.07$). Inspection of the data indicated a slightly longer latency at sites P7/P8 (231 ms) and P07/P08 (229 ms) compared to sites O1/O2 (226 ms). There was also a marginally significant three-way interaction of congruency \times segmentation \times electrode ($F(2,26) = 3.0 ; p < 0.07$). This interaction was due to a congruency \times segmentation interaction which was only present at sites O1/O2 ($F(1,13) = 10.71 ; p < 0.01$) [P07/P08 ($F(1,13) < 1$) ; P7/P8 ($F(1,13) < 1$)]. Further analysis of this interaction revealed a delayed latency for natural parts compared to arbitrary parts on mismatching trials ($t(13) = 2.14, p < 0.05$), but not on matching trials ($t(13) = 1.66, ns$). No other interaction term approached significance.

3.1.2.2. Amplitude. Parts in context elicited a larger N200 component relative to parts in isolation. (see Fig. 3) This was reflected by a main effect of context ($F(1,13) = 32.03 ; p < 0.001$), which was accompanied by a context \times electrode interaction ($F(1.7, 22) = 15.29 ; p < 0.001, \epsilon = 0.848$). The t-tests performed for simple effects indicated a significant context effect at all electrode sites [smallest t: P7/P8 ($t(13) = 4.27, p < 0.001$)], however the magnitude of the effect was significantly weaker over the P7/P8 (effect size: 1.53) electrodes than the P07/P08 (effect size: 2.33) electrodes and the O1/O2 (effect size: 3) electrodes ($F(1.67, 22.04) = 15.29 ; p < 0.001$). No other interaction term reached significance.

3.2. Experiment 2: Whole-to-part matching

The behavioral and ERP mean results of Exp. 2 are shown in Table 2. The correlation between average RTs and errors rates was of +0.17 (ns), thus showing no speed-accuracy trade-off.

Insert table 2 about here.

3.2.1. Behavioral data

3.2.1.1. *Reaction time.* The analysis of correct RTs yielded a significant main effect of context ($F(1,13) = 18.37, p < 0.001$), with shorter RTs for parts within a facial context relative to parts shown in isolation. Furthermore, a significant main effect of segmentation ($F(1,13) = 7.8, p < 0.025$) was also found, as well as a significant interaction of congruency \times segmentation ($F(1,13) = 7.33, p < 0.025$). The latter revealed shorter RTs for arbitrary parts compared to natural parts on mismatching trials ($t(13) = 3.36, p < 0.005$), but no difference on matching trials ($t(13) = 1.03, ns$).

3.2.1.2. *Error rates.* The analysis of error rates showed no significant effect.

3.2.2. ERP data

Fig. 4 and Fig. 5 show grand-averaged ERPs over the PO7 and PO8 leads in response to natural and arbitrary parts presented either in isolation

or in context. These ERP waveforms which were recorded in the first 500 ms following target onset included a P100 and a N200. The morphology of the N200 component was similar for all experimental conditions, except for natural isolated parts which appeared to evoke a negativity of a longer duration, especially over the left hemisphere. Two main results were observed: (1) the N200 was larger and delayed for natural parts (238 ms, -6.11 μV) compared to arbitrary parts (223 ms, -5.14 μV), and (2) the N200 peaked later (238 ms) and was enhanced (-6.93 μV) for isolated parts compared to parts in context (223 ms, -4.31 μV). The statistical analyses reported below confirm these observations.

Insert Figs. 4 and 5 about here.

3.2.2.1. *Latency.* The analysis of the latency of the N200 component yielded a main effect of segmentation ($F(1,13) = 21.21 ; p < 0.001$), indicating a delayed latency for natural parts compared to arbitrary parts. The results also showed a main effect of context ($F(1,13) = 5.10 ; p < 0.05$), as well as a context \times electrode interaction ($F(1.79, 23.21) = 14.24 ; p < 0.001, \epsilon = 0.893$) which revealed a N200 peak latency delay for parts in isolation compared to parts in context at sites P7/P8 ($t(13) = 5.09, p < 0.001$). The latter effect was marginally significant at sites PO7/PO8 ($t(13) = 1.89, p < 0.08$) but absent at sites O1/O2 ($t(13) < 1$).

Moreover, the results showed a significant three-way interaction of segmentation \times context \times hemisphere ($F(1,13) = 5.84, p < 0.05$), which indicated a segmentation by context interaction over the left hemisphere ($F(1,13) = 12.98, p < 0.005$), but not over the right hemisphere ($F(1,13) < 1$). The segmentation \times context interaction over the left hemisphere was due to a

significant latency delay for natural parts in isolation compared to natural parts in context ($t(13) = 3.84 ; p < 0.005$), whereas arbitrary parts did not show any context effect ($t(13) p < 1$). (see Fig. 6)

Insert Fig. 6 about here.

Finally, a significant congruency x segmentation x hemisphere interaction ($F(1,13) = 5.47, p < 0.05$) was found, which pointed to a delayed latency for natural parts compared to arbitrary parts on mismatching trials ($F(1,13) = 12.05, p < 0.005$), but not on matching trials ($F(1,13) < 1$) in the left hemisphere [left ($t(13) = 3.84 ; p < 0.005$) ; right ($t(13) < 1$)]. No other effect on the N200 latency reached significance.

3.2.2.2. *Amplitude.* A main effect of context ($F(1,13) = 37.37 ; p < 0.001$) was obtained on the N200 amplitude, which was enhanced with isolated parts compared to parts in context. When compared to arbitrary parts, natural parts elicited a larger N200, as reflected by a main effect of segmentation ($F(1,13) = 10.33 ; p < 0.01$).

A significant three-way interaction of segmentation x context x electrode ($F(1.6, 20.8) = 4.38 ; p < 0.05, \epsilon = 0.799$) revealed a joint modulation of the context effect on the N200 amplitude by segmentation and electrode site. Specifically, a context effect was found for natural parts at all electrode sites (smallest $t(13) = 4.69, p < 0.001$) whereas, for arbitrary parts, the context effect was only seen at sites O1/O2 and PO7/PO8 (smallest $t(13) = 2.69, p < 0.025$), and not at sites P7/P8 ($t(13) < 1$). In all of the above cases, parts in isolation elicited a larger N200 amplitude than parts in context. Moreover, the three-way interaction was due to a segmentation x electrode interaction for parts in isolation ($F(1.83, 23.8) = 7.81 ; p < 0.005, \epsilon = 0.916$), reflecting an

enhanced amplitude for natural parts compared to arbitrary parts at sites P7/P8 ($t(13) = 5.26, p < 0.001$) and PO7/PO8 ($t(13) = 3.69, p < 0.005$), but not at sites O1/O2 ($t(13) = 1.89, ns$). By contrast, no such segmentation by electrode interaction was found for parts presented in context ($F(1.47,19.1) < 1, \epsilon = 0.733$). No other interaction reached significance.

3.3. Summary of Main findings

3.3.1. Context effect

To sum up, the results of Exps.1 and 2 revealed a strong context effect on both the N200 latency and amplitude, but in opposite directions across experiments. Indeed, in the *part-to-whole* matching task of Exp. 1, context seems to have interfered with the processing of face parts, as suggested by the larger N200 amplitude. In contrast, context appears to have facilitated face part processing in the *whole-to-part* matching task of Exp. 2 given the shorter N200 latency and smaller N200 amplitude. These effects are consistent with the constraints imposed by the different task procedures assuming that *part-to-whole* face matching (Exp. 1) was favoring an analytic encoding strategy while *whole-to-part* matching (Exp. 2) was favoring a holistic encoding strategy. Specifically, the analytic strategy appears to be based on the parsing of the facial image in order to isolate a target part from its context, whereas the holistic strategy seems to require the facial context in order to better process a part.

The ERP findings are consistent with the behavioral results: In Exp. 1, the increased ERP negativity for parts in context was associated with an

increase in error rates for natural parts in context and, in Exp. 2, the smaller N200 amplitude and shorter latency for parts in context was associated with an RT advantage for parts in context over isolated parts. However, the results of Exp. 1 yielded one important exception to this positive correlation between behavioral and ERP results: the ERPs revealed an advantage for parts shown in isolation compared to parts in context, whereas RTs suggested a disadvantage for arbitrary parts in isolation compared to in context (although not statistically significant, the same pattern of results was also observed for natural face segments).

3.3.2. Segmentation effect

Similarly to the context effect, the segmentation effect showed an opposite pattern of results across Exps 1 and 2. Thus, Exp. 1 revealed a greater accuracy for natural parts than arbitrary parts, whereas the results of Exp. 2 showed that arbitrary parts were processed more easily than natural parts (cf. faster RTs, shorter latency and smaller amplitude of the N200 component for arbitrary parts), although this advantage was only found for isolated parts in the ERP data.

3.3.3. Congruity effect

In Exp. 1, better accuracy was found for mismatching than for matching trials. However, the findings pertaining to the N200 component suggested that mismatching trials for natural parts elicited a delayed latency compared to matching trials. In Exp. 2, the results showed no congruity effect, apart from an interaction of congruity x segmentation x hemisphere, which indicated a delayed latency in the left hemisphere for natural parts compared to arbitrary parts on mismatching trials.

3.3.4. Hemispheric lateralization and scalp distribution effects

The main observation regarding the issues of hemispheric differences and scalp distribution of the ERP's was a segmentation effect in Exp. 2, mostly present at electrodes located over the left hemisphere, which revealed that arbitrary parts were processed more easily than natural parts.

3.3.5. N170 peak latency delay

Regardless of the nature of the face inputs or the perceptual strategies engaged in the structural encoding stage, occipito-temporal negativities were elicited between 140 and 350 ms post-target onset (N200). These ERP observations are consistent with numerous studies reporting an occipito-temporal face-specific negativity peaking at a latency of about 170 ms that is involved in the pre-categorical structural encoding of faces [4,5,15,16]. However, the peak latency of the negativity that we observed at 231 ms in Exp. 1 and at 229 ms in Exp. 2, was delayed compared to the N170 reported in many studies. Two phenomena may account for this discrepancy: (1) the format of our experiments and (2) the type of facial stimuli.

First, several previous studies showed a posterior negativity peaking at 170 ms but ERPs were recorded to a single stimulus (mostly within an oddball paradigm, where faces are shown among several other categories). In contrast, the matching task used in the present study required not only the encoding of a target stimulus (either a face segment or a full face) but also to compare it with the representation of a previous stimulus held in visual short-term memory. Thus, ERP averaging was time-locked to the onset of a

target that had been preceded by another facial stimulus. In other studies using a matching paradigm similar to ours, a similar delayed-negativity was also observed [12,27]; for example, Chaby et al. [12] found a negativity peaking at 216 ms for test faces compared to 182 ms for prime faces. Our results, like those of Chaby et al. [12], revealed that the negativity associated with the target stimuli (second stimuli of the matching sequence) peaked later than with the reference stimuli (first stimuli of the matching sequence) which peaked around 170 ms (176 ms in Exp. 1 and of 183 ms Exp. 2).

Second, it has been demonstrated that the timing of the face processing mechanisms indexed by the N170 is sensitive to the coherence of the facial configuration. For example, the latency of this component is delayed either by modifying the spatial relationships between parts [21], by removing one part [14] or by inverting the face [4,42,43]. Although these manipulations typically cause only a small delay in the N170 component (less than 10 ms) compared to ours (around 60 ms), the delay observed here may be related to the greater degree of feature isolation that was present in our experiments (cf. face segments instead of whole faces) compared to the previous studies. The study of Bentin et al. [4] also demonstrated a strong impact of feature isolation on the N170 latency since the results indicated that the peak latency elicited by eyes (186 ms), noses (210 ms) and lips (215 ms), was later than that elicited by whole faces (173 ms).

Also compatible with our findings is the study of George et al. [21] which used a two-alternative forced-choice face recognition task to examine the processing of scrambled faces compared to normal faces. Their results showed an occipito-temporal negativity associated with face processing

lasting from 150 ms until 350 ms post-stimulus onset, which reached a maximum amplitude at a latency between 200 ms and 250 ms. George et al. [21] argued that the negativities to scrambled faces arised from two overlapping phenomena: the temporal inversion of the vertex P2 and the existence of a long-lasting processing negativity associated with difficulty. In other words, the type of face segments used in our experiments may require extra-processing compared to complete, unaltered faces, which would account for the long latency of the posterior negative component observed here. Overall then, the matching format of our experiments and the increased degree of part isolation in our stimuli compared to those of other studies may have contributed to a significant delay in the face-specific N170 and it may also have induced a long-lasting negativity associated with processing difficulty which was superimposed on the ERPs observed.

4. Discussion

An enduring issue in face perception research is whether face encoding exclusively entails the extraction of a whole-face configuration or whether it involves an early analysis of parts. In line with the relational view of face recognition, our results suggest that information pertaining to both facial parts and their configuration are effectively processed but via functionally distinct routes conveyed by either an analytic or a holistic processing system, respectively. Regarding the relative involvement of these systems in face processing, our data provide evidence that it is not only a function of the physionomic value of the available facial input, but also of the encoding strategy involved in visual analysis. In fact, as discussed below, our findings suggest that the perceptual strategy adopted by the observer plays a crucial

role since its compatibility with the properties of the visual input significantly modulated the speed and efficiency of processing.

4.1. Isolated parts vs. parts in context

One of the main findings of our study is that a first-order facial context facilitated face part processing when conditions were favoring a holistic encoding (Exp. 2) –cf. shorter RTs, shorter N200 latency, and smaller N200 amplitude for parts in context compared to parts in isolation. This outcome extends the results of several ERP studies showing a larger and delayed N170 component in response to internal features presented without a facial context, as opposed to whole faces [4,26]. Our finding of a strong context effect suggests that face parts shown in complete isolation may fail to address face-specific processing mechanisms, which would require a first-order facial organization of the stimulus to be activated. This hypothesis is compatible with the findings of Suzuki and Cavanagh [51] outlined in the introduction, which showed that schematic faces acted as an emergent feature affecting the perception of the local features.

However, the present results also showed that context may interfere with face part processing when conditions were favoring an analytic encoding of the stimulus (Exp.1). Thus, face segments inserted in a facial context elicited a larger N200 amplitude compared to face segments shown in isolation. Mermelstein, Banks & Prinzmetal [36] pointed out that when a particular part is presented within a whole face context, it is automatically processed in interaction with the other facial features to form a well-integrated pattern. A directed search for the target then appears necessary to

isolate the feature involved in the match/mismatch decision. According to this explanation, our findings would suggest that when a part is presented within a facial context rather than in complete isolation, an extra processing effort is required to perceptually isolate it from the whole face in order to achieve a definite match or no match decision.

Recently, Jemel et al. [27] also reported a similar effect in a priming task where the masked eyes of familiar faces were completed with either the proper or incongruent features. Their results revealed that eyes presented in the context of a whole face (target) induced a delayed N170 when compared to a context face with missing eyes (prime). Jemel et al. argued that the presence of the task-relevant attended eyes led to the N170 latency delay for the whole face target since it implied the perceptual extraction of the eyes. In other words, our results, like those of Jemel et al. [27], show that it is sufficient to induce an analytic strategy, i.e. to focus attention on a particular feature rather than on the entire face, to either delay the whole-face related N170 or to enhance its amplitude. Additional evidence supporting this view comes from recent research on the neural mechanisms involved in the local and global processing of hierarchical patterns [22-24], which shows that a posterior N200 is sensitive to the perceptual strategy involved. For example, in a selective attention paradigm using compound stimuli, Han et al. [22] observed that the N200 (between 250-380 ms) had a longer latency for the identification of the local level than for the identification of the global level.

Overall then, facial context had opposite effects depending on the particular constraints of the task: it facilitated face part processing in conditions favoring a holistic encoding, while on the contrary, it produced an

interference effect in conditions favoring an analytic encoding. However, this pattern of results was qualified by one important exception in Exp. 1 (*part-to-whole* matching format), where we observed a dissociation between the RT and ERP data, but for arbitrary parts only. More specifically, the RTs and error rates revealed an advantage for arbitrary parts in context compared to arbitrary parts in isolation whereas the ERPs showed that these parts in context elicited an enhanced N200 amplitude (associated with a more difficult processing) relative to isolated parts. This outcome raises the possibility that the perceptual mechanisms indexed by our behavioral and ERP findings do not completely overlap.

As a general rule, our results in Exps. 1 and 2 suggest a facilitation of the processes tapped by RTs as well as by the N200 ERP component whenever the context within which facial parts are shown (i.e. isolation vs. first-order facial context) is compatible with the perceptual requirements of the task (i.e. biased towards an analytic vs. holistic strategy, respectively), regardless of the type of parts. This rule is violated by the behavioral data of Exp. 1 (RTs and accuracy) pertaining to the processing of arbitrary parts under an analytic bias, which was facilitated by a generic facial context. This observation suggests that behavior, while being sensitive to the same processes as those reflected by the N200, may also be affected by another mechanism. This putative mechanism may be assumed to occur either later than those modulating the N200 but within the same processing stream or, alternatively, at any time post stimulus onset within a parallel processing stream. From the properties of the condition triggering this additional mechanism, it may be speculated that it relates to the processing of second-order configural information when displayed within a first-order facial

context. Further studies will be necessary to investigate this issue as the present data do not allow a conclusion in this respect.

4.2. Natural parts vs arbitrary parts

If the visual system decomposes the facial image into its basic constituents, it is expected that natural face segments would be processed more efficiently than arbitrary face segments. Because these segments varied in terms of the surface area they occupied -i.e. the amount of image surface depicted in natural parts (eyes, nose and mouth, each part corresponding to approximately one sixth of a whole face) was smaller than in arbitrary parts (puzzle like parts each one corresponding to approximately one third of a whole face)- an advantage for natural segments would be congruent with the hypothesis that faces are not encoded as global and unanalyzed entities (i.e. templates). In contrast, holistic encoding would predict that image surface should be a crucial stimulus parameter that would favor arbitrary parts processing in the present experiment [3].

The present results support the view that single natural face parts constitute a valid input for the face recognition system since these segments were processed more accurately than arbitrary segments in a condition favoring an analytic face encoding (Exp. 1). Considering that arbitrary face segments also comprise partial information about face parts, this finding also suggest that natural face parts need to be integral in order to be psychologically valid elements to engage face processing mechanisms.

However, as for the results reported previously regarding the context effect, our findings pertaining to segmentation revealed effects in the opposite direction between Exp. 1 and Exp. 2. Indeed, under the procedure favoring a holistic encoding (Exp. 2), the arbitrary parts were the ones resulting in superior behavioral performances. At the ERP level, this advantage was only found for isolated parts and not for parts in context. In other words, face segments comprising information on second order spatial relations (i.e. arbitrary parts), albeit partial, were processed more easily than those comprising local information only (i.e. natural face parts) in the encoding condition of Exp. 2. This suggests that second order spatial relations have a greater impact on visual analysis when conditions are favoring an holistic encoding (Exp. 2) relative to when they favor an analytic encoding (Exp.1).

In Exp.2, the segmentation effect was not significant when face parts were presented in context instead of in isolation. This finding indicates that information about first order spatial relations constitutes a crucial visual input in the absence of information on second order spatial relations: it facilitates the processing of individual natural face parts, whereas it does not do so for arbitrary face segments. More specifically, natural face part processing was as efficient as arbitrary face part processing but only with parts shown within a generic facial context, an outcome which is compatible with the face superiority effect [25] reported in the introduction. The impact of facial context on the processing of single natural face parts is also congruent with the findings of Suzuki and Cavanagh [51] suggesting that natural face parts shown in complete isolation may fail to address face-specific processing mechanisms, which would require a first-order facial

organization of the stimulus to do so. Finally, it appears that arbitrary parts do not need to be included in a facial context to trigger the face-specific mechanisms because they comprise information on second order spatial relations.

4.3. Conclusion

To sum up our findings, when task constraints were favoring an analytic strategy (*part-to-whole* face matching), isolated parts were processed more easily than parts in context and natural segments were processed more easily than arbitrary segments. In contrast, when task constraints were favoring a holistic strategy (*whole-to-part* face matching), isolated parts and natural face segments were harder to process, eliciting delayed and larger negativities than parts in context and arbitrary segments, respectively. From these observations, it appears that the basic constituents on which the analytic mechanism acts would be natural face segments, while, first and second order spatial relations would be crucial information to engage the holistic mechanism. Consequently, the visual system seems able to encode the face configuration as well as to integrate face parts encoded individually and these two processes are triggered independently by the relevant type of face input.

Acknowledgements

Sophie Lecours received support from Ph.D. scholarships from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and the Fonds pour la Formation des Chercheurs et l'Aide à la Recherche and the Fonds de la Recherche en Santé du Québec (FRSQ). Martin Arguin is chercheur-boursier of the FRSQ. This research was supported by an NSERC grant held by Martin Arguin. Marc E. Lavoie's work was supported by a chercheur-boursier junior of the FRSQ and by the foundation of the L-H Lafontaine Hospital. We thank Lucie Ouellette for her technical help while recording the ERP's. We are also very grateful to Daniel Saumier, Fabrice Guillaume and Boutheina Jemel for their comments on the manuscript.

References

- [1] T. Allison, A. Puce, D.S. Dennis, G. McCarthy, Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipito-temporal cortex by face and non-face stimuli, *Cereb. Cortex* 9 (1999) 415-430.
- [2] American Electroencephalographic Society, Guideline thirteen: guidelines for standard electrode position nomenclature, *J. Clin. Neurophysiol.* 11 (1994) 11-113.
- [3] M. Arguin, D. Saumier, The analytic and configural mechanisms of visual face recognition revealed by priming, (submitted 2003).
- [4] S. Bentin, T. Allison, A. Puce, E. Perez, G. McCarthy, Electrophysiological studies of face perception in humans, *J. of Cogn. Neurosci.* 8 (1996) 551-565.
- [5] S. Bentin, L.Y. Deouell, Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms, *Cogn. Neuropsychol.* 17 (2000) 35-54.
- [6] A.L. Benton, K.deS. Hamsher, N.R. Varney, O. Spreen, *Contributions to Neuropsychological Assessment*, Oxford University Press, New-York, 1983, 146pp.

- [7] I. Biederman, Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychol. Rev.* 94 (1987) 115-147.
- [8] J.L. Bradshaw, N.C. Nettleton, *Human Cerebral Asymmetry*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983, 335pp.
- [9] V. Bruce, A. Young, Understanding face recognition, *Br. J. Psychol.* 7 (1986) 305-327.
- [10] R. Cabeza, T. Kato, Features are also important: contributions of featural and configural processing to face recognition, *Psychol. Sci.* 11 (2000) 429-433.
- [11] D. Carmel, S. Bentin, Domain specificity vs. expertise: factors influencing distinct processing of faces, *Cognition* 83 (2002) 1-29.
- [12] L. Chaby, B. Jemel, N. George, B. Renault, N. Fiori, An ERP study of famous face incongruity detection in middle age, *Brain Cogn.* 45 (2001) 357-377.
- [13] R. Diamond, S. Carey, Why faces are and are not special: an effect of expertise, *J. Exp. Psychol. Gen.* 115 (1986) 107-117.
- [14] M. Eimer, Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor ?, *NeuroReport* 9 (1998) 2945-2948.

- [15] M. Eimer, Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition, *Clin. Neurophysiol.* 111 (2000) 694-705.
- [16] M. Eimer, The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces, *NeuroReport* 11 (2000) 2319-2324.
- [17] M. Eimer, R.A. McCarthy, Prosopagnosia and structural encoding of faces: evidence from event-related potentials, *NeuroReport* 10 (1999) 255-259.
- [18] M.J. Farah, *Visual Agnosia: Disorders of Objects Recognition and What They Tell Us About Normal Vision*, MIT Press, Cambridge, MA, 1990, 184pp.
- [19] I. Gauthier, M.J. Tarr, Becoming a 'Greeble' expert: exploring mechanisms for face recognition, *Vision Res.* 37 (1997) 1673-1682.
- [20] I. Gauthier, M.J. Tarr, A.W. Anderson, P. Skudlarski, J.C. Gore, Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects, *Nat. Neurosci.* 2 (1999) 568-573.
- [21] N. George, J. Evans, N. Fiori, J. Davidoff, B. Renault, Brain events related to normal and moderately scrambled faces, *Cogn. Brain Res.* 4 (1996) 65-76.
- [22] S. Han, S. Fan, L. Chen, Y. Zhuo, On the different processing of wholes and parts: a psychophysiological analysis, *J. Cogn. Neurosci.* 9 (1997) 687-698.

- [23] S. Han, S. Fan, L. Chen, Y. Zhuo, Modulation of brain activities by hierarchical processing: a high-density ERP study, *Brain Topogr.* 11(1999) 171-183.
- [24] H.J. Heinze, H. Hinrichs, M. Scholz, W. Burchert, G.R. Mangun, Neural mechanisms of global and local processing: a combined PET and ERP study, *J. Cogn. Neurosci.* 10 (1998) 485-498.
- [25] D. Homa, B., Haver, T. Schwartz, Perceptibility of schematic face stimuli: evidence for a perceptual Gestalt, *Mem. Cogn.* 4 (1976) 176-185.
- [26] B. Jemel, N. George, L. Chaby, N. Fiori, B. Renault, Differential processing of part-to-whole and part-to-part face priming: an ERP study, *NeuroReport* 10 (1999) 1069-1075.
- [27] B. Jemel, N. George, E. Olivares, N. Fiori, B. Renault, Event-related potentials to structural familiar face incongruity processing, *Psychophysiology* 36 (1999) 437-452.
- [28] N.Kanwisher, J. McDermott, M.M. Chun, The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception, *J. Neurosci.* 17 (1997) 4302-4311.

- [29] N. Kanwisher, D. Stanley, A. Harris, The fusiform face area is selective for face not animals, *NeuroReport* 10 (1999) 183-187.
- [30] H. Leder, V. Bruce, When the inverted faces are recognized: the role of configural information in face recognition, *Q. J. Exp. Psychol.* 53A (2000) 513-536.
- [31] S. Macho, H. Leder, Your eyes only ? A test of interactive influence in the processing of facial features, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 24 (1998) 1486-1500.
- [32] D. Marr, *Vision*, Freeman, New-York, 1982, 397pp.
- [33] G. McCarthy, A. Puce, A. Belger, T. Allison, Electrophysiological studies of human face perception. II: Response properties of face-specific potentials generated in occipitotemporal cortex, *Cereb. Cortex* 9 (1999) 431-444.
- [34] R.A. McCarthy, E.K. Warrington, Visual associative agnosia: a clinical-anatomical study of a single case, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatr.* 49 (1986) 1233-1240.
- [35] J. McNeil, E.K. Warrington, Prosopagnosia: a face specific disorder, *Q. J. Exp. Psychol.* 46A (1993) 1-10.
- [36] R. Mermelstein, W. Banks, W. Prinzmetal, Figural goodness effects in perception and memory, *Percept. Psychophys.* 26 (1979) 472-480.

[37] M. Moscovitch, G. Winocur, M. Behrmann, What is special about face recognition? Nineteen experiments on a person with visual object agnosia and dyslexia but normal face recognition, *J. Cogn. Neurosci.* 9 (1997) 555-604.

[38] A. Puce, T. Allison, G. McCarthy, Electrophysiological studies of human face perception. III: Effects of top-down processing on face-specific potentials, *Cereb. Cortex* 9 (1999) 445-458.

[39] S. Rakover, B. Teucher, Facial inversion effects: parts and whole relationship, *Percept. Psychophys.* 59 (1997) 752-761.

[40] G. Rhodes, Looking at faces: first-order and second-order features as determinants of facial appearance, *Perception* 17 (1988) 43-63.

[41] G. Rhodes, S. Brake, A.P. Atkinson, What's lost in inverted faces ?, *Cognition* 47 (1993) 25-57.

[42] B. Rossion, J.-F. Delvenne, D. Debatisse, V. Goffaux, R. Bruyer, M. Crommelinck, J.-M. Guérit, Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study, *Biol. Psychol.* 50 (1999) 173-189.

[43] B. Rossion, I. Gauthier, M.J. Tarr, P. Despland, R. Bruyer, S. Linotte, M. Crommelinck, 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 (2000) 69-74.

[44] M. D. Rugg, M.G.H. Coles, The ERP and cognitive psychology: conceptual issues, in: M. D. Rugg, M.G.H. Coles (Eds), *Electrophysiology of Mind. Event-related Brain Potentials and Cognition*, Oxford University Press, New-York, 1995, pp. 27-39.

[45] N. Sagiv, S. Bentin, Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes, *J. Cogn. Neurosci.* 13 (2001) 937-951.

[46] J. H. Searcy, J. C. Bartlett, Inversion and the processing of component and spatial-relational information in faces, *J. Exp. Psychol. Hum Percept and Perform* 22 (1996) 904-915.

[47] J. Sergent, An investigation into component and configural processes underlying face perception, *Br. J. Psychol.* 75 (1984) 221-242.

[48] J. Sergent, J.-L. Signoret, Functional and anatomical decomposition of face processing: evidence from prosopagnosia and PET study of normal subjects, *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 335 (1992) 55-62.

- [49] O. Spreen, E. Strauss, *A Compendium of Neuropsychological Tests. Administration, Norms and Commentary*, Oxford University Press, New-York, 1991, pp.440.
- [50] S.P. Springer, G. Deutsch, *Left Brain, Right Brain*, Freeman, New-York, 1985, pp.320.
- [51] S. Suzuki, P. Cavanagh, Facial organization blocks access to low-level features: an object inferiority effect, *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 21 (1995) 901-913.
- [52] J. W. Tanaka, M.J. Farah, Parts and wholes in face recognition, *Q. J. Exp. Psychol.* 46A (1993) 225-245.
- [53] J. W. Tanaka, J. A. Sengco, Features and their configuration in face recognition, *Mem. Cognit.* 25 (1997) 583-592.
- [54] T. Valentine, Upside-down faces: a review of the effect of inversion upon face recognition, *Br. J. Psychol.* 79 (1988) 471-491.
- [55] J.C. Woestenburg, M.N. Verbaten, J.L. Slangen, The removal of the eye-movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain, *Biol. Psychol.* 16 (1983) 127-147.
- [56] R.K. Yin, Looking at upside-down faces, *J. Exp. Psychol.* 81 (1969) 141-145.

Figure captions

Fig. 1. Stimulus material consisting of eight grey-level frontal-view pictures of unknown young women chosen from the University of Stirling's face data base.

Fig. 2. Exemplars of the face part stimuli used in Exps. 1 and 2: A) natural segments, B) arbitrary segments, C) context face within which face segments were presented, in this case a mouth.

Fig. 3. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for parts shown in isolation and in context in Exp. 1. over the O1, O2, PO7, PO8, P7 and P8 leads.

Fig. 4. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for isolated segments as a function of segmentation in Exp. 2. over the O1, O2, PO7, PO8, P7 and P8 leads.

Fig. 5. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for segments in context as a function of segmentation in Exp. 2. over the O1, O2, PO7, PO8, P7 and P8 leads.

Fig. 6. Mean peak latency for natural and arbitrary face segments as a function of context and hemisphere lateralization in Exp. 2.; * : $p < 0,005$.

Tables

Table I

Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component for Exp. 1 as a function of congruity, segmentation and context.

	Behavioral data		ERP data	
	RT(sd)	Errors(sd)	Latency(sd)	Amplitude(sd)
Matching trials				
Natural parts				
In isolation	800 (39)	13 (3.02)	223 (41)	-3.31 (2.71)
In context	768 (33)	27 (1.82)	228 (48)	-5.73 (2.30)
Arbitrary parts				
In isolation	830 (43)	37 (5.29)	227 (40)	-3.36 (3.70)
In context	779 (48)	27 (2.72)	237 (45)	-5.29 (3.77)
Mismatching trials				
Natural parts				
In isolation	750 (37)	12 (3.52)	228 (43)	-2.76 (2.83)
In context	761 (44)	15 (4.29)	234 (46)	-5.02 (2.79)
Arbitrary parts				
In isolation	802 (57)	16 (4.71)	224 (44)	-3.58 (2.76)
In context	761 (42)	15 (3.48)	229 (46)	-6.11 (3.83)

Table II

Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component for Exp. 2 as a function of congruity, segmentation and context.

	Behavioral data		ERP data	
	RT(sd)	Errors(sd)	Latency(sd)	Amplitude(sd)
Matching trials				
Natural parts				
In isolation	969 (40)	24 (4.71)	247 (48)	-8.67 (5.05)
In context	922 (40)	30 (3.33)	228 (49)	-4.62 (4.66)
Arbitrary parts				
In isolation	961 (41)	23 (3.74)	226 (45)	-5.71 (4.81)
In context	898 (41)	29 (2.73)	224 (38)	-4.94 (4.20)
Mismatching trials				
Natural parts				
In isolation	1028 (56)	25 (5.47)	254 (45)	-7.21 (3.63)
In context	945 (46)	21 (3.95)	222 (42)	-3.93 (4.28)
Arbitrary parts				
In isolation	955 (45)	21 (5.44)	223 (41)	-6.13 (4.26)
In context	879 (41)	14 (2.85)	219 (38)	-3.77 (3.57)

Figures

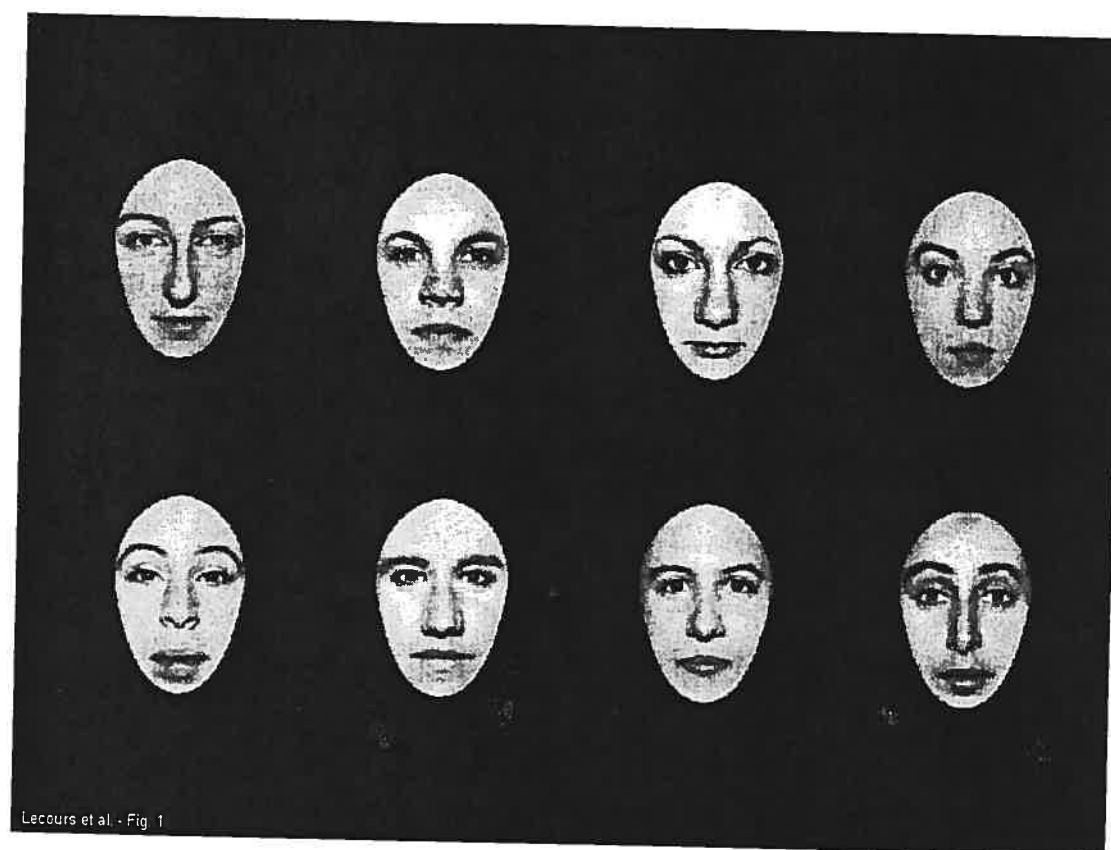


Fig. 1 – Lecours, Arguin & Lavoie

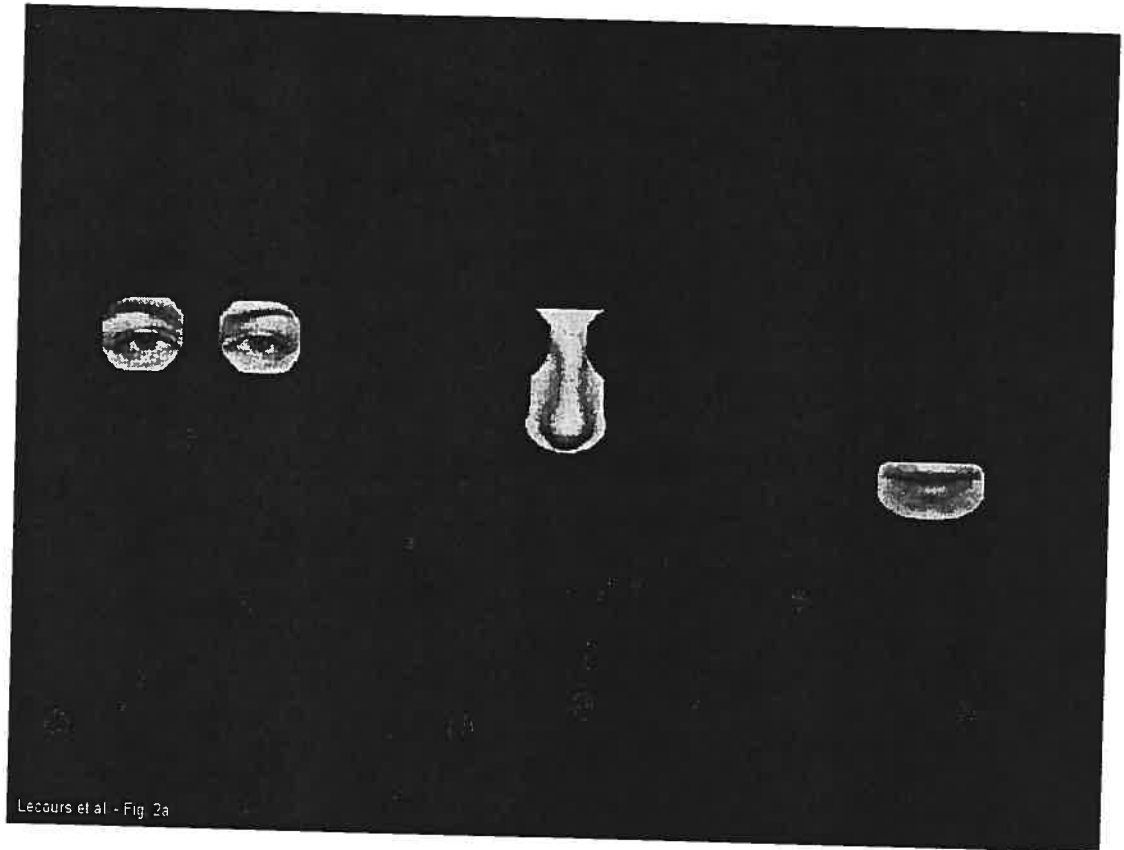


Fig. 2a – Lecours, Arguin & Lavoie



Fig. 2b – Lecours, Arguin & Lavoie

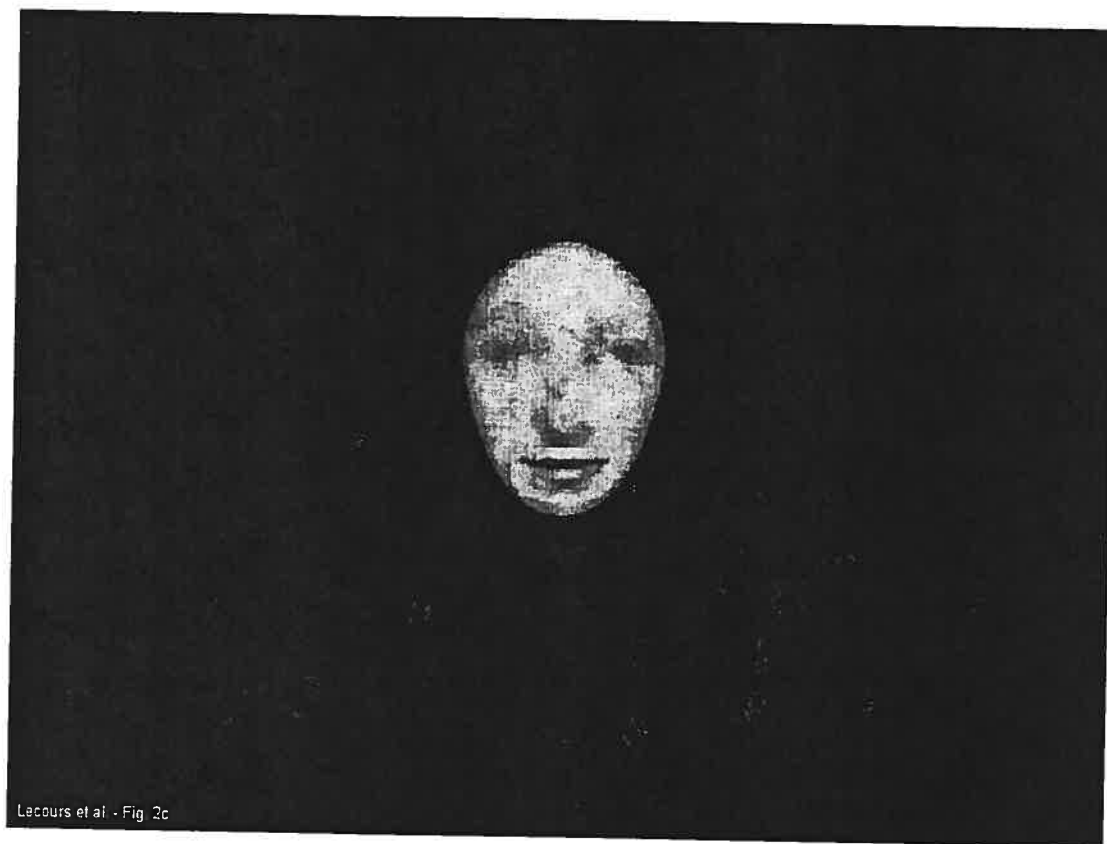


Fig. 2c — Lecours, Arguin & Lavoie

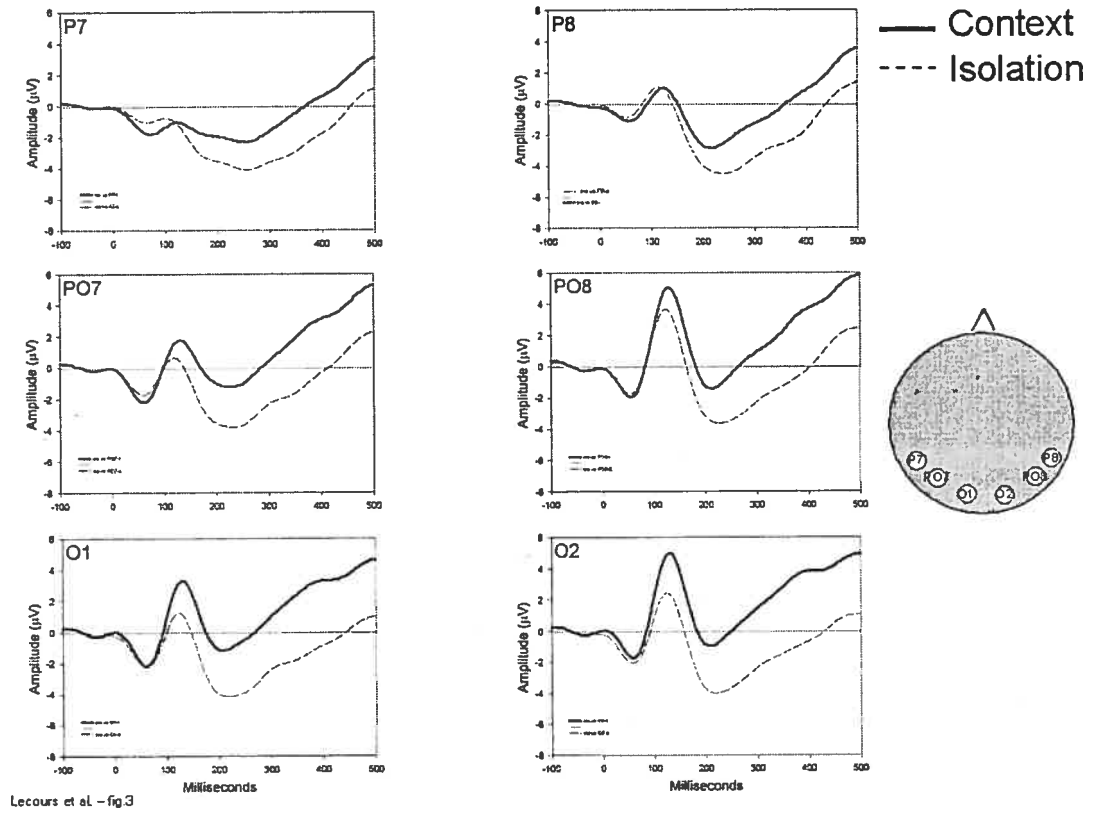


Fig. 3 – Lecours, Arguin & Lavoie

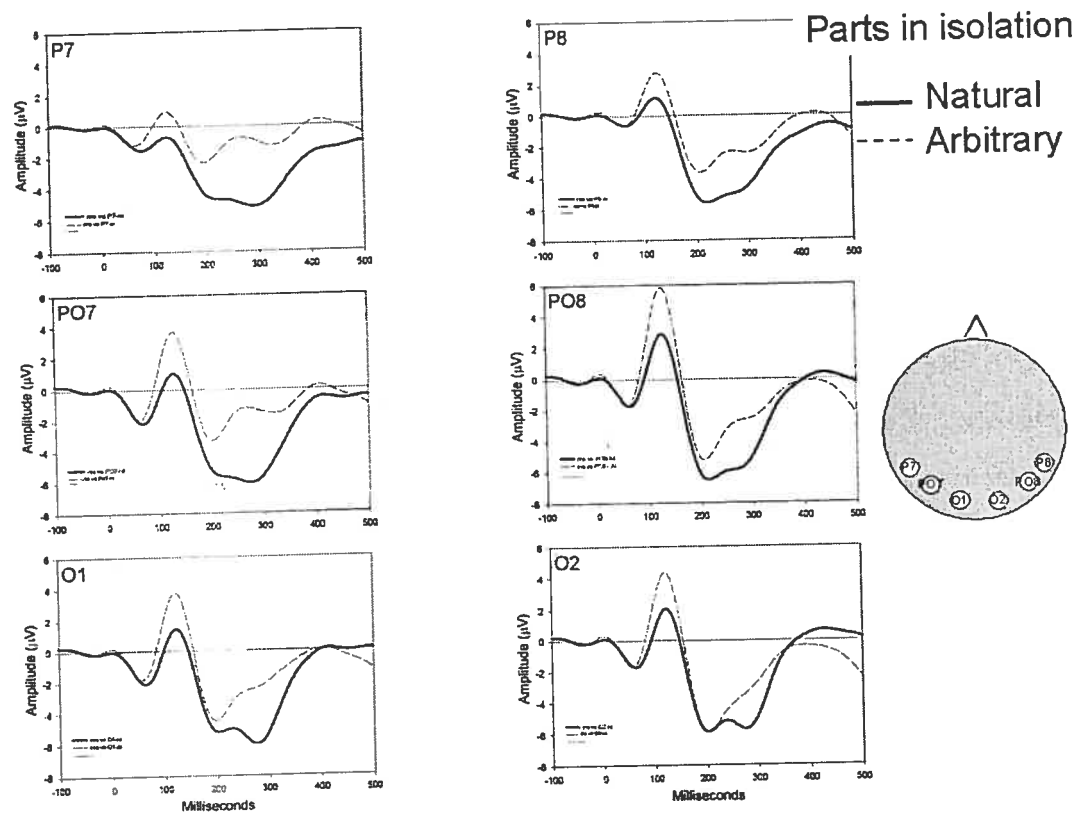
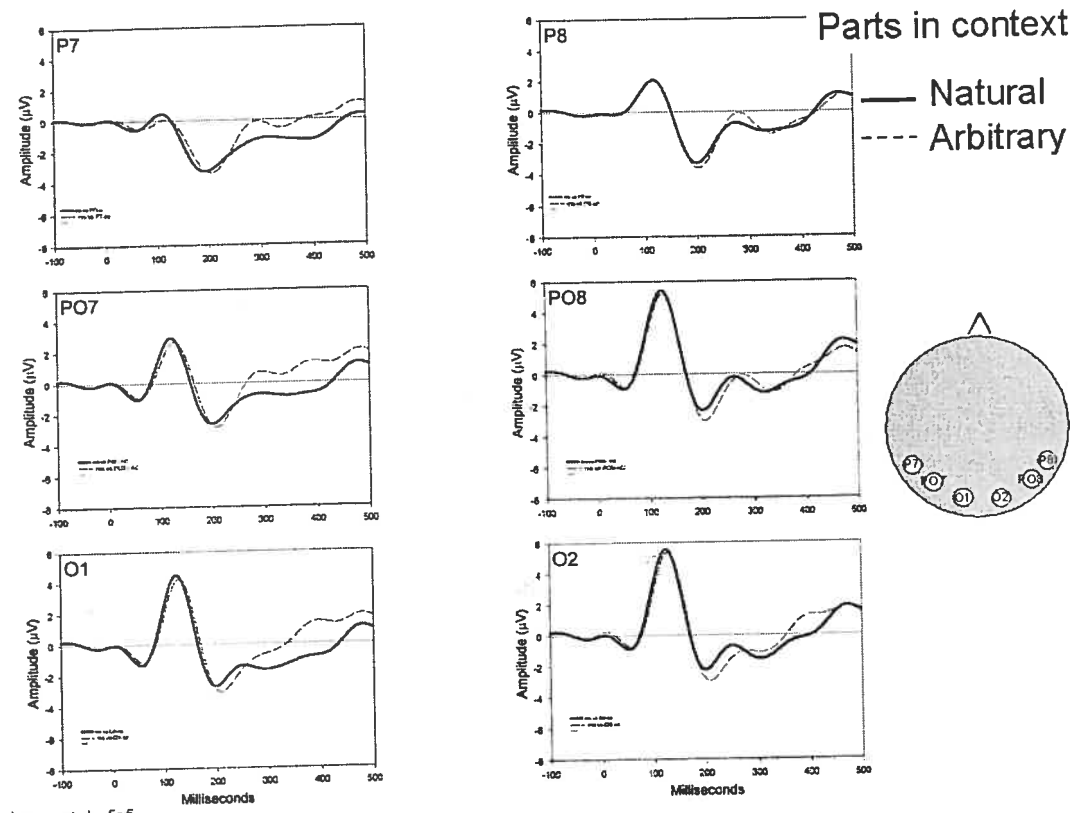
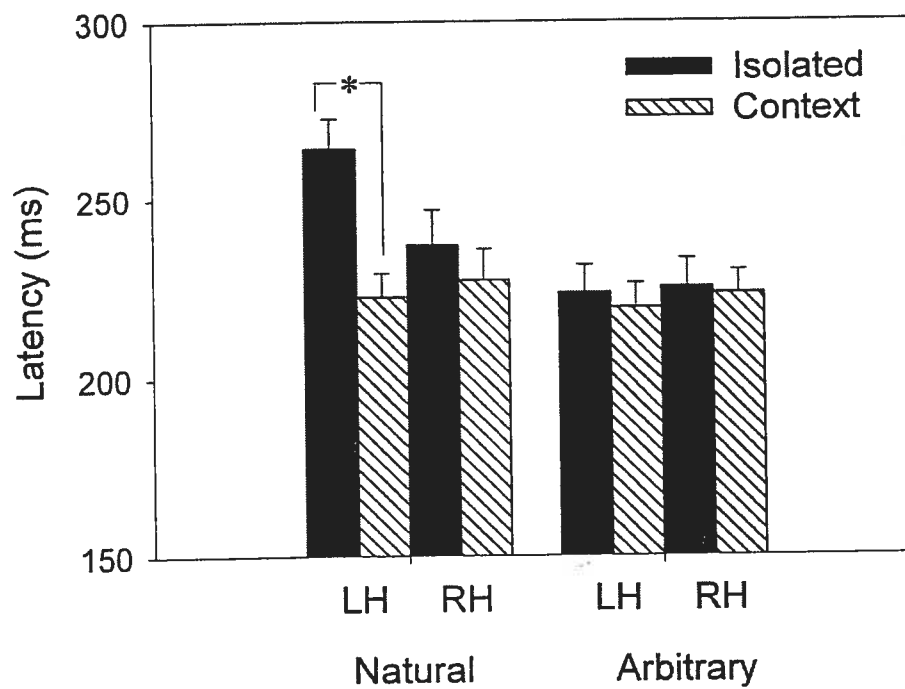


Fig. 4 – Lecours, Arguin & Lavoie



Lecours et al. - fig 5

Fig. 5 – Lecours, Arguin & Lavoie



Lecours et al. - Fig 6

Fig. 6 – Lecours, Arguin & Lavoie

CHAPITRE TROISIÈME:

DEUXIÈME ARTICLE

**The face inversion effect:
an ERP study of face part encoding**

Sophie Lecours¹, Martin Arguin¹⁻² & Marc E. Lavoie³

¹Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition,
Département de psychologie, Université de Montréal,

²Centre de Recherche, Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal,

³Centre de Recherche Fernand-Seguin, Hôpital L-H. Lafontaine,
Département de psychiatrie, Université de Montréal

Article soumis à la revue *Brain and Cognition*

Correspondance should be addressed to:

Martin Arguin, Ph. D.

Département de psychologie, Université de Montréal, C.P. 6128,

Succ. Centre-ville, Montréal, Qc, Canada, H3C 3J7

Tel: 514-343-2167, Facsimile number: 514-343-5787,

E-mail: [REDACTED]

ABSTRACT

Behavioral studies have shown that inversion impacts negatively on face recognition, an effect that is generally interpreted as indicating a forced switch from configural to componential perception of faces. Here, event-related brain potentials were used to investigate how inversion affects face part encoding. Subjects performed a *part-to-whole* matching task in which facial stimuli were either presented in an upright or inverted position. The face parts corresponded to intuitive face segments (mouth, nose, eyes, face contour) or arbitrary face segments (cutting across natural parts) which comprised information on second-order spatial relations. At the behavioral level, a strong orientation effect was found on mismatching trials only, with longer RTs and increased error rates for inverted parts relative to upright parts. At the ERP level, inversion caused a delayed and magnified occipito-temporal N200 component with both natural and arbitrary face parts, albeit with differing patterns. This indicates that inversion interferes with face part encoding. The data also revealed an attenuated N200 component with arbitrary parts compared to natural parts. These findings challenge the notion that inversion exclusively disrupts the processing of configural information. They are discussed in terms of separate, independent perceptual mechanisms operating in parallel in face recognition.

Key words: face inversion effect, visual face perception, N170, event-related potentials

INTRODUCTION

Face inversion effect

Face recognition is a human ability which is achieved effortlessly and almost instantaneously, yet it is greatly impaired by inversion (Rhodes et al., 1993; Searcy & Bartlett, 1996; Valentine, 1988, 1991; Yin, 1969). Yin (1969) demonstrated for the first time that when stimuli are inverted, decrement in performance was more marked for faces than many other objects. Although the face inversion effect was initially found in recognition memory tasks, subsequent behavioral studies established that it takes place at the perceptual encoding level and that it holds across a range of conditions (Valentine, 1988). This disproportional effect of inversion for faces has been regarded as evidence that face processing is 'special' (Diamond & Carey, 1986; Tanaka & Farah, 1993; Yin, 1969) and has been widely used to investigate the particularity of faces over objects.

To account for the specialization of face processing, it has been suggested that face recognition involves different perceptual mechanisms (e.g. Tanaka & Farah, 1993) than those used for object recognition, which are largely based upon the decomposition of the stimulus into its constituent parts (Biederman, 1987; Marr, 1982). Compared to most other object classes, faces are rather similar: they all share the same basic configuration and their constituent parts often differ only very slightly (Leder & Bruce, 2000). Diamond and Carey (1986) have distinguished between two types of configural information: (1) 'first-order spatial relations', corresponding to a common spatial organization of parts shared by all faces (e.g. mouth below

the nose); and (2) 'second-order spatial relations' which specify the distinctive relations among the parts that define the shared facial configuration (e.g. nose-mouth distance specific to a particular face).

According to many investigators, what is most crucial for face recognition is not information about first-order spatial-relations but rather information about second-order spatial-relations, and inversion would interfere with the encoding of this type of configural information more than with the encoding of other type of information such as individual features (Rhodes et al., 1993; Bartlett & Searcy, 1993; Searcy & Bartlett, 1996). In the first investigation that directly assessed the effect of inversion on the coding of configural vs. component changes, Rhodes et al. (1993) reported a greater impact of inversion on the detection of second-order spatial-relations compared to first-order spatial relations or isolated features in a old-new recognition task. In both a grotesqueness-rating task and a simultaneous matching comparison task, Searcy & Bartlett (1996) also provided evidence that face inversion disrupts the encoding of spatial-relational information more than information regarding component parts.

These studies, among others, support the 'dual-mode' hypothesis stipulating that two different visual processes are recruited by upright and inverted faces. Accordingly, the face inversion effect is interpreted as causing a forced switch from configural to componential perception of faces (Bartlett & Searcy, 1993; Rhodes et al., 1993; Searcy & Bartlett, 1996; Murray et al., 2000). Specifically, the perception of configural information is proposed to be either less efficient or entirely disabled with upside-down faces compared to normal faces, therefore facial processing must proceed by an analytic

encoding of individual features. In line with this idea, it was argued that the recognition of upside-down faces, but not of isolated features, is affected by inversion since this manipulation selectively disrupts the encoding of configural information (Bartlett & Searcy, 1993; Leder & Bruce, 1998; Rhodes et al., 1989; Rhodes et al., 1993; Searcy & Bartlett, 1996; Valentine, 1988).

However, recent findings seem to contradict this view by demonstrating an inversion effect for both whole faces and facial features (Rakover & Teucher, 1997; Nachson & Shechory, 2002). Notably, Rakover & Teucher (1997) observed that the recognition of the forehead, eyes, nose, mouth and chin is less accurate when these features are inverted than when they are upright. Moreover, their observations suggest that the inversion effect with whole faces may be accounted for by the linear combination of the effect of inversion on each individual face part. Accordingly, they suggested that configural information is not a necessary condition for obtaining the inversion effect since there is no such information to be extracted from an isolated facial feature, whether it is upright or inverted. These results were recently corroborated by Nachson & Shechory (2002) who found that inversion disrupts the perception of both whole faces and facial features.

To summarize, there is evidence that both a disruption of configural information and featural information processing may be involved in the face-inversion effect. Therefore the notion of a clear cut dichotomy between exclusive configural processing for upright faces and componential processing for inverted faces needs revision. Still, what exactly inversion does to face perception is not entirely clear. The issue may be that spatial-relational information is critical to face recognition and that the encoding of such

information is disproportionately affected by inversion, as compared with the encoding of individual components. Alternatively, it has been suggested that the processes involved in the perception of upright and inverted faces may be qualitatively indistinguishable from each other. If this were the case, it would mean that inversion just adds noise to the encoding process, affecting spatial-relational and component information equally (Valentine, 1988, 1991).

The question of the relative contribution of configural and local feature analysis in face processing has always been a difficult one to answer given that features and their configuration are inherently confounded in whole faces. This ambiguity of the feature-configuration distinction, already acknowledged by several authors (e.g. Bruce, 1988; Haig, 1984; Sergent, 1984; Leder & Bruce, 2000), has resulted in various attempts to manipulate independently the two kinds of information, some of which are disputable. For instance, in the study by Rhodes et al. (1993) described above, some manipulations thought to exclusively affect facial components actually affected configural properties as well. In particular, substituting a facial component with that from another face not only affects feature analysis, but also configural analysis since the global pattern of the face is also altered; for example, a new mouth may alter the spatial relationship existing between the mouth and the nose.

One challenge of the present study was to minimize any confound between featural and configural properties of faces, in a new assessment of the relative susceptibility of both kinds of information to inversion. To do so, two types of face segments were studied: (1) 'natural' face segments -which are assumed to correspond to the decomposition of facial images into parts by the visual system- and (2) 'arbitrary' (i.e. 'puzzle-like') face segments, which

do not completely reveal any natural face part, but comprise information on second-order spatial relations.

Event-related potentials (ERP) correlates of visual face processing

In addition to the behavioral studies mentioned above, face processing has also been intensely investigated with respect to its functional properties and neural basis with approaches such as intracranial recordings (Allison et al., 1999), neuropsychological reports of prosopagnosia (Damasio et al., 1982), and neuroimaging studies such as PET or fMRI (Kanwisher et al., 1997, 1999). Of particular interest for the present study is the recording of brain ERPs that are elicited by the exposure to faces in humans at early stages of visual analysis. The ERPs are the averaged electroencephalographic (EEG) signal time-locked to stimuli and are constituted by various components that are characterized in terms of their amplitude (in μV) and latency (in ms). One of their main feature resides in their greater sensitivity to the cognitive demand than to the physical characteristics of the stimulus per se. Also, ERPs allow to follow a rapid stream of processing with milliseconds accuracy.

A negative potential peaking at about 170 ms (N170) following stimulus onset at temporo-occipital sites appears to be linked to face-specific neural processing (Bentin et al., 1996; Carmel & Bentin, 2002; Eimer, 2000a; Sagiv & Bentin, 2001). The N170 is characterized by an enhanced amplitude for faces compared to non-face objects, i.e. cars, buildings, furniture, etc. (Bentin et al., 1996; Carmel & Bentin, 2002; Eimer 2000a) and is larger over the right than the left cerebral hemisphere (Bentin et al., 1996; George et al., 1996).

Moreover, the N170 is unaffected by face familiarity, thus suggesting that this component reflects a fairly early stage of visual analysis (Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000a) that may correspond to the structural encoding stage proposed by Bruce and Young (1986). The absence of the N170 component in prosopagnosia is also consistent with the fact that selective impairments of face recognition may result from an impaired structural encoding of faces (Eimer & McCarthy, 1999).

The N170 component has also been shown to be sensitive to experimental manipulations known to affect the efficiency of face processing. Typically, the N170 is delayed (Bentin et al., 1996; Rossion et al., 1999; Rossion et al., 2000; Itier & Taylor, 2002) and enhanced (Rossion et al., 1999; Rossion et al., 2000; Itier & Taylor, 2002) in response to inverted faces. Rossion et al. (1999) suggested that the N170 sensitivity to inversion is due to inadequate configural information provided by upside-down faces at the encoding level. Compatible with this view, a delayed N170 has also been found in response to faces with their eyes removed relative to intact faces (Eimer, 1998), and when an analytic processing of face was induced, i.e. when subjects had to focus their attention on a particular feature rather than on the entire face (Jemel et al. 1999).

The present study

Although the ERP recordings appear to be a very useful technique to obtain further insights into which type of facial information is affected by inversion, there are only few ERP experiments to date that attempt to elucidate how the human brain processes inverted stimuli. Moreover, none

has investigated the effect of inversion on facial part processing, or has directly compared the effect of inversion on the encoding of isolated face segments-pertaining to either configurational or part information.

Our study, consisting of a *part-to-whole* matching task, investigated the interaction between face segmentation and inversion on the posterior N170 associated with visual face processing. The main factors manipulated were (1) the type of face segmentation that was performed to construct the face parts, which either kept intact facial features (natural segments) or second-order spatial relations (arbitrary segments), and (2) whether these segments were presented upright or upside down. On the one hand, if the inversion of facial stimuli implies a switch from configural to featural processing (Searcy & Bartlett, 1996), an inversion effect is expected for arbitrary but not for natural face segments; or at least these segments should be less affected by inversion. On the other hand, if the inversion effect results from a globally increased difficulty in face encoding, as predicted by the noise hypothesis (Valentine 1988, 1991), then a similar perceptual deficiency is predicted for both natural and arbitrary face segments when presented upside-down.

The early negative ERP component with an approximate latency of 170 ms post-stimulus onset that reflects the encoding of faces should be strongly influenced by both the type of segmentation and inversion. It is assumed that the modulations of matching performance will be a reflection of the speed and efficiency of the processing of the face inputs. As the difficulty of facial segment processing increases, reaction times (RTs) and error rates should increase accordingly, while the N170 ERP component is expected to be enhanced and delayed. It is on the basis of this underlying logic -stipulating

that sub-optimal information for face analysis would require additional processing time and resources— that the results of the experiment reported below will be interpreted (Rugg & Coles, 1995; Rossion et al., 1999; George et al., 1996).

METHODS

Subjects

Fourteen French speaking paid volunteers (6 men and 8 women) with a mean handedness score (Edinburgh Handedness Inventory) of 81.4 (range: 38-100), gave their formal consent for participating in this study. Subjects ranged in age from 19 to 25 years and had between 11 and 15 years of education. They scored average or above average on the short version of the Raven non-verbal intelligence test (average = 28/30; range 24-30) (Spreen & Strauss, 1991) and on the Benton face recognition test (average = 48/54; range 44-51) (Benton et al., 1983). All subjects had normal or corrected-to-normal vision and reported no history of neurological or psychiatric disorders. Prior to the ERP recordings, subjects were asked to get a good night of sleep, not to consume any alcohol or other recreational drugs, nor to drink coffee other than their usual consumption. They all claimed to have complied with these requirements.

Materials

The stimulus materials consisted of eight gray-scale digitized images of unknown female faces (University of Stirling face data base). The faces were presented in frontal view and had a neutral emotional expression. The images were digitally modified so as to hide hair, ears and neck (see Fig. 1). Facial stimuli were created from each face and consisted of either 'natural' parts, i.e. eyes, nose, mouth and face contour; or 'puzzle' parts, which were facial sections that cut across natural facial features. The face parts were either presented upright or they were inverted. All face stimuli were presented on a black background using a high resolution 19" computer monitor (viewsonic) (see Fig. 2). Participants were seated at about 90 cm from the screen.

Insert Figs. 1, 2 about here.

Procedure

The subjects took part in a series of four different ERP experiments, of which one is reported below (for a report of two of the other experiments, see Lecours et al., submitted 2004). The sequence of administration of the experiments was counterbalanced across subjects using a Latin square design. Prior to the first experiment, subjects sat in a comfortable chair and the EEG electrodes were affixed. Once seated in front of the computer monitor in a sound attenuated and dimly-lit chamber, they were instructed to minimize

body and eye movements as much as possible during the test session. Subjects were also told that they would see pairs of stimuli displayed in the center of the screen to which they should indicate whether they match or not, and that they should emphasize both speed and accuracy in their responses. In order to gain familiarity with the stimulus materials, a two-minute inspection period of the eight-face photo set preceded the experiment proper.

Each trial consisted in the following event sequence: (1) a 500 ms fixation point, (2) a 500 ms blank interval, (3) a facial part (reference) of 400 ms duration, (4) a constant inter-stimulus interval of 175 ms duration, (5) a whole face (target) of 1400 ms duration, and finally (6) a 575 ms intertrial interval. The reference stimulus of the matching sequence, which occurred first, was randomly displayed 1 cm below, above, to the right, or the left of the center of the screen. The reference stimulus was a face part with properties defined by the factors of (1) part segmentation ('natural' part or 'puzzle-like' part) and (2) part orientation (upright or inverted). The target stimulus, which was displayed second, was a complete face sampled from the face set described above. The reference and target stimuli were presented in the same orientation, i.e. either both upright or both inverted.

On every trial, subjects were required to perform a forced-choice decision in which they indicated whether the first stimulus matched the second, i.e. whether both stimuli belong to the same face. Half of the subjects had to press a button with their right hand to respond 'yes' and another button with their left hand to respond 'no'. The response-button assignments were reversed for the other half of the subjects. Each experiment consisted in two blocks of 120 trials, with 50% match and 50% mismatch trials distributed

in a random order within each block. An equal number of trials (60) was assigned to each possible combination of the segmentation X orientation factors which were equally divided across matching and mismatching stimulus pairs. The various combinations of face parts and whole faces were presented in random order, except for the constraint that no two identical conditions occurred on successive trials. Between each block, which lasted about eight minutes, subjects took a pause for a few minutes in order to help maintain their concentration level throughout the whole experiment.

ERP data acquisition

The INSTEP data acquisition program (InstEP Systems, Inc) was used to acquire the data and then to analyze it offline. Raw EEG data was collected from 58 tin electrodes inserted in a customized nylon cap (ElectroCap International Inc.). The electrodes were placed according to the guidelines for standard electrode position by the American EEG Society (1994) at five anterior-frontal (AFz, AF3, AF4, AF7, AF8), nine frontal (Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8), 7 fronto-central (FCz, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6), seven central (Cz, C1, C2, C3, C4, C5, C6), 7 centro-parietal (CPz, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6), seven parietal (Pz, P1, P2, P3, P4, P5, P6), eight temporal (P7, TP7, T7, FT7, P8, TP8, T8, FT8), and eight occipital (Oz, O1, O2, PO3, PO4, PO7, PO8, Poz) sites. All electrodes were referred to linked earlobes and to a common ground located at Fpz. The Electro-Oculogram (EOG) was recorded using four additional tin external bipolar electrodes for EOG artifact correction. The horizontal EOG electrodes were placed at the outer canthus of each eye and the vertical EOG were positioned infra- and supraorbitally to the left eye, in line with the pupil when looking straight ahead. All electrode impedances

were kept below 5 kOhms. The EEG was acquired continuously at a sampling rate of 250 Hz and stored on disk for off-line analysis. A bioelectric amplifier model ISS3-32BA (SA Instrumentation, Inc) amplified the EEG signals with a gain of 10,000 and the EOG with a gain of 3000. All signals were band-pass filtered between 0.01- 30 Hz.

Behavioral and ERP data extraction

Behavioral measures (RTs and error rates) were recorded on-line by the control computer and incorrect responses or outlier trials were excluded from further ERP analysis. Chi-square analyses performed on error rates showed that the task was more challenging for one subject, whose results did not differ from the chance level ($\chi^2(1) = 1.01$, ns); these results were thus excluded from further analysis. All other subjects performed significantly above the chance level (smallest $\chi^2(1) = 7.61$, $p < 0.01$). RT was defined as the interval between the onset of the target (second stimulus of the matching sequence) and the subject's key press. RTs more than three standard deviations away from each subject's mean per condition were considered as outliers. From the total of 3120 trials per experiment (240 trial x 13 subjects), subjects responded accurately on 80% of the trials. Outliers occurred on less than 0.01% of all trials and were excluded from further analysis.

Ocular artifacts were corrected from the EEG recordings with the Woestenburg method (Woestenburg et al., 1983) using a dynamic regression in the frequency domain (Instep-Talo). The remaining artefacted epochs of EEG exceeding +/- 150 μV (less than 4%) were excluded from averaging. A

marker was set at the onset of the target stimulus and the off-line averaging time window departed at 100 ms before the marker and ended at 500 ms post-marker. The averaged evoked responses were then computed separately for each experimental condition and response type (i.e. match vs. mismatch trials), but averaging was only performed on the trials including a correct behavioral response.

At posterior electrodes, the first visible deflection was a P100, which was followed by a N200. For each ERP waveform, baseline to peak amplitude and latency was used within a time-window between 140 ms and 350 ms to measure the temporo-occipital negativity associated with face processing. This negativity, which we will refer to as the N200 component, peaked on average at 226 (SD = 45) ms. Visual inspection of the scalp distribution showed that the N200 component did not occur at frontal sites, but was present for all subjects in the occipito-temporal region. The statistical analysis focused on three left (P7/ PO7/ O1) and three right (P8/ PO8/ O2) occipito-temporal sites, where the N200 component reached its maximum amplitude. One missing value related to one condition in one subject was found and replaced by the mean peak latency and amplitude of the corresponding experimental condition.

Statistical Analyses

Repeated measures analyses of variance (ANOVA's) were carried out on behavioral data and on both the N200 amplitude and latency values (SPSS v9.0 for Windows). The analysis of the behavioral data (RTs and accuracy)

included three within-subject factors: congruency (matching trials vs. mismatching trials), segmentation (natural part vs. arbitrary part) and orientation (upright part vs. inverted part). For the psychophysiological data, there were two additional factors: hemispheric lateralization (left hemisphere vs. right hemisphere) and intra-hemispheric electrode location (3 electrodes). In all analyses, the significance level was set at 5% (two-tailed) and Huynh-Feldt corrections for degrees of freedom were used when necessary.

RESULTS

The behavioral and ERP mean results are shown in Table 1. The correlation between mean RTs and error rates (+0.84, $p < 0.01$) was positive, indicating that these measures were similarly affected by the experimental manipulations.

Insert table 1 about here.

Behavioral data

Reaction time. The analysis of correct RTs revealed a main effect of congruency ($F(1,12) = 4,62$, $p < 0.05$), with shorter RTs for matching than mismatching trials. It also showed an advantage for upright over inverted parts, as reflected by a main effect of orientation ($F(1,12) = 33,93$, $p < 0.001$). A significant interaction of congruency \times orientation was also found ($F(1,12) = 77.49$, $p < 0.001$). *T*-tests indicated that the inversion effect was significant on mismatching trials ($t(12) = 8.07$, $p < 0.001$), but not on matching trials ($t(12) = 1.71$, *ns*) (see Fig. 3). No other interaction approached significance.

Insert Fig. 3 about here.

Error rate. The results showed a main effect of orientation on error rates ($F(1,12) = 31.68, p < 0.001$), reflecting an advantage for upright over inverted parts. A significant interaction of congruency \times orientation ($F(1,12) = 8.26, p < 0.01$) revealed that the stimulus inversion effect was significant on mismatching trials ($t(12) = 4.69, p < 0.001$). In contrast, no orientation effect was found on matching trials ($t(12) < 1$) (see Fig. 4). There was no other significant interaction.

Insert Fig. 4 about here.

ERP data

Inspection of the data showed that the ERPs evoked by inverted parts peaked later (234 ms) and were more negative ($-4.25 \mu\text{V}$) than those elicited by upright parts ($-3.0 \mu\text{V}$) which peaked at 218 ms. On average, the N200 peaked at 227 ms for natural parts and at 225 ms for arbitrary parts. However, the N200 amplitude was larger for natural parts ($-4.39 \mu\text{V}$) than for arbitrary parts ($-2.86 \mu\text{V}$). Grand average ERP waveforms elicited by upright and inverted face parts over the PO7 and PO8 scalp sites are illustrated in Fig. 5. The morphology of the N200 was similar for all experimental conditions.

Insert Fig. 5 about here.

Latency. Statistical analysis showed a main effect of stimulus orientation ($F(1,12) = 6.04; p < 0.05$), inverted parts eliciting longer N200

latencies compared with upright parts. A four-way interaction of orientation \times segmentation \times hemisphere \times electrode ($F(2,24) = 3.30$; $p < 0.05$, $\epsilon = 1.0$) revealed a significant orientation \times segmentation \times hemisphere interaction only at sites PO7-PO8 ($F(1,12) = 5.76$; $p < 0.05$), but not at sites O1-O2 ($F(1,12) < 1$) and P7-P8 ($F(1,12) < 1$). The significant interaction at PO7-PO8 was due to a peak latency delay for inverted parts compared with upright parts at site PO7 for arbitrary but not natural parts [PO7 ($t(12) = 2.51$, $p < 0.05$); PO8 ($t(12) < 1$)] and at site PO8 for natural but not arbitrary parts [natural ($t(12) = 2.38$, $p < 0.05$); arbitrary ($t(12) < 1$)] (see Fig. 6).

Insert Fig. 6 about here.

Amplitude. A main effect of orientation was obtained on the N200 amplitude ($F(1,12) = 9.34$; $p < 0.01$), due to a larger N200 for inverted than upright parts (see Fig. 5). A main effect of segmentation ($F(1,12) = 18.30$; $p < 0.001$) showed an enhanced N200 amplitude for natural parts compared to arbitrary parts (see Fig. 7). An effect of electrode site was also significant ($F(2,24) = 3.78$; $p < 0.05$), with a larger N200 amplitude at temporal electrodes compared to occipital electrodes (P7/P8: $-4.35 \mu\text{V}$; PO7/PO8: $-3.62 \mu\text{V}$; O1/O2: $-2.90 \mu\text{V}$).

Insert Fig. 7 about here.

A significant three-way interaction of congruency \times segmentation \times electrode ($F(1,12) = 4.52$; $p < 0.05$, $\epsilon = 0.746$) was also found on the N200 amplitude. This interaction indicated differing patterns of segmentation by electrode interaction according to congruency. On matching trials, the segmentation \times electrode interaction was significant ($F(1.43,17.11) = 10.17$; $p < 0.005$, $\epsilon = 0.713$), whereas it was not on mismatching trials ($F(1.20,14.44) =$

2.48; *ns*). The *t*-tests revealed a larger N200 amplitude for natural parts compared to arbitrary parts at all electrode sites on matching trials (smallest $t(12) = 3.10$, $p < 0.01$), but the magnitude of this effect varied across electrode sites [O1/O2 (effect size=2.69), PO7/PO8 (effect size=2.37), P7/P8 (effect size= 1.37)].

A significant congruency \times orientation \times segmentation interaction ($F(1,12) = 4.58$; $p < 0.05$) indicated a congruency \times orientation interaction for natural parts ($F(1,12) = 5.85$; $p < 0.05$), but not for arbitrary parts ($F(1,12) < 1$). For natural parts, an increased N200 amplitude was found with inverted (vs. upright) parts on mismatching trials ($t(12) = 2.76$, $p < 0.025$), but not on matching trials ($t(12) < 1$).

The results also yielded a four-way interaction of orientation \times segmentation \times hemisphere \times electrode ($F(1.93, 23.1) = 4.65$; $p < 0.025$, $\epsilon = 0.963$). This interaction was due to a significant orientation effect (greater N200 amplitude with inverted than upright parts) for arbitrary parts, but not for natural parts, at electrode sites located over the right hemisphere [O2 ($t(12) = 2.27$, $p < 0.05$), PO8 ($t(12) = 3.40$, $p < 0.005$), and P8 ($t(12) = 2.75$, $p < 0.025$)]. The contrast in the magnitude of the orientation effect between natural and arbitrary parts was not significant for electrode sites located over the left hemisphere [O1($t(12) = 1.28$, *ns*), PO7($t(12) = 1.94$, *ns*), and P7($t(12) = < 1$)].

Finally, a trend toward a significant three-way interaction of congruency \times orientation \times hemisphere ($F(1, 12) = 4.29$; $p < 0.06$) suggested a congruency \times orientation interaction in the right hemisphere ($F(1,12) = 4.86$, $p < 0.05$) but not in the left hemisphere ($F(1,12) < 1$). The *t*-tests performed on the right hemisphere data showed a magnified N200 with inverted parts on

mismatching trials ($t(12) = 3.74, p < 0.005$), but not on matching trials ($t(12) = 1.83, ns$). No other interaction term reached significance.

Summary of main results

RTs were shorter on matching than mismatching trials, irrespective of face segmentation or stimulus orientation. This suggests a processing facilitation of the target face when it is primed by one of its constituent segments (see also Arguin & Saumier, 2003). More importantly, a strong orientation effect was found at both the behavioral and ERP levels. Specifically, inverted parts appeared harder to process, as suggested by the longer RTs, the increased error rates and the delayed and magnified N200 associated with their processing.

In the behavioral data, the orientation effect was restricted to mismatching trials. In the ERP data, the pattern of findings pertaining to inversion was substantially more complex. With respect to the N200 latency, the inversion effect (delayed latency) was jointly modulated by segmentation and hemisphere at the PO7 and PO8 locations (but not at the O1/O2 or P7/P8 locations). Thus, inversion increased the N200 latency for arbitrary parts but not for natural parts at PO7 (left hemisphere) whereas the opposite was found at PO8 (right hemisphere). Amplitude was increased by inversion on mismatching trials only with natural parts, whereas congruency failed to modulate the amplitude with arbitrary parts inversion. Hemisphere also modulated the pattern of the inversion effect on the N200 amplitude. Thus, for right hemisphere electrode locations, the inversion effect was significant with arbitrary (but not natural) parts and on mismatching (but not matching)

trials. For left hemisphere electrode locations, no difference in the pattern of the inversion effect was found either as a function of segmentation or congruency.

In addition to the above findings regarding the effect of inversion and its modulation by other factors, the present data also revealed a greater N200 amplitude with natural than arbitrary parts. While this observation was true for all electrode sites, they differed on the magnitude of the segmentation effect.

N170 peak latency delay

Across all conditions of the present experiment, occipito-temporal negativities were elicited between 140 and 350 ms post-target onset (N200). These ERP observations are consistent with numerous studies reporting an occipito-temporal face-specific negativity peaking at a latency of about 170 ms that is involved in the structural encoding of faces (Bentin et al., 1996; Bentin & Deouell, 2000; Jemel et al., 1999; Eimer, 2000a, 2000b). It may be noted however, that the peak latency of the negativity that we observed at 226 ms was delayed compared to the N170 reported in many studies.

The format of our experiment may account at least in part for this discrepancy. In contrast to most other studies where ERPs were recorded to a single stimulus, the matching task used in the present study required not only the encoding of a target stimulus but also to compare it with the

representation of a previous stimulus held in visual short-term memory. Congruently, previous studies involving a matching paradigm similar to ours (Chaby et al. 2001, Jemel et al., 1999) showed a N170 latency delay in response to the sequential presentation of the second stimulus compared to the first; for example, Chaby et al. (2001) found a negativity peaking at 216 ms for test faces compared to 182 ms for prime faces. In addition, the type of facial parts employed in the present study may imply a greater degree of feature isolation (cf. face segments instead of whole faces) compared to most other studies. This form of isolation of facial features has been used in some past ERP studies and it was also associated with a latency delay of the early posterior negative ERP component (see also Lecours et al., submitted 2004).

DISCUSSION

The aim of the present investigation was to characterize the interactive effects of face segmentation and orientation on visual face encoding, as reflected by RTs and the early posterior ERP negativity associated with visual face processing, and therefore to gain a better understanding of face recognition in general. The inversion effect is generally interpreted as a manipulation that selectively disrupts the configural aspect of face processing while other types of information, such as facial features, would be spared (Rhodes et al., 1993; Bartlett & Searcy, 1993; Searcy & Bartlett, 1996). As discussed below, our findings bring into question this notion of a selective deficiency in configural processing associated with face inversion.

Processing of inverted parts

Corroborating earlier behavioral findings (Diamond & Carey, 1986; Valentine, 1988; Yin, 1969), the upright facial stimuli in our study were processed faster and more accurately than the inverted ones, although this outcome was only found on mismatching trials. In agreement with these observations, the ERP measures confirmed the superiority of upright over inverted facial stimuli: relative to upright facial parts, the N200 component elicited by inverted parts was enhanced and delayed in patterns that were modulated according to hemisphere, electrode location, congruency, and segmentation. These results are in line with previous reports of the occipito-temporal N170 sensitivity to face inversion, resulting in a latency and/or amplitude increase (Bentin et al., 1996; Rossion et al., 1999; Rossion et al., 2000; Eimer, 2000a; Itier & Taylor, 2001).

Arbitrary parts

Apart from replicating the advantage of upright over inverted facial stimuli, a notable aspect of our results was to demonstrate an orientation effect for single arbitrary parts at both the behavioral and ERP levels. Indeed, our findings with arbitrary parts revealed that the processing of the second-order relational information they comprise, albeit partially, was affected by inversion.

These data extend recent findings from Leder & Bruce (2000) who conducted a systematic investigation of the role of configural information in

face recognition. Their results not only confirmed the importance of this type of information in face recognition, they also revealed that it may be processed in a relatively local manner, independently of the surrounding whole face context.

More precisely, in one of their experiments Leder & Bruce (2000) tested whether the retrieval of relational information requires a facial context. Once subjects learned to recognize faces from a set that differed pairwise by a unique configural element –such as the distance between the eyes–, their recognition rates exceeded 59% when these relational features were presented in isolation, i.e. without a facial context, a performance level well above chance. In another experiment, they found that the recognition of isolated relational information was negatively affected by inversion. This led Leder & Bruce (2000) to conclude that it is the disruption in the processing of local relational information which causes the face inversion effect rather than the holistic information that only exists in whole faces.

Natural parts

Another relevant aspect of our results was that individual natural face parts also gave rise to an inversion effect. When compared to inverted natural parts, upright natural parts were encoded faster and with better accuracy. The N200 was also delayed and enhanced in response to inverted natural parts compared to upright ones. Thus, our data provide both behavioral and electrophysiological evidence that inversion impairs the processing of local facial features corroborating the findings of Rakover & Teucher (1997) and

Nachson & Shechory (2002). Taken together, these results contradict the notion that inversion exclusively impairs the processing of whole faces, which would leave isolated features unaffected by the manipulation (Bartlett & Searcy, 1993; Bruyer & Coget, 1987; Rhodes et al., 1989; Rhodes et al. 1993; Tanaka & Farah, 1993; Young et al., 1987). Indeed, this 'dual mode' hypothesis would have predicted an inversion effect for arbitrary face segments, but not for natural face segments.

The noise hypothesis (Valentine, 1988, 1991), an alternative view discussed in the introduction, superficially seems a better fit to our results. According to this view, the inversion effect would result from a globally increased difficulty in face encoding and it should be similar for both arbitrary and natural face parts. However, specific details of the present findings are not completely congruent with this type of proposal either, which predicts a complete overlap of the inversion effect with both part types. Indeed, while natural and arbitrary faces parts were both negatively affected by inversion on the behavioral measures (RTs and errors rates), the present findings showed that the enlarged N200 amplitude associated with inversion was exclusive to mismatching trials for natural parts, whereas it was exclusive to the right hemisphere for arbitrary parts. Inversion also induced a N200 peak latency delay for both types of face segments, but this effect was only seen at site PO7 for arbitrary parts and at site PO8 for natural parts.

These asymmetries suggest that different mechanisms are likely to underly the inversion effect for natural and arbitrary face segments. As noted above, arbitrary segments comprise valid spatial relational information,

whereas they are relatively poor with respect to local face features. In this case, it could be argued that inversion perturbs especially the processing of spatial relational information. With natural parts however, obviously no relational information is available but valid local facial features information is present. Clearly, the perceptual mechanisms involved in processing the latter type of information may also suffer interference from inversion but for different reasons which remain uncovered.

The suggestion of distinct bases for the inversion effect with arbitrary and natural parts is congruent with the assumption of separate mechanisms for configural and part processing in visual face perception. Notably, Bentin and colleagues (Bentin et al., 1996; Bentin & Deouell, 2000; Carmel & Bentin, 2002; Sagiv & Bentin, 2001) proposed that an analytic and a holistic processor located in the lateral posterior temporal lobe and in the middle fusiform gyrus, respectively, are involved in face recognition. According to these authors, the N170 would reflect the perceptual encoding of face components, rather than their spatial organization, whereas the holistic processor required for the perception of full-face configuration would probably be reflected by the intracranially recorded N200 (Allison et al., 1999; McCarthy et al., 1999; Puce et al., 1999). In contrast, Eimer (2000b) suggested that the N170 is linked to late stages of structural encoding responsible for the configural analysis of faces.

Our findings may help reconcile these seemingly conflicting arguments in showing that the ERP responses around 170 ms may reflect overlapping processes in face encoding. Indeed, the fact that the early negative component associated with face processing was influenced by the

inversion of both arbitrary and natural parts demonstrates that this component is not simply devoted to either configural or componential analysis of faces and that these perceptual processes are engaged in a parallel manner rather than in sequential stages. Consequently, our results suggest that information pertaining to both facial parts and their configuration are effectively processed in face encoding but via functionally distinct routes conveyed by either an analytic or a configural processing system, respectively.

Holistic vs. relational processing

The results reported above challenge the holistic view of face recognition put forward by Tanaka and Farah (1993) which assumes that upright faces are normally recognized as unparsed perceptual wholes, with feature processing playing little or no role. In this view, faces are processed and represented in memory as templates, without decomposition into parts. The various forms of the segmentation effect observed in the present study appear incompatible with the notion that face representations are based on non-decomposed wholes. Indeed, it is quite clear that a template, because it entirely lacks structure, should be addressed just as effectively by natural face parts than arbitrary segments, thus implying no segmentation effect.

Support to the holistic theory has largely been drawn from behavioral evidence showing that face recognition is much more affected by stimulus inversion than object recognition (Valentine, 1988; Yin, 1969). Accordingly, the face inversion effect has been interpreted as indicating a global

dominance in face recognition: the holistic processing used for upright faces is assumed to be lost with inversion, and inverted faces would only be analysed on the basis of their local parts (Farah et al., 1995 a, b). However, there is evidence in the behavioral literature that contradicts this holistic model of face processing by demonstrating that the inversion effect is mainly due to the disruption of relational information processing (Bartlett & Searcy, 1993; Diamond & Carey, 1986; Searcy & Bartlett, 1996; Rhodes et al., 1989, 1993). While the inversion effect found with arbitrary face segments corroborates these past observations, the inversion effect found with natural face parts cannot be due only to the disruption of either configural or holistic processing. Rather, it should be concluded that the processing of individual face parts is also impaired by inversion.

Lateralization of face processing

Numerous behavioral and neuropsychological studies have suggested that the right and left cerebral hemispheres are both involved in visual face processing, but in different ways (e.g. Hillger & Koenig, 1991). Our findings extend this observation. Specifically, on the N200 latency measure, the inversion effect was significant only with arbitrary parts in the left hemisphere but only with natural parts in the right. However, on the amplitude measure, the inversion effect was significant with arbitrary but not natural parts in the right hemisphere whereas no such difference occurred in the left hemisphere. This suggests that inversion and segmentation differentially modulate the efficiency of the left and right hemispheres in stimulus encoding. Future studies should attempt to further specify these particularities of each cerebral hemisphere.

Conclusion

To conclude, our results suggest that the occipito-temporal negative component around 170 ms can be used as an electrophysiological marker of specialized brain processes underlying the structural encoding of faces (Bentin et al., 1996; Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 1998, 2000a,b). By showing that inversion negatively affects the processing of information regarding both facial features and spatial relations, our results complement and specify at the ERP level previous behavioral studies which have suggested that configural information processing is impaired by inversion (Bartlett & Searcy, 1993; Rhodes et al., 1993; Searcy & Bartlett, 1996) and that facial features are also affected by inversion (Rakover & Teucher, 1997; Naschson & Schechory, 2002). Taken together, these findings challenge the notion of a clear cut dichotomy between exclusive configural processing for upright faces and componential processing for inverted faces. Alternatively, it can be argued that distinct perceptual mechanisms, which normally operate in parallel in face perception, are differently involved in face encoding according to the relevance of the facial input. Finally, the present results support the relational view of face recognition which assumes that face patterns are decomposed into parts whose features as well as spatial relationships are described with respect to each other, rather than a holistic view where face patterns are analysed as non-decomposed wholes.

ACKNOWLEDGEMENTS

Sophie Lecours received support from Ph.D. scholarships from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and the Fonds pour la Formation des Chercheurs et l'Aide à la Recherche and the Fonds de la Recherche en Santé du Québec (FRSQ). Martin Arguin is chercheur-boursier of the FRSQ. This research was supported by an NSERC grant held by Martin Arguin. Marc E. Lavoie's work was supported by a chercheur-boursier junior of the FRSQ and by the foundation of the L-H Lafontaine Hospital. We thank Lucie Ouellette for her technical help while recording the ERP's.

REFERENCES

T. Allison, A. Puce, D.S. Dennis & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipito-temporal cortex by face and non-face stimuli. *Cerebral Cortex*, *9*, 415-430.

American Electroencephalographic Society. (1994). Guideline thirteen: guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *11*, 11-113.

M. Arguin & Saumier, D. (submitted 2003). The analytic and configural mechanisms of visual face recognition revealed by priming.

Bartlett, J. C. & Searcy, J. (1993). Inversion and configuration of faces. *Cognitive Psychology*, *25*, 281-316.

S. Bentin, T. Allison, A. Puce, E. Perez & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*, 551-565.

S. Bentin & Deouell, L.Y. (2000). Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology* *17*, 35-54.

Benton, A.L. Hamsher, K.deS. Varney, N.R. & Spreen, O. (1983). *Contributions to Neuropsychological Assessment*, New-York: Oxford University Press.

Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, **94**, 115-147.

Bruce, V. (1988). *Recognizing faces*. Hove and London: Erlbaum.

Bruce, V. & Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, **77**, 305-327.

Bruyer, R. & Coget, M. C. (1987). Features of laterally displayed faces: saliency or top-down processing? *Acta Psychologica*, **66**(2), 103-114.

Damasio, A. R., Damasio, H. & Van Hoesen, G. W. (1982). Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanisms. *Neurology*, **32**(4): 331-341.

Carmel, D. & Bentin, S. (2002). Domain specificity vs. expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, **83**, 1-29.

Chaby, L., Jemel, B., George, N., Renault, B. & Fiori, N. (2001). An ERP study of famous face incongruity detection in middle age. *Brain and Cognition*, **45**, 357-377.

Diamond, R. & Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: an effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, **115**, 107-117.

M. Eimer (1998). Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor ? *NeuroReport*, **9**, 2945-2948.

Eimer, M. (2000a). 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.

Eimer, M. (2000b). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *NeuroReport*, **11**, 2319-2324.

Eimer, M. & McCarthy, R.A. (1999). Prosopagnosia and structural encoding of faces: Evidence from event-related potentials. *NeuroReport*, **10**, 255-259

Farah, M. J., Drain, H. M., & Tanaka, J. W. (1995a). What causes the face inversion effect ? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **21**(3), 628-634.

Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, H. M., & Tanaka, J. R. (1995b). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: Evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision research*, **35**(14), 2089-2093.

George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J. & Renault, B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, *4*, 65-76.

Haig, N. D. (1984). The effect of feature displacement on face recognition. *Perception*, *13*, 505-512.

Hillger, L. A. & Koenig, O. (1991). Separable mechanisms in face processing: evidence from hemispheric specialization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *3*(1), 42-58.

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 ERP's. *Neuroimage*, *15*, 353-372.

Jemel, B., George, N., Chaby, L., Fiori, N. & Renault, B. (1999). Differential processing of part-to-whole and part-to-part face priming: an ERP study. *NeuroReport*, *10*, 1069-1075.

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., Stanley, D. & Harris, A. (1999). The fusiform face area is selective for face not animals. *NeuroReport*, *10*(1), 183-187.

Lecours, S., Arguin, M. & Lavoie, M. E. (submitted 2004). ERPs manifestations of face structural encoding: from isolated feature detection to holistic analysis of configural relations among facial parts.

Leder, H. & Bruce, V. (1998). Local and relational aspects of face distinctiveness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **51A**, 449-473.

Leder, H. & Bruce, V. (2000). When the inverted faces are recognized: the role of configural information in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **53A**, 513-536.

Marr, D. (1982). *Vision*. New-York: Freeman.

McCarthy, G., Puce, A., Belger, A. & Allison, T. (1999) Electrophysiological studies of human face perception. II: Response properties of face-specific potentials generated in occipitotemporal cortex. *Cerebral Cortex*, **9**, 431-444.

Murray, J. E., Young, E. & Rhodes, G. (2000) Revisiting the perception of upside-down faces. *Psychological Science*, **11**(6), 492-496.

Nachson, I. & Schechory, M. (2002). Effect of inversion on the recognition of external and internal facial features. *Acta Psychologica*, **109**, 227-238.

Puce, A., Allison, T. & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. III: Effects of top-down processing on face-specific potentials. *Cerebral Cortex*, *9*, 445-458.

Rakover, S. S. & Teucher, B. (1997). Facial inversion effects : parts and whole relationships. *Perception and Psychophysics*, *59*(5), 752-761.

Rhodes, G., Tan, S., Brake, S. & Taylor, K. (1989). Race sensitivity in face recognition: an effect on different encoding processes. In A. F. Bennett & K. M. McConkey (Eds.), *Cognition in individual and social contexts*. Amsterdam: Elsevier.

Rhodes, G., Brake, S. & Atkinson, A. P. (1993). What's lost in inverted faces ? *Cognition*, *47*, 25-57.

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), 69-74.

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*, 173-189.

Rugg, M. D. & Coles, M.G.H. (1995). The ERP and cognitive psychology: conceptual issues. in: Rugg, M. D. & Coles, M.G.H. (Eds), *Electrophysiology of Mind. Event-related Brain Potentials and Cognition*. New-York: Oxford University Press.

Sagiv, N. & Bentin, S. (2001). Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **13**, 937-951.

Searcy, J. H. & Bartlett, J. C. (1996). Inversion and the processing of component and spatial-relational information in faces. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, **22**, 904-915.

Sergent, J. (1984). An investigation into component and configural processes underlying face perception. *British Journal of Psychology*, **75**, 221-242.

Spreen, O. & E. Strauss (1991). *A Compendium of Neuropsychological Tests. Administration, Norms and Commentary*. New-York: Oxford University Press.

Tanaka, J. W & Farah, M. (1993). Parts and wholes in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **46A**, 225-245.

Valentine, T. (1988). Upside-down faces: A review of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, *79*, 471-491.

Valentine, T. (1991). A unified account of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, *79*, 471-491.

Woestenburg, J.C., Verbaten, M.N. & Slangen, J.L. (1983). The removed of the eye-movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain. *Biological Psychology*, *16*, 127-147.

Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 141-145.

Young, A. W., Hellowell, D. & Hay, D. C. (1987). Configural information in face perception. *Perception*, *16*(6), 747-759.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Stimulus materials consisting of eight grey-level frontal-view pictures of unknown young women chosen from the University of Stirling's face data base.

Fig. 2. Exemplars of the face part stimuli used: A) natural segments and B) arbitrary segments.

Fig. 3. Mean RTs for upright and inverted parts as a function of congruency.

Fig. 4. Percent errors for upright and inverted parts as a function of congruency.

Fig. 5. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following the target stimulus for upright and inverted parts over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads.

Fig. 6. Mean peak latency for upright and inverted parts as a function of segmentation and cerebral hemisphere: A) at electrode site PO7 and B) at electrode site PO8.

Fig. 7. ERP waveforms recorded in the first 500 ms following target stimulus for natural and arbitrary face segments over the P7, P8, PO7, PO8, O1 and O2 leads.

Table

Mean correct RTs (ms), error rates (%), amplitude (μV) and Latency (ms) of the N200 component as a function of congruity, segmentation and orientation.

	Behavioral data		ERP data	
	RT(sd)	Errors(sd)	Latency(sd)	Amplitude(sd)
Matching trials				
Natural parts				
Upright	805 (141)	17 (3.12)	217 (45)	-4.80 (3.81)
Inverted	820 (125)	18 (2.90)	229 (49)	-4.70 (3.91)
Arbitrary parts				
Upright	773 (166)	19 (3.51)	214 (43)	-2.02 (3.34)
Inverted	780 (166)	18 (3.74)	229 (43)	-3.28 (3.12)
Mismatching trials				
Natural parts				
Upright	784 (159)	14 (2.63)	208 (43)	-3.21 (3.43)
Inverted	880 (158)	33 (4.76)	230 (48)	-4.61 (3.52)
Arbitrary parts				
Upright	748 (163)	13 (2.79)	210 (47)	-2.47 (3.91)
Inverted	907 (152)	25 (5.55)	222 (42)	-3.82 (2.95)

FIGURES



Fig. 1 – Lecours, Arguin & Lavoie

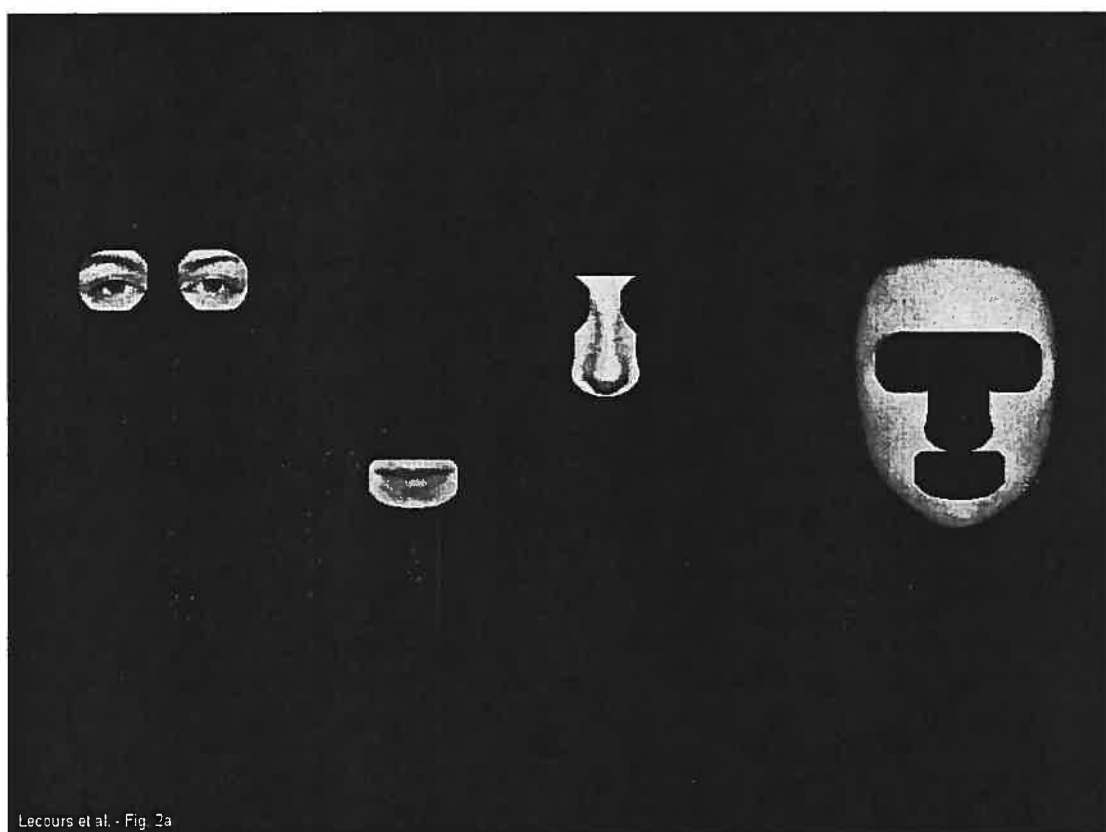


Fig. 2a – Lecours, Arguin & Lavoie

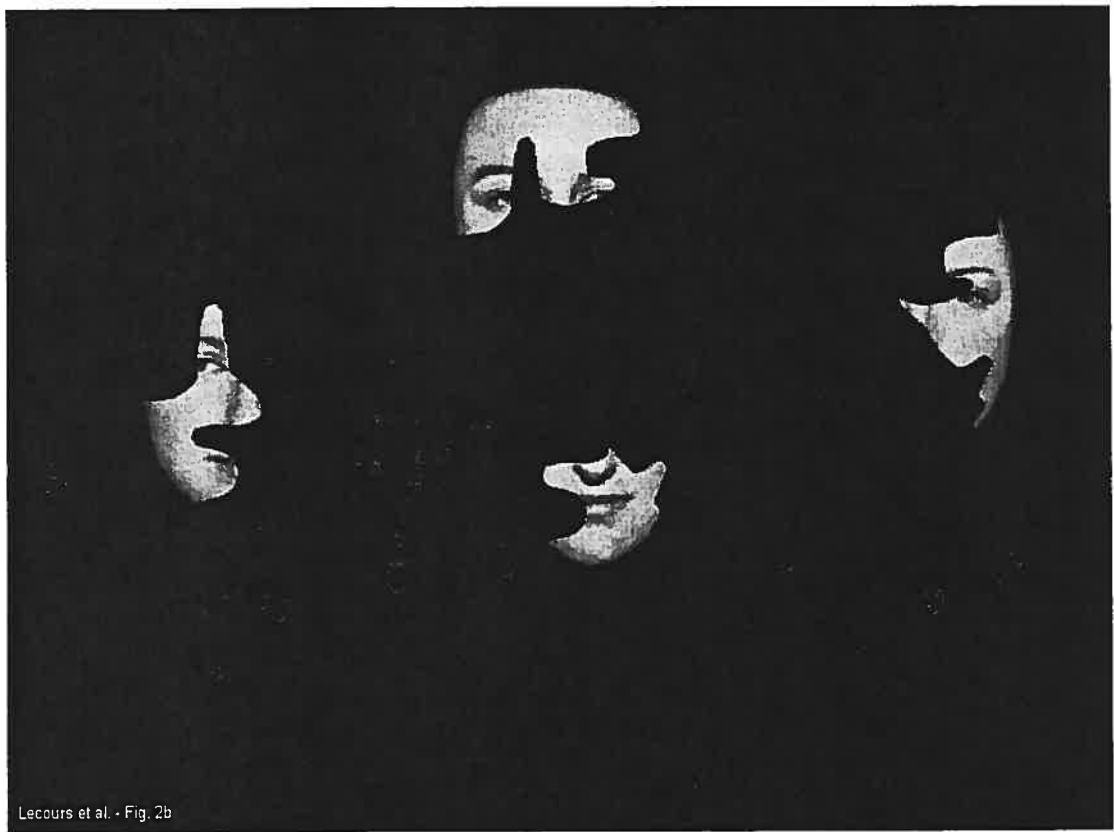


Fig. 2b – Lecours, Arguin & Lavoie

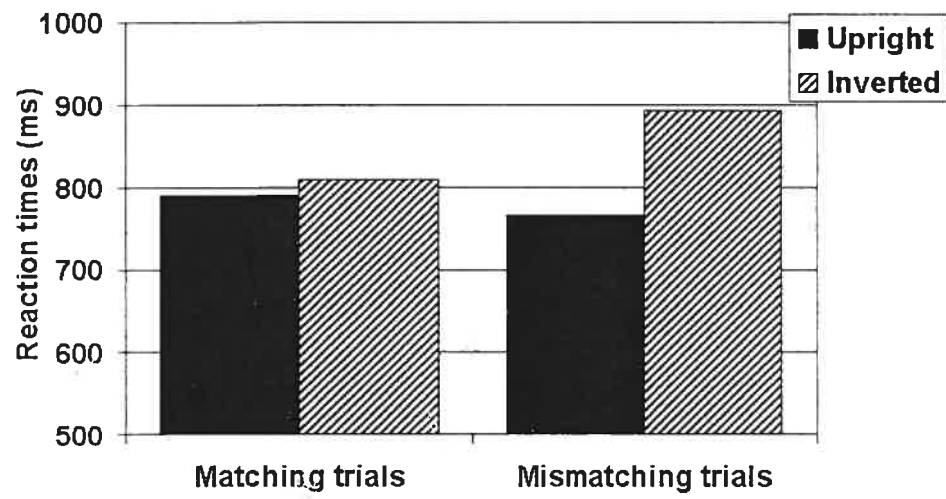


Fig. 3

Fig. 3 – Lecours, Arguin & Lavoie

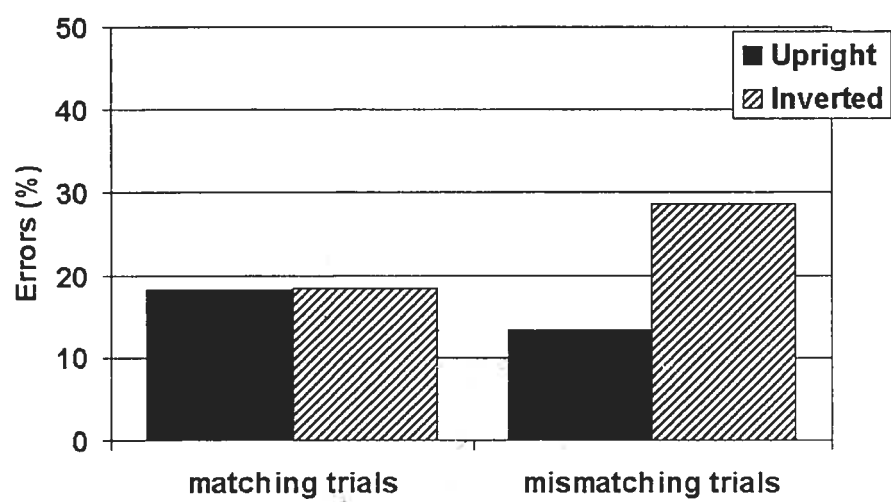


Fig. 4

Fig. 4 – Lecours, Arguin & Lavoie

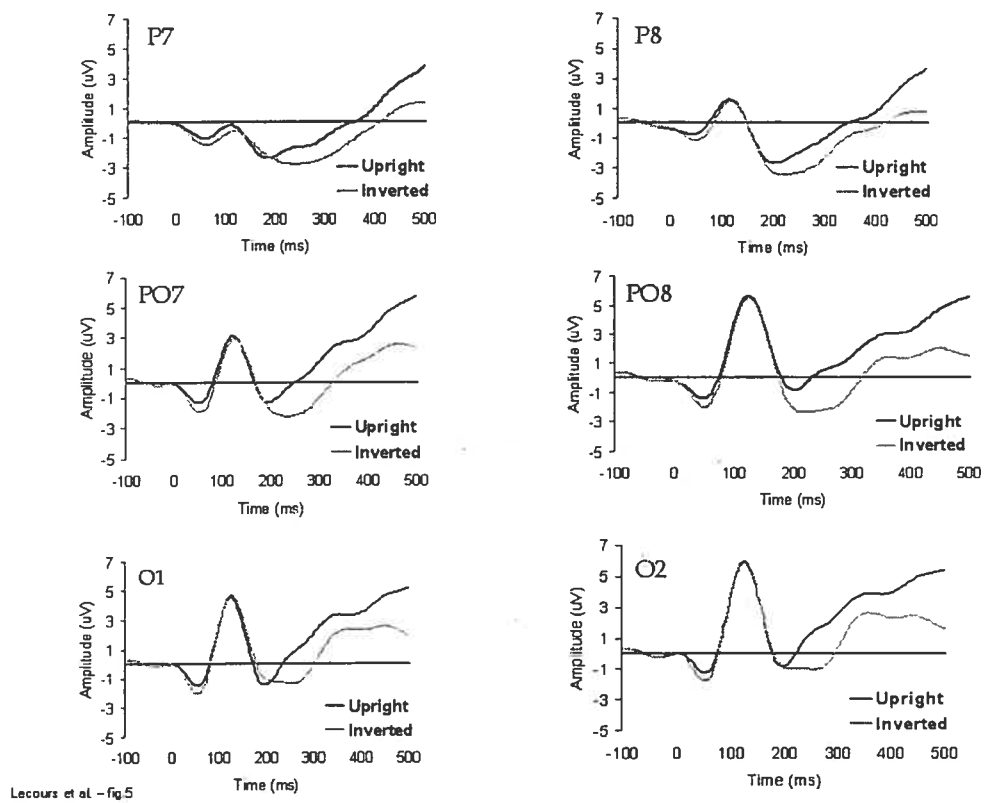


Fig. 5 – Lecours, Arguin & Lavoie

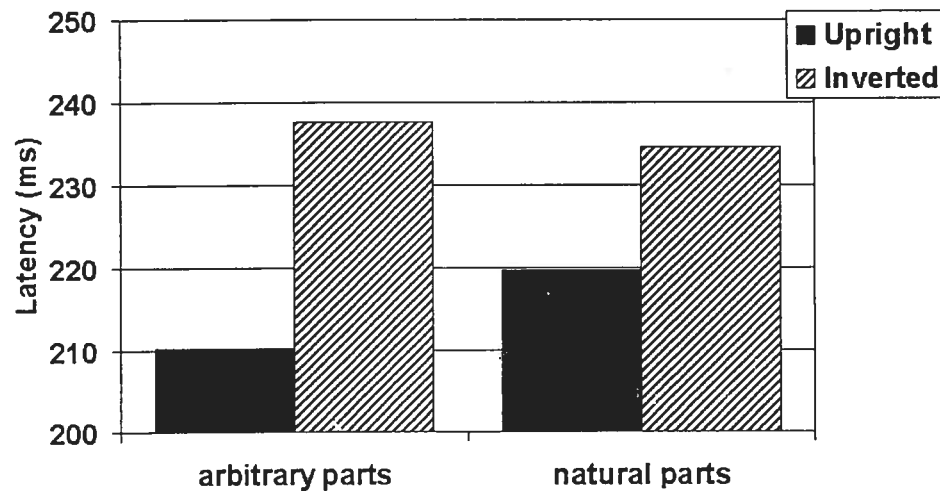


Fig 6a

Fig. 6a – Lecours, Arguin & Lavoie

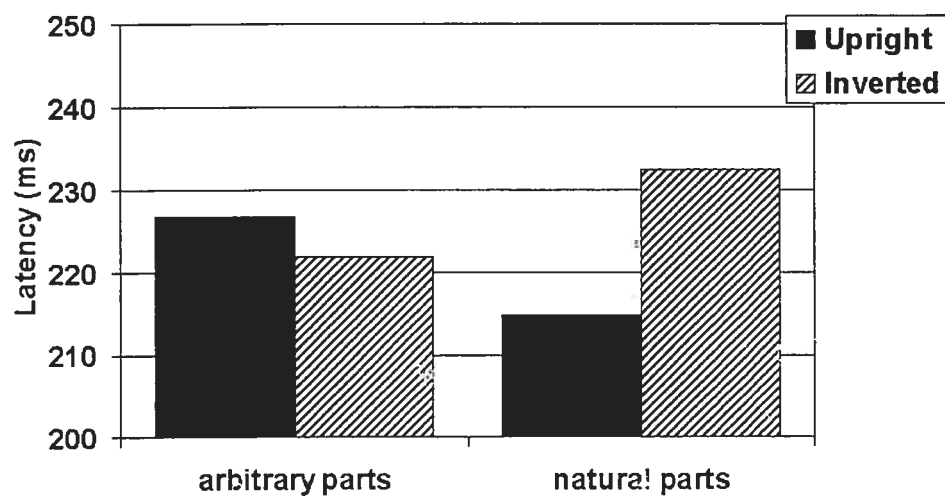
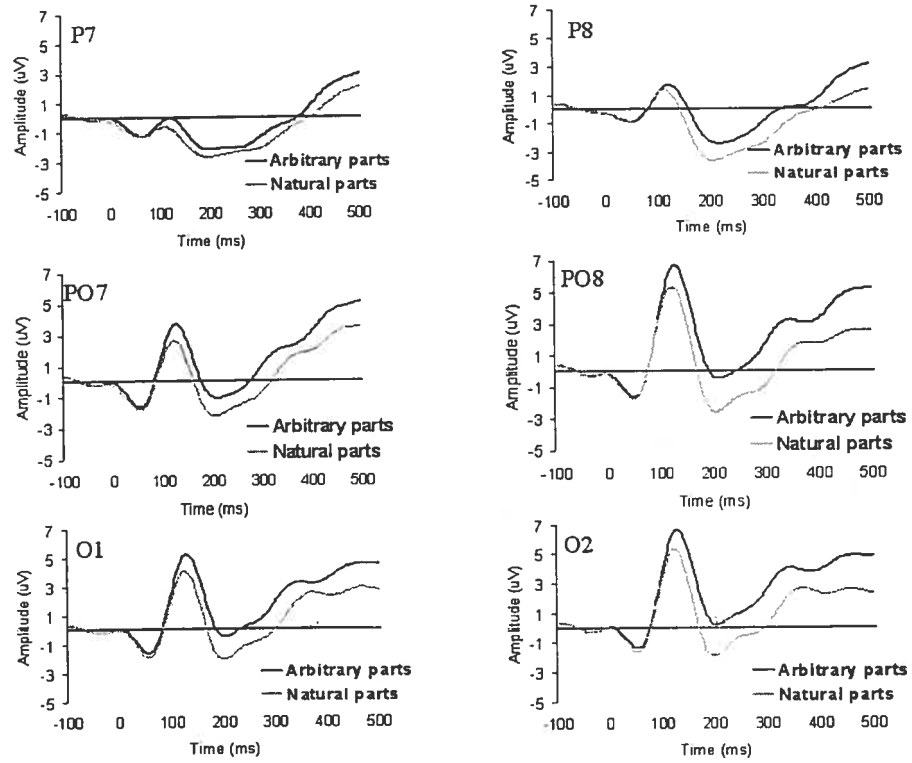


Fig 6b

Fig. 6b – Lecours, Arguin & Lavoie



Lecours et al. - fig 7

Fig. 7 – Lecours, Arguin & Lavoie

CHAPITRE QUATRIÈME:

DISCUSSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette recherche consistait à démontrer que la perception des visages ne se déroule pas de manière exclusivement 'holistique' (Farah et Tanaka, 1993), mais qu'un mécanisme de traitement analytique, analogue à celui qui opère dans la reconnaissance des objets, contribue également à la reconnaissance des visages en assurant une décomposition initiale du stimulus en ses parties constitutives. Pour ce faire, des facteurs présidant à la mise en œuvre des mécanismes de traitement analytique et configural ont été étudiés afin de préciser leur poids relatif dans la reconnaissance des visages en fonction des contraintes imposées par la tâche et en fonction du type d'input visuel présenté. Enfin, il faut noter que cette investigation a été conduite à l'aide de la technique des PÉCs.

Pour des raisons de clarté, cette discussion générale sera divisée en deux sections, lesquelles seront précédées d'un bref rappel méthodologique et d'une présentation des caractéristiques de la composante électrophysiologique à l'étude, soit la N200. La première section traitera des effets de contexte et de stratégie perceptive alors que la seconde abordera l'effet d'orientation sur l'encodage de parties de visage. Chaque section comprendra un résumé des principaux résultats obtenus et des conclusions qui en ont été tirées, puis quelques perspectives expérimentales seront avancées. Finalement, une conclusion générale portant sur l'ensemble du travail permettra de discuter de la contribution des résultats obtenus à la compréhension de la reconnaissance des visages en général.

L'originalité de ce travail réside dans le fait qu'un examen systématique des traitements analytique et configural mis en jeu dans la reconnaissance des visages a été effectué dans le cadre d'une étude utilisant la

technique des PÉCs chez des sujets normaux. Cet examen a été rendu possible grâce à l'utilisation de stimuli faciaux visant à minimiser toute confusion entre les informations portant sur les traits du visage (segments naturels) et sur les relations qui existent entre ces éléments (segments arbitraires). C'est également la première fois que le traitement perceptif de ces segments de visage a été investigué à l'aide d'un paradigme d'appariement autorisant la comparaison entre deux stratégies d'encodage, l'une analytique et l'autre holistique. Finalement, ce cadre expérimental a permis d'observer l'impact de manipulations expérimentales portant sur le contexte facial et sur l'inversion de stimuli, corroborant ainsi ou remettant parfois en question des données classiques de la littérature sur la reconnaissance des visages.

I. Rappel méthodologique

Le présent travail comportait deux études sur l'encodage des parties de visage menées à l'aide de tâches d'appariement séquentiel. Les segments de visage utilisés étaient: (1) des segments 'naturels' de visage (i.e. yeux, nez, bouche, contour de visage) et (2) des segments 'arbitraires' (i.e. similaires à des morceaux de puzzle). En bref, la première étude incluait deux expériences d'appariement similaires, à l'exception du fait que la première favorisait un encodage analytique (appariement *partie-visage*), tandis que la seconde suscitait un encodage holistique (appariement *visage-partie*). Cette étude a aussi comparé le traitement de segments de visage à l'intérieur d'un contexte facial à celui de segments isolés de tout contexte (effet de contexte). Enfin, la deuxième étude a examiné l'effet d'inversion (0 degré vs. 180 degrés) sur l'encodage de parties de visage.

II. Composante électrophysiologique étudiée (N200)

Les données électrophysiologiques obtenues dans chacune des études ont systématiquement montré une onde négative dans la région temporo-occipitale apparaissant entre 140-350 msec après la cible, quels que soient le type de stimuli faciaux présentés ou la nature de la stratégie perceptive utilisée. Cette observation concorde avec les résultats de plusieurs études, à l'effet qu'une composante négative, reconnue par plusieurs chercheurs comme étant spécifique au traitement des visages (Bentin et al., 1996 ; Carmel et Bentin, 2002; Eimer, 2000a, 2000b; Sagiv et Bentin, 2001), culmine vers 170 msec (N170) après le début de la présentation d'un stimulus au niveau des cortex occipito-temporaux. Cette composante refléterait un stade précoce de l'analyse visuelle (Bentin et Deouell, 2000; Eimer, 2000a, 2000b), possiblement celui de l'encodage structural proposé par Bruce et Young (1986). Par rapport à la N170 décrite dans la littérature, dans la présente étude, le maximum d'amplitude de l'onde négative, autour de 229 msec en moyenne, était retardé. Deux phénomènes peuvent expliquer cette divergence de résultats: (1) d'une part le format des expériences et (2) d'autre part le type de stimuli faciaux utilisés.

En premier lieu, il faut noter que dans plusieurs des études rapportant une N170, les PÉCs ont été enregistrés en réponse à la présentation d'un seul stimulus, souvent dans le cadre d'une tâche 'oddball' où les visages constituaient une catégorie d'objets parmi d'autres. Par opposition, les expériences d'appariement séquentiel utilisées dans le présent travail ont

requis non seulement l'encodage d'une cible, mais aussi elles nécessitaient la comparaison de celle-ci avec la représentation d'un stimulus de référence gardé en mémoire à court-terme. Autrement dit, les PÉCs ont été enregistrés lors de l'apparition d'un stimulus qui avait été précédé par un autre. D'autres études utilisant un paradigme d'appariement similaire au nôtre ont aussi obtenu une N170 tardive (Chaby et al., 2001 ; Jemel et al., 1999b). Par exemple, Chaby et al. (2001) ont trouvé que l'onde négative associée à des visages 'test' culminait à 216 msec tandis que celle associée à des visages 'amorce' culminait à 182 msec. De la même façon, les résultats de la première étude de ce travail ont indiqué que la composante négative apparaissant en réponse au premier stimulus de la séquence d'appariement culminait plus précocement, soit en moyenne à 180 msec, que celle apparaissant en réponse au deuxième stimulus de la séquence d'appariement, qui culminait en moyenne à 230 msec.

En deuxième lieu, il a été démontré que les mécanismes de traitement des visages indexés par la N170 étaient sensibles à la configuration des visages. Notamment, la latence de cette composante augmente lorsque les relations spatiales entre les traits du visage sont altérées (George et al., 1996), lorsqu'une partie du visage est absente (Eimer, 1998) ou lorsque les visages sont inversés (Bentin et al., 1996 ; Rossion et al., 1999, 2000). Même si ces manipulations n'engendrent habituellement qu'un léger retard de la N170 (moins de 10 msec) par rapport à celui obtenu ici (près de 60 msec), il reste que le degré élevé d'isolation des stimuli faciaux dans nos expériences (c.f. segments de visage) a probablement contribué au délai observé. À cet égard, l'étude de Bentin et al. (1996) a bien illustré l'impact de l'isolation des traits sur la latence de la N170: cette composante culminait plus tardivement en

réponse aux yeux (186 msec), aux nez (210 msec) et aux lèvres (215 msec) qu'en réponse aux visages (173 msec).

Par ailleurs, nos résultats sont également compatibles avec ceux de George et al. (1996) portant sur le traitement de visages aux traits mélangés comparativement à celui de visages normaux. Dans une tâche d'appariement avec choix-forcé, ces auteurs ont observé une déflexion dans la région temporo-occipitale apparaissant entre 150 msec et 350 msec après la présentation du stimulus. Cette onde négative, dont le maximum d'amplitude variait entre 200 msec et 250 msec, était plus ample en réponse aux visages aux traits mélangés qu'en réponse aux visages normaux. Selon ces auteurs, deux phénomènes se superposant ont pu rendre compte de l'importante négativité observée: d'une part, l'inversion de l'onde P2 vertex et, d'autre part, l'existence d'une négativité de traitement dont la latence et la durée seraient d'autant plus longue que le traitement de l'information est difficile. Autrement dit, le retard et l'ampleur de l'onde négative observée dans la présente étude pourraient aussi résulter d'une difficulté de traitement reliée à la nature des stimuli utilisés.

Dans l'ensemble, il apparaît donc que le format des tâches d'appariement ainsi que le type de stimuli faciaux utilisés dans le présent travail ont contribué au retard de la N170. Enfin, ces facteurs ont possiblement induit, en superposition, une négativité de traitement reflétant la difficulté additionnelle reliée à l'analyse perceptive des inputs visuels.

III. Première étude

Dans cette étude, les performances des sujets ainsi que les caractéristiques de la composante N200 ont été analysées en fonction des contraintes d'appariement imposées par la tâche. Cette étude visait l'examen des effets de contexte et de segmentation apparaissant lors de l'encodage des visages.

A. Rappel des principaux résultats

Les principaux résultats portant sur l'*effet de contexte* ont révélé que l'impact de ce facteur sur la composante N200 s'exerçait dans deux directions opposées selon la stratégie perceptive utilisée. En effet, dans la tâche *partie-visage* favorisant un encodage analytique, la présence d'un contexte facial a nui au traitement des parties de visage, si l'on considère le fait que la N200 était plus ample pour les parties en contexte que pour les parties présentées isolément. À l'inverse, dans la tâche *visage-partie* favorisant un encodage holistique, on a observé une réduction de l'amplitude et de la latence de la N200 pour les parties en contexte comparativement aux parties isolées, ce qui indique une facilitation du traitement par le contexte. Les résultats obtenus suggèrent qu'une stratégie d'encodage analytique serait fondée sur la décomposition de l'image faciale afin d'isoler une partie cible de son contexte, tandis qu'une stratégie d'encodage holistique reposerait sur l'appréhension d'un contexte facial afin qu'une partie de visage soit traitée efficacement.

Il faut souligner que les données électrophysiologiques rapportées ci-dessus convergent avec les résultats comportementaux. Dans l'exp. 1, l'avantage démontré sur le plan des PÉCs dans le traitement des parties isolées sur celui des parties en contexte était associé à une réduction du taux d'erreur pour les parties naturelles présentées de façon isolée. Dans l'exp. 2, la réduction de l'amplitude et de la latence de la N200 en réponse aux parties insérées à l'intérieur d'un contexte facial comparativement aux parties isolées s'accompagnait d'une diminution des TRs allant dans le même sens. Cependant, cette corrélation positive entre les résultats comportementaux et électrophysiologiques comportait aussi une exception importante dans l'exp. 1: contrairement à l'avantage observé sur le plan des PÉCs pour les parties isolées par rapport aux parties en contexte, les performances (TRs et erreurs) des sujets suggéraient l'avantage inverse puisqu'elles étaient supérieures pour les parties arbitraires en contexte que pour les parties arbitraires isolées (bien que statistiquement non significative, cette tendance était aussi présente pour les parties naturelle de visage sur le plan des TRs).

Le facteur *segmentation* a également révélé des effets allant dans des directions opposées selon le type de stratégie d'encodage favorisé. Dans la tâche d'appariement *partie-visage*, les sujets ont répondu avec plus de précision aux essais faisant appel à des parties naturelles qu'à des parties arbitraires. À l'opposé, dans la tâche d'appariement *visage-partie*, ce sont les parties arbitraires que les sujets ont traitées plus rapidement et plus efficacement que les parties naturelles (cf. réduction des TRs, de la latence et de l'amplitude de la N200), bien que pour les données électrophysiologiques cet avantage n'ait été observé que pour les parties isolées.

B. Rappel des principales conclusions

Dans un premier temps, les conclusions de cette étude amènent à discuter du *traitement différent des parties isolées et des parties en contexte selon la stratégie perceptive adoptée*. En effet, l'un des résultats les plus importants de l'étude rapportée à l'article 1 est que le contexte facial de 'premier-ordre' facilite le traitement des parties de visage lorsque l'encodage se déroule de manière holistique (exp. 2). Ces données corroborent les résultats d'études électrophysiologiques montrant que la N170 est retardée et de plus grande amplitude en réponse aux traits du visage présentés isolément, comparativement à des visages complets (Bentin et al., 1996; Jemel, 1999a).

Toutefois, les résultats obtenus montrent aussi que le contexte interfère avec le traitement de parties de visage lorsqu'une stratégie d'encodage analytique est employée (exp.1). Mermelstein et al. (1979) ont souligné que lorsqu'une partie est insérée à l'intérieur d'un contexte facial, elle est automatiquement traitée en interaction avec les autres parties du visage afin de former un tout bien intégré ('well integrated-pattern'). Ainsi, selon cette interprétation, une recherche visuelle serait nécessaire afin d'isoler une partie lorsqu'elle est présentée à l'intérieur d'un contexte facial de 'premier-ordre'. Autrement dit, les résultats obtenus dans ce travail suggèrent qu'un effort de traitement supplémentaire serait requis en vue d'une décision d'appariement lorsqu'il s'agit de détecter une partie de visage présentée à l'intérieur d'un contexte plutôt qu'isolément.

Récemment, Jemel et collaborateurs (1999b) ont rapporté un effet similaire dans une tâche d'amorçage où des visages familiers aux yeux masqués étaient ensuite complétés par les yeux appropriés ou non appropriés (appartenant à un autre visage). Leur étude a révélé que les visages complets incluant les yeux (cible) induisaient un retard au niveau de la N170 comparativement aux visages dont les yeux étaient masqués (amorçage). Ces auteurs ont conclu que le fait de porter attention aux yeux devait occasionner le délai de latence observé. Autrement dit, nos résultats, comme ceux de Jemel et al. (1999b), montrent qu'il est suffisant d'induire une stratégie analytique, c'est-à-dire d'orienter l'attention sur une partie particulière plutôt que sur l'ensemble du visage, pour observer une augmentation de la latence de l'onde négative reliée au traitement des visages ou, comme dans le cas présent, de son amplitude.

En résumé, les résultats obtenus ont montré un effet de facilitation lorsque le stimulus visuel concordait avec les contraintes imposées par la tâche. Les sujets traitaient plus efficacement une partie isolée de visage s'ils adoptaient une stratégie analytique tandis qu'à l'inverse, ils traitaient plus facilement une partie de visage présentée à l'intérieur d'un contexte facial s'ils adoptaient une stratégie perceptive holistique. Toutefois, cette règle générale comportait une exception dans l'exp.1 puisque les données comportementales (TRs et erreurs) ont révélé un avantage du traitement des parties arbitraires en contexte sur celui des parties arbitraires isolées.

Cette observation suggère que les mesures comportementales, bien que sensibles aux mêmes processus que ceux qui modulent la N200, peuvent par ailleurs être aussi influencées par un autre mécanisme. Il est postulé que ce

mécanisme soit mis en jeu tardivement, c'est à dire à la suite de ceux qui ont un impact sur la N200 ou, au contraire, dès l'apparition du stimulus cible mais alors de façon parallèle aux processus dont dépendent les caractéristiques de la N200. Compte tenu des conditions dans lesquelles ce mécanisme additionnel semble intervenir, il est possible d'émettre l'hypothèse qu'il joue un rôle dans le traitement de l'information portant sur les relations spatiales de 'deuxième-ordre' lorsque cette information est située à l'intérieur d'un contexte facial de 'premier-ordre'. Toutefois, les données de la présente recherche ne permettent pas de tirer une conclusion définitive quant à cette question, c'est pourquoi des recherches subséquentes seraient nécessaires.

Dans un deuxième temps, les conclusions de cette étude amènent à discuter *du traitement différent des parties naturelles et des parties arbitraires selon la stratégie perceptive adoptée*. Les résultats obtenus dans l'exp. 1, qui indiquaient un taux d'erreur moindre pour les parties naturelles que pour les parties arbitraires, appuient l'hypothèse selon laquelle les traits du visage sont des éléments perceptifs valides au plan psychologique. Considérant que les parties arbitraires incluaient des informations partielles sur les traits du visage, il découle aussi de ce résultat que les parties naturelles doivent être entières pour constituer des éléments permettant la mise en jeu des processus de traitement spécifiques aux visages.

À l'opposé, lorsque la tâche favorisait un encodage holistique (exp. 2), les performances associées aux parties arbitraires étaient supérieures à celles associées aux parties naturelles. Il semble donc que des segments de visage arbitraires, mêmes s'ils ne présentent que des informations partielles sur les

relations spatiales de 'deuxième-ordre' relativement à un visage complet, peuvent activer les mécanismes perceptifs propres aux visages, tandis que les informations comprises dans des segments de visage naturels apparaissent ici insuffisantes. Cette constatation ajoute au poids des démonstrations d'études antérieures à l'effet que la configuration de 'deuxième-ordre' a un impact majeur dans la reconnaissance des visages (Rhodes et al., 1993; Bartlett et Searcy, 1993; Searcy et Bartlett, 1996).

Il faut souligner qu'en ce qui a trait aux PÉCs, l'avantage des parties arbitraires sur les parties naturelles est resté limité aux parties isolées. La disparition de l'effet de segmentation lorsque les parties de visage étaient présentées à l'intérieur d'un contexte facial révèle qu'en l'absence d'information sur les relations spatiales de 'deuxième-ordre', la configuration de 'premier-ordre' joue un rôle crucial. Ce résultat indique également que les parties naturelles sont mieux traitées lorsqu'elles sont situées à l'intérieur d'un contexte facial que lorsqu'elles sont isolées, une observation en accord avec l'effet de 'supériorité de visage' décrit par Homa et collaborateurs (1976). Cet effet facilitateur du contexte lors de l'encodage des parties naturelles de visage corrobore également les résultats de Suzuki et Cavanagh (1995) qui suggèrent que la mise en jeu des processus de traitement spécifiques aux visages serait conditionnelle à la présence d'une configuration de 'premier-ordre' dans le cas des parties naturelles de visage.

Dans l'ensemble, les résultats ont révélé que les parties de visage isolées étaient traitées plus efficacement que les parties en contexte lorsque la tâche favorisait une stratégie d'encodage analytique et qu'il en allait de même pour le traitement des parties naturelles lorsqu'on le compare aux parties arbitraires. À l'opposé, lorsque les contraintes de la tâche favorisaient un

encodage holistique, les parties en contexte étaient traitées plus facilement que les parties isolées et les parties arbitraires étaient traitées plus facilement que les parties naturelles. À partir de ces observations, il a été possible de conclure que les unités constitutives des visages, sur lesquelles opère le traitement analytique, sont des parties naturelles de visage, alors que la configuration faciale de 'premier-ordre' et de 'deuxième-ordre' suscite la mise en œuvre d'un traitement holistique. Il apparaît donc que le système visuel sollicite de manière indépendante l'un ou l'autre mode de traitement selon l'information pertinente disponible.

De plus, les résultats ont montré que la contribution relative de ces deux modes de traitement était tributaire non seulement des caractéristiques physiques des stimuli faciaux, mais également de la stratégie perceptive mise en jeu au moment de l'encodage. En fait, celle-ci a joué un rôle crucial lors de l'encodage puisque la rapidité et l'efficacité du traitement des parties de visage dépendaient de la compatibilité entre les caractéristiques de l'input visuel et la stratégie perceptive adoptée par l'observateur. Finalement, les données électrophysiologiques recueillies ont suggéré que les traitements analytique et configural survenaient tôt dans le processus perceptif, c'est-à-dire dès 200 msec.

IV. Deuxième étude

Dans cette étude, les performances des sujets ainsi que les caractéristiques de la composante N200 ont été analysées dans le cadre d'une tâche d'appariement *partie-visage*. Cette étude visait l'examen des effets d'orientation et de segmentation lors de l'encodage des visages.

A. Rappel des principaux résultats

Les principaux résultats de cette étude ont montré que le facteur *inversion* a eu un effet robuste, les parties inversées étant plus difficiles à traiter que les parties à l'endroit (cf. augmentation des temps de réponse, des taux d'erreurs, de l'amplitude et de la latence de la N200). Toutefois, il faut noter que, sur le plan comportemental, l'effet d'inversion n'était significatif qu'aux essais négatifs. En ce qui a trait aux résultats électrophysiologiques, seule l'inversion des parties arbitraires a modulé l'amplitude de la composante N200 à l'intérieur de l'hémisphère droit. Par contre, les données sur la latence de la N200 ont montré un effet d'inversion pour les parties naturelles sur l'électrode PO8 (hémisphère droit) tandis que pour les parties arbitraires, cet effet n'était enregistré qu'au site PO7 (hémisphère gauche). Enfin, un effet de *segmentation* a été obtenu sur le plan électrophysiologique mais pas sur le plan comportemental.

B. Rappel des principales conclusions

Tout d'abord, les résultats du présent travail ont permis de répliquer des données classiques de la littérature démontrant une supériorité des stimuli faciaux présentés à l'endroit sur ceux présentés à l'envers (Diamond & Carey, 1986, Valentine, 1988; Yin, 1969). De plus, l'observation d'une onde N200 plus ample et retardée (électrodes PO7-PO8) en réponse aux parties à l'envers comparativement aux parties à l'endroit a confirmé l'existence d'un effet d'inversion sur le plan électrophysiologique. Ces données sont en accord avec des résultats récents illustrant que la latence et/ou l'amplitude de la

N170 sont sensibles à l'effet d'inversion (Bentin et al., 1996; Rossion et al., Rossion et al., 1999, 2000; Eimer, 2000c; Itier et Taylor, 2001).

Ensuite, cette expérience a mis en lumière un effet d'inversion pour les segments arbitraires. Cette observation rejoint les constatations de Leder et Bruce (2000) réalisées dans le cadre d'une recherche sur le rôle des informations configurales dans la reconnaissance des visages. Non seulement les résultats de cette étude ont-ils confirmé l'importance de ce type d'information dans la reconnaissance des visages, mais ils ont aussi suggéré que les informations configurales sont traitées de façon locale, c'est-à-dire sans l'apport du contexte facial global qui les entoure. À partir des résultats d'une de leurs expériences, qui montraient un effet d'inversion pour des informations sur la configuration de 'deuxième-ordre' prises isolément, ces auteurs ont conclu qu'une déficience dans le traitement des relations spatiales de 'deuxième-ordre', plutôt que des informations holistiques seulement comprises à l'intérieur d'un visage complet, était à l'origine de l'effet d'inversion.

Les parties naturelles de visage ont également donné lieu à des performances moindres lorsqu'elles étaient encodées à l'envers plutôt qu'à l'endroit, et ce tant sur le plan comportemental qu'électrophysiologique. Ces données ajoutent du poids à de récentes observations à l'effet que l'inversion affecte de façon défavorable le traitement des traits isolés du visage (Rakover et Teucher, 1997; Nachson et Schechory, 2002). L'ensemble de ces résultats va à l'encontre de l'hypothèse d'un changement dans le mode habituel de traitement des visages lorsqu'ils sont présentés à l'envers ('dual mode hypothesis'). Selon cette hypothèse, l'inversion nuirait au traitement des visages complets mais pas à celui des traits isolés (Bartlett et Searcy, 1993 ; Bruyer et Coget, 1987; Rhodes et al., 1989; Rhodes et al., 1993; Tanaka et

Farah, 1993; Young et al., 1987). En effet, cette hypothèse prédit un effet d'inversion que pour les parties arbitraires et non pour les parties naturelles, comme c'est le cas ici.

Une hypothèse différente ('the noise hypothesis') émise par Valentine (1988, 1991) stipule que l'inversion occasionne une augmentation globale du niveau de difficulté lors de l'encodage. À prime abord, cette proposition semble mieux rendre compte des résultats obtenus puisqu'un effet d'inversion était observé à la fois pour les segments naturels et les segments arbitraires. Toutefois, un examen attentif des résultats a révélé que l'effet d'inversion n'était pas identique pour les deux types de segmentation, ce qui est difficilement conciliable avec l'hypothèse de Valentine. Plus précisément, concernant la modulation de l'amplitude de la N200 en fonction de l'orientation des stimuli, les résultats ont montré que l'effet d'inversion pour les parties naturelles était présent qu'aux essais négatifs mais pas aux essais positifs, tandis que l'effet d'inversion observé dans l'hémisphère droit était exclusif aux parties arbitraires. En ce qui a trait à la latence de la N200, un délai pour les parties naturelles inversées comparativement aux parties naturelles à l'endroit a été observé sur l'électrode PO7, alors que pour les parties arbitraires, l'effet d'inversion a été observée sur l'électrode PO8.

Cette asymétrie dans les résultats suggère que les mécanismes sous-jacents à l'effet d'inversion obtenu pour les parties naturelles et pour les parties arbitraires seraient différents. Il faut rappeler que les parties arbitraires comprennent des informations sur les relations spatiales de deuxième-ordre mais qu'elles sont très pauvres en ce qui concerne les informations sur les traits du visage. Dans ce cas, il est possible de conclure que l'inversion perturbe le traitement de la configuration de deuxième-ordre. Par contre, les parties naturelles ne présentent aucune information sur les

relations spatiales de deuxième-ordre puisque seules des informations sur les traits du visage sont disponibles à l'intérieur de ces parties. Ainsi, le mécanisme perceptif mis en jeu dans le traitement des parties naturelles de visage pourrait aussi souffrir de l'inversion, mais pour des raisons autres qu'il reste encore à déterminer.

L'idée proposée ici, selon laquelle des causes distinctes peuvent rendre compte de l'effet d'inversion pour les parties naturelles et pour les parties arbitraires, est compatible avec la conception d'une coexistence de mécanismes perceptifs différents dans la reconnaissance des visages. Notamment, Bentin et collaborateurs (Bentin et al., 1996; Bentin et Deouell, 2000; Carmel et Bentin, 2002; Sagiv et Bentin, 2001) ont suggéré que la N200 enregistrée à l'aide d'électrodes intra-craniennes reflète la mise en oeuvre d'un processeur holistique lors de la perception de visages complets, lequel serait situé dans le gyrus fusiforme moyen. Par ailleurs, la N170 serait modulée par un processeur analytique localisé dans le lobe temporal latéral postérieur et permettant l'encodage des traits constitutifs des visages, plutôt que des relations spatiales qui existent entre eux. Pour sa part, Eimer (2000b) argumente que la N170 est liée aux stades tardifs de l'encodage structural des visages, lesquels sont responsables de l'analyse configurale des visages.

Les données issues du présent travail peuvent réconcilier ces deux propositions en apparence contradictoires, en montrant que l'onde négative observée dans les régions occipito-temporales reflète différents processus qui se superposent. En particulier, le fait que la N200 soit sensible à l'inversion tant des parties arbitraires que des parties naturelles démontre que cette composante n'est pas uniquement dédiée au traitement analytique ou au traitement configural des visages, mais que ces processus sont mis en jeu de

façon parallèle. En conséquence, nos résultats suggèrent que l'encodage de l'information touchant, d'une part, les traits du visage, et d'autre part, la configuration de ceux-ci, soit traitée par des mécanismes fonctionnellement distincts, l'un analytique et l'autre configural.

V. Perspectives expérimentales

Cette recherche permet de dégager des perspectives expérimentales. Elles touchent à la méthode utilisée et aux améliorations pouvant lui être apportées.

A. Méthode utilisée

Il est clair qu'une méthode faisant appel à un paradigme d'appariement constitue une voie de recherche intéressante afin de mieux comprendre les mécanismes perceptifs opérant dans la reconnaissance des visages et leurs corrélats électrophysiologiques. Selon la conception de la psychologie cognitive, ce paradigme peut en effet contribuer à élucider quelles propriétés visuelles affectent le plus l'encodage des visages, la logique sous-jacente étant que la présentation d'un stimulus partageant certaines propriétés visuelles avec un autre stimulus modifie le traitement du deuxième stimulus. Autrement dit, la présentation en séquence d'un premier stimulus solliciterait certaines représentations qui sont partagées par le deuxième stimulus, facilitant ainsi le traitement de ce dernier dont les propriétés sont pré-activées. Cette méthode, à quelques variantes près, a fréquemment été utilisée dans nos laboratoires de l'Université de Montréal et a montré des résultats probants en ce qui a trait à l'étude de la reconnaissance des visages (Arguin et Saumier, 2003).

B. Critiques de la méthode utilisée

Toutefois, une critique peut être formulée à l'égard du présent travail en ce qui concerne l'adaptation du paradigme d'appariement issu de la psychologie cognitive à la technique des PÉCs. En effet, certains pourraient argumenter que l'intervalle inter-stimuli (ISI) choisi de 175 msec est trop court dans le contexte d'une prise de mesures électrophysiologiques. En effet, il importe de maintenir un intervalle de temps suffisant entre la présentation de deux stimuli consécutifs afin d'éviter que des activations reliées au premier stimulus de la séquence se propagent et/ou influencent celles reliées au second stimulus de la séquence. Relativement à cette question, Strüber et Polich (2002) ont récemment trouvé que l'ISI peut exercer une influence sur les effets observés. Idéalement donc, il semble qu'il aurait été préférable d'utiliser un intervalle de temps inter-stimuli plus long dans le présent travail.

Il demeure toutefois que les données obtenues sont apparues valides et fiables, notamment en raison de la morphologie des PÉCs qui était similaire d'une expérience à l'autre. De plus, l'inspection visuelle des données a montré qu'une P100 précédait la déflexion négative observée au niveau des cortex occipito-temporaux, ce qui est typique des recherches portant sur la perception des visages. Enfin, le fait que les conditions expérimentales aient influencé les caractéristiques de l'onde N200 chez l'ensemble des sujets, et ce, dans trois expériences différentes, appuie également la solidité des données obtenues. Autrement dit, les effets obtenus avec un ISI plus long auraient probablement été semblables à ceux rapportés ici, la logique voulant qu'une augmentation de cet intervalle engendre des résultats plus clairs.

Par ailleurs, une deuxième critique peut être adressée à notre étude à propos du choix de la référence lors de l'enregistrement de l'activité cérébrale électrique. La cueillette des données ayant suivi une procédure standard au laboratoire des PÉCs de l'Université de Montréal, l'activité EEG des sujets a été enregistrée au moyen d'électrodes fixées à l'intérieur d'un casque 'electro-cap' dont la référence était bi-auriculaire. Selon certains auteurs (Carmel et Bentin, 2002), de par la proximité de cette référence avec les régions cérébrales d'intérêt, il en résulte que la soustraction du signal obtenu aux oreilles de celui obtenu aux électrodes occipito-temporales puisse réduire l'amplitude de la N170, voire même éliminer ses effets spécifiques. Autrement dit, pour s'assurer d'observer une onde négative d'amplitude maximale dans les régions occipito-temporales, il aurait mieux valu utiliser une référence nez ou bien choisir de faire des analyses référencées des PÉCs, c'est-à-dire des analyses qui tiennent compte de la moyenne des amplitudes à travers toutes les électrodes.

Même si ces recommandations n'ont pas été suivies dans le présent travail, plusieurs indices portent à croire que la N200 rapportée n'a pas souffert outre mesure de la procédure d'enregistrement utilisée. Tout d'abord, un test effectué sur un grand moyennage a permis de constater que les PÉCs obtenus à la suite d'une analyse référencée ne laissaient pas entrevoir une composante négative plus ample que les PÉCs issus d'une analyse sans référence moyenne, telle qu'utilisée dans le présent travail. Ensuite, la N200 rapportée ici présentait des valeurs d'amplitude (moyenne : $-4.55 \mu\text{V}$) plus que suffisantes pour conclure à l'existence d'une composante. En guise d'exemple, Jemel et collaborateurs (1999a) ont rapporté, dans une recherche faisant appel à un paradigme d'appariement similaire au notre, une N170 dont les voltages variaient entre $-2.9 \mu\text{V}$ et $-4.7 \mu\text{V}$ selon les conditions expérimentales. Enfin, la N200 observée dans la présente étude reflétait des

effets robustes de condition à travers les trois expériences analysées. Dans l'ensemble, ces indices suggèrent que, si une diminution d'amplitude de l'onde négative a été enregistrée en raison de l'utilisation d'une référence oreille plutôt que d'une référence nez, celle-ci soit mineure.

C. Applications futures de la méthode

Dans le présent travail, il est clair que les manipulations expérimentales ont modulé les caractéristiques de la composante N200. C'est dire qu'une fois les correctifs décrits ci-haut apportés, la méthode apparaîtrait d'autant plus prometteuse pour l'étude des mécanismes liés à la perception des visages et de leur dynamique électrophysiologique. Si la recherche rapportée a permis d'explorer la mise en œuvre des traitements analytique et configural en fonction de différentes caractéristiques contextuelles, liées soit à la stratégie d'encodage ou à la nature de l'input visuel, certains des facteurs étudiés n'ont toutefois pas été croisés entre eux. C'est pourquoi il serait maintenant intéressant de poursuivre les expériences amorcées afin d'en connaître davantage sur les interactions entre, d'une part, l'orientation des stimuli, et d'autre part, la stratégie perceptive utilisée ainsi que le contexte de présentation des stimuli.

Dans ces conditions, une prédiction plausible est que les sujets se montreraient plus sensibles à l'effet d'inversion lorsque des parties arbitraires de visage seraient encodées selon une stratégie holistique plutôt qu'analytique, ce qui ajouterait du poids à notre démonstration de l'impact de la stratégie perceptive sur l'encodage des parties de visage. En examinant les interactions qui existent entre les facteurs orientation et contexte, il serait par ailleurs possible de vérifier quelles sont les informations configurales les plus touchées par l'inversion, soit celles de premier ou de deuxième ordre. Il

serait également précieux de savoir si le contexte facial, que l'on sait bénéfique au traitement des parties naturelles présentées à l'endroit, influence aussi le traitement des parties naturelles inversées.

Des recherches subséquentes seraient également nécessaires afin de répondre aux questions soulevées par les résultats contradictoires trouvés entre les mesures comportementales et électrophysiologiques dans le cadre de l'expérience d'appariement *partie-visage* de la première étude. Pour ce faire, il faudrait pouvoir clarifier les conditions dans lesquelles certains processus sont mis en jeu lors de l'encodage de parties arbitraires présentées à l'intérieur d'un contexte facial de premier ordre.

Finalement, en plus d'approfondir l'étude des caractéristiques contextuelles présidant à la mise en œuvre des traitements analytique et configural, la méthode utilisée pourrait constituer une voie de recherche fructueuse quant aux questions que posent l'influence des caractéristiques individuelles sur la perception des visages. Il faut rappeler que, dans le présent travail, le niveau de difficulté des tâches d'appariement proposées s'est avéré variable d'un individu à l'autre. Les résultats d'un des sujets ont d'ailleurs dû être éliminés compte tenu d'un taux d'erreur élevé équivalant à des performances au hasard.

Autrement dit, il pourrait y avoir dans la reconnaissance des visages des différences individuelles dans le traitement de l'information. La question posée par cette variabilité individuelle est donc de savoir si les différences naissent de l'utilisation privilégiée chez certains sujets d'un mode de traitement configural plutôt qu'analytique ou vice-versa. À notre connaissance, aucune recherche n'a encore exploré les types de rapports que ces modes de traitement entretiennent entre eux, par exemple, sont-ils de

coexistence, de complémentarité ou s'excluent-ils l'un de l'autre? Ensuite, il serait important de connaître les paramètres (ex: âge, sexe, groupe ethnique etc.) qui déterminent les mécanismes perceptifs utilisés. Dans l'étude de cette problématique portant sur l'impact des caractéristiques individuelles sur la perception des visages, la sensibilité et l'étendue de la technique des PÉCs apparaissent des atouts majeurs.

VI. Conclusions

Malgré les nombreux travaux portant sur la reconnaissance des visages, la question de l'analyse visuelle reste encore passablement débattue, fort vraisemblablement en raison de la complexité de l'objet d'étude. En effet, les observations de la vie quotidienne montrent que la capacité de discriminer des visages est remarquable chez l'humain, d'autant plus que les visages sont toujours changeants quant à leur pose ou à leur expression et qu'ils présentent une importante diversité sur le plan de la structure et de la variabilité intra-individuelle. Dans ce contexte, on s'accorde à considérer qu'il est difficile de commenter l'étape de la perception des visages, en particulier de spécifier les propriétés structurales invariantes qui sont alors appréhendées. Toutefois, dans le but de mieux comprendre la reconnaissance des visages en général, il est crucial que des travaux, à l'instar de la présente recherche, tentent d'apporter des éléments de réponse aux questions relatives à la problématique de la perception des visages.

En résumé, les données obtenues ont tout d'abord montré que le codage visuel des visages inclut à la fois des informations sur les traits du visage et sur la configuration de deuxième-ordre, lesquelles sont toutes deux

sensibles à l'effet d'inversion. Le système visuel semble traiter ces deux types d'information via des routes fonctionnellement distinctes, l'une correspondant à un mode de traitement analytique et l'autre configural. La contribution relative de ces traitements apparaît non seulement tributaire, des caractéristiques physiques des stimuli, mais aussi de la stratégie perceptive adoptée par les sujets au moment de l'encodage. Enfin, les données électrophysiologiques recueillies suggèrent que ces modes de traitement surviennent tôt dans le processus de reconnaissance des visages, soit autour de 200 msec après l'apparition d'un stimulus, et opèrent en parallèle, des constatations qui ne sont pas surprenantes compte tenu de la vitesse de prise d'information de l'opérateur humain. Dans l'ensemble, ces résultats remettent en question deux hypothèses dominantes dans le domaine de la reconnaissance des visages.

Tout d'abord, nos résultats vont à l'encontre de l'hypothèse selon laquelle la reconnaissance des visages s'effectue sur un mode exclusivement holistique (Tanaka et Farah, 1993). Il faut rappeler, ici, que cette conception réfère à un mode de traitement où les visages sont appréhendés comme des 'touts', dont les propriétés sont préservées dans la représentation. En d'autres mots, les informations sur les yeux, le nez et les autres éléments du visage ne constituent pas des unités structurales distinctes. À l'opposé, les résultats du présent travail ont montré qu'une partie de visage extraite de son contexte facial particulier peut être encodée en tant que telle, et ce, qu'il s'agisse d'un segment naturel ou d'un segment arbitraire de visage. L'encodage des visages ne repose donc pas uniquement sur le traitement de la configuration globale d'un visage complet, mais également sur un traitement analytique de ses unités constitutives. Ces constatations, qui sont incompatibles avec l'hypothèse holistique (Tanaka et Farah, 1993), offrent par ailleurs un apport

empirique supplémentaire à la théorie relationnelle qui elle admet la coexistence des traitements analytique et configural dans la reconnaissance des visages (Sergent, 1984; Diamond et Carey, 1986; Rhodes, 1989; Rhodes et al, 1993; Searcy et Bartlett, 1996).

Finalemment, nos résultats forcent aussi une remise en question de la notion selon laquelle les visages seraient 'uniques', c'est-à-dire associés à des mécanismes de traitement tout à fait particuliers et distincts de ceux qui président à la reconnaissance d'autres catégories d'objets. En effet, un des arguments forts en faveur de cette conception repose sur la sensibilité accrue des visages à l'effet d'inversion, lequel est généralement interprété comme un changement dans le mode de traitement habituel des visages. Un visage présenté à l'endroit serait l'occasion de recueillir une impression holistique, processus rendu impossible par la présentation à l'envers. Cette interprétation restrictive du phénomène d'inversion est toutefois difficilement conciliable avec nos résultats, lesquels ont révélé que la manipulation affecte les parties naturelles de visage. De plus, les données, décrites précédemment, à l'effet qu'un traitement de type analytique contribue à l'encodage des parties de visage présentées à l'endroit, suggèrent également que les mécanismes de traitement des visages soient communs à d'autres types d'objets visuels. Autrement dit, le mode de traitement analytique qui opère dans la reconnaissance des visages apparaît analogue à celui qui opère dans la reconnaissance des objets. Enfin, il faut toutefois préciser que les résultats obtenus à cet égard appuient l'hypothèse selon laquelle l'encodage des parties singulières d'un visage est conditionnel à la présence d'une configuration faciale de premier-ordre.

REFERENCES GÉNÉRALES

- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A. et Belger, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral Cortex*, 5, 544-554.
- Arguin, M. et Saumier, D. (soumis 2003). The analytic and configural mechanisms of visual face recognition revealed by priming.
- Bartlett, J. C. et Searcy, J. (1993). Inversion and configuration of faces. *Cognitive Psychology*, 25, 281-316.
- Bentin, S., Allison T., Puce, A., Perez, E. et McCarthy, G. (1996). Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551-565.
- Bentin, S. et Deouell, L. Y. (2000). Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 35-54.
- Benton, A. L. (1980). The neuropsychology of face recognition. *American Psychologist*, 35(2), 23-33.
- Benton, A. L., Hamsher, K. deS., Varney, N. R. et Spreen, O. (1983). *Contributions to neuropsychological assessment* (pp. 146). New-York: Oxford University Press.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image interpretation. *Psychological Review*, 94, 115-147.

- Biederman, I. et Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth rotated objects: evidence and conditions for three-dimensional viewpoint invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1161-1182.
- Brigham, J. C. (1986). The influence of race on face recognition. In D. Ellis, M. A. Jeeves, F. Newcombe et A. Young (Éds.), *Aspects of Face Processing* (pp. 170-177). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Bruce, V. (1988). *Recognizing faces*. Hove and London: Erlbaum.
- Bruce, V., Doyle, T., Dench, N. et Burton, M. (1991). Remembering facial configurations. *Cognition*, 38, 109-144.
- Bruce, V. et Green, P. (1993). *La perception visuelle: physiologie, psychologie et écologie*. Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.
- Bruce, V. et Young, A. (1986). Understanding face recognition. *British Journal of Psychology*, 77, 305-327.
- Bruyer, R. (1983). *Le visage et l'expression faciale: approche neuropsychologique*. Bruxelles : Pierre Mardaga éditeur.
- Bruyer, R. (1990). *La reconnaissance des visages*. Neuchâtel, Paris: Delachaux et Niestlé.
- Bruyer, R. et Coget, M. C. (1987). Features of laterally displayed faces: saliency or top-down processing? *Acta Psychologica*, 66(2), 103-114.

- Cabeza, R. et Kato, T. (2000). Features are also important: contributions of featural and configural processing to face recognition. *Psychological Science*, 11, 429-433.
- Carmel, D. et Bentin, S. (2002). Domain specificity vs. expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83, 1-29.
- Chaby, L., Jemel, B., George, N., Renault, B. et Fiori, N. (2001). An ERP study of famous face incongruity detection in middle age. *Brain and Cognition*, 45, 357-377.
- Damasio, A. R. (1985). Prosopagnosia. *Trends in Neurosciences*, 8, 132-135.
- Damasio, A. R. (1990). Category-related recognition defects as a clue to the neural substrates of knowledge. *Trends in Neurosciences*, 13(3), 95-98.
- Damasio, A. R. et Damasio, H. (1982). Prosopagnosia: anatomic basis and behavioral mechanism. *Neurology*, 32(4), 331-341.
- Damasio, A. R., Damasio, H., Tranel, D. et Brandt, J. P. (1990). Neural regionalization of knowledge access: Preliminary evidence. *Symposia on Quantitative Biology*, LV, 1039-1047.
- DeRenzi, E. (1986a). Prosopagnosia in the patients with Ct scan evidence of damage confined to the right hemisphere. *Neuropsychologia*, 24(3), 385-389.

- DeRenzi, E. (1986b). Current issues in prosopagnosia. In H. D. Ellis, M. A. Jeeves, F. Newcombe et A. W. Young (Éds.), *Aspects of face processing*, (pp. 243-252). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- DeRenzi, E., Bonacini, M. G. et Faglioni, P. (1989). Right posterior brain-damaged patients are poor at assessing the age of a face. *Neuropsychologia*, 27, 385-389.
- DeRenzi, E., Perani, D., Cartesimo, G. A., Silveri, M. C. et Fazio, F. (1994). Prosopagnosia can be associated with damage confined to the right hemisphere - An MRI and PET study and a review of the literature. *Neuropsychologia*, 32, 213-221.
- Diamond, R. et Carey, S. (1986). Why faces are and are not special: An effect of expertise. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 107-117.
- Eimer, M. (1998). Does the face-specific N170 component reflect the activity of a specialized eye processor? *NeuroReport*, 9, 2945-2948.
- Eimer, M. (2000a). Event-related brain potentials distinguish processing stages involved in face perception and recognition. *Clinical Neurophysiology*, 111, 694-705.
- Eimer, M. (2000b). The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *NeuroReport*, 11(10), 2319-2324.

- Eimer, M. (2000c). Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces. *Cognitive Brain Research*, 10(1-2), 145-158.
- Eimer, M. et McCarthy, R. A. (1999). Prosopagnosia and structural encoding of faces: Evidence from event-related potentials. *NeuroReport*, 10, 255-259.
- Farah, M. J. (1990). *Visual agnosia: Disorders of objects recognition and what they tell us about normal vision* (pp. 184). MA: MIT Press.
- Farah, M. J. (1991). Patterns of co-occurrence among the associative agnosias: Implications for visual object representation. *Cognitive Neuropsychology*, 8(1), 1-19.
- Farah, M. J. (1992). Is an object an object? Cognitive and neuropsychological investigations of domain specificity in visual object recognition. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 164-169.
- Farah, M. J. (1996). Is face recognition 'special'? Evidence from neuropsychology. *Behavioural Brain Research*, 76, 181-189.
- Farah, M. J., Drain, H. M. et Tanaka, J. W. (1995). What causes the face inversion effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 628-634.
- Farah, M. J., Levinson, K. L. et Klein, K. L. (1992). Face perception and within-category discrimination in prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 33(6), 661-674.

- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, H. M. et Tanaka, J. R. (1993). The inverted face inversion effect in prosopagnosia: Evidence for mandatory, face-specific perceptual mechanisms. *Vision research*, 35(14), 2089-2093.
- Gauthier, I. (1997). Résumé des intérêts de recherche. (<http://www.cog.brown.edu/-isabel>).
- Gauthier, I. et Tarr, M. J. (1997). Becoming a 'greeble' expert: Exploring mechanisms for face recognition. *Vision research*, 37(12), 1673-1682.
- George, N., Evans, J., Fiori, N., Davidoff, J. et Renault, B. (1996). Brain events related to normal and moderately scrambled faces. *Cognitive Brain Research*, 4, 65-76.
- Haig, N. D. (1984). The effect of feature displacement on face recognition. *Perception*, 13(5), 505-512.
- Haig, N. D. (1986). Investigating face recognition with an image processing computer. In H. D. Ellis, M. A. Jeeves, F. Newcombe et A. Young (Éds.), *Aspects of Face Processing* (pp. 410-417). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Haxby, J. V., Grady, C. L., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mishkin, M., Carson, R. E., Herscovitch, P., Schapiro, M. B. et Rapoport, S. I. (1991). Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 88, 1621-1625.

- Haxby, J. V., Ungerleider, L. G., Horwitz, B., Maisog, J. M., Rapoport, S. I. et Grady, C. L. (1996). Face encoding and recognition in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 93, 922-927.
- Hillger, L. A. et Koenig, O. (1991). Separable mechanisms in face processing: evidence from hemispheric specialization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(1), 42-58.
- Hoffman, J. (1996). *Visual object recognition, Handbook of Perception and Action* (Vol. volume 1), London, Ontario: Academic Press.
- Homa, D., Haver, B. et Schwartz, T. (1976). Perceptibility of schematic face stimuli: evidence for a perceptual Gestalt. *Memory and Cognition*, 4, 176-185.
- Itier, R. J. et Taylor, M. J. (2001). Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs. *NeuroImage*, 15, 353-372.
- Jankowiak, J. et ALbert, M. L. (1994). Lesion localization in visual agnosia. In A. Kertesz (Éd.), *Localization and Neuroimaging in Neuropsychology*, (pp. 429-471). San Diego: Academic Press.
- Jemel, B., George N., Chaby L., Fiori, N. et Renault, B. (1999a). Differential processing of part-to-whole and part-to-part face priming: an ERP study. *NeuroReport*, 10(5), 1069-1075.

- Jemel, B., George N., Olivares, E., Fiori, N. et Renault, B. (1999b). Event-related potentials to structural familiar face incongruity processing. *Psychophysiology*, 36, 437-452.
- Kanwisher, N., McDermott, J. et 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.
- Leder, H. et Bruce, V. (2000). When the inverted faces are recognized: the role of configural information in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 513-536.
- Macho, S. et Leder, H. (1998). Your eyes only ? A test of interactive influence in the processing of facial features. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1486-1500.
- Marr, D. (1982). *Vision*. New-York: Freeman.
- Marr, D. et Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London (series B)*, 200, 269-294.
- Marsoleck, C. J. (1995). Abstract visual-form representations in the left cerebral hemisphere. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(2), 375-386.
- McCarthy, R. A. & Warrington, E. K. (1986). Visual associative agnosia: a clinical-anatomical study of a single case. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 49, 1233-1240.

- McNeil, J., et Warrington, E. K. (1993). Prosopagnosia: A face specific disorder. *Quarterly journal of Experimental Psychology*, 46(A), 1-10.
- Mermelstein, R., Banks, W. et Prinzmetal, W. (1979). Figural goodness effects in perception and memory. *Perception and Psychophysics*, 26, 472-480.
- Moscovitch, M., Winocur, G. et Behrmann, M. (1997). What is special about face recognition? Nineteen experiments on a person with visual object agnosia and dyslexia but normal face recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 555-604.
- Murray, J. E., Young, E. et Rhodes, G. (2000). Revisiting the perception of upside-down faces. *Psychological Science*, 11(6), 492-496.
- Nachson, I. et Schechory, M. (2002). Effect of inversion on the recognition of external and internal facial features. *Acta Psychologica*, 109, 227-238.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Palmer, S. E., Rosch, E. et Chase, P. (1981). Canonical perspective and the perception of objects. In J. Long et A. Baddeley (Éds), *Attention and Performance IX* (pp. 135-152), Hillsdale, N.J.: Erlbaum associates.

- Parkin, A. J. (1996) *Exploration in cognitive neuropsychology*. U.S.A.: Blackwell Publishers.
- Parkin, A. J. et Williamson, P. (1986). Patterns of cerebral dominance in wholistic and featural stages of facial processing. In H. D. Ellis, M. A. Jeeves, F. Newcombe et A. Young (Éds.), *Aspects of Face Processing* (pp. 223-227), Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- Puce, A., Allison, T. A., Gore, J. C. et McCarthy, G. (1995). Face-sensitive regions in human extrastriate cortex studied by functional MRI. *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1192-1199.
- Rakover, S. et Teucher, B. (1997). Facial inversion effects: parts and whole relationship. *Perception and Psychophysics*, 59, 752-761.
- Rhodes, G. (1988). Looking at faces: first-order and second-order features as determinants of facial appearance. *Perception*, 17, 43-63.
- Rhodes, G., Brake, S. et Atkinson, A. P. (1993). What's lost in inverted faces ? *Cognition*, 47, 25-57.
- Rhodes, G., Tan, S., Brake, S. et Taylor, K. (1989). Race sensitivity in face recognition: an effect on different encoding processes. In A. F. Bennett et K. M. McConkey (Éds.), *Cognition in individual and social contexts* (pp.83-90). Amsterdam: Elsevier.
- Rock, I. et DiVita, J. (1987). A case of viewer-centered object perception. *Cognitive Psychology*, 19, 280-293.

- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M. et Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Rossion, B., Delvenne, J.-F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Crommelinck, M. et Guérit, J.-M. (1999). Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study. *Biological Psychology*, 50, 173-189.
- Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M. J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte, S. et 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), 69-74.
- Sagiv, N. et Bentin, S. (2001). Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(7), 937-951.
- Schweinberger, S. R. et Sommer, W. (1991). Contributions of stimulus encoding and memory search to right hemisphere superiority in face recognition: Behavioural and electrophysiological evidence. *Neuropsychologia*, 29(5), 389-413.
- Searcy, J. et Bartlett, J. C. (1996). Inversion and the processing of component and spatial-relational information in faces. *Journal of*

Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 22, 904-915.

Seek, M., Schomer, D., Mainwaring, N., Ives, J., Dubuisson, D., Blume, H., Cosgrove, R., Ransil, B. J. et Mesulam, M.-M. (1995). Selectively distributed processing of visual object recognition in the temporal and frontal lobes in human brain. *Annals of Neurology*, 37, 538-545.

Sergent, J. (1984). An investigation into component and configural processes underlying face perception. *British Journal of Psychology*, 75, 221-242.

Sergent, J. (1994). Cognitive and neural structure in face processing. In A. Kertesz (Éd.), *Localization and Neuroimaging in Neuropsychology*, (pp. 473-494). San Diego: Academic Press.

Sergent, J. et Corballis, M. C. (1989). Categorization of disoriented faces in the cerebral hemispheres of normal and commissurotomized subjects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 701-710.

Sergent, J., Ohta, S. et Macdonald, B. (1992). Functional neuroanatomy of face and object processing. *Brain*, 115, 15-36.

Sergent, J. et Signoret, J.-L. (1992). Functional and anatomical decomposition of face processing: evidence from prosopagnosia and PET study of normal subjects. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 335, 55-62.

- St. John, R. C. (1981). Lateral asymmetry in face. *Canadian Journal of Psychology*, 35(3), 213-223.
- Strüber, D. et Polich, J. (2002). P300 and slow wave from oddball and single-stimulus visual tasks: inter-stimulus interval effects. *International Journal of Psychophysiology*, 45, 187-196.
- Suzuki, S. et Cavanagh, P. (1995). Facial organization blocks access to low-level features: an object inferiority effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 901-913.
- Tanaka, J. W. et Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A(2), 225-245.
- Tanaka, J. W. et Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: Is the basic level in the eye of the beholder ? *Cognitive Psychology*, 23, 457-482.
- Tarr, M. J. et Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-282.
- Valentine, T. (1988). Upside-down faces: A review of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, 79, 471-491.
- Valentine, T. (1991). A unified account of the effect of inversion upon face recognition. *British Journal of Psychology*, 79, 471-491.

- Yin, R. K. (1969). Looking at upside-down faces. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 81, 141-145.
- Yin, R. K. (1970). Face recognition by brain-injured patients: A dissociable ability ? *Neuropsychologia*, 8, 395-402.
- Young, A. W., Hellawell, D. et Hay, D. C.(1987). Configural information in face perception. *Perception*, 16(6), 747-759.
- Young, A. W. et Bruce, V. (1991). Perceptual categories and the computation of 'grandmother'. *European Journal of Cognitive Psychology*, 3(1), 5-49.

