

Université de Montréal

Traitement cérébral de sons émotionnels: une perspective électrophysiologique

par

RAFAËL DAIGNEAULT

Département de Psychologie

Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et sciences
en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en psychologie

Juin 2009

© Rafaël Daigneault, 2009

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé:

Traitement cérébral de sons émotionnels: une perspective électrophysiologique

présenté par

RAFAËL DAIGNEAULT

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Pierre Jolicoeur

Président-rapporteur

Mario Beauregard

Directeur de recherche

Franco Lepore

Co-directeur

Julien Doyon

Membre du jury

Résumé

Des sons émotionnels furent présentés comme stimuli cibles lors d'une tâche auditive de type *oddball*. Les effets acoustiques furent départagés des effets émotionnels à l'aide d'une tâche contrôle similaire utilisant une version brouillée des sons originaux et dépourvue de propriétés émotionnelles. Les résultats du *oddball* émotionnel qui ont différencié du *oddball* contrôle ont montré des effets de valence inversés dans les composantes électrophysiologiques P2 et P300; la valence négative ayant une amplitude plus grande dans la fenêtre de 130-270ms mais moins intense autour de 290-460ms, lorsque comparée aux valences positives et neutres. Les résultats P2 peuvent être interprétés comme une mobilisation attentionnelle précoce privilégiant les stimuli potentiellement dangereux, tandis que les résultats de la P300 pourraient indiquer une évaluation moins détaillée de ces stimuli.

Mot-clés: émotions, sons, potentiels évoqués, EEG, biais de négativité, *oddball*, P300, composante positive tardive

Abstract

In an auditory oddball task, negatively (disgust) and positively (laughter) valenced sounds were presented as rare targets. To disentangle acoustic effects from emotional ones, a control oddball was conceived with a non-emotional scrambled version of the original target sounds as rare targets. Results from the emotional oddball that differed from the control oddball showed an inverse effect of valence in the P2 and P300 range, with negative valence having higher mean amplitude values in the 130-270ms range, but lower values in the 290-460 range when compared to ERPs elicited by positive and neutral valence. The P2 results are interpreted as early mobilization of attentional resources towards potentially threatening stimuli, while the P300 results could reflect less detailed evaluation of such stimuli.

Keywords: emotion, sounds, event-related potentials, EEG, negativity bias, oddball, P300, late positive component

TABLE DES MATIÈRES

PAGE TITRE.....	i
JURY DU MÉMOIRE.....	ii
RÉSUMÉ EN FRANCAIS.....	iii
RÉSUMÉ EN ANGLAIS	iv
TABLES DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS	x
DÉDICACE.....	xi
REMERCIEMENTS	xii
AVANT-PROPOS	xiii
1. CONTEXTE THÉORIQUE	
1.1 ÉMOTIONS.....	1
1.1.1 <i>Historique des théories des émotions.....</i>	1
1.1.2 <i>Approche modernes</i>	3
1.1.2.1 <i>Approche catégorielle</i>	4
1.1.2.2 <i>Approche dimensionnelle</i>	4
1.1.3 <i>Neurobiologie des émotions</i>	5
1.1.3.1 <i>Traitement général</i>	6
1.1.3.2 <i>Traitement spécifique</i>	7
1.2 TRAITEMENT AUDITIF	8

1.2.1 Propriétés physiques d'un son	8
1.2.2 Neuroanatomie du système auditif	9
1.2.2.1 Système auditif périphérique	9
1.2.2.2 Système auditif central	9
1.2.3 Neuroanatomie fonctionnelle du système auditif	10
1.2.3.1 Psychoacoustique élémentaire	10
1.2.3.2 Reconnaissance vocale	10
1.2.3.3 Fonctions linguistiques et paralinguistiques	11
1.3 ÉLECTROPHYSIOLOGIE DES ÉMOTIONS	12
1.3.1 EEG: introduction	12
1.3.2 Études EEG des émotions : études visuelles	13
1.3.2.1. Latences courtes	14
1.3.2.1. Latences médianes	14
1.3.2.1. Latences longues	15
1.3.3 Études EEG des émotions: études auditives	16
2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES	18
3. TRAITEMENT CÉRÉBRAL DE SONS ÉMOTIONNELS: UNE PERSPECTIVE ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE	21
ARTICLE: "BRAIN PROCESSING OF EMOTIONAL AND SCRAMBLED SOUNDS: ERP FINDINGS"	21
4. DISCUSSION GÉNÉRALE	38
5. CONCLUSION ET IMPLICATIONS	46

6. RÉFÉRENCES	47
ANNEXE A – FIGURES.....	63
ANNEXE B – TABLEAUX	73

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	63
Figure 2.1	64
Figure 4.1	65
Figure 4.2	66
Figure 4.3	67
Figure 4.4	68
Figure 4.5a	69
Figure 4.5b	70
Figure 4.5c.....	71
Figure 4.5d.....	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	73
Tableau 4.1	74
Tableau 4.2	75
Tableau 4.3a.....	76
Tableau 4.3b	78
Tableau 4.3c.....	80

Liste des sigles et des abréviations

ERP = Event-related potential

f_0 = Fréquence fondamentale

Hz = Hertz

OPL = Onde positive lente

PÉ = Potentiel évoqué

s = Secondes

SNP = Système nerveux périphérique

À tous ceux qui
m'ont soutenu,
de près et de loin,
À ma grand-mère,
Suzanne,
À ma mère, Marie-
Blanche
À Monique, qui a
rendu tout possible.

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer ma gratitude à mes directeurs de recherche, les docteurs Mario Beauregard et Franco Lepore, pour leur soutien tout au long de ces deux années de maîtrise. Je leur suis particulièrement reconnaissant de la latitude et de la confiance qu'ils m'ont accordé dans la conduite de mes travaux, ainsi que des ressources qu'ils ont mis à ma disposition. Ce projet n'aurait jamais été possible sans leur appui.

Je désire également exprimer ma profonde reconnaissance au personnel de recherche du Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC) et, particulièrement, Manon Robert qui m'a conseillé et encadré tout au long du cheminement de ce projet de maîtrise. Son passion contagieuse et son dévouement ne seront jamais oubliés. J'aimerais remercier également toutes les personnes qui m'ont gracieusement partagé leur expertise, notamment, pour la compréhension des analyses EEG, André Achim, Christine Lefebvre et Manon Robert. Pour m'avoir éclairé sur les notions complexes de la psychoacoustique, je tiens à remercier particulièrement Pascal Belin, Marc Schoenwiesner et Bernard Bouchard.

Je tiens à remercier également, pour leur soutien moral, mes collègues de laboratoires et mes collègues du CERNEC, qui m'ont beaucoup aidé lors de moments cruciaux de mon cheminement académique.

AVANT-PROPOS

Percevoir et reconnaître les signaux émotionnels qui nous entourent est d'une importance capitale dans la vie en général, et dans le fonctionnement social en particulier (Russell et al., 2003; Scherer, 1986, 2003). Pouvoir correctement identifier les événements potentiellement bénéfiques ou nocifs dans son environnement immédiat permet de répondre adéquatement aux situations.

Bien que l'importance de la reconnaissance émotionnelle soit indéniable, ses processus sous-jacents sont encore relativement méconnus, particulièrement du point de vue du système auditif. Dans ce domaine, la majorité des connaissances accumulées l'ont été à partir de protocoles expérimentaux utilisant des stimuli visuels (Olofsson et al, 2008). Ce fait pourrait être attribuable à l'intérêt accru dû à la primauté du système visuel dans le cerveau, ainsi qu'à divers problèmes méthodologiques rendant laborieux l'étude des processus affectifs sous l'angle des autres systèmes sensoriels. Ce dernier point s'applique particulièrement bien au système auditif (voir Aeschlimann, 2008). Plus particulièrement, les études utilisant des sons émotionnels ont pour défi de départager les propriétés émotionnelles des caractéristiques acoustiques de ces stimuli. L'utilisation de sons pour étudier les processus affectifs étant relativement récente, la plupart des études n'ont pas à ce jour contrôlé systématiquement l'effet des propriétés acoustiques sur leurs données. Par conséquent, ce projet a été élaboré avec le souci de départager l'effet des propriétés

acoustiques et émotionnels sur nos résultats.

En guise d'introduction à la description du projet et des résultats contenus dans l'article soumis à la revue spécialisée *Neuroreport*, les chapitres qui précèdent cet article fourniront des connaissances de base sur les émotions (section 1.1), le traitement auditif (section 1.2) et l'électrophysiologie des émotions (section 1.3)

1. CONTEXTE THÉORIQUE

1.1 ÉMOTIONS

1.1.1 *Historique des théories des émotions*

Darwin, en 1872, définissait une émotion comme étant un mécanisme favorisant la survie de l'espèce humaine en facilitant les comportements l'amenant à s'éloigner du danger ou à satisfaire ses besoins essentiels. Dans ce cadre, les émotions auraient été sélectionnées au cours de l'évolution pour produire un ensemble de réponses physiologiques associées à des comportements qui auraient favorisés la survie des espèces. Cette conception d'approche-évitement serait commune à tout le règne animal, et ce modèle est encore de mise dans la littérature biologique et éthologique (Mendoza et al., 2001).

À une époque contemporaine à Darwin, du côté de la psychologie, William James émettait sa propre théorie des émotions. Cette dernière postulait qu'un état émotionnel subjectif se produisait en réponse à des modifications physiologiques survenues dans le corps, à l'inverse du sens commun qui avançait que l'émotion précédait la réponse physiologique suite à un événement (James, 1884). Cette théorie fut remise en cause au début du XX^e siècle par les travaux de deux théoriciens, Walter Cannon et Phillip Bard (Bard, 1934, Cannon, 1927). En effet, Cannon constata que les animaux et les humains ayant perdu toute sensation corporelle à cause de dommages à la moelle épinière conservaient néanmoins des expressions émotionnelles faciales. De plus, ses patients humains rapportaient toujours ressentir des émotions, sans diminution de l'intensité de l'affect. Selon la théorie de William James, une perte sensorielle quelconque aurait dû contribuer à une diminution, voire une perte de l'expérience affective. Au delà de la

réfutation de la théorie de James, Cannon croyait que les structures sous-corticales étaient cruciales pour le fonctionnement émotionnel. Celles-ci, par l'entremise du thalamus, informeraient simultanément les structures néocorticales et le système nerveux périphérique (SNP). Il attribuait au néocortex l'expérience affective consciente, et au SNP les réponses physiologiques associées (Ledoux et al., 1986).

Plus tard, Papez (1937) élargit ce réseau de structures cérébrales associées au traitement émotionnel, dans un modèle fonctionnel hiérarchisé qui fut par après dénommé le circuit de Papez. Ce réseau reprit les structures identifiées auparavant par Cannon, Bard et Broca. Papez suggéra l'existence d'un système dédié aux émotions sur la paroi médiane du cerveau, qui relie le cortex à l'hypothalamus. L'hypothalamus contrôlerait l'expression des émotions, et le cortex cingulaire serait impliqué dans l'expérience émotionnelle subjective. Le cortex cingulaire influencerait l'hypothalamus par l'entremise du fornix et de l'hippocampe, alors que l'hypothalamus agirait sur le cortex cingulaire par l'entremise du thalamus antérieur. Ce réseau de structures, par sa similarité avec les éléments décrits par Broca vers la fin du XIXe siècle, a été dénommé système limbique. Plusieurs structures ont été retranchées et ajoutées à ce système, au fil des découvertes.

En 1952, MacLean proposa que le système limbique faisait partie d'une des trois parties fonctionnelles primaires du cerveau. Selon la théorie, ces trois parties seraient le cerveau reptilien, paléomammalien et néomammalien, qui se seraient développées dans cet ordre durant l'évolution de l'espèce. Le cerveau reptilien serait responsable des comportements stéréotypés et réflexes, tandis que le cerveau paléomammalien (où se situe le système limbique) permettrait les comportements sociaux et les émotions qui viennent avec. La troisième partie, le cerveau néomammalien, aurait donné la faculté aux animaux supérieurs et, en particulier à l'homme, la faculté de réfléchir et de raisonner grâce au

néocortex. Cette notion que les processus cognitifs et émotifs seraient des entités psychologiques distinctes peut être retracée à Descartes (Damasio, 1994). MacLean fut un des premiers à organiser cette séparation de ces deux fonctions psychologiques en un modèle hiérarchique postulant des substrats neurologiques différents (1949, 1952). Toutefois, cette distinction s'est avérée inexacte, avec l'accumulation de preuves que plusieurs régions néocorticales sont en fait cruciales pour le fonctionnement affectif (Bechara et al., 2000, Bush et al., 2000, Phillips et al., 1997, 1998). Voyons maintenant les approches théoriques qui sont de mise de nos jours dans la recherche sur les émotions.

1.1.2. Approches modernes

Plusieurs classifications des variables émotionnelles persistent à ce jour. Elles s'inséreraient dans un cadre conceptuel impliquant six composantes (Ellsworth et al, 2003, Niedenthal et al., 2006, Scherer, 2005) : (a) l'évaluation de situations, (b) les changements psychophysiologiques (sensations corporelles), (c) les expressions motrices (visage, voix, gestes), (d) la préparation à l'action, (e) les expériences subjectives (sentiments) et (f) la régulation émotionnelle.

Ce modèle décrit de manière holistique tout processus cognitif, sensoriel, moteur, physiologique et affectif pouvant être modulé par une émotion. Voyons donc maintenant quelle seraient les variables émotionnelles spécifiques qui peuvent moduler les composantes mentionnées ci-dessus. Ces caractéristiques peuvent être considérées selon deux systèmes de classifications : l'approche catégorielle et l'approche dimensionnelle des émotions.

1.1.2.1 Approche catégorielle

Cette approche postule l'existence de catégories d'émotions primaires propres à l'espèce humaine, dont la plus connue est celle des six émotions primaires d'Ekman (1982). Ces émotions seraient la peur, la colère, le dégoût, la tristesse, la surprise et la joie. Le fondement biologique de ces émotions est démontré par le fait que leur expression faciale est identique dans toutes les cultures (Ekman, 1992, Izard, 1971). Plusieurs recherches en neurosciences tentent donc de découvrir les structures cérébrales qui seraient propres à chaque émotion primaire.

1.1.2.2 Approche dimensionnelle

Toutefois, une grande partie de la recherche dans le domaine des émotions utilise le modèle bidimensionnel des émotions (Yik et al, 1999). Ce modèle postule que les processus émotionnels sont composés de deux variables fondamentales; soit la valence et l'intensité émotionnelle (Russell et al., 1980; Lang et al., 1999; Anderson et al., 2003).

La valence est considérée comme étant l'évaluation positive, négative ou neutre d'un événement. Cette variable traduirait l'aspect évolutif d'approche et évitement, observée dans tout le monde animal (Mendoza et al., 2001). L'intensité émotionnelle, quant à elle, indique le degré d'activation psychologique et physiologique vécue en relation à un événement. Ainsi, deux événements à valence positive ou négative peuvent se distinguer par leur intensité émotionnelle. Par exemple, la mélancolie serait un exemple d'une émotion à valence moins intense que la tristesse ou la dépression. Ces deux variables sont typiquement mesurées sur une échelle continue, la plus connue étant la *Self-Assessment Manikin* (Lang et al., 1980, Lang et al., 1994). La figure 1.1 montre une échelle de ce type utilisée pour mesurer la valence et l'intensité émotionnelle.

Ces deux caractéristiques émotionnelles ne sont toutefois pas complètement indépendantes l'une de l'autre et leur relation s'exprime graphiquement par une sorte de boomerang (Aeschlimann et al., 2008, voir aussi figure 1.1). Autrement dit, les scores extrêmes aux deux pôles de valence sont généralement cotés comme étant très intenses tandis que les scores se rapprochant de la valence neutre sont généralement cotés de manière moins intense. Cette règle n'est toutefois pas absolue car de manière générale, les émotions à valence négative ont tendance à être cotées plus intenses que les émotions à valence positive (Fischler et al, 2006).

Typiquement, les études ne font varier qu'une seule des deux variables affectives afin d'émettre des inférences sur la variable émotionnelle cible. À cet égard, il convient d'ajouter que certains auteurs suggèrent l'ajout d'autres variables au modèle bidimensionnel, comme par exemple l'imprévisibilité et le sentiment de contrôle ou de dominance (Fontaine et al., 2007). Néanmoins, même les tenants d'une approche multidimensionnelle considèrent la valence et l'intensité comme des caractéristiques fondamentales du fonctionnement émotionnel sur le plan psychologique, et ces dernières restent les variables les plus utilisées dans les recherches sur les processus affectifs (Yik et al., 1999). Les autres variables reliées aux émotions peuvent être prises en compte ou non, selon la composante émotionnelle à l'étude ou le protocole utilisé (Fontaine et al., 2007).

1.1.3 Neurobiologie des émotions

À l'instar des modèles catégoriels et dimensionnels des émotions, une question qui hante le monde des neurosciences affectives est celle de la généralité ou de la spécificité des réseaux émotionnels. Le défi serait de savoir si certaines structures seraient impliquées dans tout traitement émotionnel (traitement général) ou si chaque émotion ou fonction

émotionnelle posséderait son réseau propre (traitement spécifique) (voir Murphy et al., 2003 pour une discussion). Les deux sections suivantes fourniront un bref survol de l'état des connaissances des neurosciences affectives sous l'angle de chaque approche.

1.1.3.1 Traitement général

Plusieurs structures précises, affectées de manière générale par la valence ou l'intensité émotionnelle, ont été identifiées au cours des dernières années.

Par exemple, le traitement de la valence a pu être associé au cortex orbito-frontal (Lewis et al, 2007), préfrontal ventral médian et dorsolatéral, (Grimm et al, 2006) et à l'amygdale (Phan et al, 2004). Certains modèles théoriques, basés principalement sur des résultats d'études lésionnelles (Heilman et al., 1975, 1984, Ross et al., 1979, Ross, 1981, Tompkins et al., 1985, Tucker et al., 1977), ont également postulé une spécialisation hémisphérique pour le traitement de chaque valence (Davidson, 1984). Selon ces modèles, l'hémisphère droit serait spécialisé pour le traitement de la valence négative, et le gauche pour la valence positive.

L'intensité émotionnelle a quant à elle pu être associée à l'amygdale (Lewis et al, 2007, Gainotti et al., 1993, Williams et al., 2001), au cortex préfrontal ventral latéral et au cortex préfrontal médian dorsal (Grimm et al 2006). De plus, l'intensité émotionnelle semblerait hausser le niveau général d'activation cérébrale, et ce, particulièrement dans les aires sensorielles primaires et secondaires associées à la modalité de stimulation (Murphy et al., 2003, Lang et al., 1998, pour les effets sur les aires visuelles, Ethofer et al., 2006b sur les aires auditives secondaires). Certains théoriciens ont noté une prééminence de l'hémisphère droit pour le traitement d'émotions particulièrement intenses de valence négative (Adolphs et al., 1999), mais cette conception a été contestée par une revue de

littérature plus récente (Murphy et al., 2003).

Le cortex antérieur cingulaire , le pôle du cortex temporal, l'insula, l'hypothalamus, le noyau accumbens, ainsi que les noyaux gris centraux sont également des structures qui ont été associées au fonctionnement émotionnel en général (voir Barbas, 2007, Phan et al, 2004, Heimer et al., 2006, Murphy et al., 2003). Plusieurs études ont également noté des activations du cervelet lors de tâches impliquant le visionnement d'images émotionnelles (Beauregard et al., 2001, Davis et al., 2001, Lane et al., 1997, Paradiso et al., 1999).

1.1.3.2 Traitement spécifique

Plusieurs études prennent pour objectif d'identifier les structures associées à une émotion distincte, plutôt qu'à des fonctions psychologiques générales.

Les aires les plus fortement associées à une émotion primaire spécifique sont l'amygdale pour la peur (Phelps , 2006, Adolphs, 2002), l'insula, les ganglions de la base pour le dégoût (Adolphs, 2002, Murphy etl al., 2003), les noyaux gris centraux et le septum pour le plaisir (Simonov et al., 1986, Phan et al., 2002) et le sulcus temporal supérieur droit (Grandjean et al., 2005), le cortex préfrontal droit, cingulaire antérieur (Adolphs 2002), orbito-frontal (Adolphs et al., 2002 Murphy et al., 2003) et les ganglions de la base (Calder et al., 2001, Lawrence et al., 2002) pour la colère. La neurobiologie de la surprise, par contre, reste encore relativement méconnue (Murphy et al., 2003).

Voyons maintenant comment fonctionne le système auditif.

1.2 TRAITEMENT AUDITIF

1.2.1 Propriétés physiques d'un son

Une onde sonore est caractérisée par sa fréquence, son amplitude et sa durée (Firszt et al, 2006, Boatman et al., 2006). Ces caractéristiques sont captées et traitées par le système auditif pour reconstruire notre environnement sonore.

La fréquence est considérée comme le ratio de cycles par secondes d'une onde sonore et se mesure en Hertz (Hz). Perceptuellement, l'information fréquentielle est liée à la hauteur tonale d'un son. L'amplitude d'une onde sonore, quant à elle, est la grandeur de l'onde en décibels (dB) et a un impact direct sur l'intensité perçue d'un son. La phase temporelle d'un son est tout simplement le comportement de la fréquence et de l'amplitude dans le temps, et est mesurée en millisecondes (ms) ou en secondes (s) (Boatman, 2006).

Chacune de ces caractéristiques acoustiques peut être simple ou complexe et peut interagir avec les deux autres afin de donner des variables perceptives plus ou moins complexes. Les tons purs sont un exemple de stimuli sonores simples, car ils ne sont constitués que d'une seule composante fréquentielle qui ne varie pas dans le temps ni dans son amplitude (Boatman et al., 2006). Ce type de son est toutefois peu représentatif de notre réalité perceptive car les sons environnementaux et les sons vocaux que nous entendons quotidiennement sont beaucoup plus complexes. Les sons vocaux, par exemple, contiennent plusieurs composantes fréquentielles différentes qui varient dans le temps et dans leur intensité.

Voyons maintenant comment le système auditif capte et traite les caractéristiques acoustiques de base afin de former ces percepts auditifs complexes, tels que la reconnaissance d'une voix humaine ou la reconnaissance d'une émotion.

1.2.2 Neuroanatomie du système auditif¹

Le système auditif peut être subdivisé en système périphérique et central. Il est composé de faisceaux ascendants et descendants qui relient l'oreille externe au cortex cérébral (Boatman et al., 2006).

1.2.2.1 Système auditif périphérique

Le système périphérique auditif comprend l'oreille externe, médiane et interne. L'oreille externe capte les ondes sonores par le pavillon et le canal auditif, et les amène à se projeter sur la membrane tympanique. Cette dernière transmet la vibration à trois petits osselets, qui enclenchent la transmission mécanique du message de l'oreille médiane à l'oreille interne. Ces os exercent une pression caractéristique à l'onde sonore sur la fenêtre ovale, qui induira le mouvement du liquide lymphatique, qui à son tour fera bouger la membrane basilaire de la cochlée dans l'oreille interne. Des cellules ciliées, situées sur cette membrane, sont organisées de manière tonotopique et transforme le signal mécanique en information nerveuse en l'envoyant dans le nerf auditif. À partir du nerf auditif, l'on quitte le système auditif périphérique pour pénétrer dans le système auditif central.

1.2.3.2 Système auditif central

Le système auditif central se divise en trois structures majeures; le tronc cérébral, le thalamus et le cortex.

Dans le tronc cérébral, le signal parcourt les noyaux cochléaires, les collicules inférieurs, transite par le corps genouillé médian du thalamus, pour ensuite atteindre les

1 Cette section est basée sur Boatman et al., 2006

cortex auditifs primaire et secondaire. L'aire auditive primaire (A1) se trouve dans le gyrus de Heschl et est située sur la partie postérieure du planum supratemporal dans les deux hémisphères (Brugge et al., 1985; de Ribaupierre, 1997). Les régions temporales qui ceignent A1 constituent le cortex auditif secondaire (Galaburda et al., 1983). La figure 2.1 illustre ces structures .

1.2.3 Neuroanatomie fonctionnelle du système auditif

1.2.3.1 Psychoacoustique élémentaire

Fonctionnellement, l'information fréquentielle et temporelle est organisée de manière tonotopique et périodotopique tout au long des voies auditives, des régions sous-corticales aux régions corticales (Lauter et al., 1985, Griffiths et al, 2001, Langner et al., 1997). Alors que les structures du tronc cérébral seraient essentielles notamment pour la localisation spatiale (Heffner et al., 1989) ainsi que pour la transmission des informations acoustiques de base (Friszt et al., 2006), l'intégration de ces caractéristiques s'effectueraient à partir du thalamus et de l'aire auditive primaire (Boatman et al., 2006). C'est dans les régions auditives primaires et secondaires que s'effectue le traitement auditif de haut niveau, notamment la reconnaissance vocale qui englobe le traitement linguistique et paralinguistique (Konig et al., 2005).

1.2.3.2 Reconnaissance vocale

Dans une étude d'imagerie utilisant des sons vocaux linguistiques (mots, phrases) et non-linguistiques (rires, soupirs, tousséments), Belin et al. (2000) ont identifié les régions bilatérales se situant sur la surface supérieure du sulcus temporal supérieur comme étant spécifiquement activées par la voix humaine. Ces régions ne répondaient pas à d'autres sons humains comme des claquements de doigts, des cris d'animaux, des sons

environnementaux et divers sons contrôlant pour les caractéristiques acoustiques de base.

Bien que la perception vocale ne semble pas clairement latéralisée, les aspects linguistiques et paralinguistiques d'un message vocal semblent l'être (Ethofer et al., 2006b, Lindell, 2006).

1.2.3.3 Fonctions linguistiques et paralinguistiques

Les fonctions linguistiques impliquent les processus nécessaires à la compréhension de l'aspect verbal et sémantique d'un message. Les fonctions paralinguistiques, quant à elles, concernent les éléments non-verbaux de la communication utilisés pour modifier le sens d'un message. Dans la modalité vocale, elles concernent la variation de la hauteur tonale, de l'intensité sonore et de l'intonation de la voix (Banse et al., 1996).

La prosodie, considérée comme le véhicule principal de l'information émotionnelle auditive (Wildgruber et al., 2006), s'insère dans les processus paralinguistiques. Cette dernière serait constituée de variations d'intonation, de rythme et de timbre vocal (Lehiste, 1970; Murray and Arnott, 1993; Banse and Scherer, 1996; Cutler et al., 1997; Bachorowski and Owren, 2003; Sidtis and Van-Lancker-Sidtis, 2003; Scherer et al., 2003). Il faut toutefois distinguer la prosodie linguistique, qui aide à la compréhension lexicale et sémantique d'un message, de la prosodie émotionnelle (Firszt et al., 2006). Des études lésionnelles (Blonder et al., 1991, Bowers et al., 1987., Borod et al., 2002) ainsi que d'imagerie cérébrale (Ethofer et al., 2006, Wiethoff et al., 2008) ont démontré une supériorité de l'hémisphère droit dans le traitement de la prosodie émotionnelle, tandis que les processus linguistiques sont bien connus pour leur recrutement préférentiel de l'hémisphère gauche (Thierry et al., 2003, Lewis et al., 2004, Belin et al., 2000).

Hormis ces considérations topographiques, une autre question cruciale consiste en la séquence temporelle du traitement cérébral des phénomènes émotionnels. Les instruments électrophysiologiques, tel l'électroencéphalogramme (EEG), connus pour leur sensibilité temporelle, peuvent aider à éclairer cette question.

1.3 – ÉLÉCTROPHYSIOLOGIE DES ÉMOTIONS

1.3.1 EEG : introduction

La sensibilité temporelle de l'EEG en fait une des méthodes d'enregistrement de l'activité cérébrale les plus prisées en neurosciences (Birbaumer et al., 1990). Une des façons les plus courantes d'analyser les données EEG est la méthode de potentiels évoqués (PÉ) (Luck, 2005). Cette méthode consiste en l'identification dans un ensemble de données de « composantes » de PÉ qui se distinguent du bruit, après un moyennage des essais liés à une condition expérimentale donnée. Ces composantes PÉ sont caractérisées par leur polarité, leur latence, leur amplitude et leur topographie. Ces valeurs seraient intimement liées à une fonction psychologique sous-jacente, qui serait déductible grâce au protocole expérimental utilisé (Luck, 2005). Un PÉ peut être considéré sur le plan neurophysiologique comme la sommation des potentiels post-synaptiques de populations neuronales engagés par une tâche expérimentale. La grandeur de l'amplitude d'un PÉ serait directement lié au nombre de neurones déchargeant selon la même orientation. La topographie du signal serait tributaire des multiples dipôles orientés selon l'anatomie gyrale et sulcale des structures corticales ou sous-corticales activées par la tâche requise (Nunez et al., 2006). Démêler la provenance de ces signaux est un problème complexe, et la sensibilité spatiale constitue la principale faiblesse de cette méthode (Nunez et al., 2006). La latence des composantes de PÉs est, avec l'amplitude, l'information la plus

pertinente fournie par l'EEG. Ainsi, le traitement cérébral d'un phénomène quelconque peut être étudié sous l'angle de sa séquence temporelle. Cela permet de mettre de l'ordre dans la pléiade de fonctions sensorielles, cognitives et affectives qui surviennent de manière séquentielle et parallèle lors du traitement d'un stimulus.

Les composantes de PÉ ont permis d'identifier, à ce jour, des composantes relativement précoces (0-200ms) liées au traitement sensoriel et perceptif, ainsi que des composantes liées au traitement cognitif (200ms+). Il existe une nomenclature identifiant les composantes selon leur polarité (et débutent alors par un P pour positif ou N pour négatif), selon leur ordre d'apparition par polarité (le P ou le N est alors suivi d'un 1 pour la première composante positive, 2 pour la deuxième, etc.) ou par la latence moyenne à laquelle elles surviennent (le P ou le N est alors suivi d'un 50 ou d'un 100 si l'amplitude se situe autour de ces latences).

Voyons maintenant plus en détail ce que les études électrophysiologiques ont observé concernant les modulations de PÉ classiques à l'aide de stimuli émotionnels. Comme le domaine est beaucoup plus avancé du point de vue des études utilisant des paradigmes visuels, la revue de littérature d'Olofsson et al. (2008) servira de point de départ à la section portant sur les paradigmes auditifs.

1.3.2. Études EEG des émotions: études visuelles

Études visuelles

Dans leur revue de la littérature sur les études de PÉs utilisant des images émotionnelles, Olofsson et al.,(2008) ont observé l'effet de la valence, de l'intensité émotionnelle, mais aussi des conditions d'enregistrements, des facteurs liés aux stimuli et à la tâche sur les composantes PÉs. Ils ont noté des effets propres à chaque variable

émotionnelle autant dans les tranches PÉ précoces (100-200ms), moyennes (200-300ms), que tardives (300ms+). La constance des effets affectifs sur les PÉs est d'autant plus remarquable étant donné la grande disparité des études sur le plan méthodologique. Les auteurs notent une certaine tendance de la valence à influencer les processus cérébraux légèrement plus tôt que l'intensité émotionnelle, mais cette tendance est relativement minime.

1.3.2.1 Latences courtes (100-200ms)

Cette tranche temporelle comprend des PÉs qui sont sensibles aux caractéristiques physiques d'un stimulus, ainsi qu'à l'attention sélective, notamment la P1 et la N1 (Olofsson et al., 2008). La composante P1 (\approx 100-150ms) semble être sensible à la valence d'une image, particulièrement à la valence négative qui semblerait moduler l'amplitude de la P1 vers le haut dans les sites occipitaux (Smith et al., 2003, Carretié et al., 2004a,b), occipitaux-pariétaux (Delplanque et al., 2004) et frontaux (Carretié et al., 2006). L'amplitude accrue de la P1 en réponse aux stimuli négatifs a été interprétée sous l'angle de la capacité de ces stimuli à capter l'attention tôt dans la chaîne de traitements perceptifs, tandis que les différences de topographies des effets ont été attribuées à des différences méthodologiques (Carretié et al., 2006).

L'intensité émotionnelle, quant à elle, commencerait à avoir des effets observables autour de 150ms et plus. Dans ce cadre, il a été observé que des images négatives très intenses résistaient à l'habituation dans la N1 visuelle, comparé aux stimuli d'autres valences et intensité (Carretié et al., 2003).

1.3.2.2 Latences médianes (200-300ms)

Cette tranche temporelle reflèterait des processus de discrimination sensorielle et de sélection de la réponse (Di Russo et al., 2006). Dans cette fenêtre de latence, l'intensité

émotionnelle a montré sa capacité à moduler une composante dénommée « Early posterior negativity » ou négativité précoce postérieure , qui elle-même reflèterait l'attention sélective "naturelle" (ou non influencée par un choix attentionnel conscient et guidé) (Schupp et al., 2003a,b, 2004a,b), 2006a,b). Cette modulation de l'intensité dans cette composante fronto-centrale serait indépendante de la valence (Schupp et al., 2003a).

La valence, quant à elle, semble également affecter la composante N2, qui serait une négativité semblable à la EPN (Olofsson et al., 2008).

Dans cette fenêtre temporelle, des modulations affectives de la composante positive P2 ont également été observées, mais principalement avec des montages référencés aux oreilles ou aux mastoïdes. Ce PÉ serait particulièrement sensible aux différences temporelles induites par le traitement différentiel des variables affectives (Amrhein et al., 2004, Carretié et al., 2001a,b, 2004a,b, Cuthbert et al., 2000, Olofsson et al., 2007).

1.3.2.3 Latences longues (300ms+)

La période de 300-700ms se compose de la composante P300 et d'une onde positive lente (OPL) subséquente. Ces composantes sont souvent observées à l'aide d'un protocole de type *oddball*, dans lequel une réponse explicite ou implicite est requise en réponse à des stimuli cibles rares insérés dans une séquence de stimuli distracteurs fréquents. La P300 peut être subdivisée en P3a ou en P3b selon qu'elle indexe les processus attentionnels ou de stockage en mémoire, respectivement (Polich et al., 2007). L'OPL reflèterait les processus liés à la mémoire de travail (Azizian et al., 2007, Mecklinger et al., 1996). La P300 et l'OPL sont parfois confondues dans le terme « late positive potential » ou potentiel positif tardif (PPT) qui dénoterait toute positivité survenant dans la tranche 300-700ms.

Les facteurs déterminants de l'amplitude de la P300 sont l'importance de la tâche, la motivation, le niveau d'activation physiologique ou psychologique (i.e. l'intensité

émotionnelle), et le nombre de ressource attentionnelles disponibles. Les effets des variables affectives sur ce PÉ ont souvent une topographie pariétale, ce qui suggère que l'intensité émotionnelle affecte les structures engagés normalement par le traitement des stimuli cibles (Sabatinelli et al., 2007). La P300 est également affectée par la valence, lorsque le niveau d'intensité est contrôlé (Cano et al. 2009, Conroy et al, 2007, Rozenkrants et al., 2007). La valence semblerait avoir un effet différent sur la composante P3a reliée aux stimuli rares distracteurs, et la composante P3b reliée aux stimuli rare cibles, respectivement. Les stimuli négatifs et positifs semblent avoir une plus grande amplitude aux électrodes fronto-centrales pour la P3a lorsque comparés aux neutres (Delplanque et al., 2005), tandis que les stimuli à valence positive sembleraient évoquer des amplitudes plus grandes que les stimuli à valence négative pour la P3b (Carretié et al., 2006, Delplanque et al., 2004). Une intégration théorique de ces différences d'amplitude selon la valence et le traitement de stimuli rares cibles et non-cibles n'a pas encore vu le jour, notamment dû à l'inconsistances des résultats sur la P3a (Amrhein et al., 2004, Codispoti et al., 2006a, b, Cuthbert et al., 2000).

L'OPL, quant à elle, aurait une topographie centro-pariétale et serait particulièrement sensible à l'intensité émotionnelle, qui influencerait dans cette tranche temporelle (300-900ms) sur la consolidation d'items pertinents en mémoire (Palomba et al., 2007). Son amplitude serait corrélée à une bonne reconnaissance lors de tâches impliquant le rappel d'items en mémoire (Dolcos et al., 2002).

1.3.3 Études EEG des émotions: études auditives

Nous avons donc pu constater, dans la section précédente, que les processus affectifs modulent très tôt les processus cognitifs, notamment par le biais de processus

attentionnels accrus dès les premières composantes sensorielles. Ce biais attentif se poursuit au delà de ces composantes précoces (P1 et N1), pour également affecter les processus discriminatifs (EPN, N2, P2), ainsi que la mémoire de travail (P3b) et à long-terme (OPL). Voyons maintenant ce qu'il en est dans les études utilisant des sons variant dans leur niveau de valence et d'intensité. Le tableau 2.1 fournit un résumé des études de PÉ ayant utilisé de tels protocoles.

Ce que l'on constate par l'inspection de ce tableau, c'est que, à l'instar des stimuli visuels, les stimuli affectifs auditifs modulent autant les composantes précoces (N1; Alexandrov et al., 2007), médianes (N2, Thierry et al., 2007), que tardives (P3, Alexandrov et al., 2007; P3a; Czigler et al., 2007, Goydke et al., 2004, Thierry et al., 2007, Wambach et al., 2004, N300; Bostanov et al., 2004, N400; Wambach et al., 2004). La N1 est typiquement obtenue dans tout protocole de stimulation auditive (Näätänen et al, 1987), tandis que la N2 auditive est une négativité obtenue dans des tâches de discrimination sonore et requiert une attention soutenue (Näätänen et al, 2007). La P300, quant à elle, est censée refléter la comparaison de deux stimuli en mémoire de travail, et est obtenue lorsqu'un de ces deux stimuli est présenté fréquemment (son standard) et l'autre rarement (son déviant). Le protocole permettant d'évoquer la P300 est dénommé *oddball* (Polich, 2007). La latence de la P300 reflèterait le temps de catégorisation du stimulus, ce qui rend cette composante très utile pour les études cognitives (Verleger, 1997). Comme mentionné dans une section précédente, la P300 peut être décomposée en P3a et P3b, lorsque l'on utilise deux stimuli ou deux catégories de stimuli rares dans la tâche *oddball* (Polich et al., 2007). Les stimuli non-cibles rares reflèteraient les processus attentionnels automatiques et seraient indexés par la P3a, tandis que les stimuli cibles rares seraient liés aux processus de mémoire de travail et seraient reliés à la P3b.

Ce qui ressort également du tableau 2.1 est que malgré le fait que la totalité des études rapportées ont utilisé différentes variantes de protocoles *oddball*, aucune n'a mise l'emphase sur la composante P3b dans ces études.

2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Nous avons choisi d'utiliser un protocole *oddball* à trois stimuli pour étudier les effets des trois valences (négative, positive et neutre) sur l'amplitude, la latence et la topographie des PÉs aux latences courtes, médianes et longues. Nous nous sommes appuyés principalement, mais non exclusivement, sur la littérature de PÉ affectifs visuels pour les hypothèses concernant les variations d'amplitude, de latence et de topographie en fonction de la valence. Pour les hypothèses concernant la topographie, nous nous sommes appuyés sur les littérature lésionnelles et d'imagerie concernant la latéralisation selon la valence et la prosodie émotionnelle. Les tests ont également été conduits sur les sons contrôles afin de pouvoir départager ce qui pourrait être attribuable aux effets acoustiques de base de ce qui devrait être redevable aux processus émotionnels. Aussi, afin de tester adéquatement la latéralisation de la prosodie sans effet confondant attribuable au traitement sémantique des sons (Fischler et al., 2006, Kissler et al., 2006, Belin et al., 2008) des sons prosodiques non-verbaux furent utilisés.

Les hypothèses étaient les suivantes:

(I) Hypothèses concernant l'effet de la valence sur les amplitudes

(a) précoces: il fut postulé que les deux valences auraient des amplitudes plus grandes que la valence neutre, étant donné la plus grande capacité des stimuli émotionnels à capturer l'attention rapidement (Alexandrov et al., 2007).

(b) médianes: nous avons postulé, à l'instar d'études de PÉ utilisant des stimuli visuels (Carretie et al., 2001, Huang et al., 2006) , qu'il y aurait un avantage de la valence négative sur les deux autres valences.

(c) tardives: en se basant sur les mêmes études qu'en (b), ainsi que sur Delplanque et al. (2004, 2006a,b), Carretie et al. (2006) et Pollatos et al. (2005), une amplitude plus grande a été postulée pour la valence positive comparée à la valence négative.

(II) *Hypothèses concernant l'effet de la valence sur la latence*

La littérature de PÉs sur le biais de négativité ayant démontré des latences plus courtes pour les stimuli négatifs lorsque comparés aux stimuli positifs et neutres (Carretie et al., 2001, Huang et al., 2006), nous avons prédit que nos résultats iraient dans ce sens, notamment dans les latences médianes.

(III) *Hypothèses concernant la topographie*¹

Pour tester les hypothèses de latéralisation selon la valence (Davidson et al., 1984, 1999) et la prosodie émotionnelle (Wildgruber et al., 2006), des tests sur les valeurs d'amplitude des électrodes latérales ont également été effectués. À cet égard, une latéralisation droite pour la valence négative et gauche pour la positive supporterait le modèle valence de Davidson, tandis qu'une latéralisation droite des effets pour les deux

1 Étant donné les contraintes d'espace imposés par la revue Neuroreport, les sections rapportant la méthodologie ainsi que les résultats quant à ces deux hypothèses ne sont pas présentées dans l'article. Elles sont exposées dans la conclusion de ce mémoire.

stimuli émotionnels appuierait le modèle de spécialisation hémisphérique de la prosodie émotionnelle (Wildgruber etl al., 2006).

3. TRAITEMENT CÉRÉBRAL DE SONS ÉMOTIONNELS: UNE PERSPECTIVE ÉLECTROPHYSIOLOGIQUE

Article: "Brain processing of emotional and scrambled sounds: ERP findings"

By Rafaël **Daigneault**^a, Franco **Lepore**^a, Latifa **Lazzouni**^a, Manon **Robert**^a, Ana
L.Fernandez Cruz, Claire **Senelonge**, and Mario **Beauregard**^a.

^aCentre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Université de Montréal

Running head: Emotional sounds & ERPs

Characters: 16824

Submitted to:

Neuroreport

Preliminary version: June, 2009

Acknowledgments: this research was made possible by a grant by Canadian Institutes of Health Research (CIHR). We also wish to express special thanks to Marc Schoenwiesner, Bernard Bouchard and André Achim.

Corresponding authors:

Franco Lepore

CERNEC

Pavillon Marie-Victorin

Département de Psychologie

Université de Montréal

C.P. 6128, Succ. Centre-Ville

Montréal, QC H3C 3J7

Téléphone : 514-343-2341

Apports de l'auteur et des co-auteurs de l'article

Rafaël Daigneault: Conception du protocole, développement de la méthodologie, recrutement des participants, réalisation de l'expérimentation, nettoyage et analyse des données, rédaction de l'article

Franco Lepore: Directions concernant la mise en forme et le contenu pour fin de publication du projet de mémoire, financement

Latifa Lazzouni: Programmation de toutes les tâches pilotes, comportementales et expérimentales du projet

Manon Robert: Aide sur le plan de la conception, de la méthodologie, de la réalisation de l'expérimentation, du nettoyage et de l'analyse des données

Ana Lucia Fernandez Cruz: Aide sur le plan de la conception, de la méthodologie, du recrutement et de la réalisation de l'expérimentation

Claire Senelonge: Aide sur le plan du recrutement et de la réalisation de l'expérimentation

Mario Beauregard: Directions concernant la mise en forme et le contenu pour fin de publication du projet de mémoire, financement

Abstract

In an auditory oddball task, negatively (disgust) and positively (laughter) valenced sounds were presented as rare targets. To disentangle acoustic effects from emotional ones, a control oddball was conceived with a non-emotional scrambled version of the original target sounds as rare targets. Results from the emotional oddball that differed from the control oddball showed an inverse effect of valence in the P2 and P300 range, with negative valence having higher mean amplitude values in the 130-270ms range, but lower values in the 290-460 range when compared to ERPs elicited by positive and neutral valence. The P2 results are interpreted as early mobilization of attentional resources towards potentially threatening stimuli, while the P300 results could reflect less detailed evaluation of such stimuli.

Key words: emotion, sounds, ERP, EEG, negativity bias, oddball, P300

Introduction

Core characteristics of emotions are known to be valence and arousal [1,2]. While the effects of these properties on classical event-related potentials (ERPs) components are relatively well-known in the visual domain [3], very little electrophysiological research has been done with emotional sounds. So far, studies that have used auditory stimuli to observe emotional effects have often used *oddball* protocols [4,5]. The oddball procedure is known to produce the P300 component, which indicates evaluating of stimuli[6]. So far, auditory emotional studies using valenced stimuli have observed enhanced amplitude for non-target aversive sounds at frontal sites when compared to neutral sounds [4,5]. Although effects of negative valence on the frontal P300 related to non-targets is accumulating, we are unaware of studies using sounds that have focused on valence effect on the parietal P300 related to rare targets. Also, these aforementioned studies only used negative and neutral valenced sounds. This study has therefore put focus on positive and negative valence effects on the P300 component related to rare target processing. Hence, we used a standard oddball protocol, with a neutral vocal sound as standard sound, and two emotional sounds (disgust, joy) as rare targets. A control oddball was also designed, to help disentangle acoustic effects and allow stronger inferences on the results. To do so, a scrambling procedure in the time domain was applied to the two emotional sounds, to produce control sounds that kept mostly intact their acoustic properties in the frequency and amplitude domain. The condition where rare sounds were distinguished by their valence attribute was coined “emotional” oddball (EO), while the other condition was termed “pitch” oddball (PO).

This design was used to test hypothesis concerning amplitude and latency modulations in the P300 latency range. It was postulated that, as was observed in visual studies [7,8], negatively

valenced sounds would have smaller amplitude values at parietal sites when compared with positive ones. Also, we sought to see if the well-known negativity bias [9] studied in visual ERP studies [10,11] could be replicated with emotional sounds instead of pictures. Amplitudes were thus expected to be more intense in the P2-P300 range for negative sounds, and jackknife latency analysis were also conducted on all components of the study to see if latencies would be shorter for negatively valenced sounds.

Methods

Participants

Thirteen francophone participants (7 female; main age: 25.2 (20-36) years) were recruited through advertisements displayed in two universities in Montreal. Participants were screened for normal auditive, psychiatric or neurological conditions and were also drug free. Written consent was obtained from each participant before every experiment. One participant was excluded because of intensive blinking. Ethical approval of the project was given by the Ethical Comity of the Faculty of Arts and Sciences of the University of Montreal.

Stimuli

Five stimuli were used in this experiment. They consisted of three female vocalizations of the letter "a" depicting disgust, joy, or neutrality and a scrambled version of the two emotional sounds. The vocal sounds were originally taken from the *Montreal Affective Voices* database [12], but were edited to be of 500ms duration to be fit for electrophysiological study (see [13] for a discussion on the topic). Since altering the duration of emotional sounds can impair their

emotional properties [5], they were revalidated in a behavioural assessment study with thirty participants. These volunteers were presented with eighteen different edited emotional sounds and were asked to identify and give valence and emotional intensity ratings on a self-assessment-manikin type of scale [14], ranging from 1 to 9 (1 being the most negative, 9 most positive for *valence*; 1 meaning not intense at all, 9 being most intense for *intensity/arousal*). The two emotional and the neutral vocalization used in this experiment were the best recognized sounds of the disgust, joy and neutral category (95%). The disgust ($M = 2.07$, $SD = 0.15$) and joyful ($M = 8.27$, $SD = 0.19$) sounds differed on valence ratings ($t(29) = 23.08$, $p < .001$), but not on intensity ratings (disgust: $M = 6.9$, $SD = 0.28$; joy: $M = 7.13$, $SD = 0.27$; [$t(29) = 0.67$, *n.s.*]). The neutral sound differed from both emotional sounds on both categories.

Time-scrambling procedure

In order to remove any recognizable emotional property of the disgust and joyful vocalizations, a time-scrambling procedure was applied to their sound wave using Adobe Audition® software.

Each sound was separated in short segments of 15ms that were then shuffled randomly in the 500ms time window. The amplitude of all sounds (original and edited ones) was also normalized to the same value in order to control sound intensity. The resulting scrambled sounds were thus similar to the original emotional sounds in frequency and amplitude but not in the time domain (fig.1¹). The clipping procedure resulted in brief wide-band edge artifacts at the transition of sound segments. However, they only had a minor effect on the frequency information, since a formant analysis showed that the

1 - Figure 3.1 dans ce mémoire

frequency of f_0 and the subsequent three formants were similar as in the original sounds. Also, the brief artifacts did not interfere with the perception of the scrambled sounds, because they form an independent auditory stream.

A validation study conducted with another thirty participants confirmed that the scrambled versions of the sounds were unrecognizable as emotional sounds, even when presented amongst the original sounds and other environmental sounds in a random order.

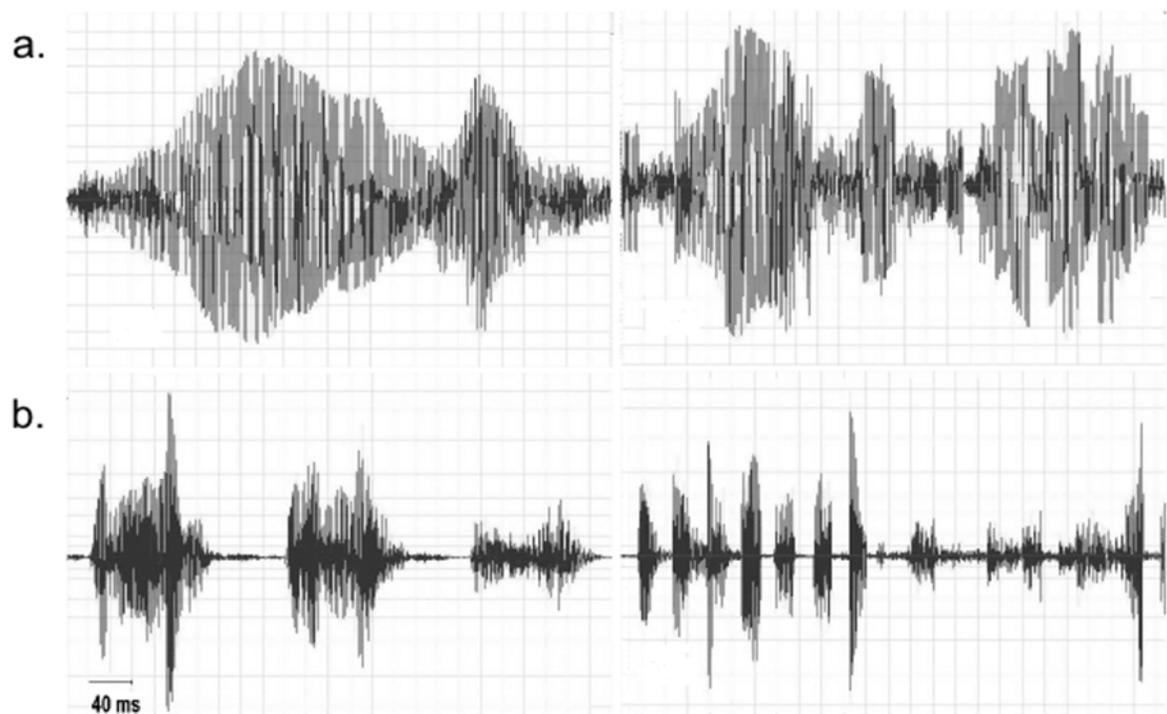


Figure 1¹. Time scrambling. Showing effects of editing procedure on waveforms of the sounds of the experiment. (a) Left: original sound depicting disgust. Right: scrambled version. (b) Left: original sound depicting laughter. Right: scrambled version.

Experimental procedure

Participants were seated in an audiometric room, with their chin placed in a chin rest

placed at the middle of the room. Sounds were presented in free-field through two speakers (Logitech X-140) placed at equal distance from the participants on each side of them. The sound output at the head localization was calibrated at 70dB SPL before each experiment, and an audiometric test was conducted on each participant to make sure they had no hearing impairment at any frequency band.

Each participant had to complete two separate oddball tasks, one with the two emotional sounds as rare target sounds and the other with the scrambled non-emotional sounds as rare targets. Half of the participants did the EO first and the other half started with the PO. The standard sound for the two experiments was the neutral vocalisation. The volunteers were instructed to count each rare sound, discriminating them by their valence in the EO and by their pitch in the PO. At each pause, the participant would give the answer to the experimenter, thus giving an evaluation of the attention of the subject as well as the understanding of the task.

Each oddball condition consisted of 1000 presentations of stimuli. The probability for rare sounds of each valence (or of each matching scrambled sound for EST) was 0.10 while the probability of the standard sound was 0.80. Thus, the frequent sounds were presented 800 times and each rare sounds 100 times per oddball condition (thus, one participant was exposed to 2000 stimuli; 1000 in the EO and 1000 in the PO). The inter-stimulus interval was 1100ms +/- 100ms and sounds were presented in a pseudo-randomized order where rare sounds were separated by at least three standard sounds. Each oddball took roughly 25 minutes to complete and were separated by a short pause in the middle (at each 12 minutes or so), where participants could say the numbers they counted and take a break.

EEG recording

Electroencephalographic (EEG) activity was acquired from 40 Ag/AgCl electrode sites, referenced to linked mastoids and with impedances kept below 5K Ω . EEG signals were digitized at 500Hz and bandpass filtered offline with 0.05 and 35Hz filters (24dB/oct slopes). Ocular artefacts were monitored using vertical (above and below left eye) and horizontal electrooculogram electrodes. Eye blinks were mathematically corrected and remaining artefacts manually dismissed. Epochs retained for analysis ranged from –100 to 1000ms after the onset of the sound stimulus.

Statistical analysis

ERP components were determined by visual inspection of the waveforms as well as semi-automatic peak detection procedures implanted in BrainVision® software. The P1 was measured as the mean amplitude under the curve of the 50-100ms time window, N1, 104-144ms, N2, 250-350ms, P2, 130-270ms and the P300 of the 290-460ms window.

Valence effects on mean amplitude were assessed by conducting a repeated-measure analysis of variance on midline electrodes in all latency ranges with a two-factor model (3 valences x 3 midline electrodes). When no interaction was found, analysis were done on electrodes maximal for the component (3 valences x key electrode).

To test the latency hypothesis, two-factors (3 valences x latency) repeated-measures ANOVAs were conducted on jackknife-calculated values [15] in each ERP window. Since the neutral condition had no latency values in the P300 range, only the remaining two valences were tested, with adjusted alpha criteria (.01). All F values reported in the latency section have been corrected with the $F' = F/(N-1)^2$ formula, as required with latencies that are calculated with the jackknife procedure [16].

All statistical tests were done on PO sounds as well, except for latency analysis (since the editing procedure on PO sounds rendered these unfit for latency comparisons with the EO sounds). The underlying rationale was that results that went in the same directions in both oddballs should be attributed to acoustic effects, and not valence effects. Therefore, the discussion will focus on results that differ between the EO and PO conditions.

Results

Behavioral results

In 35 out of 52 blocks (4 blocks x 13 subjects), the participants gave the correct number of each rare target (i.e., 100% correct). In the remaining 17 blocks, recognition rate was above 95%, and false counts at 2.75%. An ANOVA showed that there was no difference in omission or false alarms across conditions, indicating that all tasks were of equal difficulty.

ERP results

The sounds of the experiment displayed a sequence of peaks typically associated with the processing of auditory stimuli and cognitive processes: P1, N1, P2, and P300 components. All components were maximal at midline electrodes and are displayed in figure 2¹, which shows waveforms associated to EO and PO sounds respectively at key electrodes.

To lighten up the text structure, only significant results from the EO that differed from the PO are reported below. Latency results are omitted because of absence of significant differences.

P1 & N1

1 - Figure 3.2 dans ce mémoire

There was no significant interaction between valence and amplitude at midline electrodes, but there were differences at Cz according to valence level in the P1 [$F(2,24) = 7.19, p < .005$] and N1 ranges [$F(2,24) = 26.52, p < .001$]. Both emotional sounds had higher mean amplitude than the neutral one for the P1 ($ps < .05$) and the N1 components ($ps < .001$).

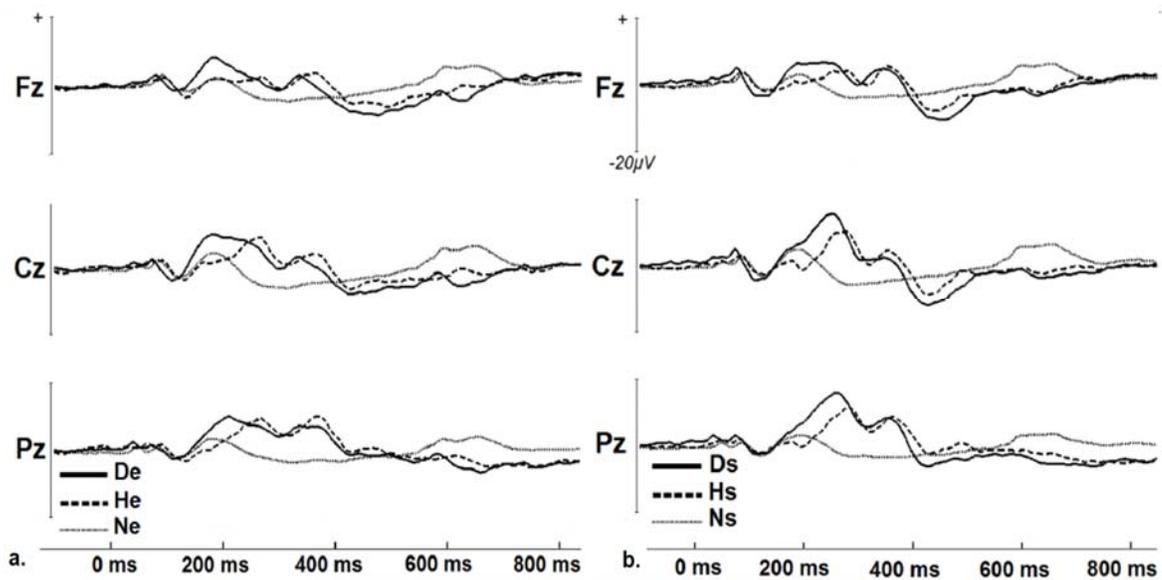


Fig. 2¹. Group average ERPs for (a) Original sounds from the EO: disgust (De), happy (He) and neutral (Ne) sound (b) scrambled sounds from the PO: scrambled disgust (Ds), scrambled happy (Hs), and neutral sound (Ns),

P2

There was a significant interaction between valence and amplitude at midline electrodes [$F(4,48) = 3.38, p < .05$]. This effect was driven by negative valence having higher mean amplitude at Fz than neutral valence ($p < .05$), by negative valence having highest amplitude values at Cz vs positive ($p < .05$) and neutral valence ($p < .001$), and by neutral valence

having lowest overall values at Cz (vs negative and positive valence; $ps<.05$). Also, values were higher at Cz (vs Fz) for negative and positive valence ($ps<.01$) while it was highest overall at Cz (vs Fz Pz) for neutral valence ($p<.01$).

P300

There was a significant interaction between valence and midline electrodes [$F(4,48) = 8.725, p<.001$] in this time-window. This effect was driven by positive valence having overall higher amplitude values than negative ($p<.05$) and neutral conditions($p<.001$), and neutral valence having lower amplitude values than both other valences ($ps<.001$) at Pz. Also, positive valence was higher at Pz (vs Fz) ($p<.005$).

Discussion

As expected, we found enhanced mean amplitude for the positive valence condition for the P300 component when compared to the other two valences at the parietal site. Many studies using visual stimuli previously found increased amplitude for positively valenced pictures in the P300 range when compared to negative and neutral stimuli [7,8,17,18,18,20]. A trend of lower amplitudes for negative stimuli in this range has been observed in a study using negative emotional sounds as well [21]. Interestingly, in the P2 component, the inverse pattern was observed: negative valence had higher mean amplitude compared to positive and neutral valence.

Such an inverse effect on amplitudes in the P2/P300 window according to valence has been reported before [22], although with a very different experimental design. These similar results, despite quite large procedural discrepancies, add weight to some of the interpretations given by Carretié et al. [22]. Indeed, our findings converge in that at the

earlier stage of processing, negative events seems to engage more attentional resources, as shown by the enhanced amplitudes in the P2 latency range [10,11]. In the P300 window, however, we do not believe the enhanced amplitudes for positively valenced stimuli reflected more resource allocating to evaluating of appetitive, pleasant events. Indeed, our positive stimuli were not as appealing as those in their experiment, where opposite-sex nude pictures were used. Rather, we believe the amplitude difference between positive and negative valence in the P300 range could be due to less elaborate evaluation of negative events due to inhibitive processes. Thus, while negative stimuli are more likely to capture attention early on than positive or neutral ones, this orientation response seems to be followed by less acute appraisal of the stimuli. Negativity bias studies [10,23] have shown that attention processes engaged by negative are not only stronger, but faster. Since there is a well-known tradeoff between speed and precision of processing [24], it could very well explain the divergence of effect in the P2 and P300 windows for negative sounds. However, our latency results did not show differences in accord with this view, unlike other negativity bias studies [10,11,23]. Perhaps it was due to the fact that our sounds, varying in their spectral envelopes (see fig.1), were not well suited to test latency hypothesis. Another explanation could be that unlike picture processing, the emotional information contained in sounds cannot be unfolded in a quick ‘snapshot’ manner (for example, visual stimuli of [22] required only 250ms presentation to elicit an emotional response, whereas it has been debated whether positive emotional sounds of very short latency could be obtained [5]). As such, the auditory system could require more exposure to the stimuli to extract emotional information. Therefore, while our P2 amplitude results aligned with some other negativity bias studies in the visual domain [10,11], it remains to be seen whether or not this absence of earlier latency effects for negative valence is only

due to experimental shortcomings, or rather to the sensory nature of the stimuli used. Interestingly, emotional effects of this study were constrained in a time frame that was below the duration of our 500ms stimuli. Amplitudes at the P1/N1 complex (indicating basic sensory processing) were also higher for emotional sounds, which seems to indicate a differential processing of affective stimuli early on. Whether these early effects were due to the arousal or valence dimension remains unknown, since our emotional stimuli differed from the neutral one in both those categories. Future investigations would thus be required to identify the time threshold required for a sound to be recognized as emotional, and also to disentangle arousal and valence effects on early components.

Conclusion

Although our emotional and neutral sounds differed drastically in their frequency, time and pitch aspects, they produced patterns of results already observed in the emotional ERP literature with different protocols and stimuli. There seems to be consistency in the global picture of results as well; significant differences not being constrained in one ERP frame but rather producing relatively interpretable P2/P300 dissociations according to valence, and N1/P1 according to valence/arousal categories. Whether these results were purely emotional or due to acoustical differences remains unknown, but the focus on results from the EO differing from the control PO adds weight to the interpretations given herein.

References

1. Russell JA. A circumplex model of affect. *J Personal Social Psychol* 1980 1161–1178.

2. Lang, P.J., Bradley, M.M., Cuthbert, B., 1999. International Affective Picture System (IAPS): instruction manual and affective ratings. Technical Report No. A-4). Gainesville, Florida: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
3. Olofsson JK, Nordin S, Sequeira H, Polich J. Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biol Psychol*. 2008 **77**(3):247-65.
4. Thierry G, Roberts MV. Event-related potential study of attention capture by affective sounds. *Neuroreport* 2007, **18**:245-248.
5. Czigler I, Coz TJ, Gyimesi K, Horvath, J. Event-related potential study to aversive auditory stimuli. *Neurosci Lett* 2007, **420**:251-256.
6. Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol* 2007, **118**(10):2128-2148.
7. Delplanque S, Lavoie ME, Hot P, Silvert L, Sequeira H. Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans. *Neurosci Lett* 2004, **356**:1– 4.
8. Carretié L, Hinojosa JA, Albert J, Mercado F. Neural response to sustained affective visual stimulation using an indirect task. *Exp Brain Res* 2006, **4**(4):630-637.
9. Cacioppo JT, Gardner WL. Emotion. *Annu Rev Psychol* 1999, **50**:191-214.
10. Carretié, L., Mercado, F., Tapia, M., & Hinojosa, J.A. Emotion, attention, and the 'negativity bias', studied through event-related potentials. *Int J Psychophysiol* 2001, **41**: 75-85.
11. Huang YX, Luo YJ. Temporal course of emotional negativity bias: an ERP study. *Neurosci Lett* 2006, **398**:91-96.
12. Belin P, Fillion-Bilodeau S, Gosselin F. The Montreal Affective Voices: a validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. *Behav Res Methods* 2008, **40**(2):531-539.

13. Aeschlimann M, Knebel JF, Murray MM, Clarke S. Emotional pre-eminence of human vocalizations. *Brain Topogr* 2008, **20**(4): 239-248.
14. Bradley, MM, Lang, PJ. Measuring emotion : the self-assessment manikin and the semantic differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 1994, **25**:49-59.
15. Miller JO, Patterson T, Ulrich R. Jackknife-based method for measuring LRP onset latency differences. *Psychophysiology* 1998,**35**:99-115.
16. Ulrich R, Miller J. Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology* 2001, **38**:816-827.
17. Delplanque S, Silvert L, Hot P, Rigoulot S, Sequeira H. Arousal and valence effects on event-related P3a and P3b during emotional categorization. *Int J Psychophysiol* 2006, **60**: 315–322.
18. Delplanque S, Silvert L, Hot P, Sequeira H. Attentional modulation of appraisal in emotion: the case of the P3b. *Psychophysiology* 2006, **43**:S7–S7.
19. Cuthbert BN, Schupp HT, Bradley MM, Birbaumer N, Lang PJ. Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biol Psychol* 2000, **52**:95–111.
20. Pollatos O, Kirsch W, Schandry R. On the relationship between interoceptive awareness, emotional experience, and brain processes. *Brain Res Cogn Brain Res* 2005, **25**:948–962.
21. Alexandrov, Y, Klucharev, V, Sams, M. Effect of emotional context in auditory-cortex processing. *Int J Psychophysiol* 2007, **65**: 261-271.
22. Carretié L, Martin-Loeches M., Hinojosa JA, Mercado, F. Emotion and attention interaction studied through event-related-potentials. *J Cogn Neurosci* 2001, **13**(8):1109-1128.
23. Yuan J, Zhang Q, Chen A, Li H, Wang Q, Zhuang Z, Jia S. Are we sensitive to valence differences in emotionally negative stimuli? Electrophysiological evidence from an ERP study.

Neuropsychologia 2007, **45**(12):2764-2771.

24. Luce, RD. *Response times*. Oxford, Oxford University Press, 1986.

4. DISCUSSION GÉNÉRALE

Les résultats concernant les amplitudes sont allées dans le sens des hypothèses de départ. Notamment, dans les composantes sensibles à l'attention soutenue ainsi qu'aux caractéristiques physiques des stimuli (P1 & N1), les amplitudes moyennes ont été plus grandes pour les stimuli affectifs que le stimulus neutre (voir figure 4.1).

Pour ce qui est des composantes dans les latences médianes (P2), nous avons prédit un avantage pour les stimuli négatifs, ce qui fut observé. Comme il est rapporté dans la revue de la littérature d'Olofsson et collègues sur les études utilisant des images affectives (2008), notre montage référencé aux mastoïdes reliés a bien résulté en une composante médiane de type P2, malgré la différente modalité de présentation. Cela souligne l'impact que peuvent avoir les paramètres EEG de base sur le comportement de certaines composantes.

Cette modulation d'amplitude selon la valence s'est trouvée inversée dans les latences tardives indexées par la P300 de notre étude, comme il a été observé dans des études à paradigme visuel (Carretié et al., 2006, Delplanque et al., 2004). Nous ne récapitulerons pas l'interprétation de ces résultats déjà fournis dans l'article ci-dessus, mais rapporteront et

discuteront plutôt les résultats liés aux hypothèses II et III de la section 2. Ces hypothèses n'avaient pas été incluses dans l'article à cause de l'absence de rejet de l'hypothèse nulle (dans le cas des analyses de latence) ainsi que du manque d'espace dû aux contraintes de la revue *Neuroreport*. Les sections ci-dessous présenteront la méthodologie et les résultats se rapportant aux tests des hypothèses de latence et de topographie, respectivement.

4.1.1 HYPOTHÈSE DE LATENCE: MÉTHODOLOGIE

Pour réduire les problèmes liés à la variance inter-individuelle lors de la mesure des latences, la technique d'analyse de latence *jackknife* (Ulrich & Miller, 2001) fut utilisée à chaque composante de PÉ observée dans notre expérience (voir Kiesel et al., 2008, Miller et al., 1998, Ulrich et al., 2001, pour plus de détails). Une version de l'analyse *jackknife* requiert une estimation de la valeur d'amplitude à laquelle un certain pourcentage est atteint. Ces paramètres peuvent varier selon la composante étudiée (les composantes précoces sensorielles sont souvent de moindre amplitude que les composantes subséquentes) et doivent donc être choisis visuellement par l'expérimentateur. Les paramètres choisis pour le calcul de nos latences à chaque composante sont illustrées dans le tableau 4.1. Des ANOVAs avec la valence comme facteur furent ensuite appliquées aux valeurs de latences ainsi calculées. Les résultats des ANOVAs furent corrigés ($F' = F / (n-1)^2$) pour prendre compte de la réduction artificielle de variance induite par la technique *jackknife* (Miller et al., 1998, Ulrich et al., 2001).

4.1.2 HYPOTHÈSE DE LATENCE: RÉSULTATS

Bien que les moyennes brutes de la N1 et la P2 semblaient indiquer une latence plus courte pour la valence négative comparativement aux deux autres, aucun des tests ne fut significatif (voir tableau 4.3a). Cette absence de résultats est discutée dans la prochaine section.

4.1.2 HYPOTHÈSE DE LATENCE: DISCUSSION

Les moyennes brutes des composantes N1 et P2 semblaient indiquer que les stimuli à valence négatifs seraient traités plus rapidement, ce qui aurait été en accord avec notre hypothèse de départ concernant les latences, ainsi qu'avec la littérature portant sur les biais de négativité (Carrette et al., 2001, Huang et al., 2006). Les PÉs liés à N1 sont survenus en moyenne 15ms avant les PÉs des deux autres conditions, tandis que celles en lien avec la P2 avaient un avantage de 15-25ms. Ces différences sont assez importantes en terme de traitement cérébral et il est étonnant que ces moyennes n'aient pas résulté en de différences significatives au niveau des résultats. À cet égard, nous croyons que la grande variabilité de nos données, particulièrement dans les latences de la composante P2 (où l'écart-type de la condition valence positive fut de 13), pourrait expliquer cette absence de différence significative. Il est probable que les différences physiques initiales entre les sons négatifs, positifs et neutres aient induit cette variabilité accrue. Si l'on se réfère à la figure 4.2 illustrant les formes d'onde des trois sons de l'étude, l'on peut s'imaginer que les stimuli de cette étude n'étaient peut-être pas adéquats pour tester des hypothèses de latence étant donné leurs différentes enveloppes.

4.2.1 HYPOTHÈSES DE TOPOGRAPHIE: MÉTHODOLOGIE

4.2.1.2 *Tests d'amplitude sur électrodes latérales*

Pour tester le modèle d'amplitude de la latéralisation hémisphérique selon la valence (Davidson et al., 1984, 1999) ou de la prosodie émotionnelle (Wildgruber et al., 2006), des tests t appariés furent conduits sur les valeurs d'amplitude des paires d'électrodes latérales de notre montage. En sombre sur la figure 4.3 sont les électrodes sur lesquelles les tests ont été effectués. Ces électrodes ont été sélectionnées en inspectant visuellement les courbes de PÉ de l'expérience (voir figure 4.4), ainsi que par des considérations théoriques concernant l'importance des régions frontales et temporales pour les processus émotionnels (Phan et al., 2004, Barbas et al., 2007). À cet égard, nous avons postulé que les électrodes frontales temporales latérales seraient plus sensibles aux dipôles émotionnels que ceux de la ligne médiane, de par leur proximité aux structures déterminantes au traitement émotionnel.

Étant donné le nombre de tests t conduits sur les électrodes latérales (quatre tests sur quatre paires d'électrodes), le seuil de signification statistique fut ajusté à $\alpha = 0.01$ ($0.05/4 = 0.0125$). Les tests furent également effectués sur la tâche contrôle pour départager les effets acoustiques des effets émotionnels. Aussi, les tests ont porté sur les tranches temporelles se situant dans la région de la P2, la P300 ainsi qu'une composante négative survenant autour de 400ms, que nous avons dénommé N400. Pour la N400, les tests ont porté sur la tranche allant de 300 à 600ms. Pour la P2 et la P300, les mêmes valeurs que celles décrites dans l'article de la section 3 ont été utilisées. Le choix de ces trois composantes pour les tests a été guidé par une inspection visuelle des courbes.

4.2.2 HYPOTHÈSES DE TOPOGRAPHIE: RÉSULTATS & DISCUSSION

Les résultats des tests sur les électrodes latéraux pour les composantes P2, P300 et N400 sont résumés dans les tableaux 4.3a, 4.3b et 4.3c. Les sections ci-dessous focaliseront sur les résultats les plus significatifs.

P2

Dans la tranche temporelle de 130-270ms, la positivité fut plus grande à droite qu'à gauche pour les électrodes frontales latérales F7-F8 dans la condition de valence négative [$t(12) = 2.25, p < 05$]. Aucune latéralisation ne fut observé pour la condition contrôle ainsi que pour la valence positive et sa condition contrôle.

La positivité fut également plus intense à droite pour la condition de valence positive pour les électrodes temporales T3-T4 [$t(12) = 2.86, p < 05$] et TP7-TP8 [$t(12) = 2.47, p < 05$]. Cette latéralisation ne fut pas observée dans la condition de valence négative ainsi que les conditions contrôles.

P300

Dans la tranche temporelle de 290-460ms, la positivité fut plus grande à droite qu'à gauche pour les électrodes frontales F7-F8 dans la condition contrôle associée à la valence positive [$t(12) = 2.26, p < 05$].

En ce qui concerne les électrodes frontales temporales FT7-FT8, les valeurs d'amplitude furent plus importantes pour la valence négative [$t(12) = 2.24, p < 05$] ainsi que la valence positive

[$t(12) = 2.26, p < 05$] à droite. Toutefois, la condition contrôle associée à la valence positive fut également significative [$t(12) = 2.71, p < 05$].

N400

Dans la tranche temporelle de 350-700ms, la négativité fut plus grande à droite qu'à gauche pour les électrodes frontales F7-F8 dans la condition contrôle associée à la valence positive [$t(12) = 3.069, p < 01$], mais non dans sa condition contrôle (n.s.).

Pour les électrodes frontales temporales FT7-FT8, les valeurs d'amplitude furent plus importantes à droite qu'à gauche pour la valence négative [$t(12) = 3.936, p < 01$] ainsi que la valence positive [$t(12) = 6.813, p < .001$]. La condition contrôle associée à la valence positive fut également significative [$t(12) = 2.343, p < .001$].

Pour les électrodes temporales T3-T4, la positivité fut plus grande à droite qu'à gauche pour la condition contrôle associée à la valence positive [$t(12) = 4.703, p < 001$], mais également pour sa condition contrôle [$t(12) = 5.722, p < 001$].

Enfin, pour les électrodes temporo-pariétales TP7-TP8, les valeurs d'amplitude furent plus importantes pour la valence négative [$t(12) = 3.65, p < .01$] ainsi que la valence positive [$t(12) = 6.413, p < .001$] à droite. La condition contrôle associée à la valence positive fut également significative [$t(12) = 2.825, p < .001$].

4.2.3 HYPOTHÈSES DE TOPOGRAPHIE: DISCUSSION

Les tests pour les électrodes latérales ont montré que les amplitudes des sons ayant une valence émotionnelle semblent être plus grandes à droite, et ce, pour les composantes P2, P300 et la N400. Avant de poursuivre la discussion sur ces résultats, nous devons rappeler que la P2 et la P300 ne doivent pas être considérées comme les mêmes composantes que celles décrites dans la section 3. En effet, les PÉs discutés dans l'article sont ceux qui ont été mesurés aux électrodes centrales, tandis que ceux décrits dans cette section l'ont été aux électrodes latérales. À cet égard, des composantes ayant la même polarité et la même latence, mais mesurés à différents électrodes risquent de refléter différentes sources intracrâniennes (Urbach et al., 2002) et donc ne doivent pas être considérées comme identiques. Nous croyons donc que les électrodes latérales que nous avons choisi pour ces tests sont plus aptes à refléter des activations émotionnelles de par leur proximité par rapport aux structures impliquées dans le traitement émotionnel telles que l'amygdale, le pôle temporal, ainsi que le lobe frontal. Par conséquent, pour éviter toute confusion avec les composantes P2 et P300 centrales décrites dans l'article, nous référerons ci-dessous aux composantes P2 et P300 ayant été mesurées aux électrodes latérales comme étant la P2L et P300L.

Ce qui ressort des tests effectués sur les électrodes latérales pour les composantes P2L et P300L est le fait que les sons émotionnels, indépendamment du niveau de valence, ont montré une tendance générale à être latéralisée à droite. Cet effet fut particulièrement marqué pour la négativité survenant entre 300 et 600ms; où les tests ont dépassé le seuil alpha de .01 et même de .001, ce qui ne fut pas vrai des conditions contrôles respectives à chaque valence (voir figures). Les tests portant sur les composantes P2 et P3 ont bien atteint le seuil de significativité de .05, mais étant donné le risque d'erreur statistique de type encouru par le nombre de tests effectués, ces résultats doivent être interprétés avec prudence. De plus, pour certains tests dans ces latences, la condition contrôle a atteint un seuil de significativité semblable au son émotionnel.

Ainsi donc, la discussion portera sur la négativité accrue de la N400 en réponse aux sons émotionnels, qui devrait être exempte des risques liés à l'erreur de type I, et dont les effets prosodiques n'ont pas été invalidés par la condition contrôle.

Tout d'abord, comme, à notre connaissance, aucune littérature n'existe sur une composante ayant cette topographie et étant observée avec ce type de tâche (la N400 est généralement mesurée dans le cadre de tâches sémantiques; Kutas et al., 1980, 2000), nous nous baserons sur le modèle de connectivité prosodique décrit par Wildgruber et al. (2006) pour tenter de fournir une interprétation à ces résultats. En effet, Wildgruber et collègues (2006), dans une revue de la littérature d'imagerie fonctionnelle, ont conclu que le traitement de la prosodie émotionnelle se diviserait en trois étapes:

- 1) l'extraction des caractéristiques acoustiques suprasegmentales
- 2) la représentation des séquences suprasegmentales significatives
- 3) l'évaluation explicite de la prosodie émotionnelle

Les deux premiers processus sont connus pour être latéralisés dans l'hémisphère droit. Le premier serait desservi par les aires auditives primaires et secondaires pour l'extraction des caractéristiques acoustiques de base, et le deuxième processus serait quant à lui tributaire de la partie postérieure du sulcus temporal supérieur droit. Le troisième aspect, l'évaluation explicite de la prosodie émotionnelle, serait quant à lui desservi par les cortex frontaux inférieurs bilatéraux (ou cortex orbito-frontaux). Ces régions frontales recevraient leur information de manière parallèle de l'hémisphère droit qui aurait détecté de manière automatique les aspects prosodiques émotionnels d'un message. Comme l'étape trois implique une contribution bilatérale des structures frontales, la négativité latéralisée autour de 300-600ms observée dans nos

résultats devrait donc refléter les processus automatiques de détection de la prosodie décrits à l'étape deux proposée par Wildgruber et al. (2006). De plus, les effets furent plus grands pour les électrodes temporales et fronto-temporales, ce qui s'aligne sur la topographie fonctionnelle décrite par ce groupe de recherche. L'absence de résultats significatifs pour les sons contrôles nous fait également croire que ces résultats ne refléteraient pas les processus d'extraction acoustique dépeints à l'étape 1. Advenant que le rejet de l'hypothèse nulle soit réellement attribuable à notre interprétation, l'étape deux décrite par Wildgruber se verrait assigner une valeur temporelle, qui serait indexée par une négativité fronto-temporale se situant autour de 300-600ms.

5. CONCLUSION ET IMPLICATIONS

L'apport de cette étude se situe principalement sur le plan théorique. Elle a permis de départager certains effets de la valence et de la prosodie émotionnelle des effets acoustiques sur des composantes électrophysiologiques connues telles que la N1, la P1, la P2 et la P300. Les résultats de cette étude suggère également l'existence d'une composante électrophysiologique différente des PEs classiques centraux, notamment la N400 latérale, qui serait sensible aux attributs prosodiques émotionnels d'un son. Cette composante indexerait un processus psychologique survenant dans la portion temporelle de l'hémisphère droit qui se situerait entre l'étape d'extraction des caractéristiques acoustiques de base d'un son et l'étape de reconnaissance explicite de la prosodie émotionnelle d'un son par les cortex frontaux inférieurs bilatéraux.

De manière générale, les résultats électrophysiologiques de ce projet sont en harmonie avec ce qui fut précédemment observé dans les paradigmes visuels ainsi qu'avec la littérature provenant d'études d'imagerie fonctionnelle. À cet égard, nos résultats liés à la prosodie émotionnelle constituent un bon complément aux études émotionnelles d'IRMf, qui sont sensibles spatialement, mais non temporellement.

6. RÉFÉRENCES

- Adolphs, R. (2002). Neural systems for recognizing emotion. *Current Opinions in Neurobiology*, 12(2):169-77.
- Adolphs, R., Russell, J. A., & Tranel, D. (1999). A role for the human amygdala in recognizing emotional arousal from unpleasant stimuli. *Psychological Science*, 10: 167-171.
- Aeschlimann, M., Knebel, J.F., Murray, M.M., & Clarke, S. (2008). Emotional pre-eminence of human vocalizations. *Brain Topography*, 20(4):239-48.
- Alexandrov, Y.I., Klucharev, V., & Sams, M. (2007). Effect of emotional context in auditory-cortex processing. *International Journal of Psychophysiology*, 65(3), 261-

71.

- Amrhein, C., Muhlberger, A., Pauli, P., & Wiedemann, G. (2004). Modulation of event-related brain potentials during affective picture processing: a complement to startle reflex and skin conductance response? *International Journal of Psychophysiology*, 54, 231–240.
- Anderson, A.K., & Sobel, N. (2003). Dissociating intensity from valence as sensory inputs to emotion. *Neuron*, 39:581-583.
- Azizian, A., & Polich, J. (2007). Evidence for attentional gradient in the serial position memory curve from ERPs. *Journal of Cognitive Neuroscience*, (12):2071-81.
- Bachorowski, J.O., & Owren, M.J. (2003) Sounds of Emotion: Production and Perception of Affect-Related Vocal Acoustics. *Annals of the New York Academy of Science*, 1000: 244-265.
- Banse, R., Scherer, K.R. (1996). Acoustic profiles in vocal emotion expression. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70(3):614-36.
- Barbas, H. (2007). Flow of information for emotions through temporal and orbitofrontal pathways, *Journal of Anatomy*, 211: 237–249.
- Bard, P. (1934). On emotional expression after decortication with some remarks on certain theoretical views. *Psychological Reviews*, 41: 309-329.
- Beauregard, M., Levesque, J., & Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *Journal of Neuroscience*, 21(18): RC165.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A.R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10: 295-307.

- Belin P, Fillion-Bilodeau S, Gosselin F. The Montreal Affective Voices: a validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. *Behav Res Methods* 2008, 40(2):531-539.
- Belin, P., Zatorre, R.J., & Ahad, P. (2002). Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Brain Research*, 13(1):17-26.
- Belin, P., Zatorre, R.J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B.(2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403(6767):309-12.
- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A.G. & Rockstroh, B. (1990). Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. *Physiological Reviews.*, 70, 1-41.
- Blonder, D., Bowers, L.X., & Heilmann, K. (1991). The role of the right hemisphere in emotional communication. *Brain* ,114, 1115–1127.
- Boatman, D.F. (2006). Cortical auditory systems: speech and other complex sounds. *Epilepsy & Behavior*, 8(3):494-503.
- Borod, J.C., Bloom, R.L., Brickman, A.M., Nakhutina L., & Curko, E.A. (2002). Emotional processing deficits in individuals with unilateral brain damage. *Applied Neuropsychology*, 9: 23–36.
- Bostanov, V. & Kotchoubey, B. (2004). Recognition of affective prosody: Continuous wavelet measures of event-related brain potentials to emotional exclamations. *Psychophysiology*, 41, 259–268.
- Bowers, D., H.B. Coslett, H.B., R.M. Bauer, R.M., L.J. Speedie, L.J. & Heilman, K.H. (1987). Comprehension of emotional prosody following unilateral hemispheric lesions: processing defect versus distraction defect. *Neuropsychologia* , 25, 317–328.

- Brugge, J.F., & Reale, R.A. Auditory cortex. In: Peters A, Jones EG, editors. *Cerebral cortex*, vol. 4. New York: Plenum; 1985, p. 229–71.
- Bush, G, Luu, P., & Posner, M.I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4: 215-222.
- Calder, A.J., Lawrence, A.D., & Young, A.W. (2001). Neuropsychology of fear and loathing. *Nature Reviews Neuroscience*, 2: 352-363.
- Cannon, W.B. (1927). The James-Lange theory of emotion. *American Journal of Psychology*, 39: 106-124.
- Cano, M.E., Class, Q.A., & Polich, J. (2009). Affective valence, stimulus attributes, and P300: color vs. black/white and normal vs. scrambled images. *International Journal of Psychophysiology*,(1):17-24.
- Carretie, L., Hinojosa, J.A., & Mercado, F. (2003). Cerebral patterns of attentional habituation to emotional visual stimuli. *Psychophysiology*., 40, 381-388.
- Carretie, L., Hinojosa, J.A., Albert, J., & Mercado, F. (2006). Neural response to sustained affective visual stimulation using an indirect task. *Experimental Brain Research*, 174, 630–637.
- Carretie, L., Martin-Loeches, M., Hinojosa, J.A., & Mercado, F. (2001). Emotion and attention interaction studied through event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1109–1128.
- Carretie, L., Mercado, F., Hinojosa, J.A., Martin-Loeches, M., & Sotillo, M. (2004). Valence-related vigilance biases in anxiety studied through event-related potentials. *Journal of Affective Disorders*, 78, 119–130.
- Carretie, L., Mercado, F., Tapia, M., & Hinojosa, J.A. (2001). Emotion, attention, and the

- ‘negativity bias’, studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 75–85.
- Codispoti, M., Ferrari, V., & Bradley, M.M. (2006). Repetitive picture processing: autonomic and cortical correlates. *Brain Research*, 1068, 213–220.
- Codispoti, M., Ferrari, V., Bradley, M.M. (2007). Repetition and event-related potentials: distinguishing early and late processes in affective picture perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 577–586.
- Conroy, M.A., & Polich, J. (2007). Affective valence and P300 when stimulus arousal level is controlled. *Cognition & Emotion*, 21, 891–901.
- Cuthbert, B.N., Schupp, H.T., Bradley, M.M., Birbaumer, N., & Lang, P.J. (2000). Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report. *Biological Psychology*, 52, 95–111.
- Cutler, A., Dahan, D., & Donselaar, W. (1997) Prosody in the Comprehension of Spoken Language: A Literature Review. *Language and Speech*, 40: 141-201.
- Czigler, I., Cox, T.J., Gyimesi, K., & Horváth, J. (2007). Event-related potential study to aversive auditory stimuli. *Neuroscience Letters*, 420, 251–256.
- Damasio, A. (1994). *Descartes's error: emotion, reason, and the human brain*. New York, Grosset/Putnam.
- Darwin, C. 1872/1955. *The expression of the emotions in man and in animals*. New York: The Philosophical Library. Original edition published in 1872.
- Davidson, R. J. (1984). Affect, cognition and hemispheric specialization. In C. E. Izard, J. Kagan, & R. Zajonc (Eds.), *Emotion, cognition and behavior* (pp. 320-365). New York: Cambridge University Press.

- Davidson, R.J. & Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends Cogn. Sci.* 3, 11–21.
- Davis, M., & Whalen, P.J. (2001). The amygdala: vigilance and emotion. *Molecular Psychiatry*, 6:13-34.
- Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., Rigoulot, S., & Sequeira, H. (2006) Arousal and valence effects on event-related P3a and P3b during emotional categorization. *International Journal of Psychophysiology*, 60: 315–322.
- Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., & Sequeira H. (2006). Attentional modulation of appraisal in emotion: the case of the P3b. *Psychophysiology*, 43:S7.
- Delplanque, S., Lavoie, M.E., Hot, P., Silvert, L., & Sequeira, H. (2004). Modulation of cognitive processing by emotional valence studied through event-related potentials in humans. *Neuroscience Letters*, 356, 1–4.
- Delplanque, S., Silvert, L., Hot, P., & Sequeira, H. (2005). Event-related P3a and P3b in response to unpredictable emotional stimuli. *Biological Psychology*, 68, 107–120.
- Di Russo, F., Taddei, F., Apnile, T., & Spinelli, D. (2006). Neural correlates of fast stimulus discrimination and response selection in top-level fencers. *Neuroscience Letters*, 408, 113–118.
- Dolcos, F., Cabeza, R. (2002). Event-related potentials of emotional memory: encoding pleasant, unpleasant, and neutral pictures. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 2, 252–263.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6: 169-200.

- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1982). Measuring facial movement with the Facial Action Coding System. In P. Ekman (Ed.), *Emotion in the human face* (pp. 178-211). Cambridge: Cambridge University Press.
- Ellsworth, P.C., & Scherer, K.R. (2003). Appraisal processes in emotion. In R.J. Davidson, K.R. Scherer, & H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 572–595). New York: Oxford University Press.
- Ethofer, T., Anders, S., Erb, M., Herbert, C., Wiethoff, S., Kissler, J., Grodd, W., & Wildgruber, D. (2006). Cerebral pathways in processing of affective prosody: a dynamic causal modeling study. *Neuroimage*, 30(2):580-7.
- Ethofer, T., Anders, S., Wiethoff, S., Erb, M., Herbert, C., Saur, R., et al. (2006b). Effects of prosodic emotional intensity on activation of associative auditory cortex. *Neuroreport*, 17(3):249-53.
- Firszt, J.B., Ulmer, J.L., & Gaggl, W. (2006). Differential representation of speech sounds in the human cerebral hemispheres. *Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 288(4):345-57.
- Fischler, I., & Bradley, M. (2006). Event-related potential studies of language and emotion: words, phrases, and task effects. *Progress in Brain Research*, 156, 185-203.
- Fischler, I., & Bradley, M. (2006). Event-related potential studies of language and emotion: words, phrases, and task effects. *Progress in Brain Research*, 156:185-203.
- Fontaine, J.R., Scherer, K.R., Roesch, E.B., & Ellsworth, P.C. (2007). The world of emotions is not two-dimensional. *Psychological Science*, 18(12): 1050-1057.

- Gainotti, G., Caltagirone, C., & Zoccolotti, P. (1993). Left /right and cortical/subcortical dichotomies in the neuropsychological study of human emotions. *Cognition & Emotion*, 7: 71-93.
- Galaburda, A.M., & Pandya, D.N. (1983). The intrinsic architectonic and connectional organization of the superior temporal region of the rhesus monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 221:169–84.
- Goydke, K.N., Altenmüller, E., Möller, J., & Münte, T.F. (2004). Changes in emotional tone and instrumental timbre are reflected by the mismatch negativity. *Cognitive Brain Research*, 21, 351– 359.
- Grandjean, D., Sander, D., Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M.L., et al. (2005). The voices of wrath: brain responses to angry prosody in meaningless speech. *Nature Neuroscience*, 8(2):145-6.
- Griffiths, T.D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I., Josephs, O., Patterson, R.D.(2001). Encoding of the temporal regularity of sound in the human brainstem. *Nature Neuroscience*, 4:633-7.
- Grimm, S., Schmidt, C.F., Bermpohl, F., Heinzl, A., Dahlem, Y., Wyss, M., et al. (2006). Segregated neural representation of distinct emotion dimensions in the prefrontal cortex-an fMRI study. *Neuroimage*, 30(1), 325-40.
- Heffner, R.S., & Heffner, H.E. (1989). Sound localization: use of binaural cues and the superior olivary complex in pigs. *Brain, Behavior & Evolution*, 33, 248-252.
- Heilman, K.M., Bowers, D., Speedie, L., & Coslett, H.B. (1984). Comprehension of affective and nonaffective prosody. *Neurology*, 34(7):917-21.

- Heilman, K.M., Scholes, R., & Watson, R.T. (1975). Auditory affective agnosia. Disturbed comprehension of affective speech. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 38(1):69-72.
- Heimer L, Van Hoesen GW. The limbic lobe and its output channels: implications for emotional functions and adaptive behavior. *Neurosci Biobehav Rev.* 2006;30(2):126-47.
- Huang YX, Luo YJ. Temporal course of emotional negativity bias: an ERP study. *Neurosci Lett* 2006, 398:91-96.
- Izard, C. E. (1971). *The face of emotion*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9, 188-205.
- Kissler, J., Assadollahi, R., & Herbert, C. (2006). Emotional and semantic networks in visual word processing: insights from ERP studies. *Progress in Brain Research*, 156, 147-183.
- Konig, R., Heil, P., Budinger, E., Scheich, H. The auditory cortex. London: Lawrence Erlbaum Associates; 2005.
- Kutas, M. and Hillyard, S.A. (1980) Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203–205.
- Kutas, M., Federmeier, K.D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Science*, 4(12):463-470.

- Lane R.D., Reiman, E.M., Bradley, M.M., Lang, P.J., Ahern, G.L., Davidson, R.J., & Schwartz, G.E. (1997). Neuroanatomical correlates of pleasant and unpleasant emotion. *Neuropsychologia* 35:1437-1444.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., & Nangia, V. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, 35, 199-210.
- Lang, P.J. (1994). The motivational organization of emotion: Affect-reflex connections. In: Van Goozen, S.H.M., Van de Poll, N.E., and Sergeant, J.E. (Eds.), *Emotions: Essays on Emotion Theory*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, pp. 61-93.
- Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N. (1999). International Affective Picture System (IAPS). Instruction manual and affective ratings. The center for research in psychophysiology, University of Florida, (Rep. No. A-4).
- Lang, P.J., Kozak, M.J., Miller, G.A., Levin, D.N., & MacLean Jr, A. (1980). Emotional imagery: conceptual structure and pattern of somato-visceral response. *Psychophysiology*, 17: 179-192.
- Lauter, J.L., Herscovitch, P., Formby, C., & Raichle, M.E. (1985). Tonotopic organization in human auditory cortex revealed by positron emission tomography. *Hearing Research*, 20, 199-205.
- Lawrence, A.D., Calder, A.J., McGowan, S.W., & Grasby, P.M. (2002). Selective disruption of the recognition of facial expressions of anger. *Neuroreport*, 13(6):881-884.

- LeDoux, J.E., & Hirst, W. (1986). *Mind and brain, dialogues in cognitive neuroscience*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Lehiste, I. (1970). *Suprasegmentals*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Lewis, J.W., Wightman, F.L., Brefczynski, J.A., Phinney, R.E., Binder, J.R. & DeYoe, E.A. (2004). Human brain regions involved in recognizing environmental sounds, *Cerebral Cortex*, 14, 1008-1021.
- Lewis, P.A., Critchley, H.D., Rotshtein, P., & Dolan, R.J. (2007). Neural correlates of processing valence and arousal in affective words. *Cerebral Cortex*, 17(3): 742-748.
- Lindell, A.K. (2006). In your right mind: Right hemispheric contributions to language processing and production. *Neuropsychological Review*, 16, 131-148.
- Luck, S.J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT Press, Cambridge.
- MacLean, P.D. (1949). Psychosomatic disease and the "visceral brain": recent developments bearing on the Papez theory of emotion. *Psychosomatic Medicine*, 11: 338-353.
- MacLean, P.D. (1952). Some psychiatric implications of physiological studies on fronto-temporal portion of limbic system (visceral brain). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 4: 407-418.
- Mecklinger, A., & Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Cognitive Brain Research*, 4, 211–224.

- Mendoza, S. P., & Ruys, J. D. (2001). The beginning of an alternative view of the neurobiology of emotion. *Social Science Information*, 40, 39-60.
- Murphy, F.C., Nimmo-Smith, I., & Lawrence, A.D.(2003). Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3(3):207-33.
- Murray, I.R., & Arnott, J.L. (1993). Toward the simulation of emotion in synthetic speech: a review of the literature on human vocal emotion. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93: 1097-1108.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4), 375-425.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology*, 118(12):2544-90.
- Niedenthal, P., Krauth-Gruber, S., & Ric, R. (2006). Psychology of emotion. New York: Psychology Press.
- Nunez, P.L., & Srinivasan, R. Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG. New York, NY: Oxford University Press; 2006.
- Olofsson, J.K., & Polich, J. (2007). Affective visual event-related potentials: arousal, repetition, and time-on-task. *Biological Psychology*, 75, 101–108.
- Olofsson, J.K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008) Affective picture processing: an integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77(3):247-65.
- Olofsson, J.K., Nordin, S., Sequeira, H., Polich, J. (2008). Affective picture processing: an

- integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77(3):247-65.
- Palomba, D., Angrilli, A., & Mini, A. (1997). Visual evoked potentials, heart rate responses and memory to emotional pictorial stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 27:55-67.
- Papez, J.W. (1937). A proposed mechanism of emotion. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 38, 725-743.
- Paradiso, S., Johnson, D.L., Andreasen, N.C., O'Leary, D.S., Watkins, G.L., Ponto, L.L., & Hichwa, R.D.(1999). Cerebral blood flow changes associated with attribution of emotional valence to pleasant, unpleasant, and neutral visual stimuli in a PET study of normal subjects. *American Journal of Psychiatry*, 156:1618-1629.
- Phan, K.L., Wager, T.D., Taylor, S.F., & Liberzon, I. (2004). Functional neuroimaging studies of human emotions. *CNS Spectrums*, 9(4)258-66.
- Phan, W., & Liberzon, T. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *Neuroimage*, 16, 331-338.
- Phelps, E.A. (2006). Emotion and cognition: insights from studies of the human amygdala. *Annual Review of Psychology*, 57, 27-53.
- Phillips, M.L., Young, A.W., Scott, S.K., Calder, J., Andrew, C., Giampetro, V. et al., (1998). Neural responses to facial and vocal expressions of fear and disgust. *Proceedings in the Biological Sciences*, 265: 1809-1817.
- Phillips, M.L., Young, A.W., Senior, C., Brammer, M., Andrew, C., Calder, J., et al., (1997). A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust. *Nature*, 389, 495-498.

- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2128–2148.
- Pollatos O, Kirsch W, Schandry R. On the relationship between interoceptive awareness, emotional experience, and brain processes. *Brain Res Cogn Brain Res* 2005, **25**:948–962.
- de Ribaupierre, F. Acoustic information processing in the auditory thalamus and cerebral cortex. In: Ehret G, Romand R, editors. *The central auditory system*. Oxford: Oxford Univ. Press; 1997. p. 317–97.
- Ross, E.D. (1981). The aprosodias. Functional-anatomic organization of the affective components of language in the right hemisphere. *Archives of Neurology*, 38(9):561-9.
- Ross, E.D., Mesulam, M.M. (1979). Dominant language functions of the right hemisphere? Prosody and emotional gesturing. *Archives of Neurology*, 36(3):144-8.
- Rot, M., Mathew, S.J., & Charney, D.S. (2009). Neurobiological mechanisms in major depressive disorder. *Canadian Medical Association Journal*, 180(3):305-13
- Rozenkrants, B., & Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2260-5.
- Russell, J.A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1161-1178.
- Russell, J.A.. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, 110(1):145-72.
- Sabatinelli, D., Lang, P.J., Keil, A., & Bradley, M.M. (2007). Emotional perception: Correlation of functional MRI and event-related potentials. *Cerebral Cortex*, 17,

1085–1091.

Scherer, K.R. (1986). Vocal affect expression: a review and a model for future research.

Psychological Bulletin, 99(2):143-65.

Scherer, K.R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*, 44, 693–727.

Scherer, K.R., (2003). Vocal communication of emotion: a review of research paradigms.

Speech Communication, 40:227– 256.

Scherer, K.R., Johnstone, T., Klasmeyer, G. (2003). Vocal expression of emotion. In:

Davidson RJ, Scherer KR, Goldsmith HH (Eds.) *Handbook of Affective Sciences*, New York, Oxford, S. 433-456.

Schupp, H., Flaisch, T., Stockburger, J., Junghöfer, M., Anders, S., Ende M, et al., editors.

Emotion and attention: event-related brain potential studies. *Progress in Brain Research*. 2006;156:31–51.

Schupp, H.T., Cuthbert, B.N., Bradley, M.M., Hillman, C.H., Hamm, A.O., & Lang, P.J.

(2004). Brain processes in emotional perception: Motivated attention. *Cognition & Emotion*, 18, 593–611.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I., & Hamm, A.O. (2003). Attention and emotion:

an ERP analysis of facilitated emotional stimulus processing. *Neuroreport*, 14, 1107–1110.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I., & Hamm, A.O. (2004). The selective processing

of briefly presented affective pictures: An ERP analysis. *Psychophysiology*, 41, 441–449.

Schupp, H.T., Junghöfer, M., Weike, A.I., & Hamm, A.O. (2003b). Emotional facilitation of

- sensory processing in the visual cortex. *Psychological Science*, 14, 7–13.
- Schupp, H.T., Stockburger, J., Codispoti, M., Junghöfer, M., Weike, A.I., Hamm, A.O.(2006). Stimulus novelty and emotion perception: the near absence of habituation in the visual cortex. *Neuroreport*, 17:365–369.
- Sidtis, J.J., & Van-Lancker-Sidtis, D. (2003) A neurobehavioral approach to dysprosody. *Seminars in Speech and Language*, 24: 93-105.
- Simonov The Emotional Brain: Physiology, Neuroanatomy, Psychology and Emotion by P.V. Simonov and Marie J. Hall (Hardcover - Jul 31 1986).
- Smith, N.K., Cacioppo, J.T., Larsen, J.T., & Chartrand, T.L. (2003). May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia*, 41, 171–183.
- Thierry, G. & Roberts, M.V. (2007). Event-related potential study of attention capture by affective sounds. *NeuroReport*, 18, 245-248.
- Thierry, G., Giraud, A.L., & Price, C. (2003). Hemispheric dissociation in access to the human semantic system. *Neuron*, 38, 499-506.
- Tompkins, C.A., & Flowers, C.R. (1985). Perception of emotional intonation by brain-damaged adults: the influence of task processing levels. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28(4):527-38.
- Tucker, D.M., Watson, R.T., & Heilman, K.M. (1977). Discrimination and evocation of affectively intoned speech in patients with right parietal disease. *Neurology*, 27(10):947-50.
- Urbach, T.P., Kutas, M.(2002). The intractability of scaling scalp distributions to infer neuroelectric sources. *Psychophysiology*, 39(6), 791–808.

- Verleger, R. On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology*, 34, 131–56.
- Wambacq, I.J., & Jerger, J.F. (2004). Processing of affective prosody and lexical-semantics in spoken utterances as differentiated by event-related potentials. *Cognitive Brain Research*, 20, 427– 437.
- Wildgruber, D., Ackermann, H., Kreifelts, B., & Ethofer, T. (2006). Cerebral processing of linguistic and emotional prosody: fMRI studies. *Progress in Brain Research*, 156, 249-68.
- Williams, L. M., Phillips, M. L., Brammer, M. J., Skerrett, D., Lagopoulos, J., Rennie, C., et al. (2001). Arousal dissociates amygdala and hippocampal fear responses: Evidence from simultaneous fMRI and skin conductance recording. *NeuroImage*, 14, 1070-1079.
- Winer, J.A., & Schreiner, C.E. The inferior colliculus. New York: Springer Science & Business Media; 2005.
- Yik, M.S.M., Russell, J.A., & Feldman-Barrett, L. (1999). Structure of self-reported current affect: Integration and beyond. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77, 600–619.

ANNEXE A - FIGURES

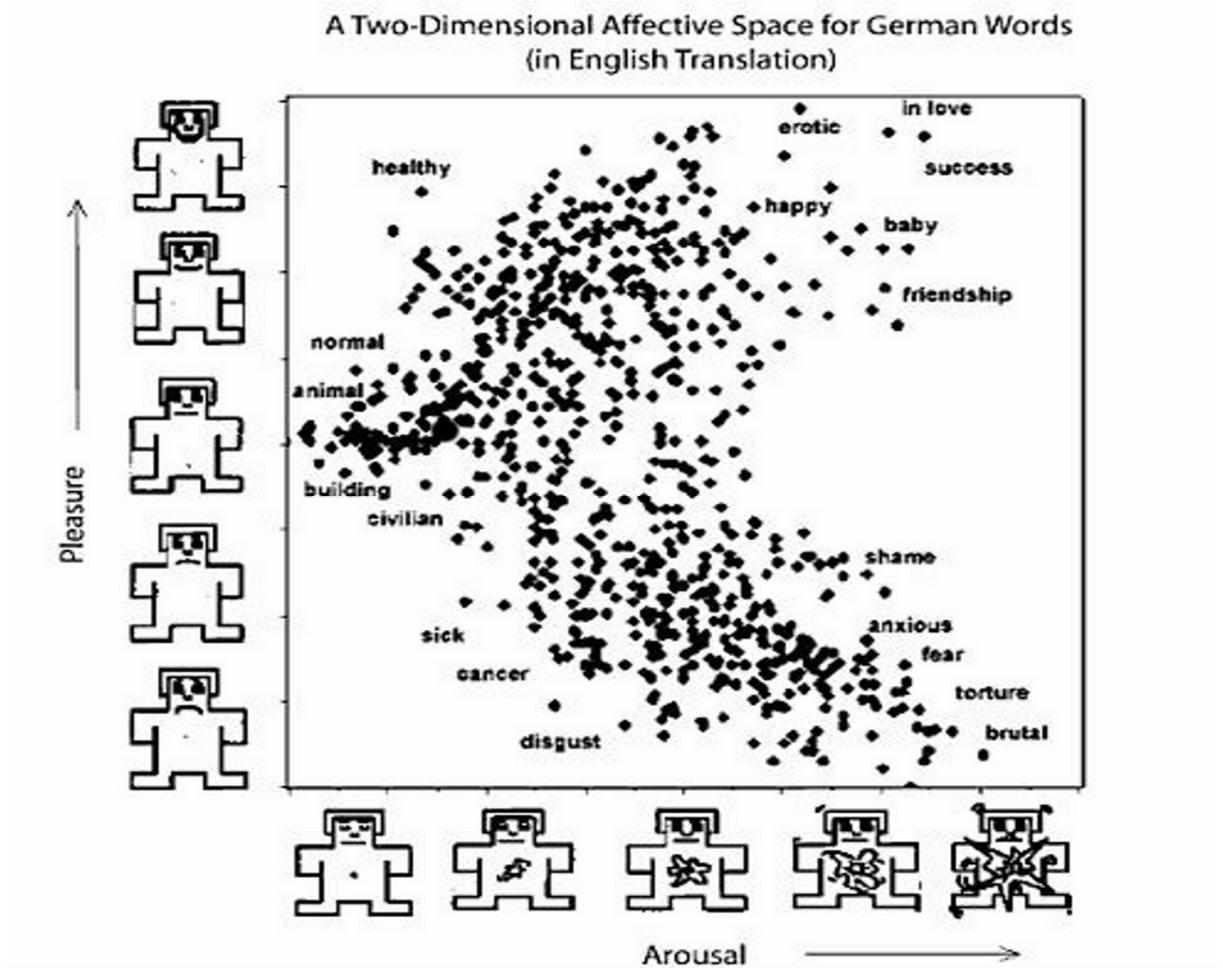


Fig.1.1 - Graphique illustrant la relation entre la valence et l'intensité émotionnelle, ainsi que l'échelle mesurant ces deux variables. Tiré de Bradley et Lang, 1994.

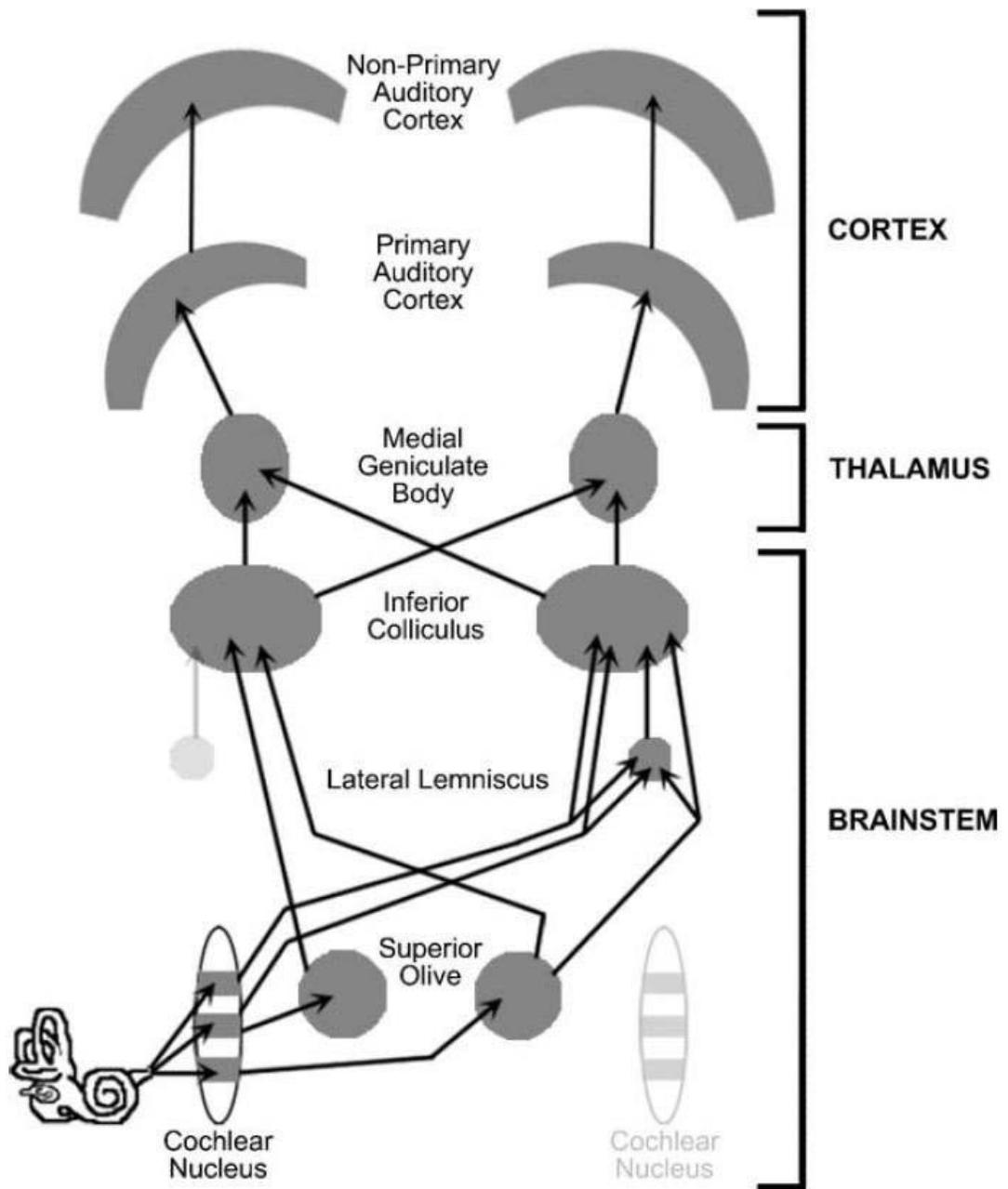


Fig. 2.1 – Schéma représentant la connectivité du système auditif, de l'oreille externe jusqu'aux aires auditives corticales. Tiré de Boatman et al., 2006

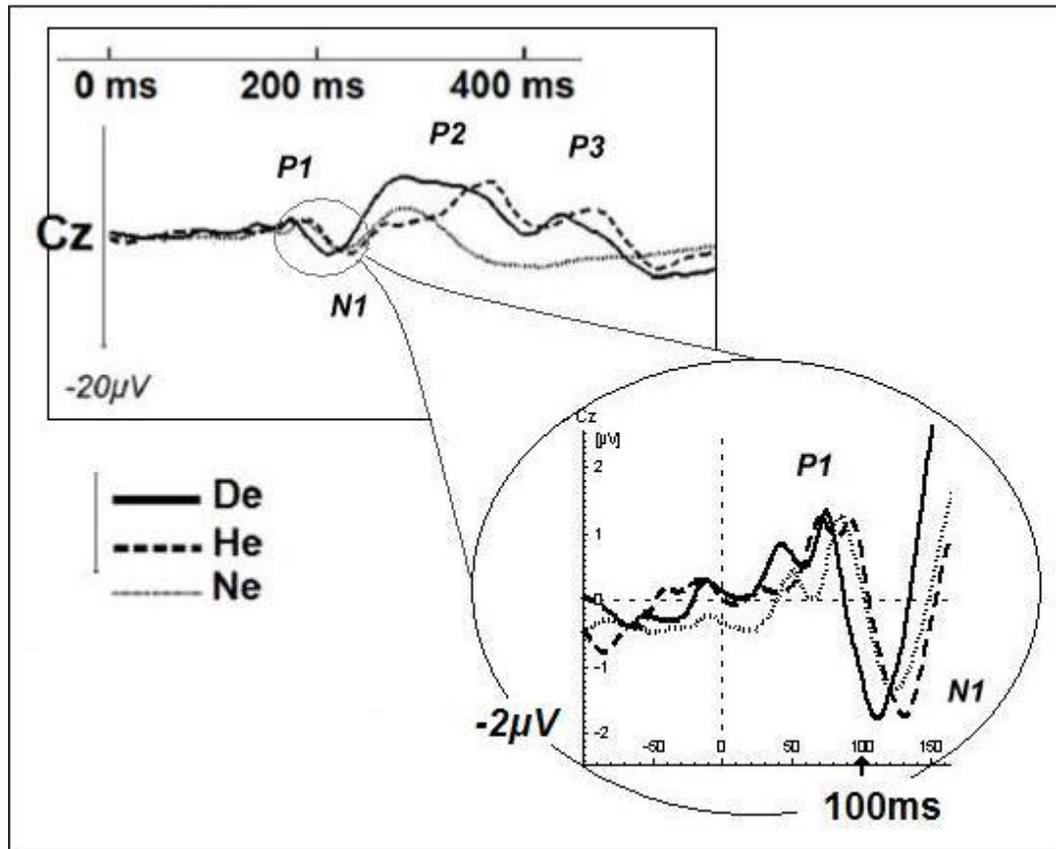


Fig. 4.1 Figure montrant les différences d'amplitude moyenne entre la condition neutre (pointillé fin) et les deux valences (trait plein et pointillé gras).

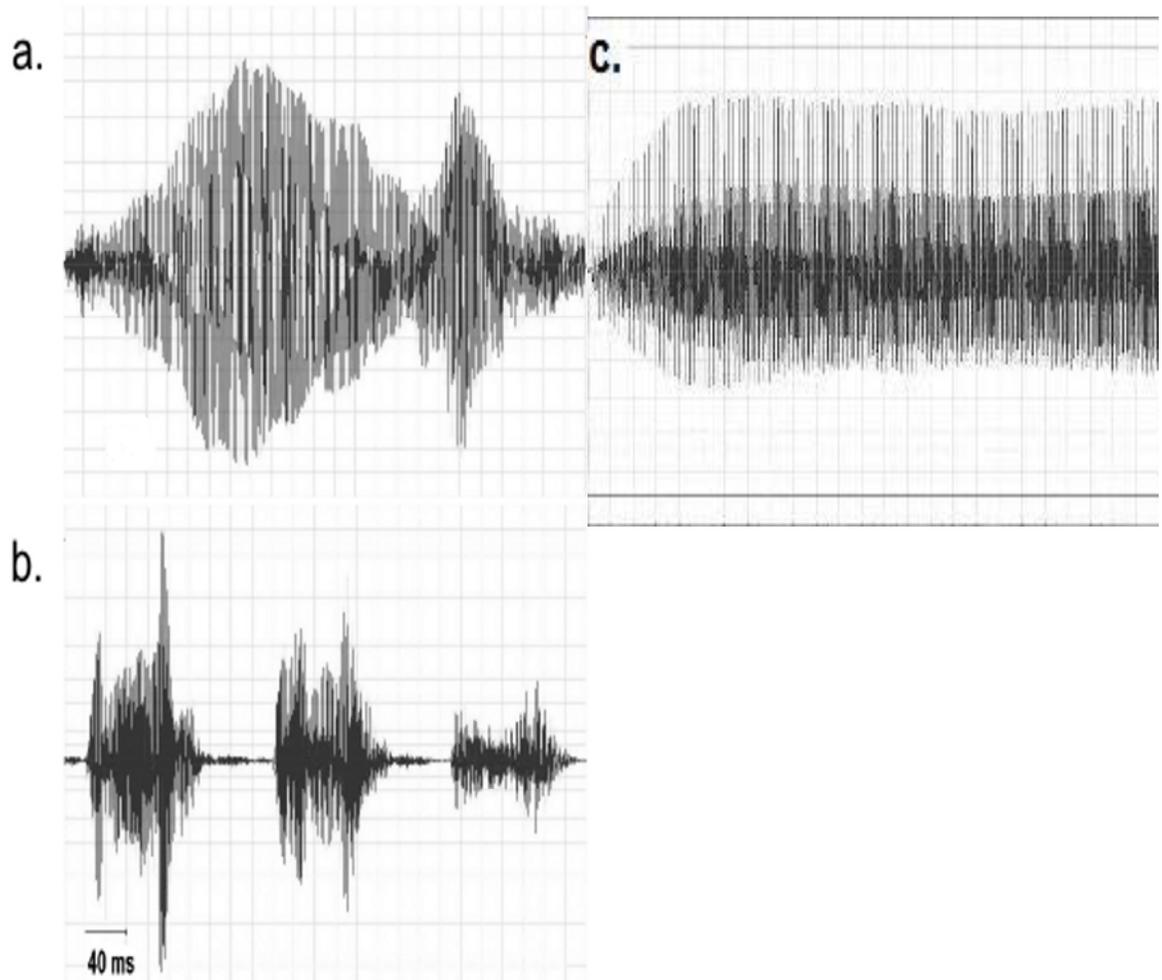


Fig. 4.2 – Ondelette des sons de dégoût (a), rire (b) et du son neutre (c) de la condition oddball émotionnel.

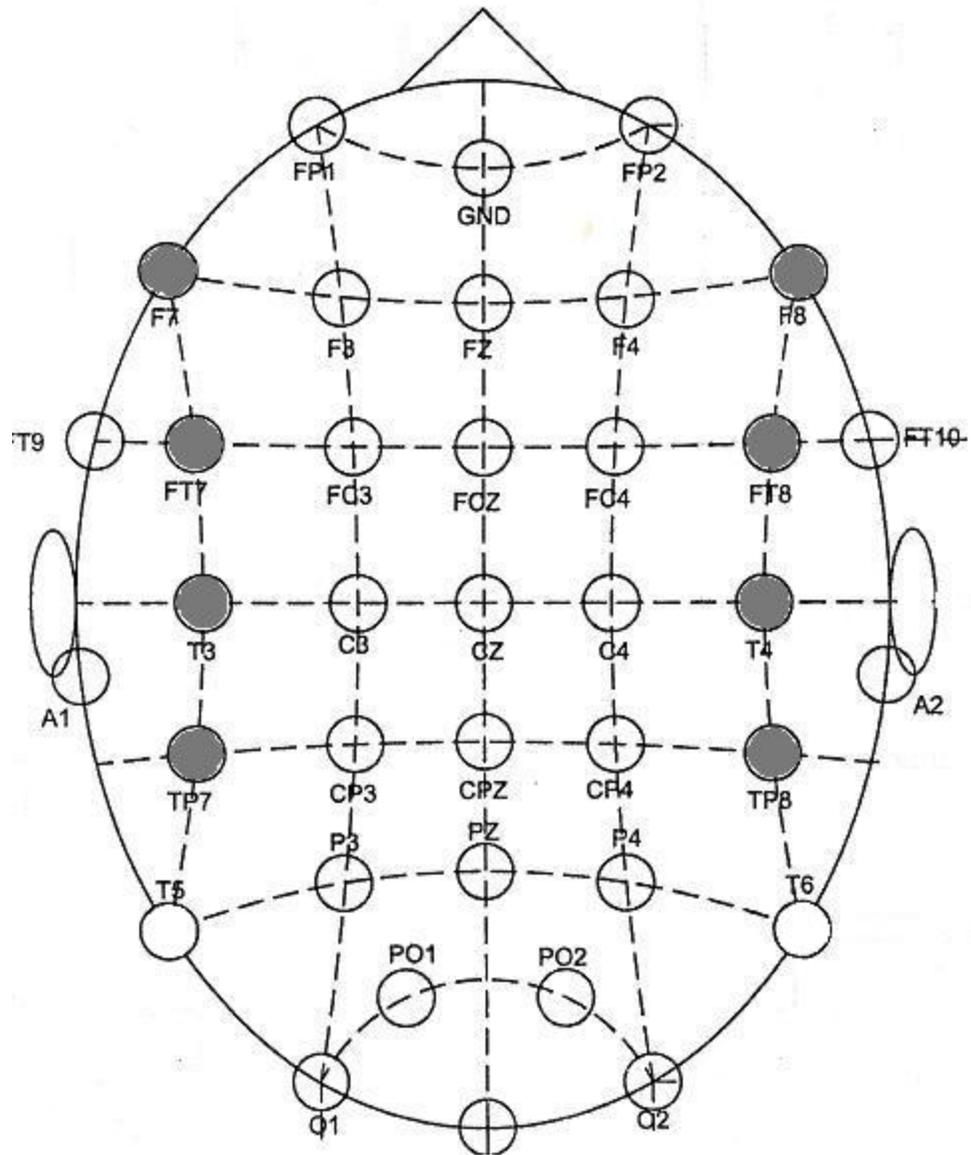


Fig 4.3- En sombre, paires d'électrodes sur lesquels les tests de latéralité ont été effectués.

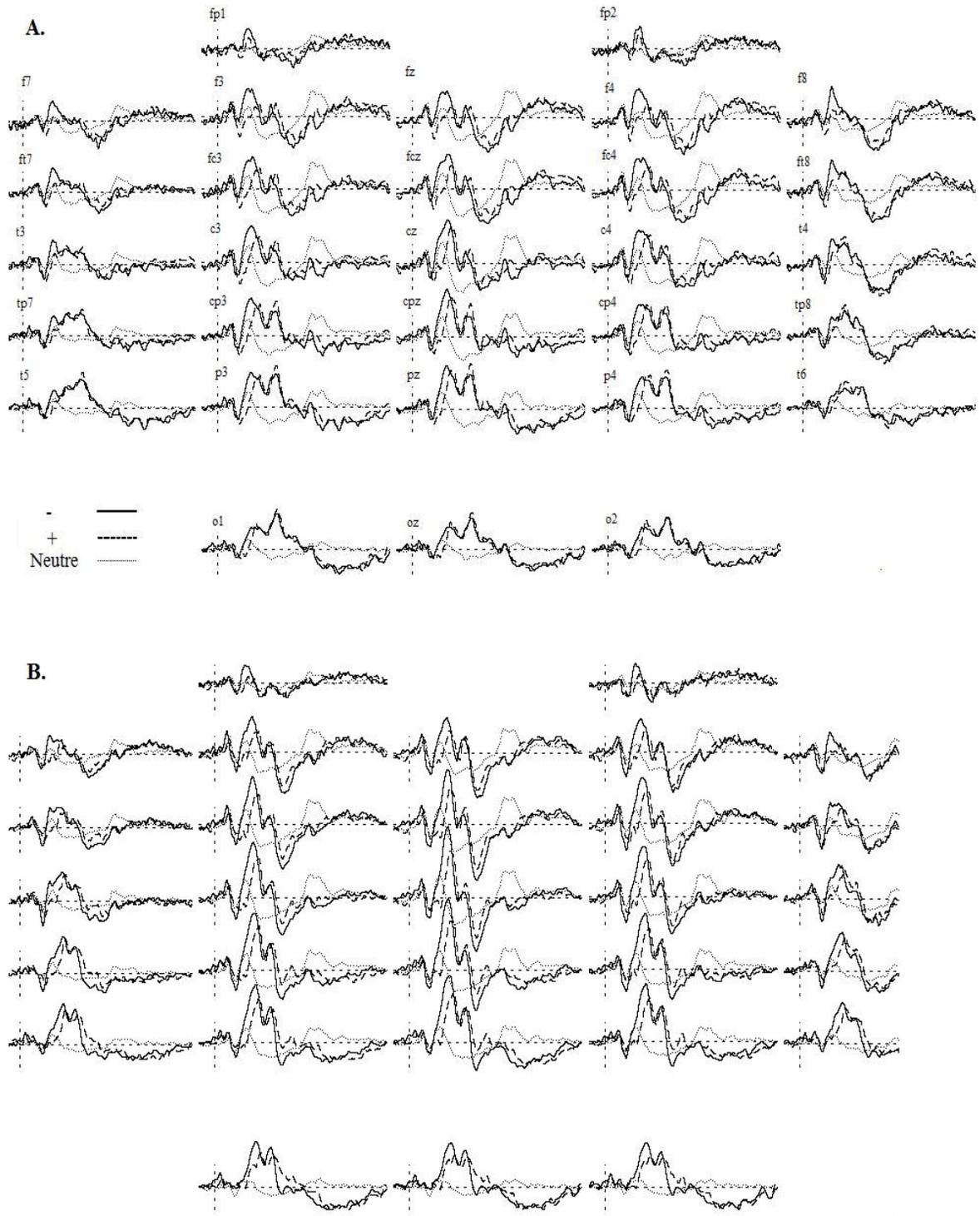


Fig. 4.4 – Vue d'ensemble des principales électrodes pour la condition oddball émotionnel (a) et pour la condition oddball "scramble" (b)

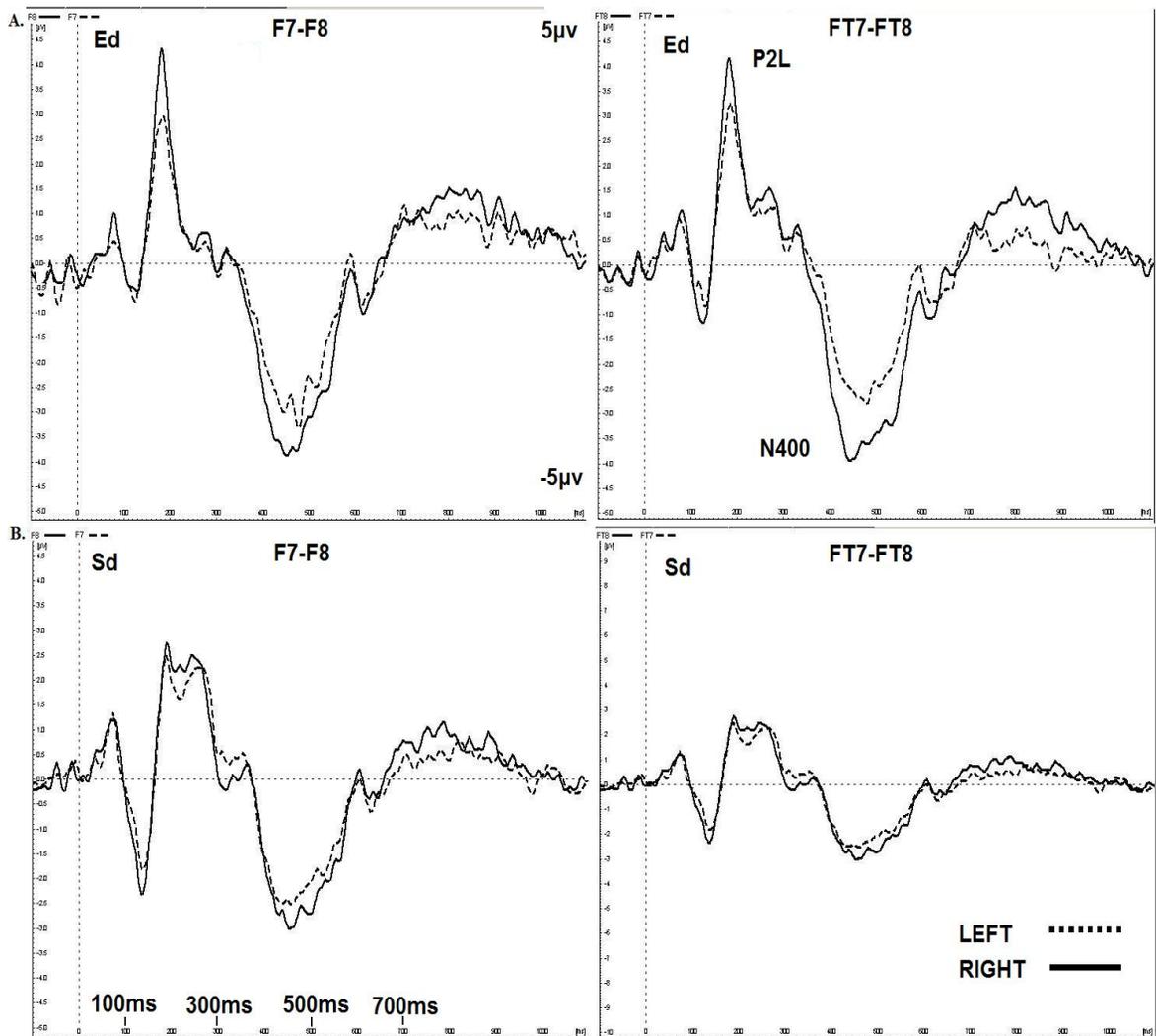


Figure 4.5 a- Figure montrant les PÉs de la condition dégoût émotionnel (Ed, en haut) et dégoût "scramble" (Sd, en bas) aux paires d'électrodes F7-F8 (gauche) et FT7-FT8 (droite). Les amplitudes sont plus grandes pour la composante P2L et la N400 pour la condition Ed mais non pour la condition Sd.

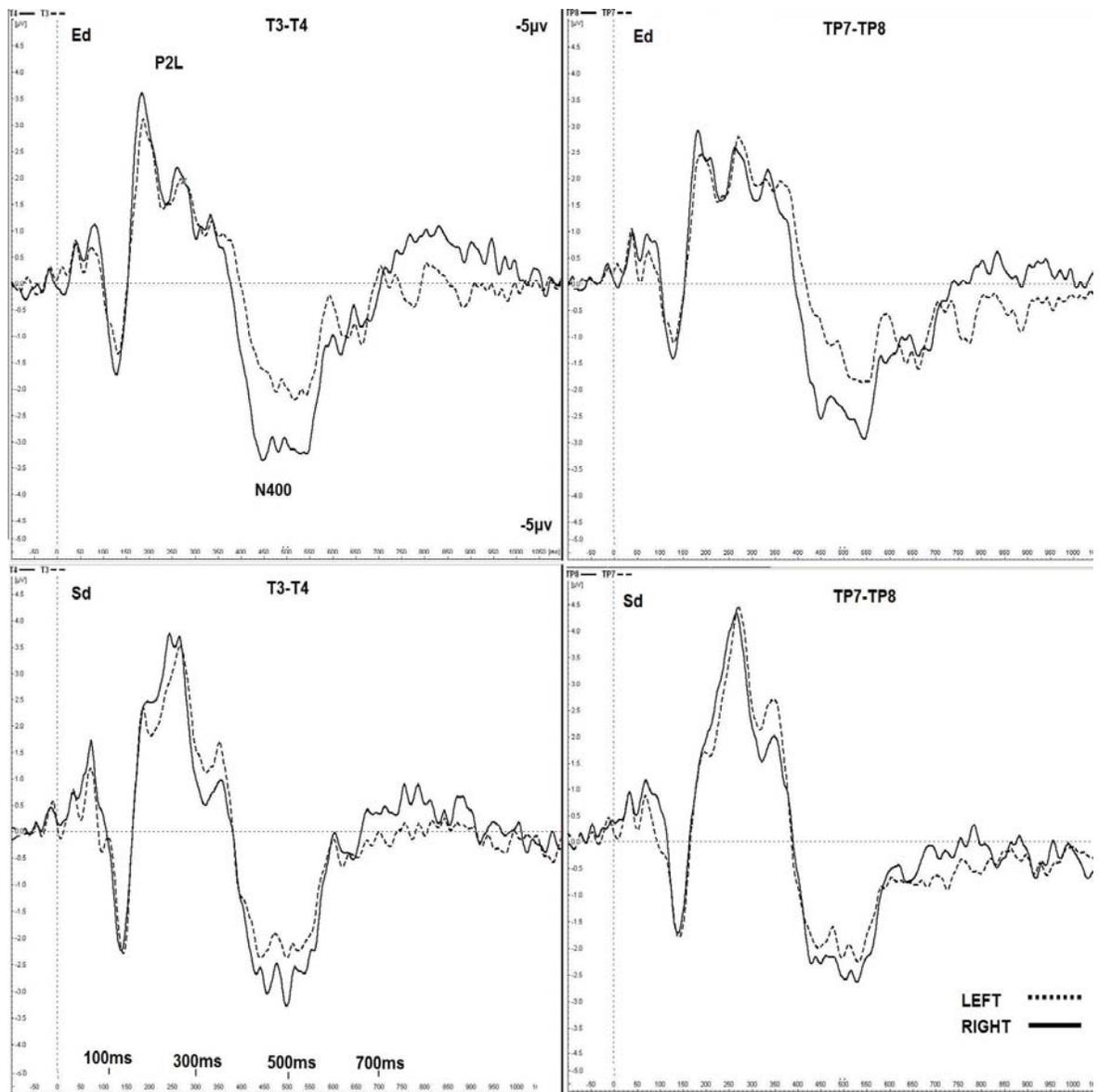


Figure 4.5 b- Figure montrant les PÉs de la condition dégoût émotionnel (Ed, en haut) et dégoût "scramble" (Sd, en bas) aux paires d'électrodes T3-T4 (gauche) et TP7-TP8 (droite). Les amplitudes sont plus grandes pour la composante N400 pour la condition Ed mais non pour la condition Sd.

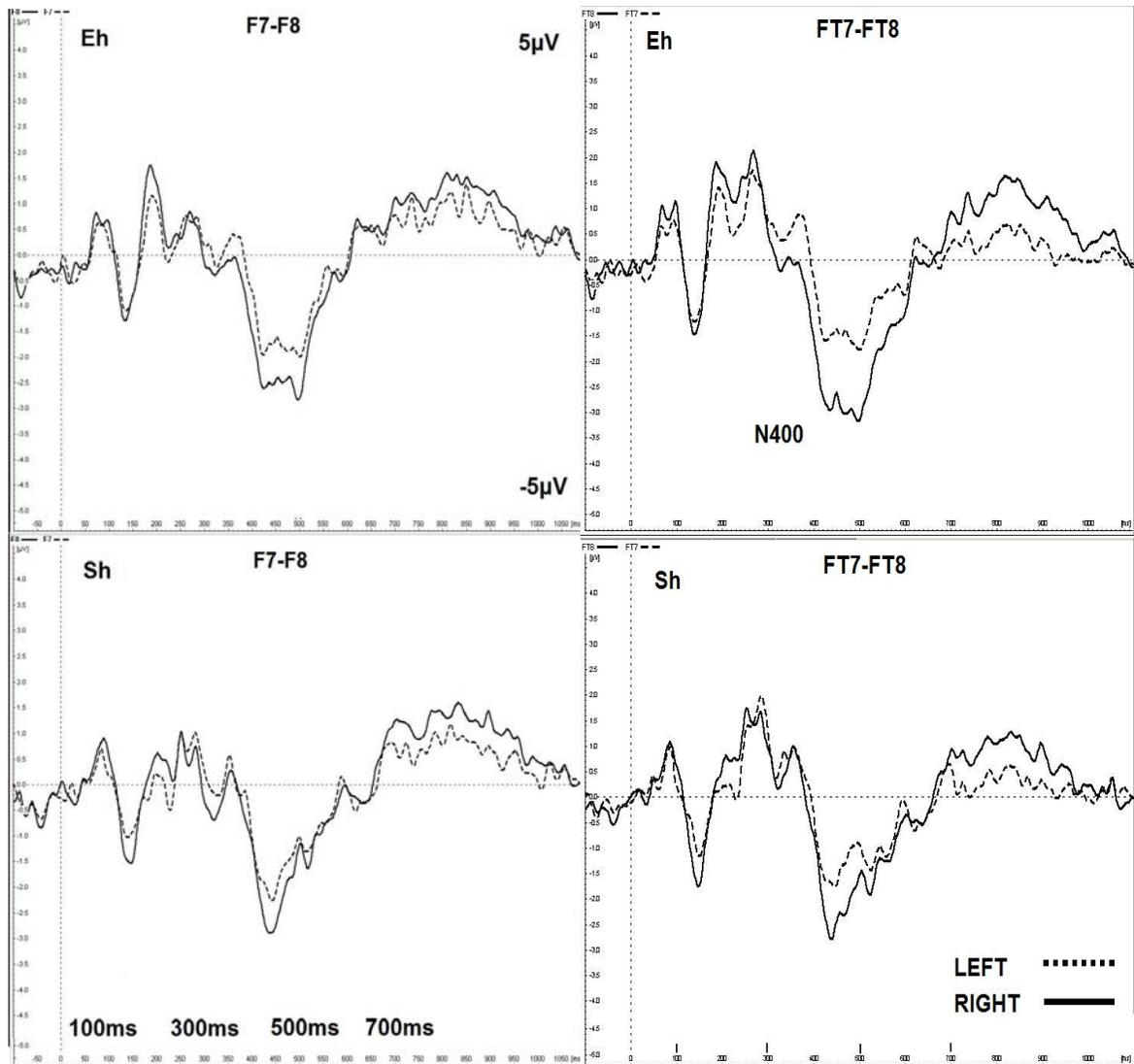


Figure 4.5 c- Figure montrant les PÉs de la condition joie émotionnelle (Eh, en haut) et joie "scramble" (Sh, en bas) aux paires d'électrodes F7-F8 (gauche) et FT7-FT8 (droite). Les amplitudes sont plus grandes pour la composante N400 pour la condition Eh mais non pour la condition Sh.

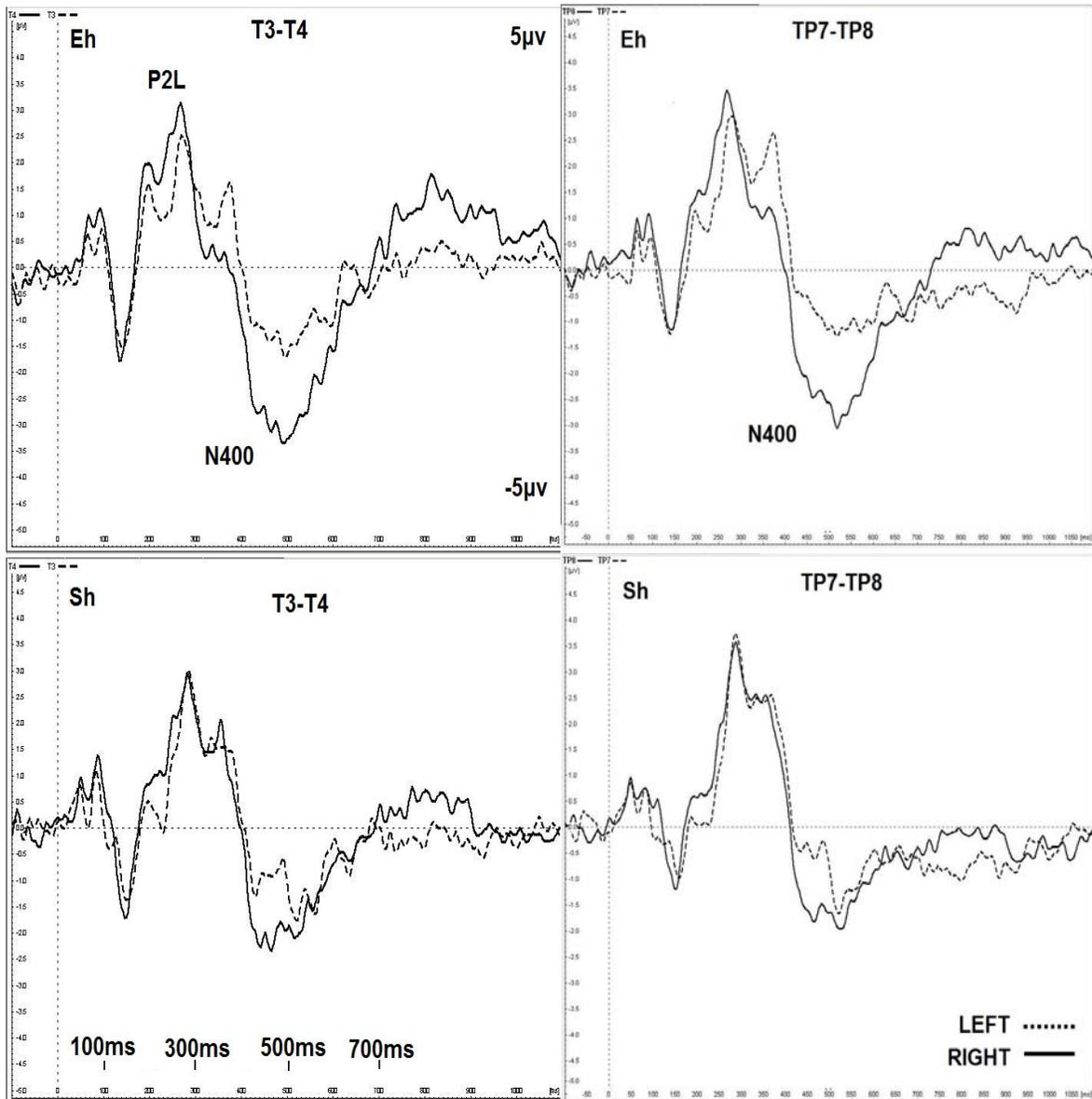


Figure 4.5 d- Figure montrant les PÉs de la condition joie émotionnelle (Eh, en haut) et joie "scramble" (Sh, en bas) aux paires d'électrodes T3-T4 (gauche) et TP7-TP8 (droite). Les amplitudes sont plus grandes pour la composante N400 pour la condition Eh mais non pour la condition Sh.

ANNEXE B- TABLEAUX

Étude (année)	Ratio hommes/femme (H/F), tranche d'âge (A) ou âge moyen (années)	Caractéristiques du stimulus (S) [durée en ms] et objectif théorique de l'étude (O)	Caractéristiques spéciales de l'étude (C) et de la tâche (T)	Effets affectifs (A) du stimulus et topographie (T) à une latence donnée [composante]
Alexandrov et al., 2007	H/F: 10/0 A: 21-25	S: tons purs neutres de 700 et 730Hz [100 ms] O: Valence	C: Évaluation des PÉs à des stimuli auditifs conditionnés par feedback de punition ou de récompense T: Oddball auditif	A: ~130ms [N1]: neg>pos/neu ~330 [P3]: pos>neg/neu T: N1- auditory cortex P3 - parieto-occipital
Bostanov et al., 2004	H/F: 10/9 A: (26)	S: quatre vocalisations de joie et une de tristesse [750-870ms] O: Reconnaissance émotionnelle	C: Écoute passive avec tâche contrôle utilisant du <i>priming</i> sémantique T: Oddball catégoriel passif	A: [N300]: reconnaissance émotionnelle vocale T: Cz
Czigler et al., 2007	H/F: 4/7 A: 19-23 (20.5)	S: Sons quotidiens aversifs, neutres et deux tons purs [350-500ms] O: Effet de valence négative sur la P3a	C: les sons quotidiens étaient rares distracteurs; réponse requise au ton pur rare T: Oddball à 3 stimuli	A: ~150ms[N2b]: neg>neu ~372-456ms[P3a]: neg>neu T: [N2b]-pariétocentral [P3a]-frontal
Goydke et al., 2004	H/F: 1/11 A: 20-36 (26)	S: Quatre tons musicaux joyeux ou triste, violon et flûte [600ms] O: Effet de la valence sur la MMN	C: contrôle des effets acoustiques de hauteur tonale et de timbre T: Un oddball passif et un actif	A: [P3b]: effets de latence neg>pos T: Pz
Thierry et al., 2007	H/F: 7/12 A: (20)	S: Trente sons déplaisants et 160 sons neutres [1041+/-42ms] O: Effet de la valence négative sur la P3a	C: Intensité émotionnelle contrôlée T: Oddball à 3 stimuli, tâche <i>one-back</i>	A: ~292ms[N2]: neu>neg ~341ms[P3a:] neg>neu T: [N2]- AFz [P3a]- fronto-central
Wambacq et al., 2004	H/F: 0/14 A: 19-40 (25.7)	S: Mots vocaux neutres et négatifs [pas mentionné] O: Effets de la prosodie sur la P3a et la N400	C: Contrôles des variables acoustiques et émotionnelles, sons variant sur des critères sémantiques et prosodiques T: Oddball dichotique	A: [P3a] prosodie>sémantique [N400] sémantique>prosodie T: [P3a]-frontale [N400]- centro-pariétal

Tableau 2.1 – Résumé des études ERP ayant utilisé des stimuli auditifs émotionnels . Neg = stimuli de valence négative; neu = stimuli de valence neutre; pos= stimuli de valence positive. Seuls les résultats significatifs sont rapporté dans la dernière colonne. Dans la description des effets affectifs, x < y indique que x eut des valeurs d'amplitude plus basses que y. Les effets d'interaction complexes ne sont pas présentés

Composante	Amplitude cutoff	latence	Électrode
P1	0.75 μ V	56ms	Cz
N1	-1 μ V	75ms	Cz
P2	0.5 μ V	125ms	Cz
P3	3 μ V	310ms	Cz

Tableau 4.1 – Valeurs utilisées pour les analyses de latence jackknife.

Composante et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) ou de l'ANOVA (F) et valeurs corrigées (t'/F')	Significativité (S)
P1 V: -/+/=	M: 67.66/63.47/76.91 ÉT: 2.3/1.55/1.84	<i>F</i> : 451.38 <i>F'</i> : 1.394	n.s.
N1 V: -/+/=	M: 99.18/116.27/113.33 ÉT: 3.14/3.17/2.82	<i>F</i> : 168.68 <i>F'</i> : 3.733	n.s.
P2 V: -/+/=	M: 138.49/164.43/154.70 ÉT: 2.70/13/1.76	<i>F</i> : 41.72 <i>F'</i> : 0.344	n.s.
P300 V: -/+	M: 322,58/322,15 ÉT: 4.10/2.76	<i>t</i> : 8.194 <i>t'</i> :0.067	n.s.

Tableau 4.2 – Résultats des analyses de latence jacknife pour chaque composante et chaque valence.

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
F7/F8 C: Émotion V: -	M: 1.87/2.31 ÉT: 1.20/0.93	<i>T</i> : 2.25 dl: 12	*<,05 ,044
F7/F8 C: Contrôle V: -	M: 2.06/2.15 ÉT: 1.10/1.24	<i>T</i> : 0.561 dl: 12	n.s. ,585
F7/F8 C: Émotion V: +	M: 1.34/1.53 ÉT: 0.82/0.82	<i>T</i> : 1.29 dl: 12	n.s. ,220
F7/F8 C: Contrôle V: +	M: 1.36/1.57 ÉT: 0.72/0.74	<i>T</i> : 1.97 dl: 12	n.s. ,072
FT7/FT8 C: Émotion V: -	M: 1.99/2.37 ÉT: 0.99/0.81	<i>T</i> : 1.86 dl: 12	n.s. ,087
FT7/FT8 C: Contrôle V: -	M: 2.28/2.33 ÉT: 1.08/1.34	<i>T</i> : 0.295 dl: 12	n.s. ,773
FT7/FT8 C: Émotion V: +	M: 1.43/1.68 ÉT: 0.77/0.87	<i>T</i> : 1.77 dl: 12	n.s. ,102
FT7/FT8 C: Contrôle V: +	M: 1.35/1.58 ÉT: 0.62/0.72	<i>T</i> : 1.86 dl: 12	n.s. ,086
T3/T4 C: Émotion V: -	M: 2.04/2.28 ÉT: 0.69/0.78	<i>T</i> : 1.45 dl: 12	n.s. ,236
T3/T4 C: Contrôle V: -	M: 2.49/2.56 ÉT: 1.11/1.48	<i>T</i> : 0.29 dl: 12	n.s. ,777
T3/T4 C: Émotion V: +	M: 1.54/1.97 ÉT: 0.75/0.72	<i>T</i> : 2.86 dl: 12	*<,05 ,014
T3/T4 C: Contrôle V: +	M: 1.37/1.53 ÉT: 0.65/0.59	<i>T</i> : 0.94 dl: 12	n.s. ,368
TP7/TP8 C: Émotion V: -	M: 1.85/2.06 ÉT: 0.63/0.60	<i>T</i> : 1.64 dl: 12	n.s. ,127
TP7/TP8	M: 2.38/2.39	<i>T</i> : 0.006	n.s.

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
C: Contrôle V: -	ÉT: 1.02/1.25	dl: 12	,995
TP7/TP8 C: Émotion V: +	M: 1.44/1.74 ÉT: 0.66/0.69	T: 2.47 dl: 12	*<,05 ,030
TP7/TP8 C: Contrôle V: +	M: 1.26/1.29 ÉT: 0.61/0.50	T: 0.22 dl: 12	n.s. ,827
T5/T6 C: Émotion V: -	M: 1.78/1.88 ÉT: 0.63/0.57	T: 0.90 dl: 12	n.s. ,386
T5/T6 C: Contrôle V: -	M: 2.34/2.27 ÉT: 0.93/0.86	T: 0.53 dl: 12	n.s. ,603
T5/T6 C: Émotion V: +	M: 1.38/1.49 ÉT: 0.52/0.64	T: 1.12 dl: 12	n.s. ,285
T5/T6 C: Contrôle V: +	M: 1.24/1.23 ÉT: 0.51/0.43	T: 0.04 dl: 12	n.s. ,966

Tableau 4.3a - Résultats des analyses d'amplitude pour les paires d'électrodes latérales pour la conditions émotionnelle et contrôle dans la tranche temporelle de la P200L. En sombre, les analyses ayant atteint le seuil significatif de *<.05.

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
F7/F8 C: Émotion V: -	M: 1.66/2.03 ÉT: 0.81/0.85	<i>t</i> : 1.64 dl: 12	n.s. S: ,127
F7/F8 C: Contrôle V: -	M: 1.71/1.89 ÉT: 0.88/0.81	<i>t</i> : 1.14 dl: 12	n.s. S: ,275
F7/F8 C: Émotion V: +	M: 1.39/1.65 ÉT: 0.50/0.73	<i>t</i> : 1.92 dl: 12	n.s. S: ,078
F7/F8 C: Contrôle V: +	M: 1.49/1.81 ÉT: 0.70/0.64	<i>t</i> : 2.26 dl: 12	*<.05 S: ,043
FT7/FT8 C: Émotion V: -	M: 1.63/2.08 ÉT: 0.66/0.79	<i>t</i> : 2.24 dl: 12	*<.05 ,045
FT7/FT8 C: Contrôle V: -	M: 1.74/1.90 ÉT: 0.87/0.74	<i>t</i> : 0.956 dl: 12	n.s. ,357
FT7/FT8 C: Émotion V: +	M: 1.48/1.74 ÉT: 0.57/0.59	<i>T</i>: 2.26 dl: 12	*<.05 ,044
FT7/FT8 C: Contrôle V: +	M: 1.51/1.79 ÉT: 0.76/0.63	<i>T</i> : 2.71 dl: 12	*<.05 ,019
T3/T4 C: Émotion V: -	M: 1.57/1.86 ÉT: 0.58/0.80	<i>T</i> : 1.59 dl: 12	n.s. ,138
T3/T4 C: Contrôle V: -	M: 1.99/1.96 ÉT: 0.88/0.81	<i>T</i> : 0.143 dl: 12	n.s. ,888
T3/T4 C: Émotion V: +	M: 1.69/1.76 ÉT: 0.61/0.46	<i>T</i> : 0.50 dl: 12	n.s. ,626
T3/T4 C: Contrôle V: +	M: 1.85/1.93 ÉT: 0.80/1.93	<i>T</i> : 0.425 dl: 12	n.s. ,679
TP7/TP8 C: Émotion V: -	M: 1.95/1.81 ÉT: 0.73/0.82	<i>T</i> : 0.67 dl: 12	n.s. ,515
TP7/TP8 C: Contrôle V: -	M: 2.50/2.18 ÉT: 0.96/0.93	<i>T</i> : 1.71 dl: 12	n.s. ,113
TP7/TP8 C: Émotion	M: 2.11/1.93	<i>T</i> : 0.875	n.s.

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
V: +	ÉT: 0.75/0.58	dl: 12	,399
TP7/TP8 C: Contrôle V: +	M: 2.31/2.25 ÉT: 0.81/0.71	T: 0.250 dl: 12	n.s ,807

Tableau 4.3b – Résultats des analyses d'amplitude pour les paires d'électrodes latérales pour la conditions émotionnelle et contrôle dans la tranche temporelle de la P300L. En sombre, les analyses ayant atteint le seuil significatif de $* < .05$.

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
F7/F8 C: Émotion V: -	M: -1.66/-2.25 ÉT: 0.82/0.95	T: 2.147 dl: 12	n.s ,053
F7/F8 C: Contrôle V: -	M: -1.52/-2.53 ÉT: 0.71/0.97	T: 0.52 dl: 12	n.s ,959
F7/F8 C: Émotion V: +	M: -0.77/-1.25 ÉT: 0.56/0.74	T: 3.069 dl: 12	*<,01 ,01
F7/F8 C: Contrôle V: +	M: -0.80/-0.96 ÉT: 0.69/0.80	T: 1.321 dl: 12	n.s ,211
FT7/FT8 C: Émotion V: -	M: -1.35/-2.15 ÉT: 0.85/0.81	T: 3.936 dl: 12	*<,01 ,002
FT7/FT8 C: Contrôle V: -	M: -1.44/-1.74 ÉT: 0.98/0.82	T: 1.386 dl: 12	n.s. ,191
FT7/FT8 C: Émotion V: +	M: -0.58/-1.59 ÉT: 0.63/0.55	T: 6.813 dl: 12	*<,01 ,000
FT7/FT8 C: Contrôle V: +	M: -0.79/-1.14 ÉT: 0.80/0.78	T: 2.343 dl: 12	*<,05 ,037
T3/T4 C: Émotion V: -	M: -1.03/-1.81 ÉT: 0.83/0.74	T: 4.432 dl: 12	*<,001 ,001
T3/T4 C: Contrôle V: -	M: -1.54/-1.95 ÉT: 1.16/0.80	T: 2.12 dl: 12	n.s. ,056
T3/T4 C: Émotion V: +	M: -0.70/-1.81 ÉT: 0.78/0.74	T: 4.703 dl: 12	*<,001 ,001
T3/T4 C: Contrôle V: +	M: -0.74/-1.95 ÉT: 0.86/0.80	T: 5.722 dl: 12	*<,001 ,000
TP7/TP8 C: Émotion V: -	M: -0.88/-1.57 ÉT: 0.86/0.65	T: 3.65 dl: 12	*<,01 ,003
TP7/TP8 C: Contrôle V: -	M: -1.48/-1.71 ÉT: 1.22/0.65	T: 1.021 dl: 12	n.s. ,327
TP7/TP8 C: Émotion	M: -0.46/-1.64	T: 6.413	*<,001

Paires d'électrodes (gauche/droite), condition (C) et valence(V)	Moyennes (M) et écart-types (ÉT)	Valeur du test t (t) et degrés de libertés (dl)	Significativité (S)
V: +	ÉT: 0.77/0.27	dl: 12	,000
TP7/TP8 C: Contrôle V: +	M: -0.58/-1.05 ÉT: 0.87/0.56	T: 2.825 dl: 12	*,<,05 ,015

Tableau 4.3c – Résultats des analyses d'amplitude pour les paires d'électrodes latérales pour la condition émotionnelle et contrôle dans la tranche temporelle de la N400. En sombre, les analyses ayant atteint le seuil significatif d'au moins *<.01.