

Université de Montréal

**Effets des variations oestrogéniques féminines sur les
potentiels évoqués cognitifs durant une tâche de
rotation mentale**

par

Martine Germain

Programme de sciences biomédicales

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté de Médecine

en vue de l'obtention du grade de Maîtrise

en sciences biomédicales

Option sciences psychiatriques

Décembre, 2012

© Martine Germain, 2012

Résumé

Il apparaît, suite aux résultats de plusieurs études comportementales et d'imagerie cérébrale, que les hormones gonadiques peuvent moduler le fonctionnement cérébral chez la femme. Les asymétries cérébrales fonctionnelles (ACFs), en particulier, changeraient en fonction du niveau de progestérone et d'œstrogène. On a également observé que lorsque le taux d'œstrogène est bas, les performances aux tâches impliquant l'hémisphère droit sont améliorées. Par contre, les preuves de l'action physiologique de ces deux hormones sur le cerveau ne sont pas très nombreuses. Le peu d'études d'électrophysiologie cognitive qui ont porté sur les effets du cycle menstruel ont rapporté que la composante P300 y serait sensible. Aucune n'a cependant utilisé une tâche d'habileté spatiale ou de rotation mentale qui sont connues pour impliquer davantage l'hémisphère droit. Le but de la présente étude est de documenter les changements électrocorticaux reliés aux variations hormonales lors d'une tâche de rotation mentale. Notre hypothèse de départ est que le taux d'œstrogène influencera l'activité électrocorticale et la latéralisation. Les potentiels évoqués cognitifs ont été comparés chez les mêmes femmes (n=12) lors d'une tâche de rotation mentale, répétée à deux périodes du cycle menstruel. Nos résultats démontrent que la condition de rotation induit une latéralisation de l'activité pariétale, vers l'hémisphère gauche, quand le niveau d'œstrogène est bas. Par contre, lorsque le niveau d'œstrogène est élevé, il n'y a aucune latéralisation. Par ailleurs, nous avons observé une augmentation de l'amplitude de la P300 lors du niveau oestrogénique élevé. En conclusion, les fluctuations oestrogéniques du cycle menstruel ont un impact sur la latéralisation de l'activité électrocorticale, lors d'un effort de rotation mentale.

Mots-clés : Potentiels évoqués cognitifs, cycle menstruel, œstrogène, rotation mentale, cognition, latéralisation hémisphérique.

Abstract

After many behavioral and some neuroimaging studies, it appears that the gonadic hormones can modulate the neuronal function of women's brain. In particular, the functional cerebral asymmetries can be affected by the level of progesterone and estrogens. It has been observed that when the level of estrogen is low, the performance at task that engages more the right hemisphere is enhanced. However, there is a lack of evidence for the physiological actions of these two hormones on the brain. The few event-related potential studies taking into account the menstrual cycle effects, had noticed that the component P300 can be affected. No electrophysiological study has used a mental rotation task or spatial ability tests which are known for their right hemisphere dominance. The aim of the present research is to document the effect of hormonal variations on the electrocortical activity, using a mental rotation task. Our hypothesis is that estrogen levels affect electrocortical activity and lateralization. The ERPs were compared in the same women ($n = 12$) during a mental rotation task, repeated over two periods of the menstrual cycle. Our results show a lateralization of the left parietal activity when estrogen levels are low and during the rotation. Whereas when the estrogen level is high, there is no lateralization. In addition, we observed an increase in the amplitude of P300 for this same high level. In conclusion, estrogens fluctuations associated with the menstrual cycle have an impact on the lateralization of electrocortical activity, when a mental rotation is needed.

Keywords : Event-related potential, menstrual cycle, estrogens, mental rotation, cognition, hemispheric lateralisation.

Table des matières

Introduction.....	9
1.0 Effets des hormones ovariennes sur le comportement, la cognition et l'activité cérébrale	9
1.1 Influence sur le comportement observable	9
1.2 Rôles dans les processus cognitifs	10
1.3 Le cycle menstruel : brève description	12
1.4 Influence des oestrogènes sur l'activité cérébrale	13
2.0 La tâche de rotation mentale en électrophysiologie cognitive.....	18
2.1 L'EEG et la genèse des signaux électrocorticaux.....	18
2.2 Introduction à l'étude des potentiels évoqués.....	19
2.3 L'usage général de la tâche de rotation mentale.....	20
2.4 Études des différences sexuelles dans le contexte de la rotation mentale	24
3.0 L'activité cérébrale durant la rotation mentale : Effet du cycle menstruel.....	28
3.1 Changements comportementaux associés aux habiletés spatiales lors du cycle menstruel.....	28
3.2 Fonctionnement cérébral et habiletés spatiales.....	29
3.3 Effet du cycle menstruel : autres tâches en potentiels évoqués cognitifs	29
4.0 Objectifs et hypothèses	30
Méthode	32
Participants.....	32
Cadre expérimental	33
Stimuli.....	34
Déroulement de la tâche.....	36
Enregistrement de l'EEG et extraction des PÉ	36
Analyse de données et statistiques.....	37
Résultats.....	39
Données comportementales	39
Taux moyens des hormones gonadiques.....	40
N250 antérieure.....	40

Effets principaux	40
Tracés des potentiels évoqués cognitifs	41
P300	44
Effets principaux	44
LPC	49
Effets principaux	49
Corrélations	51
Discussion	53
Résumé des impacts comportementaux liés au traitement de la rotation mentale et aux variations oestrogéniques	53
La composante N250	56
La composante P300 frontale et sa sensibilité au taux d'œstrogène	57
La composante LPC postérieure : ressources cognitives et sensibilité à la rotation mentale	60
Différences hémisphériques et stratégies de traitement holistique	62
Effet du taux d'œstrogène sur l'asymétrie cérébrale fonctionnelle	65
Effet du taux d'œstrogène sur l'activité électrocorticale	66
Limitations	68
Conclusion	70
Bibliographie	71
Annexe 1	ix
Annexe 2	xi
Annexe 3	xiii

Liste des tableaux

Tableau I : Taux des hormones ovariennes pour chaque sujet.	34
Tableau II : Données comportementales pour chacune des conditions. Les écarts-types sont entre parenthèses.	39
Tableau III : Taux moyens des hormones gonadiques par sessions.	44
Tableau IV : Données démographiques et résultats à des tests du WAIS des participantes avec la moyenne et l'écart-type entre parenthèses.	ix
Tableau V : Résultats des données comportementales par niveau hormonal.	x
Tableau VII : Résultats des ANOVAs à mesures répétées pour la P300 et les LPC.	xi
Tableau VIII : Résultats des sous-analyses pour la P300 par région et par niveau hormonal. .	xii
Tableau VIII : Résultats des sous-analyses pour la LPC par région et par niveau hormonal. .	xii

Liste des figures

Figure 1 : Les fluctuations hormonales durant le cycle menstruel.	13
Figure 2 : Exemples de deux conditions sans rotation (à gauche) et de deux conditions avec rotation (à droite) où l'un des objets présente une déviation sur le plan vertical.	35
Figure 3 : Exemple de l'effet de rotation.	38
Figure 4 : Grand moyennage de la région frontale de tous les sujets.	41
Figure 5 : Grand moyennage de la région centrale pour tous les sujets.	42
Figure 6 : Grand moyennage de la région pariétale pour tous les sujets.	43
Figure 7 : Interaction Rotation par Niveau hormonal.	45
Figure 8 : Interaction de Rotation X Miroir X Hémisphère X Niveau hormonal.	47
Figure 9 : La condition miroir sans rotation par niveau hormonal.	48
Figure 10 : Interaction de Rotation X Hémisphère.	50
Figure 11 : Tracés des potentiels évoqués par régions et par niveau hormonal.	52

Liste des abréviations

ACF	Asymétrie cérébrale fonctionnelle
Coll.	Collaborateurs
EEG	Électro-encéphalographie
FSH	Hormone folliculo-stimulante
HSC	Hyperplasie congénitale des surrénales
Hz	Hertz
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
LH	Hormone lutéinisante
LPC	Composante positive tardive (late positive component)
ms	Milliseconde
PÉC	Potentiel évoqué cognitif
TEP	Tomographie par émission de positons
TR	Temps de réaction
μ V	Microvolts
3-D	Trois dimensions

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma gratitude envers mon directeur de recherche, Marc Lavoie de m'avoir accordé l'opportunité de réaliser ce projet de maîtrise ainsi que de m'avoir donné le soutien nécessaire à son accomplissement. Je vous en suis sincèrement reconnaissante ! J'ai beaucoup appris à vos côtés, votre professionnalisme, votre rigueur scientifique et votre humanité ont été grandement appréciés et sont des exemples à suivre.

Je tiens aussi à remercier ma co-directrice de recherche, Adrianna Mendrek. C'est grâce à elle si aujourd'hui, je présente ce mémoire de maîtrise, elle a su me transmettre son engouement pour la recherche scientifique et en particulier sur celle concernant les différences sexuelles. Le soutien que vous m'avez apporté, principalement au début de mon cheminement, m'a beaucoup aidée. Je me sens privilégiée de vous avoir côtoyée.

Je dois dire un immense merci à toutes les participantes, sans elles, ce projet de recherche n'aurait jamais été mené à terme. Je tiens également à remercier l'équipe du centre de recherche Fernand-Séguin qui m'a aidée dans toutes les étapes de mon projet de recherche. Je tiens à remercier en particulier mes collègues; Julie Champagne, José Jimenez, Nadia Lakis et Nadia Hamel.

À mon conjoint, je tiens à dire que sans lui, jamais je n'aurais pu y arriver. Tu as été patient, compréhensif, tu m'as encouragée et tu as cru en moi. Tu as été formidable ! Finalement, je remercie mes parents, le support moral et surtout inconditionnel que vous m'avez offert fut précieux dans la poursuite de mes objectifs. Vous avez toujours cru en moi, et ce, même dans les moments où tout me semblait difficile. Vous êtes les meilleurs parents du monde.

Introduction

1.0 Effets des hormones ovariennes sur le comportement, la cognition et l'activité cérébrale

1.1 Influence sur le comportement observable

La fonction des hormones gonadiques sur le système nerveux central dépasse la simple régulation du comportement sexuel et des fonctions reproductives (McEwen & Alves, 1999). On reconnaît à l'œstrogène et à la progestérone, un rôle important dans le développement physiologique et psychologique de la femme. Ce qui est moins connu, et qui ressort de plusieurs nouvelles recherches, est que la fluctuation de ces deux hormones au cours du cycle menstruel a un impact sur les fonctions cérébrales (Maki, Rich, & Rosenbaum, 2002; Schoning et al., 2007; Tillman, 2010). La cognition, l'état émotionnel, les processus sensoriels ainsi que l'appétit seraient affectés à divers degrés par ces hormones (Farage, Osborn, & MacLean, 2008). On s'est intéressé plus particulièrement aux effets de l'œstrogène sur le système nerveux central dans les dernières années. Une des raisons, ayant motivé ces recherches, réside dans l'observation que les femmes ont une présentation différente de la maladie mentale, comparée aux hommes, de façon générale. L'incidence de certaines maladies moins fréquentes chez la femme, telles que la schizophrénie et l'abus de substance, pourrait être reliée à un effet protecteur de l'œstrogène. Ainsi, on a remarqué une diminution des symptômes psychotiques chez les femmes schizophrènes durant la grossesse et à certaines périodes du cycle menstruel correspondant aux moments où l'œstrogène est élevé (Seeman, 2002). L'œstrogène ainsi que la progestérone auraient un impact sur les symptômes d'autres pathologies comme la maladie de Parkinson, la dépression et la dyskinésie tardive (McEwen & Alves, 1999).

Une autre raison en appui à ces recherches réside dans l'augmentation de la longévité et que, par conséquent, une bonne partie de la vie des femmes va se dérouler après la ménopause. La diminution importante du taux d'œstrogène après la ménopause entraîne un risque plus grand d'ischémie cérébrale, de trouble neurologique (Brann, Dhandapani, Wakade,

Mahesh, & Khan, 2007) et peut affecter certaines fonctions cérébrales, dont différents types de mémoire et l'humeur (McEwen & Alves, 1999). L'œstrogène comme traitement, en plus d'être utilisé chez les femmes en post ménopause, suscite maintenant l'intérêt pour traiter la démence ou pour prévenir la maladie d'Alzheimer (Asthana et al., 1999; Sherwin, 2003).

1.2 Rôles dans les processus cognitifs

Initialement, les preuves que les hormones féminines affectent la cognition proviennent d'études de la mémoire chez des femmes ménopausées bénéficiant d'une thérapie de remplacement d'œstrogène. Ces études tendent à démontrer que l'œstrogène améliore la mémoire verbale (Farage et al., 2008; Maki, Zonderman, & Resnick, 2001), en plus, d'avoir des effets bénéfiques sur les fonctions cognitives chez les femmes en général et aussi chez celles qui souffrent de démence (McEwen & Alves, 1999; Sherwin, 2003). Ses bienfaits restent controversés, car une étude réalisée avec un grand nombre de participantes n'a pas constaté d'amélioration cognitive avec ce traitement (Shumaker et al., 2004). L'échantillon de cette dernière recherche était composé de femmes de 65 ans et plus, et il semblerait que pour avoir un effet bénéfique sur la cognition, il faut commencer le traitement à l'œstrogène au début de la ménopause vers 50 ans (Brann et al., 2007). D'autres preuves d'un effet sur la cognition sont venues d'études comparant la performance à certains tests durant le cycle menstruel. Lors de ces études, on utilise habituellement des tâches connues pour leurs dimorphismes sexuels et donc, les habiletés à tester peuvent porter sur le langage, la rotation mentale et les mathématiques, entre autres (Maki et al., 2002). Des études comportementales ont noté qu'un taux élevé d'œstrogène entraînent une meilleure performance aux tâches où les femmes excellent généralement, telles que la fluidité verbale et les tâches de dextérité fine (Hampson, 1990a; Hausmann, Slabbekoorn, Van Goozen, Cohen-Kettenis, & Gunturkun, 2000; Maki et al., 2002). Tandis que ce même taux élevé décroît, la performance des femmes aux tâches où les hommes excellent comme au test de rotation mentale, à certains tests mathématiques (Hampson, 1990a; Hausmann et al., 2000; Maki et al., 2002; Phillips & Silverman, 1997) ainsi qu'à un test de perception spatiale (Hampson & Kimura, 1988). Par contre, certaines études n'ont pas été capables de répliquer ces différences de performance en lien avec le cycle menstruel (Epting & Overman, 1998; Griksiene & Ruksenas, 2011).

D'autres preuves sont issues d'études faites chez des personnes qui ont souffert d'une condition endocrine inhabituelle durant leur gestation. Certains fœtus femelles présentent une hyperplasie congénitale des surrénales (HCS) qui cause une surproduction d'androgènes durant la période prénatale. Une fois cette condition détectée à la naissance, une médication est administrée pour normaliser les concentrations d'androgènes (Hampson, 1995). Malgré cet ajustement, les jeunes filles avec une HCS performaient mieux aux tests d'habiletés spatiales et elles performaient moins bien au test d'habileté verbale, comparativement à leurs sœurs qui n'étaient pas affectées par cette maladie. Il est intéressant de noter que leur supériorité était seulement liée aux tâches de type spatial et non aux autres types de tests cognitifs (Hines et al., 2003).

Finalement, on a observé chez plusieurs espèces animales une supériorité des mâles pour des tâches de navigation spatiale. Cet avantage disparaît lorsque les mâles sont castrés (McEwen & Alves, 1999). Des chercheurs ont observé chez les femelles rats et campagnols, plus de difficulté à sortir d'un labyrinthe (*Morris water maze*) lorsque leurs taux d'œstrogène étaient élevés, en plus d'éprouver des difficultés accrues lors de l'apprentissage relié à cette tâche (Frye, Rhodes, & Dudek, 2005; Galea, Kavaliers, Ossenkopp, & Hampson, 1995).

Chez l'humain, on a observé des différences sexuelles dans les fonctions cognitives pour certains types de tâche, mais les résultats sont inconsistants. Dans la plupart des études qui se sont intéressées aux différences sexuelles, on n'a pas pris en compte le niveau des hormones gonadiques des sujets et cette omission peut être une des raisons qui font que les résultats diffèrent d'une étude à l'autre (Sanders, Sjodin, & de Chastelaine, 2002). Car ce qui diffère principalement entre les hommes et les femmes adultes est leur taux d'hormones sexuelles. On a donc proposé que les performances des hommes et des femmes aux tests d'habiletés spatiales et verbales soient influencées, du moins en partie, par les hormones sexuelles (Hausmann et al., 2000; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995).

Le niveau de testostérone influence également la performance à certains tests de rotation mentale et autres tests d'habileté spatiale. Une dose faible de cette hormone administrée à des femmes lors de test de rotation mentale a amélioré significativement leur performance (Aleman, Bronk, Kessels, Koppeschaar, & van Honk, 2004). Chez la femme, plus son taux est haut et plus les résultats seront meilleurs tandis que chez l'homme, on a

observé qu'un niveau trop élevé avait un effet inverse (Phillips & Silverman, 1997; Sanders et al., 2002).

1.3 Le cycle menstruel : brève description

Le cycle menstruel est régulé par le niveau de différentes hormones, dont les hormones gonadiques qui sont sécrétées par les gonades, qui sont chez la femme, les ovaires. Ces dernières produisent des œstrogènes et de la progestérone qui font partie du groupe des hormones stéroïdiennes. Il est également régi par les hormones gonadotrophines qui elles sont produites par la glande pituitaire ou hypophyse. Le cycle menstruel normal de 28 jours consiste en deux phases principales, durant lesquelles le niveau des hormones gonadiques va beaucoup varier. Les 15 premiers jours font partie de la phase folliculaire, au début de celle-ci l'hormone folliculo-stimulante (FSH) agit sur les ovaires en entraînant la stimulation d'un groupe de follicules, ceux-ci vont ensuite sécréter des hormones œstradiols et estrones (plus connues sous le nom d'œstrogène). L'augmentation du taux d'œstrogène va causer l'épaississement de la muqueuse utérine et stimuler la glande pituitaire à produire l'hormone lutéinisante (LH). Celle-ci atteint son pic maximum au milieu du cycle, soit vers le jour 13 ou le jour 14 du cycle. C'est également à ce moment que le follicule mature va relâcher un ovule qui va entreprendre son voyage vers l'utérus via les trompes de Fallope.

La deuxième partie du cycle est appelé la phase lutéale. Le follicule mature, après la libération de l'ovule se transforme en corps jaune (corpus luteum) celui-ci va sécréter de l'œstrogène et de la progestérone dans le but de préparer l'endomètre à l'implantation d'un embryon. S'il ne se produit pas de fécondation, alors la sécrétion de progestérone et d'œstrogène cesse et c'est suivi par la dégénérescence et par l'expulsion de l'endomètre durant les menstruations. À ce moment, la glande pituitaire est de nouveau stimulée par l'hypothalamus pour relâcher la FSH et le cycle recommence à nouveau (DeGroot, 1989).

Le taux d'œstrogène connaît deux pics durant le cycle menstruel, le premier survient durant la phase pré ovulatoire vers les jours 11 à 13 du cycle soit peu avant le pic maximum de la LH. Après l'ovulation, le taux d'œstrogène décroît pour connaître ensuite une augmentation qui atteint un maximum au milieu de la phase lutéale (Figure 1). La progestérone reste à un

niveau bas tout au long de la phase folliculaire et durant la phase lutéale, son taux augmente progressivement pour connaître son pic maximum au milieu de la phase lutéale.

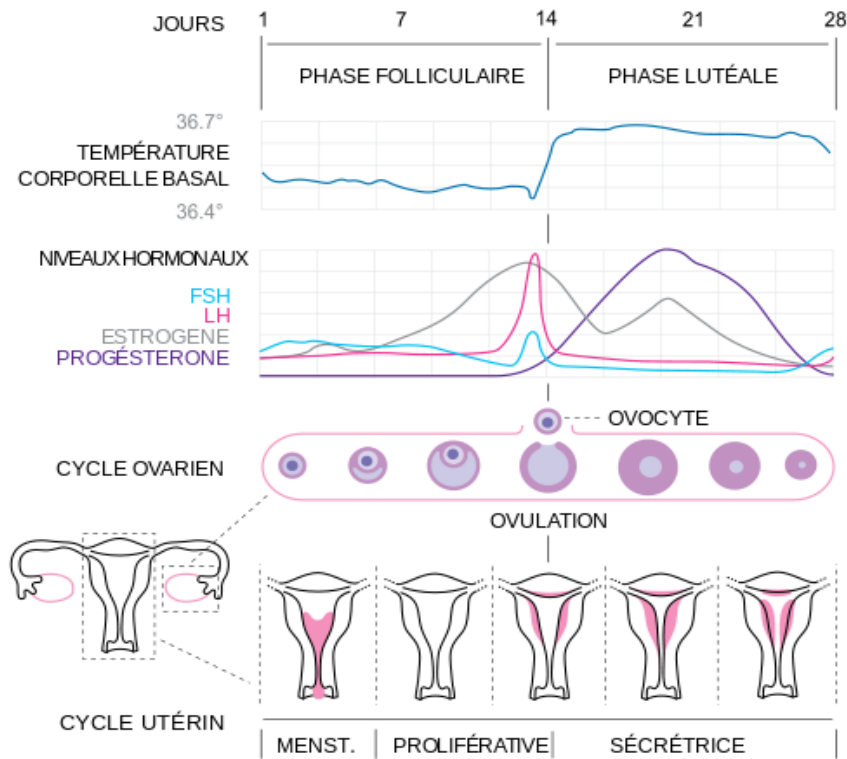


Figure 1 : Les fluctuations hormonales durant le cycle menstruel.

Source : Site internet Wikipédia et son utilisation est libre de droits d'auteur selon les termes de la GNU free documentation license v1.2. Son auteur porte le nom d'Isometrik.

1.4 Influence des oestrogènes sur l'activité cérébrale

1.4.1 Régions anatomiques touchées par les hormones œstrogéniques

Les récepteurs cérébraux de l'œstrogène et de la progestérone sont nombreux dans l'hypothalamus et dans les autres régions qui contrôlent les fonctions reproductives. Mais la diversité des effets des hormones ovariennes sur le comportement et la cognition suggère une action de celles-ci en dehors de ces régions (McEwen & Alves, 1999). On a effectivement

retrouvé des récepteurs à œstrogène ailleurs dans le cerveau, notamment dans le cerveau antérieur basal (*basal forebrain*), le cortex cérébral, l'hippocampe (Brann et al., 2007; Dohanich, 2003; McEwen & Alves, 1999) et le striatum (Brann et al., 2007). Ces régions sont impliquées dans divers processus neurocognitifs comme la mémoire. Il est admis que les fonctions de l'hippocampe sont reliées à l'apprentissage, la mémoire et la mémoire de travail spatiale (Brann et al., 2007; Sherwin, 2003). Le cerveau antérieur basal est lui aussi relié à la mémoire en plus d'être un site important dans les maladies résultant de la dégénérescence neuronale (McEwen & Alves, 1999). Le cortex préfrontal est un site important pour les fonctions exécutives. Celles-ci comprennent la mémoire de travail, l'inhibition des réponses, l'attention dirigée et la coordination de tâches multiples. L'intégrité du cortex préfrontal est cruciale pour que ces processus cognitifs soient intacts (Keenan, Ezzat, Ginsburg, & Moore, 2001). L'hormone œstrogène agit sur le striatum principalement par sa capacité à altérer la réponse électrophysiologique de ces neurones à la dopamine (Demotes-Mainard, Arnauld, & Vincent, 1990).

Certaines recherches menées chez l'animal ont montré que l'œstrogène est capable d'influencer l'excitabilité électrique des neurones (McEwen & Alves, 1999). On a administré de l'œstrogène à des rats ovariectomisés et l'on a ensuite observé une augmentation de l'excitabilité des neurones de l'hippocampe, ainsi qu'une augmentation de la densité synaptique de ses épines dendritiques (Murphy & Segal, 1996; Terasawa & Timiras, 1968). L'œstrogène peut également moduler l'action de certains neurotransmetteurs et plus particulièrement de l'acétylcholine qui est impliquée dans la mémoire, entre autres (Farage et al., 2008; Sherwin, 2003).

Les différences sexuelles dans le comportement seraient reliées directement à l'exposition du cerveau du fœtus aux hormones gonadiques (testostérone et œstrogène). On a émis l'hypothèse que les différences hommes/femmes dans le traitement de l'information résulteraient des expositions différentes reçues *in utero* et que les différences spécifiques au sexe seraient activées à la puberté par l'augmentation du taux d'hormones gonadiques (Sherwin, 2003). L'influence est à la fois structurelle et fonctionnelle et se manifeste dans le comportement durant toute la vie. Cette hypothèse repose sur plusieurs études animales montrant que les niveaux prénataux ou néonataux de la testostérone jouent un rôle déterminant

dans la différenciation sexuelle du cerveau et des comportements subséquents et que la génétique aurait un rôle proportionnellement moindre (Hines, 2010). L'exposition aux œstrogènes qui a lieu au début de la vie aurait également une influence notable sur le développement du cerveau et les femmes qui en ont manqué durant cette période présentent des déficits pour les fonctions cognitives où les femmes excellent généralement (Sherwin, 2003).

Les effets fonctionnels des hormones de type œstrogénique au niveau de la cognition restent encore à prouver, chez l'humain. Les recherches ont donné des résultats inconsistants, même lorsqu'on administre directement des hormones à des adultes dans le cadre d'un changement de sexe. Lors de deux études réalisées avec des hommes transsexuels qui avaient pris des œstrogènes, on a observé une détérioration des habiletés spatiales (Slabbekoorn, van Goozen, Megens, Gooren, & Cohen-Kettenis, 1999; Van Goozen, Cohen-Kettenis, Gooren, Frijda, & Van de Poll, 1995) et une amélioration de l'habileté verbale (Van Goozen et al., 1995) tandis qu'une autre a seulement noté une amélioration de la mémoire verbale et aucun effet pour la rotation mentale (Miles, Green, Sanders, & Hines, 1998). Chez les femmes transsexuelles qui ont reçu de la testostérone, on a observé l'inverse pour ces deux types d'habiletés (Van Goozen, Cohen-Kettenis, Gooren, Frijda, & Van de Poll, 1994).

En résumé, les aspects anatomiques nous montrent qu'il y a une base biologique à l'effet des œstrogènes dans la cognition et le comportement. Il existe deux classes de récepteur à œstrogène dans le cerveau. Les récepteurs de type alpha (α) seraient plus impliqués dans les comportements sexuels tandis que les récepteurs de type bêta (β) seraient reliés à la régulation de certains types de cognition, dont l'apprentissage spatial (Rissman, Heck, Leonard, Shupnik, & Gustafsson, 2002). Le plus grand nombre de récepteurs (β) à œstrogène après l'hypothalamus, ont été retrouvés dans l'hippocampe (Shughrue & Merchenthaler, 2000), cette région serait impliquée dans la mémoire à court terme. Il existerait plusieurs autres actions des œstrogènes dans le cerveau et leurs mécanismes d'actions tout comme les facteurs qui les modulent sont encore méconnus, d'autres recherches sont nécessaires avant d'établir leurs liens exacts avec la cognition.

1.4.2 Latéralisation hémisphérique affectée par les hormones gonadiques

Les variations de performances observées entre les phases du cycle menstruel pour différents tests cognitifs pourraient être reliées à une différence dans la latéralisation hémisphérique. On a notamment observé que lorsque le taux d'œstrogène est bas, les performances aux tâches impliquant davantage l'hémisphère droit étaient améliorées. Lorsque son taux est élevé, il favoriserait une performance améliorée aux tâches faisant intervenir l'hémisphère gauche, comme lors de tâches reliées au langage (Sanders et al., 2002; Tillman, 2010). De plus, de nombreuses études comportementales ont observé des asymétries cérébrales fonctionnelles (ACFs) changeantes chez la femme durant le cycle menstruel (Bibawi, Cherry, & Hellige, 1995; Hampson, 1990b; Hausmann & Gunturkun, 2000; Rode, Wagner, & Gunturkun, 1995; Sanders & Wenmoth, 1998) tandis que chez les hommes on n'observe aucun changement (Bibawi et al., 1995; Hausmann & Gunturkun, 2000), une étude a cependant observé des variations dues au cycle diurne de la testostérone chez les hommes et les femmes (Sanders et al., 2002). Ces études ont utilisé la technique des hémichamps visuels pour déterminer d'après les performances des sujets, si un hémisphère était avantagé par rapport à l'autre.

En résumé, ces études ont montré des changements chez les femmes pour une tâche de comparaison de figure, dont une asymétrie durant les menstruations en faveur l'hémisphère droit et durant la phase lutéale, aucun hémisphère n'avait l'avantage (Hausmann & Gunturkun, 2000; Rode et al., 1995). Une tâche de sémantique (décision lexicale) a amené un avantage de l'hémisphère gauche qui a été obtenu durant les menstruations (Hausmann & Gunturkun, 2000) tandis que lors d'une autre étude, l'avantage de l'hémisphère gauche était présent lors des deux phases du cycle menstruel (Rode et al., 1995). Bibawi et coll. (1995) ont utilisé une tâche d'identification, qui n'a provoqué aucune asymétrie chez les hommes, alors que chez les femmes, une asymétrie en faveur du gauche fut notée pour la phase lutéale. Il y a peu d'études en neuroimagerie qui ont étudié ce phénomène et les résultats sont contradictoires. Dietrich et coll. (2001) n'ont rapporté aucun changement dans les asymétries cérébrales en lien avec le cycle menstruel pour une tâche de rotation mentale, tandis que Weis et coll. (2008) ont trouvé une asymétrie plus prononcée durant les menstruations que durant la phase folliculaire (taux d'œstrogène élevé). Ces résultats indiqueraient que la variation hormonale qui a lieu durant le

cycle menstruel aurait un effet sur l'activation différentielle des hémisphères. Pour expliquer cet effet, on a avancé l'hypothèse que l'œstrogène agirait sur l'hémisphère gauche en augmentant sa fonctionnalité et qu'il aurait un effet inhibitoire sur l'hémisphère droit (Mead & Hampson, 1996; Weis et al., 2008). Hausmann et Gunturkun (2000) ont quant à eux suggéré que c'est la progestérone qui agirait sur les asymétries en modulant les transmissions interhémisphériques. Les structures principales du cerveau qui permettent une connexion entre les deux hémisphères sont le corps calleux et la commissure antérieure. Le corps calleux est constitué de plusieurs fibres qui permettent par exemple, le transfert d'une information sensorielle reçue par l'hémisphère non dominant vers l'hémisphère dominant pour le type de tâche à effectuer. Une question demeure cependant sur l'influence du corps calleux dans les asymétries cérébrales, on ne sait pas si son action est surtout inhibitrice ou excitatrice. Il y a des preuves qui supportent les deux types d'actions (Bloom & Hynd, 2005).

Des études ayant utilisé des tâches de mémoire verbale ont montré que l'hémisphère gauche était plus fortement activé lorsque le niveau d'œstrogène était haut, en particulier le cortex préfrontal et le lobe pariétal (Craig et al., 2008; Joseph, Swearingen, Corbly, Curry, & Kelly, 2012; Tillman, 2010). Nous retrouvons un patron d'activation différent lorsque des tâches visuospatiales sont utilisées, l'hémisphère droit ou les deux hémisphères sont activés également lorsque l'œstrogène est élevé (Dietrich et al., 2001; Weis, Hausmann, Stoffers, & Sturm, 2011).

En résumé, ces recherches viennent appuyer l'hypothèse que les hormones œstrogènes ont un effet sur l'utilisation des hémisphères en lien également avec le type de tâche à effectuer. D'après la littérature sur le sujet, le degré d'asymétrie fonctionnelle diffère selon la région du cerveau, la latéralité, le genre et les désordres mentaux. Les régions qui montrent un plus grand degré d'asymétrie sont le cortex pariétal, l'hippocampe et le cortex visuel (Hugdahl & Westerhausen, 2010).

2.0 La tâche de rotation mentale en électrophysiologie cognitive

On a vu dans la partie précédente que beaucoup d'études issues de différents domaines scientifiques tendaient à prouver un effet de l'œstrogène sur la cognition. Malgré cela, peu d'études en imagerie cérébrale fonctionnelle se sont intéressées aux effets des œstrogènes et de la progestérone sur l'activité cérébrale. Dans le but d'investiguer leurs effets, on a opté pour la technique des potentiels évoqués cognitifs (PÉCs). Ils sont très utiles pour l'étude des processus cognitifs, notamment à cause d'une excellente résolution temporelle. Ils permettent également d'obtenir une localisation non invasive de l'activité cérébrale. Cependant, cette technique nous donne principalement une mesure de l'activité corticale supérieure, elle est limitée par le fait qu'elle ne permet pas une évaluation de l'activité sous-corticale. Pour la rotation mentale, l'activité cérébrale se retrouve principalement dans le cortex pariétal comme l'a démontré les études précédentes de PÉCs (Heil, 2002). Dans la prochaine section, vous allez retrouver un bref aperçu de la technique des potentiels évoqués cognitifs.

2.1 L'EEG et la genèse des signaux électrocorticaux

Les potentiels évoqués cognitifs sont des réponses neurophysiologiques qui peuvent être captées à l'aide de l'électroencéphalographie (EEG). Cette technique permet d'enregistrer la sommation de l'activité électrique de groupes de neurones synchronisés, près du site de l'électrode posée sur le cuir chevelu. La majorité de l'activité enregistrée sur l'EEG est générée par le courant extracellulaire provenant des potentiels postsynaptiques des neurones de type pyramidal des couches supérieures du cortex (Luck, 2005). L'activité des cellules pyramidales contribue de façon plus prépondérante aux signaux de l'EEG que les cellules de classe non pyramidale parce que leurs dendrites sont alignées de façon perpendiculaire à la surface du scalp. De plus, pour que la sommation de l'activité électrocorticale soit perceptible, il faut qu'un influx nerveux inhibiteur ou excitateur touche plusieurs milliers de neurones qui possèdent des dipôles alignés spatialement dans le même sens. L'une des façons d'améliorer le rapport entre le signal relié à cette activation du bruit de fond de l'EEG est de faire la moyenne d'un certain nombre de potentiels électriques associés à une condition donnée.

Les études ayant utilisé des électrodes implantées dans les couches profondes du cerveau ont montré que l'activité des structures thalamiques et des noyaux de la base était en

relation avec les déflexions enregistrées en surface (Coenen, 1995; Katayama, Tsukiyama, & Tsubokawa, 1985). Ainsi, l'activation des cellules pyramidales aurait pour origine initiale le thalamus qui grâce à ces cellules relais permet le transfert de l'information sensorielle vers les zones du cortex où elles se situent. Des synapses afférentes du thalamus situées dans les couches plus profondes du cortex peuvent à leur tour inhiber ou activer les structures thalamiques (Coenen, 1995; Kropotov & Ponomarev, 1991). Sur le tracé de l'EEG, on retrouve dans un premier temps, les PÉCs qui sont liés aux caractéristiques sensorielles des stimuli et les composantes suivantes sont plutôt liées aux processus cognitifs de la tâche à exécuter.

2.2 Introduction à l'étude des potentiels évoqués

On décompose généralement les PÉCs en plusieurs composantes. Ce sont des déflexions que l'on peut distinguer les unes des autres et qui se succèdent dans le temps. Celles-ci sont alors caractérisées par leur polarité, leur latence, leur topographie cérébrale et leur amplitude. Ces mesures et leurs valeurs seraient intimement liées aux processus cognitifs sous-jacents et seraient influencées par le protocole expérimental utilisé (Luck, 2005). Leurs amplitudes et leurs apparitions (latences) varient en fonction de plusieurs variables comme l'état mental du sujet, la tâche à réaliser, la signification du stimulus et l'attention.

Chaque composante est définie par la lettre N ou P, selon que sa déflexion est négative (N) ou positive (P) ainsi que par le moment de son apparition en millisecondes (ms) après la présentation d'un stimulus. L'amplitude serait directement reliée aux nombres de neurones activés ayant la même polarité de décharge électrique. Chaque composante a une distribution distincte sur le scalp, reliée à son origine, à sa force et à son orientation dans le cortex cérébral (Luck, 2005). Par exemple, la composante N200 est une composante négative maximum vers 200 ms après l'apparition du stimulus. Sa topographie est plus frontale que postérieure, particulièrement, lorsqu'elle est associée à la détection d'un élément étranger dans un ensemble d'éléments homogènes. Une des composantes les plus étudiées en PÉC, est la P300. Son apparition est reliée à un stimulus imprévisible, mais attendu comme dans le cas du paradigme "*oddball*" où le sujet doit réagir au stimulus rare par une action motrice ou cognitive. Sa latence nous donne une indication indirecte sur la durée du processus cognitif

(Coles, 1989; Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977) et son amplitude nous fournit un indice de l'intensité de l'activité cérébrale (Polich & Kok, 1995). Son origine sous-corticale serait multiple et des enregistrements au niveau du thalamus et du lobe temporal moyen ont montré une déflexion qui réagissait à la probabilité du stimulus tout comme la P300 (Clarke, Halgren, & Chauvel, 1999; Kropotov & Ponomarev, 1991).

Les types de cognition étudiée à l'aide de cette méthode comprennent l'intelligence spatiale. Une des tâches qui sert à mesurer celle-ci est la rotation mentale, elle peut être utile aussi dans l'étude de la simulation ou visualisation mentale. Mais sa principale utilisation est plus reliée au fait que cette tâche a engendré des différences sexuelles pour la performance et l'activité cérébrale.

2.3 L'usage général de la tâche de rotation mentale

2.3.1. La tâche de rotation mentale en psychologie cognitive

La rotation mentale est le terme utilisé pour définir le processus cognitif durant lequel une image est retournée mentalement d'une orientation à une autre. Cette tâche a été utilisée pour la première fois dans les années soixante-dix, lors d'études comportementales (Shepard & Metzler, 1971; Vandenberg & Kuse, 1978). Dans le test développé par Shepard et Metzler (1971), la même figure géométrique est présentée par paire et l'une des figures est positionnée dans une orientation différente de l'autre. Cette figure peut être l'image miroir de l'autre ou être identique et pour le déterminer, les sujets doivent être capables d'imaginer la rotation d'un objet dans l'espace. En fait, les participants à ces études ont rapporté qu'ils effectuaient une visualisation du stimulus et s'imaginaient le retourner jusqu'à l'alignement désiré (Zacks, 2008). De plus, le temps que prennent les sujets pour répondre s'allonge de façon constante avec l'augmentation de la disparité angulaire entre les deux formes présentées. En résumé, les temps de réponse ou temps de réaction (TR) augmentent linéairement en fonction de l'angle (Shepard and Metzler, 1971). Ces résultats ont été validés par plusieurs expérimentations en PÉCs (voir Heil, 2002). Ce patron de réponse est similaire à ce que l'on pourrait constater si un sujet faisait la rotation manuelle d'un objet pour l'orienter dans le même sens qu'un autre objet.

En plus des formes géométriques en 3 dimensions (3-D) créées par Shepard et Metzler, beaucoup de chercheurs ont fréquemment utilisé d'autres stimuli pour cette tâche; soit des images en deux dimensions, telles que des lettres, des chiffres, des animaux et des figures abstraites. Malgré ces différences dans les stimuli utilisés, les instructions données au sujet restent les mêmes, ils doivent décider si c'est l'image miroir d'une des figures qui leur est présentée ou non.

2.3.2 Activité cérébrale associée à la rotation mentale : électrophysiologie cognitive

La tâche de rotation mentale a été largement étudiée avec la méthode des PÉCs. Les auteurs s'accordent pour décomposer la rotation mentale en différents processus cognitifs. Ceux-ci sont dans l'ordre; la perception visuelle, l'identification et la discrimination des objets en fonction de leur orientation, la rotation mentale comme telle, la décision sur la parité entre les deux objets, le choix de la réponse et son exécution. Il importe de différencier le processus de rotation mentale des autres processus liés à l'exécution de la tâche. Le but étant d'isoler l'effet de cette opération cognitive spécifique sur les PÉCs et d'établir leurs relations. L'effet standard relié à la rotation mentale est le fait que les déflexions pariétales deviennent de plus en plus négatives à mesure que l'angle de rotation augmente. Ce phénomène apparaît dans les latences allant de 400 à 800 ms post stimulus. Cette modulation de l'amplitude en fonction de l'angle de rotation serait le corrélat électrophysiologique de la rotation mentale (Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989). Cette modulation est d'ailleurs absente lorsque les sujets ne font qu'identifier l'image présentée, même si elle est montrée sous différents angles (Heil, 2002). La négativité accrue des ondes tardives associées à la rotation mentale serait reliée à la difficulté de la tâche et peut également s'observer lors de tâche demandant beaucoup d'attention. On a émis l'hypothèse que la partie antérieure du cerveau procéderait à une inhibition des ressources touchant les stimuli non spécifiques à la tâche, dans le but de se concentrer sur une manœuvre plus difficile, alors que cette action n'est pas nécessaire lorsque par exemple, les conditions de la tâche sont plus aisées (Kok, 2001).

Desrochers (1995) a très bien décrit trois composantes affectées par la rotation mentale. Il y aurait trois composantes distinctes qui correspondent à trois processus cognitifs lors de cette tâche. La période initiale qui arrive vers 200 à 300 ms (N200/P200) toucherait à

l'évaluation élémentaire du stimulus. La P300 (300-400 ms) correspondrait à la phase de catégorisation du stimulus par l'évaluation de ces différents aspects dont l'orientation. La stratégie à privilégier sera aussi exprimée durant cette période également. Ensuite, vers 400 ms et jusqu'à 800 ms, on procède à la rotation mentale de l'objet. Cette dernière composante est appelée LPC, pour *Late Positives Components* car elle est composée de plusieurs déflexions positives. Finalement, la prise de décision pour la réponse se produit entre 1000 ms et 1200 ms. Il semblerait que les deux premières composantes impliquent davantage l'activation des aires frontales et la dernière, les aires centrales et surtout pariétales (Desrocher, Smith, & Taylor, 1995).

Ces composantes peuvent être associées au modèle décrit plus haut sur les processus cognitifs ayant lieu durant la rotation mentale. La composante N200/N250 serait reliée à la perception visuelle, car des changements dans la couleur des stimuli ou des angles de rotation impossibles pour des parties du corps ont affecté son allure (Overney, Michel, Harris, & Pegna, 2005; Wijers, Otten, et al., 1989). L'identification et la discrimination des stimuli correspondraient à la P300, cette activité refléterait un processus de différenciation visuelle où l'on examine les relations spatiales entre les diverses parties des objets (Schendan & Lucia, 2009). On cherche à identifier l'orientation de l'objet à retourner et de ses parties. Des stimuli complexes et non familiers devraient augmenter la durée de cette étape. Une expérience a montré que l'utilisation de deux lettres similaires (comme b et d), donc difficiles à discriminer, a eu pour effet de retarder le début de la rotation mentale (Heil & Rolke, 2002) qui elle est indexée par la plus grande négativité des déflexions pariétales. Lors d'une autre étude, des formes abstraites ont généré des TRs significativement plus longs comparativement à des lettres (Desrochers et al, 1995). Les LPC sont reliées à la rotation mentale et au jugement de la parité entre les deux formes. Le nom de cette dernière composante diffère selon les auteurs, certains parlent de *late parietal negativity* ou de *processing related negativity* (Heil & Rolke, 2002; Milivojevic, Johnson, Hamm, & Corballis, 2003; Wijers, Otten, et al., 1989). D'autres auteurs ne font que mentionner les fenêtres de temps où ils ont observé un effet de la rotation mentale (Gootjes, Bruggeling, Magnee, & Van Strien, 2008; B. W. Johnson, McKenzie, & Hamm, 2002; Yu et al., 2009) sans les relier à des composantes. Cette confusion serait due au

fait que des déflexions négatives seraient générées en même temps que les LPC (Rosler, Heil, Bajric, Pauls, & Hennighausen, 1995; Schendan & Lucia, 2009).

Des études ont noté une activation frontale précédant l'activité pariétale (Yu et al., 2009), d'autres études ont enregistré en plus, une activité de la région fronto-centrale et centrale débutant vers 350-400 ms, qu'ils ont reliée à la mémoire de travail spatiale (Schendan & Lucia, 2009; Yoshino, Inoue, & Suzuki, 2000). Celle-ci serait requise pour garder en mémoire des représentations mentales sous différents angles de vue du stimulus dans le but de déterminer sous quel angle on doit le tourner pour ensuite le comparer à l'autre objet. Ce processus précéderait et perdurerait durant la rotation mentale comme telle (Schendan & Lucia, 2009).

Suite à cette revue de la littérature sur la latéralisation et les composantes¹ touchées par la rotation mentale, des objectifs ont été formulés. En plus des liens établis entre la N250, la P300 et les LPC avec les processus cognitifs ayant trait à cette tâche, il a été reconnu que la P300 peut être modulée par des facteurs d'origines hormonales et biologiques (pour une revue du sujet voir Polich & Kok, 1995). Il peut être intéressant de mesurer le niveau de difficulté en se basant sur l'amplitude des LPC, en plus des données comportementales. La recension des écrits montre qu'il peut y avoir un changement de latéralisation en lien avec le taux d'œstrogène. L'activité est le plus souvent bilatérale quand le taux d'œstrogène est élevé et quand celui-ci est bas, l'activité cérébrale tend à être asymétrique. Le présent travail pourrait amener une preuve additionnelle concernant ce phénomène détecté par des études comportementales et en neuroimagerie. Par ailleurs, malgré l'utilité de la tâche de rotation mentale dans la détection des différences sexuelles, elle n'a jamais été utilisée dans les études comparatives du cycle menstruel.

¹ J'ai choisi de rapporter les résultats qui ont trait à l'amplitude des signaux plutôt qu'à la latence de ceux-ci. Car cette mesure est peu pertinente pour l'étude présente parce que lors de la rotation mentale, l'effet attendu est une négativité accrue de l'amplitude des ondes en fonction de l'angle de rotation (Heil, 2002). De plus, aucune manipulation expérimentale n'a été faite dans le but de retarder le début de la rotation et les stimuli utilisés pour tous les essais sont de même type. Finalement, l'inspection visuelle des PÉCs des participantes a montré qu'il est difficile de déterminer la latence exacte des composantes due au fait qu'il y a plusieurs déflexions positives qui se succèdent lors de la rotation mentale.

2.3.3 Activité cérébrale associée à la rotation mentale : Neuroimagerie

L'activation du cortex pariétal durant la tâche de rotation mentale a été démontrée de façon constante par des études en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et par des études de tomographie par émission de positons (TEP). De plus, on observe régulièrement une activation de la région frontale, du cortex pré-moteur et moteur ainsi que du cortex occipital (Milivojevic, Hamm, & Corballis, 2009; Zacks, 2008). Il reste que l'on attribue généralement au cortex pariétal, une fonction importante dans la transformation spatiale. Cependant, la contribution relative des lobes pariétaux droit ou gauche reste controversée (Harris et al., 2000). D'après une revue des études d'IRMf, l'activité cérébrale est généralement observée de façon bilatérale, mais avec un peu plus de consistances dans l'hémisphère droit pour la région pariétale lorsqu'il y a présence de latéralisation (Zacks, 2008). Les études de TEP et de PÉC ont également obtenu des résultats contradictoires sur l'utilisation des hémisphères. Certaines études ont observé une activation bilatérale de la région pariétale (Heil & Rolke, 2002; Jansen-Osmann & Heil, 2007; Kosslyn, DiGirolamo, Thompson, & Alpert, 1998), tandis que d'autres ont observé une activation prédominante à droite (Harris et al., 2000; Milivojevic et al., 2003; Schendan & Lucia, 2009; Yoshino et al., 2000). Cependant, lorsqu'on compare les résultats entre les hommes et les femmes, on s'aperçoit que cette prédominance de l'hémisphère droit est surtout vraie pour les hommes, les femmes montrent davantage une activation bilatérale ou une activation plus grande à gauche.

2.4 Études des différences sexuelles dans le contexte de la rotation mentale

2.4.1 Études comportementales et cognitives

Suite à deux méta-analyses regroupant un grand nombre d'études comportementales, on a démontré que les hommes sont meilleurs que les femmes à plusieurs types de tâches spatiales (Linn & Petersen, 1985; Voyer et al., 1995). Il existe plusieurs types d'habiletés spatiales chez l'humain, Linn et Peterson (1985) les ont regroupés en trois types; la rotation mentale, la perception spatiale et la visualisation spatiale. La perception spatiale a été définie comme étant la capacité de déterminer des relations spatiales entre des objets malgré des informations distrayantes. La visualisation spatiale est la capacité à manipuler des informations spatiales complexes dans le but de résoudre un problème. Cette dernière

catégorie n'engendre peu ou pas de différence sexuelle (pour une revue à ce sujet voir Voyer et al., 1995). La rotation mentale quant à elle, a engendré des différences de performances dues au sexe lors de nombreuses études (Collins & Kimura, 1997; Epting & Overman, 1998; Halari et al., 2006; Hausmann et al., 2000; B. W. Johnson et al., 2002; Phillips & Silverman, 1997; Voyer et al., 2006; Yu et al., 2009). Tandis que d'autres études n'ont pas observé de différence entre les hommes et les femmes (Beste, Heil, & Konrad, 2010; Desrocher et al., 1995; Gootjes et al., 2008; Jordan, Wustenberg, Heinze, Peters, & Jancke, 2002; Rilea, Roskos-Ewoldsen, & Boles, 2004). Malgré ces quelques résultats divergents, la rotation mentale s'est avérée comme produisant les résultats statistiques les plus robustes dans ce domaine d'étude (Voyer et al., 1995). Cette différence de performance entre les hommes et les femmes est reproductible à travers différentes cultures et ce, peu importe le niveau d'éducation des participants (Peters, Lehmann, Takahira, Takeuchi, & Jordan, 2006; Peters, Manning, & Reimers, 2007). Il faut également noter que plus la tâche de rotation mentale est difficile, plus grande sera la taille de l'effet due au sexe (Hampson, 1995). Par ailleurs, des études ont montré que les stimuli représentés en trois dimensions étaient plus générateurs de différence de performance entre les hommes et les femmes que les images en deux dimensions (Hausmann et al., 2000; Phillips & Silverman, 1997). Par contre, Kimura et Collins (1997) ont obtenu des différences sexuelles en utilisant que des stimuli représentés en deux dimensions, mais avec une tâche difficile.

De façon générale, on tente d'expliquer les causes de la supériorité masculine aux tests de rotations mentales par des facteurs environnementaux (expériences vécues, activité spatiale, socialisation) et biologiques (génétiques et hormonales). Un des arguments en faveur du rôle de l'environnement vient du fait que les performances s'améliorent nettement avec de la pratique (Peters et al., 1995). Il est probable également que les deux sexes utilisent des stratégies différentes. Par contre, ces différences dans la stratégie utilisée peuvent dépendre de l'organisation spécifique du cerveau dû au sexe ou peuvent dépendre de l'apprentissage des rôles et de la socialisation différente entre les garçons et les filles (Jordan et al., 2002).

Les différences dans les habiletés spatiales pourraient aussi être reliées au dimorphisme cérébral entre les deux sexes. Les hommes en général utiliseraient leurs cerveaux de manière asymétrique, comparativement aux femmes, pour les processus perceptuels et la cognition (Kelly, 1991; Wisniewski, 1998). Le cerveau des hommes serait organisé de manière à ce que

les processus verbaux fassent intervenir l'hémisphère gauche et les processus non verbaux et perceptuels (incluant la rotation mentale) activent l'hémisphère droit. Par contraste, le cerveau des femmes est organisé de façon plus symétrique, car les deux hémisphères interviennent dans les processus de langage et dans les processus perceptuels et non verbaux (Rilea et al., 2004). On a observé chez les patients mâles avec une lésion au niveau d'un hémisphère, une forte association entre le côté du cerveau blessé et le type de déficit cognitif. Ainsi, les fonctions verbales sont très affectées par une lésion de l'hémisphère gauche tandis que les fonctions non verbales sont affectées par des lésions de l'hémisphère droit, chez les femmes l'association est beaucoup moins forte (Inglis & Lawson, 1981). Donc, si les hommes utilisent plus leur cerveau droit pour effectuer la rotation mentale, des stimuli présentés dans leurs champs visuels gauches devraient amener des temps de réaction plus rapides que ceux présentés à droite. Quelques études ont en effet rapportés une amélioration des temps de réaction chez les hommes lorsqu'on favorisait l'hémisphère droit tandis que les temps de réaction chez les femmes ne changeaient pas en fonction de l'hémisphère favorisé (Rilea et al., 2004; Voyer & Bryden, 1990). Par contre, une étude n'a démontré aucune amélioration des RT chez les hommes en fonction de l'hémisphère, alors que chez la femme, on a observé davantage de rapidité reliée à l'hémisphère gauche lorsque des stimuli alphanumériques étaient présentés dans leurs champs visuels droits (Rilea, 2008). Ceci indiquerait que les femmes, à la différence des hommes ont employé une stratégie de type verbal.

2.4.2 La rotation mentale et les différences sexuelles en électrophysiologie cognitive et en imagerie fonctionnelle

Lors de test en IRMf on a observé de façon consistante une activation bilatérale des régions pariétales et frontales chez les deux sexes (Cohen et al., 1996; Dietrich et al., 2001; Jordan et al., 2002; Kucian, Loenneker, Dietrich, Martin, & von Aster, 2005; Schoning et al., 2007). Des résultats discordants existent cependant, ainsi Halari (2006) a observé une activation à droite seulement de la région pariétale pour les hommes et les femmes durant leurs menstruations et Hugdahl (2006) a observé une activation plus grande du lobe pariétal à droite chez les hommes comparativement aux femmes. Chez les femmes, on a noté un plus grand nombre de voxel activé que les hommes pour les mêmes régions (Dietrich et al., 2001; Halari et al., 2006), une plus grande activation de la région frontale (Hugdahl, Thomsen, &

Ersland, 2006; Kucian et al., 2005; Schoning et al., 2007) et du lobe temporal (Jordan et al., 2002; Kucian et al., 2005). On a observé chez les deux sexes, une activation du cortex prémoteur et moteur mais pour cette dernière région, Kucian a retrouvé une activation du cortex moteur gauche plus forte chez les femmes et lors d'une autre étude, c'est chez les hommes uniquement que cette aire a été activée (Jordan et al., 2002).

Des études en PÉC ont comparé l'activité cérébrale des hommes et des femmes séparément lors d'une tâche de rotation mentale. Deux de ces études ont mis en évidence une activation plus grande de l'hémisphère droit chez l'homme, tandis que chez la femme, les deux hémisphères étaient utilisés de façons similaires (Gootjes et al., 2008; Johnson et al., 2002). Par contre, les trois autres études ont plutôt observé une activation bilatérale de la région pariétale qui était identique chez les hommes et les femmes, (Beste et al., 2010; Desrocher et al., 1995; Yu et al., 2009) et ce pour les composantes associées à la rotation mentale comme telle. Cependant, quelques différences furent notées. Yu et son équipe ont retrouvé des différences sexuelles qui se situaient plutôt dans la région frontale. Les femmes ont montré une plus grande amplitude des déflexions du côté droit comparativement aux hommes pour la condition de rotation de 400 ms à 700 ms. Desrocher et son équipe (1995) ont retrouvé des différences sexuelles pour les composantes qui précèdent la rotation mentale, soit pour la N400 et la P300. Encore ici, les femmes montraient une amplitude plus importante des ondes cérébrales. Une plus grande activation de l'hémisphère droit pour les composantes qui précèdent la rotation était soulignée, et ce, de façon semblable pour les deux groupes. Par contre, une autre étude n'a retrouvé aucune différence sexuelle, ni dans les données comportementales et ni dans l'activation cérébrale durant la rotation (Beste et al., 2010). Les raisons pour cette absence de différence sont probablement reliées aux faits qu'ils ont utilisé des lettres comme stimuli et non des figures en 3-D et qu'ils n'ont utilisé que les électrodes pariétales lors de leurs analyses alors que des différences sexuelles peuvent se situer dans d'autres régions, en frontal notamment (Yu et al., 2009) et au niveau de la ligne médiane (Gootjes et al., 2008).

3.0 L'activité cérébrale durant la rotation mentale : Effet du cycle menstruel

3.1 Changements comportementaux associés aux habiletés spatiales lors du cycle menstruel

Comme nous l'avons vu, le niveau des hormones féminines varie de façon dramatique durant le cycle menstruel. Si ces hormones influencent l'habileté spatiale, alors la performance devrait varier aux tests de rotation mentale chez la femme durant le cycle menstruel. Quelques études comportementales se sont penchées sur la question. En fait, quatre études sur six ont rapporté un effet du cycle menstruel sur la performance à ce test. Ils ont observé que les performances les moins bonnes avaient lieu quand les niveaux d'œstrogènes et de progestérone étaient hauts (phase lutéale), la performance était significativement meilleure quand ces deux hormones étaient basses au début de la phase folliculaire (Hampson, 1990b; Hausmann et al., 2000; Maki et al., 2002; Phillips & Silverman, 1997). Deux études n'ont pas obtenu de différences pour la tâche de rotation mentale lors du cycle menstruel ainsi qu'à d'autres tâches cognitives réputées comme étant sensibles au genre des participants (Epting & Overman, 1998; Griksiene & Ruksenas, 2011). Seulement une étude s'est intéressée au temps de réaction et ils n'ont pas trouvé de différences entre les phases du cycle pour les TRs (Griksiene & Ruksenas, 2011). La plupart des études comparent les femmes à deux moments précis du cycle, soit quand le taux des hormones féminines sont à leurs plus bas durant les menstruations et au moment où la progestérone et l'œstrogène sont hauts vers le 21^e jour (phase lutéale) d'un cycle de 28 jours. Il est donc difficile de connaître laquelle de ces deux hormones influence le plus les résultats. Cependant, une étude de Hampson (1990a) a comparé des femmes durant leurs menstruations et durant la phase préovulatoire, au moment où le niveau d'œstrogène est très haut et la progestérone reste basse. Comme les résultats ont montré des différences de performance significatives entre ces deux phases, c'est l'œstrogène qui aurait un effet sur la performance, lors de la rotation mentale plutôt que la progestérone.

3.2 Fonctionnement cérébral et habiletés spatiales

Peu d'études en neuroimagerie cérébrale ont testé les mêmes femmes à différent moment de leur cycle pour la tâche de rotation mentale. Trois études en IRMf ont testé des femmes à des moments bien précis du cycle menstruel et aucune étude en potentiels évoqués cognitifs ne l'a fait pour une tâche de rotation mentale. Dietrich et coll. (2001), ont comparé des femmes durant leurs menstruations et durant la phase préovulatoire du cycle, ils n'ont pas obtenu de différence de performance entre ces deux phases. Schoning et coll. (2007), ont quant à eux, comparé des femmes durant leurs menstruations et durant la phase mi-lutéale du cycle, et eux aussi n'ont pas obtenu de différence significative de performance. Une autre étude n'a pas pu établir de corrélation entre le taux d'œstradiol et la performance, pas plus qu'avec les RTs durant la rotation mentale (Mendrek, Lakis, & Jimenez, 2011).

Par contre, des différences au niveau de l'activité cérébrale furent notées. Schoning et son équipe ont observé que durant la phase lutéale (taux hormonal élevé) beaucoup plus de régions étaient activées que durant les menstruations, dont le gyrus frontal droit (Schoning et al., 2007). De plus, des corrélations entre le taux d'œstrogène et l'activité cérébrale ont été retrouvées. Finalement, le cortex pariétal était activé de façon bilatérale lors des deux phases. Dietrich, quant à elle, n'a pas trouvé de différence de localisation ou de latéralisation entre les deux phases du cycle étudié pour la tâche de rotation mentale. Par contre, durant la phase ovulatoire, la grandeur des régions activées était beaucoup plus grande.

3.3 Effet du cycle menstruel : autres tâches en potentiels évoqués cognitifs

Il existe quelques études en potentiels évoqués qui ont étudié l'activité électrocorticale reliée au cycle menstruel. La revue des articles sur ce sujet montre que l'amplitude de la composante P300 est influencée par le niveau hormonal sans égard aux conditions de la tâche (Kluck et al., 1992; Krug, Plihal, Fehm, & Born, 2000; O'Reilly, Cunningham, Lawlor, Walsh, & Rowan, 2004; Tillman, 2010). Deux études ont utilisé une tâche de type *oddball* (Kluck et al., 1992; Tasman, Hahn, & Maiste, 1999) deux autres, une tâche avec des stimuli émotionnels (Johnston & Wang, 1991; Krug et al., 2000) et une dernière étude a utilisé une tâche de mémoire (O'Reilly et al., 2004). La P300 a été plus sensible à des stimuli émotionnels qui avaient des connotations sexuelles (hommes mannequins) ou reproductives (photo de

bébés) qu'à des photos de gens ordinaires ou qu'à des photos de maladie de peau. Cet effet a eu lieu plus précisément lorsque le taux des hormones progestérone et œstrogène étaient hautes (Johnston & Wang, 1991). Krug et coll. (2000), ont quant à eux, observé un effet similaire pour des stimuli sexuels quand le niveau d'œstrogène seulement était haut, et ce pour la composante LPC. Une tâche de type *oddball* avec des stimuli neutres d'un point de vue émotionnel n'a pas engendré de différence d'amplitude de la P300 entre les phases du cycle menstruel, on a seulement noté une augmentation de celle-ci non significative lors de la phase lutéale (Kluck et al., 1992).

Une étude récente de Tillman (2010), en potentiel évoqué auditif, a comparé 23 femmes durant leurs menstruations et durant la phase folliculaire du cycle menstruel. Elle a utilisé deux tâches, une de type sémantique favorisant l'hémisphère gauche et une autre favorisant l'hémisphère droit (tonalités sonores complexes). Comme prévu, chaque tâche a engendré une latéralisation cérébrale du côté de l'hémisphère dominant. De plus, on a retrouvé une interaction entre la phase du cycle menstruel et le côté où étaient présentés les stimuli (oreille gauche ou oreille droite). Les latences provenant du côté droit vers l'hémisphère gauche étaient plus courtes lorsque le taux d'œstrogène était élevé (phase folliculaire) ce qui supporterait l'idée d'une implication plus forte de cet hémisphère. Lorsque le taux d'œstrogène était bas, ce sont les latences provenant de l'oreille gauche vers l'hémisphère droit qui étaient les plus courtes pour la tâche d'identification des sons complexes.

4.0 Objectifs et hypothèses

La tâche de rotation mentale a beaucoup servi dans la recherche des différences sexuelles au niveau des fonctions cognitives. Les résultats ont montré que les hommes ont généralement une performance supérieure aux femmes et une activation cérébrale plus latéralisée. Le niveau d'œstrogène chez les femmes pourrait être responsable de ces différences. Les études de potentiels évoqués ont fréquemment utilisé la tâche de rotation mentale, ses effets standards sont connus et ont été largement reproduits d'une étude à l'autre, comme l'augmentation de la négativité des ondes pariétales en fonction de l'angle de la rotation. Le but de la présente étude est de documenter l'effet des œstrogènes sur l'activité

cérébrale et les données comportementales lors d'une tâche de rotation mentale à différents moments du cycle menstruel. C'est la première fois que cette tâche sera utilisée lors d'une étude comparative du cycle menstruel. L'amplitude de la P300 a déjà montré avec d'autres types de tâches, une augmentation de son ampleur qui n'était pas associée aux conditions des tests employés (Kluck et al., 1992; O'Reilly et al., 2004; Tillman, 2010). Cette augmentation a eu lieu lors du niveau oestrogénique élevé. Une étude d'IRMf a obtenu des différences d'activation cérébrale lors du cycle menstruel chez les mêmes femmes pour une tâche de rotation mentale (Schoning et al., 2007). Ils ont également observé qu'il existait des corrélations entre le taux d'œstrogène et l'activité du cerveau et qu'ils y en avaient très peu avec le taux de progestérone. Hampson (1990a) a suggéré en étudiant des femmes durant la phase folliculaire du cycle que c'est probablement l'œstrogène pour les hormones féminines, qui influence le plus la performance à une tâche d'habileté spatiale. En se basant sur la recension des écrits, nos hypothèses sont :

H1 – La composante P300 sera plus ample quand le niveau d'œstrogène sera élevé.

H2 – L'effet de la rotation mentale sur les composantes P300 et LPC sera :

- A) retrouvé de façon égale sur les deux hémisphères quand le taux d'œstrogène sera haut.
- B) plus grand sur les électrodes pariétales gauches lorsque le taux sera bas pour les LPC.

H3 – Une meilleure performance à la tâche de rotation mentale quand le taux d'œstrogène sera bas.

Méthode

Participants

Un total de 15 femmes hétérosexuelles, entre 18 ans et 45 ans, avec un cycle menstruel spontané furent recrutées initialement. Elles ont répondu à des annonces affichées à l'hôpital Louis-H. Lafontaine et à l'université de Montréal. Pour être éligible à participer, les candidates devaient être en bonne santé physique et mentale sans histoire présente ou passée de maladie psychiatrique ou de trouble neurologique, ne pas prendre de contraceptifs oraux depuis au moins 6 mois, ne pas être enceinte ou allaiter. Les critères d'exclusion de l'étude comprenaient également l'alcoolisme ou la toxicomanie et une vision déficiente non corrigée. Un questionnaire détaillé (voir une copie à l'annexe 3) sur l'état de santé des participantes a été utilisé pour s'assurer qu'aucune d'entre elles ne présentait des critères d'exclusions nommés plus haut. Les participantes retenues ont toutes rapporté avoir un cycle menstruel régulier d'une durée allant de 27 à 35 jours. Des quinze femmes initialement recrutées pour cette étude, trois ont été exclues parce que leurs taux d'hormones féminines étaient semblables lors de leurs deux sessions d'enregistrement. Cette faible variation de leurs taux pourrait ainsi indiquer qu'elles étaient à chaque fois dans la même phase du cycle menstruel. Enfin, celles qui n'ont pas eu de prise de sang la même journée que l'enregistrement EEG étaient systématiquement exclues (n = 6 exclusions).

L'échantillon final fut composé de 12 femmes âgées de 29 ans en moyenne (18-45 ans) avec un niveau de scolarité moyen de 18 ans (13-23 ans). Elles étaient toutes droitières (vérifié par le *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971)) et elles avaient une vision normale ou corrigée à la normale. En accord avec la Déclaration d'Helsinki, le consentement éclairé écrit a été obtenu avant de participer à l'expérience. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche de l'Hôpital Louis-H Lafontaine et par le comité d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie Québec. Les données démographiques sont exposées à l'annexe 1.

Les participantes devaient se présenter deux fois au laboratoire d'électrophysiologie pour l'enregistrement des potentiels évoqués. Des tests sanguins ont été effectués la même

journee pour determiner le niveau exact d'œstrogène et de progestérone (tableau I). Chaque femme est venue une fois durant la phase folliculaire (jours 2 à 13) et une fois durant la phase lutéale (jours 19 à 27) du cycle menstruel. La moitié des femmes se sont présentées à la première session durant la phase folliculaire et l'autre moitié durant la phase lutéale de leur cycle. Il y avait en moyenne une durée de 15 jours (14 à 19 jours) entre les deux sessions, sauf pour deux sujets où les tests ont été effectués lors de cycles menstruels distincts à un mois d'intervalle. Ceci dans le but d'obtenir une session d'enregistrement lorsque le taux d'œstrogène du sujet était bas et une autre session avec un taux d'œstrogène élevé. C'est ce taux d'œstrogène qui a servi de base pour les mesures répétées de comparaison.

Un échantillon sanguin de 10 ml a été pris environ 30 minutes avant chaque session d'électroencéphalographie pour évaluer les niveaux d'hormones gonadiques chez tous les participants. L'échantillon a été immédiatement centrifugé et le sérum séparé. Les échantillons ont été conservés (-40 C) et plus tard transportés et analysés au laboratoire de l'Hôpital Maisonneuve-Rosemont. Les taux d'hormones ont été déterminés en utilisant le système automatisé de dosage par chimiluminescence (SYNCHRON LX ® i 725, Beckman Coulter, USA). Les taux d'hormones ovariennes sont exposés au tableau I.

Cadre expérimental

Après avoir signé le formulaire de consentement, les participantes se dirigeaient vers la salle d'enregistrement des EEG. L'éclairage était tamisé et climatisé à environ 20 degrés Celsius, peu importe la saison. Les participantes étaient assises dans une chaise réglable, pour un plus grand confort, placée devant l'écran d'ordinateur à une distance de 90 cm, calculée à partir du nez vers le centre de l'écran qui présentait un angle de 5 degrés vers le haut. La salle d'enregistrement était séparée de la salle de l'expérimentateur qui contenait les ordinateurs de contrôles et des miroirs sans teints permettant de voir le participant dans la salle d'enregistrement. Le casque d'électrodes en nylon, l'électro-oculogramme et les références mastoïdiennes étaient installés dans une période de 30 à 40 minutes en moyenne. Ensuite, l'expérimentateur procédait à un enregistrement de la qualité du signal d'environ 3-5 minutes au repos pour faciliter l'adaptation des participants au laboratoire.

Tableau I : Taux des hormones ovariennes pour chaque sujet.

Id	Œstrogène (pmol/L)		Progestérone (nmol/L)		Heures	
	<u>bas</u>	<u>haut</u>	<u>bas</u>	<u>haut</u>	<u>bas</u>	<u>haut</u>
1	164	590	1.9	60.5	11h00	11h25
2	226	637	0.3	37	12h00	12h30
3	176	662	0.7	58	11h00	14h00
4	207	591	0.9	76	10h00	11h50
5	55	1104	0.6	0.9	11h00	14h00
6	83	112	10.9	0.9	14h15	14h45
7	145	368	4.3	4.3	11h30	11h20
8	171	1051	22.7	5.8	15h00	15h00
9	155	202	0.7	1.2	14h00	10h30
10	273	406	0.6	16	14h00	14h50
11	223	644	0.4	33.7	14h15	10h15
12	139	407	0.7	0.4	9h30	11h00

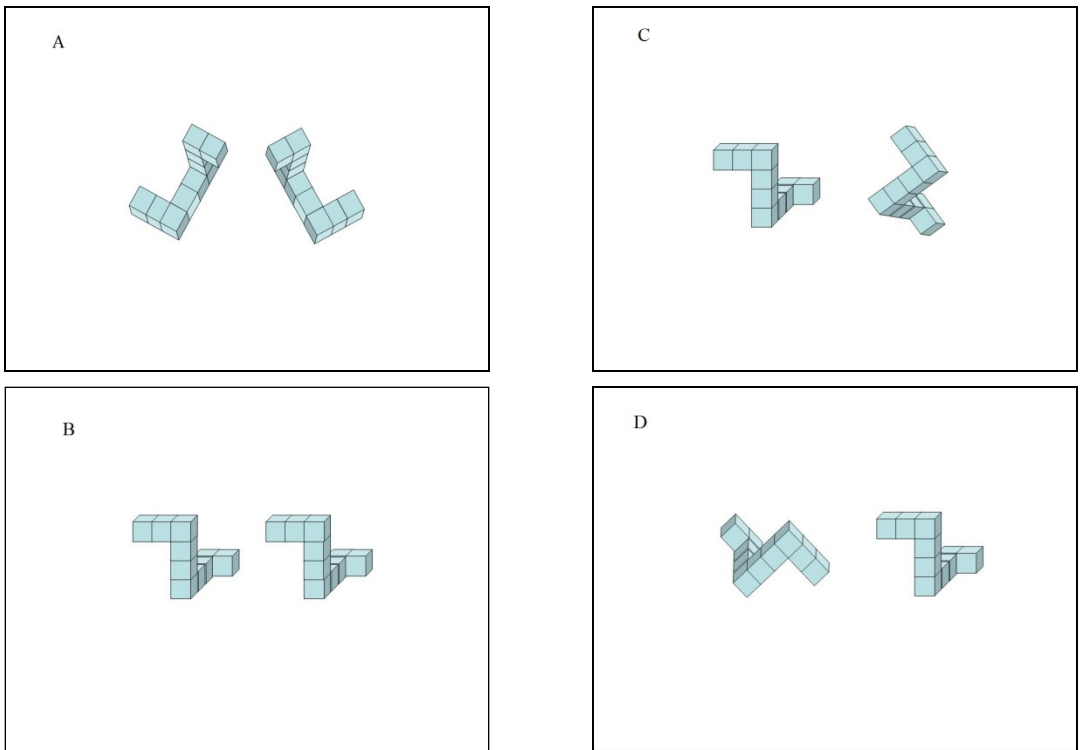
Id = numéro du sujet; Heures = heure de la prise de sang.

Stimuli

Des images en 3D composés de formes géométriques (cubes) similaires à celles utilisées par Shepard et Metzler (1971) ont servi lors de cette étude. Les stimuli étaient présentés par paire avec l'une des formes présentant une rotation le long de l'axe vertical par

rapport à l'autre forme. Pour la moitié des essais, les deux formes étaient identiques et pour l'autre moitié, c'était l'image miroir qui était affichée. La moitié des stimuli présentés ont servi comme référence, c'est-à-dire qu'aucune des deux formes ne montrait une rotation. Ce qui donnait au total 4 catégories de 25 essais chacune, soit les conditions réunies d'image miroir avec rotation ou d'image non miroir avec rotation et les deux catégories sans rotation avec image miroir ou sans l'image miroir (figure 2).

Figure 2 : Exemples de deux conditions sans rotation (à gauche) et de deux conditions avec rotation (à droite) où l'un des objets présente une déviation sur le plan vertical.



Tous les objets sont similaires, mais ils sont présentés de façons différentes. Les images ci-dessus illustrent; la condition miroir où l'un des objets est orienté dans le sens inverse de l'autre (Panneau A), les objets montrés de façons identiques (Panneau B), l'un des objets présentant une rotation (Panneau C) et l'un des objets est montré en image miroir et en rotation (Panneau D).

Déroulement de la tâche

Les images ont été présentées séquentiellement en paires de stimuli sur un écran plat de 19" (NEC AccuSync LCD 92vx) avec une résolution fixée à 1280×960 pixels. Les stimuli (couleur vert d'eau de la suite Microsoft Office; RVB : 187, 224, 227) sur fond d'écran blanc, étaient présentés pendant 3260 ms en moyenne (3000-3500 ms), ils étaient précédés par un écran blanc avec un point de fixation (une croix) situé au centre. Dans le but de réduire les mouvements oculaires, on a placé les deux formes le plus près possible l'une de l'autre. Les intervalles entre les essais étaient d'une durée variable allant de 5090 ms à 5800 ms avec une moyenne de 5500 ms.

On a demandé aux participantes de regarder chaque paire de stimuli et de déterminer si les formes étaient semblables ou différentes dans le cas des images-miroirs. Elles devaient indiquer leurs choix en pressant une touche du clavier le plus rapidement et précisément possible avec leur main droite (main dominante). Lorsque les formes étaient identiques, elles devaient appuyer sur la touche représentant la flèche gauche et sur la flèche droite lorsqu'elles n'étaient pas identiques. Les données comportementales ainsi que l'EEG ont été enregistrés simultanément et la durée totale de la tâche était de 20 minutes.

Enregistrement de l'EEG et extraction des PÉ

L'EEG a été enregistré à partir de 60 électrodes en étain fixées dans un casque en nylon élastique (Electro-Cap International Inc), mais seulement 16 électrodes ont été conservées pour nos analyses spécifiques, afin d'étudier les composantes d'intérêts. Les électrodes ont été placées sur le cuir chevelu selon l'orientation standard pour la position des électrodes par l'American Society EEG (Pivik et al., 1993), aux régions frontales (F1, F2, F3, F4), frontales-centrales (FC1, FC2, FC3, FC4), centrales (C1, C2, C3, C4) et pariétales (P1, P2, P3, P4). Toutes les électrodes ont été référencées aux mastoïdes et leurs impédances ont été maintenues en dessous de $5 \text{ K}\Omega$. Les électro-oculogrammes (EOG) ont été enregistrés en utilisant quatre électrodes bipolaires externes en étain de 9 mm. Pour l'EOG horizontal, les électrodes ont été placées sur chacune des tempes et pour l'EOG vertical les électrodes étaient placées aux points infra et supra-orbitaire de l'œil droit, aligné lorsque la pupille regardait tout

droit. Un modèle d'amplificateur digital DBP A-1 (Sensorium, Charlotte, VA) a permis d'acquérir et d'amplifier les signaux EEG (Gain = ± 5000) avec une bande passante comprise entre 0,01 et 30 Hz (filtre coupe-bande (notch) = 60 Hz). Les valeurs de gains étaient automatiquement ajustées après une calibration effectuée peu avant l'enregistrement. L'EEG a été enregistré en continu à un taux d'échantillonnage de 500 Hz. Les corrections oculaires étaient ensuite réalisées sur le signal continu afin de retirer tout artéfact oculaire avec l'algorithme créé par Gratton et Coles (Gratton, Coles, & Donchin, 1983). Suite à cette procédure, les signaux étaient moyennés par rapport au stimulus dans une fenêtre de temps débutant à 100 ms avant et jusqu'à 1500 ms après l'apparition des images avec des bornes d'exclusion pour les signaux extrêmes variant entre +100 μV et -100 μV .

Une inspection visuelle du grand moyennage des PÉCs nous a permis de déterminer trois composantes qui sont sensibles aux conditions de la tâche et qui sont en ligne avec les études précédentes (Desrocher et al., 1995; Wijers, Otten, et al., 1989; Yu et al., 2009). Trois fenêtres de temps ont été définies pour la N250 (250-350 ms), la P300 (350-600 ms) et les LPC (600-900 ms). La composante N250 a été divisée en trois régions distinctes d'électrodes, soit la région frontale, fronto-centrale et centrale. La région pariétale a également été utilisée en plus de ces trois régions pour les composantes P300 et LPC. Nos hypothèses expérimentales ont été testées en utilisant les amplitudes moyennes des fenêtres temporelles ci-haut mentionnées.

Analyse de données et statistiques

Les temps de réaction, la performance (nombre de bonnes réponses) ainsi que l'amplitude moyenne de chacune des composantes PÉC, ont été analysés à l'aide d'analyses de variance à mesures répétées ANOVA (SPSS ®-Win 17). Pour les mesures hormonales, le test t de Student (de type apparié) a été utilisé. Pour les corrélations, l'analyse bivariée de Pearson avec test bidirectionnel (*two-tailed*) a été utilisée.

Les données comportementales ont été soumises à une MANOVA à mesures répétées avec comme facteur intra-sujet, le niveau hormonal (taux élevé/ taux bas), la rotation (deux niveaux: avec/sans) et miroir (deux niveaux; miroir/non miroir). Pour les composantes électrophysiologiques, des facteurs additionnels ont été ajoutés soit les facteurs suivants; hémisphère

(2 niveaux : gauche / droit), régions (4 niveaux : frontal / frontal-central / central / pariétal) et électrodes (2 sites par région). Il faut noter que pour le facteur rotation, on parle d'un effet de la rotation mentale lorsque l'amplitude de la condition avec rotation est plus négative ou moins positive que pour la condition sans rotation, un exemple est montré à la figure 3.

Les analyses de PÉC ont été effectuées séparément sur chacune des trois fenêtres temporelles (N250, P300 et LPC) et sur chacune des régions cérébrales. Les interactions significatives ont été approfondies grâce à des analyses supplémentaires pour les comparaisons multiples. Pour toutes les analyses, le niveau de signification a été fixé à 5% (bidirectionnel).

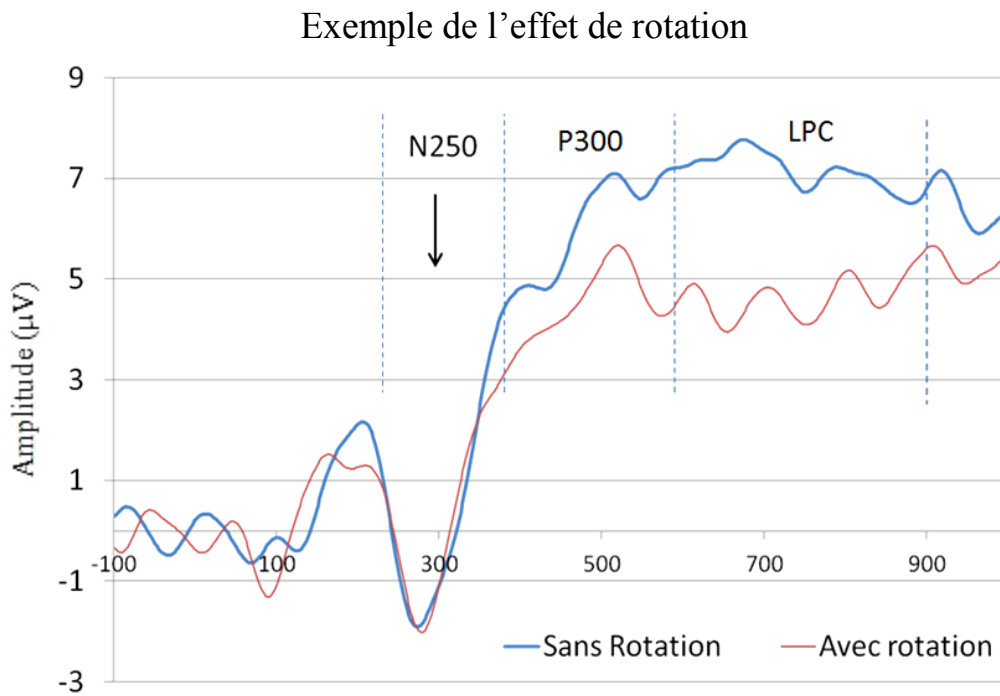


Figure 3 : Exemple de l'effet de rotation.

Note : La courbe avec rotation est moins positive que pour celle sans rotation. Les 3 composantes étudiées sont séparées par les lignes pointillées. Ce tracé est une moyenne de C2 et C4.

Résultats

Données comportementales

Le temps de réaction (TRs) ainsi que le nombre de bonnes réponses ont été calculés pour chaque sujet et pour chaque niveau hormonal. Les sujets ont bien réussi la tâche avec une moyenne de 91.6% pour la première session d'enregistrement et une moyenne de 91.7% pour la deuxième session. La performance a été modulée par les conditions de la tâche où la condition avec rotation ($F(1,11)=19.34$, $p<.001$) ainsi que la condition avec miroir ($F(1,11)=14.95$, $p<.005$) ont engendré une réduction du nombre de bonnes réponses. De plus, ces deux conditions ont révélé une interaction de rotation par miroir ($F(1,11)=5.06$, $p<.05$), montrant que les essais avec la condition rotation (sans image miroir) amenait une meilleure performance que celle avec image miroir. Tandis que pour les essais sans rotation, la présence de la condition miroir avait pour conséquence une faible diminution du nombre de bonnes réponses (tableau II).

Les temps de réaction ont eux aussi été affectés par les conditions de la tâche. Les essais avec la condition rotation ($F(1,11)=2.64$, $p<.001$) ainsi que ceux avec la condition miroir ($F(1,11)=6.05$, $p<.05$) ont engendré des TRs plus longs que pour les essais sans ces conditions. Il n'y a pas eu d'autre effet principal ou d'interaction. Ici, le niveau hormonal n'a pas affecté la performance et ni les TRs.

Tableau II : Données comportementales pour chacune des conditions. Les écarts-types sont entre parenthèses.

Catégories	Performance (nb de bonnes réponses)	Temps de réaction (ms)
Rotation sans miroir	23.2 (.5)	1664 (49)
Rotation avec miroir	20.2 (.9)	1805 (75)
Sans rotation sans miroir	24.7 (.1)	1259 (57)
Sans rotation avec miroir	23.5 (.5)	1384 (87)

Taux moyens des hormones gonadiques

L'analyse des taux moyens d'œstrogènes a montré une différence significative ($p = .001$) entre le niveau bas et élevé. Ce qui représente une augmentation de 236% (30%-1900%) en moyenne. La progestérone a également augmenté, mais dans une moindre mesure ($p = .04$). Deux autres hormones ont montré une augmentation du niveau bas au niveau élevé ($p < .02$) soit la testostérone et l'hormone lutéinisante. Les résultats sont affichés au tableau III. Neuf femmes sur douze présentaient un niveau hormonal bas lors de la première session. L'ordre des sessions avait été contre-balancé en fonction des phases du cycle menstruel et non en fonction du taux d'œstrogène.

N250 antérieure

Effets principaux

Dans l'ensemble, l'amplitude de la composante N250 antérieure était de $-2,6 \mu V$ ($\sigma = 1.45$) avec une latence moyenne de 290 ms ($\sigma = 13$). Pour ce qui est des facteurs intra-groupe, l'ANOVA n'a révélé aucun effet principal du niveau hormonal, de rotation, de miroir ou d'interaction entre ces facteurs ($p > .05$).

Un effet principal de région ($F(1,11) = 10.54$, $p < .02$) et d'hémisphère ($F(1,11) = 8.76$, $p < .02$) a été trouvé. L'amplitude de la N250 était plus négative en frontale et c'est dans la région centrale que son amplitude était la plus faible. On a retrouvé une activation deux fois plus élevée de l'hémisphère droit ($-2.25 \mu V$) que de l'hémisphère gauche ($-1.12 \mu V$).

Analyses par régions :

L'ANOVA n'a révélé aucun effet principal de niveau hormonal, de rotation, de miroir ou d'interaction entre ces facteurs ($p > .05$) pour chaque région. Un effet d'hémisphère a été trouvé pour chaque région, avec encore une fois une prédominance de l'hémisphère droit en frontal et en fronto-central surtout ($F > 8.5$ et $p < .02$), cette différence était moindre pour la région centrale ($F(1,11) = 5.25$, $p < .05$).

Tracés des potentiels évoqués cognitifs

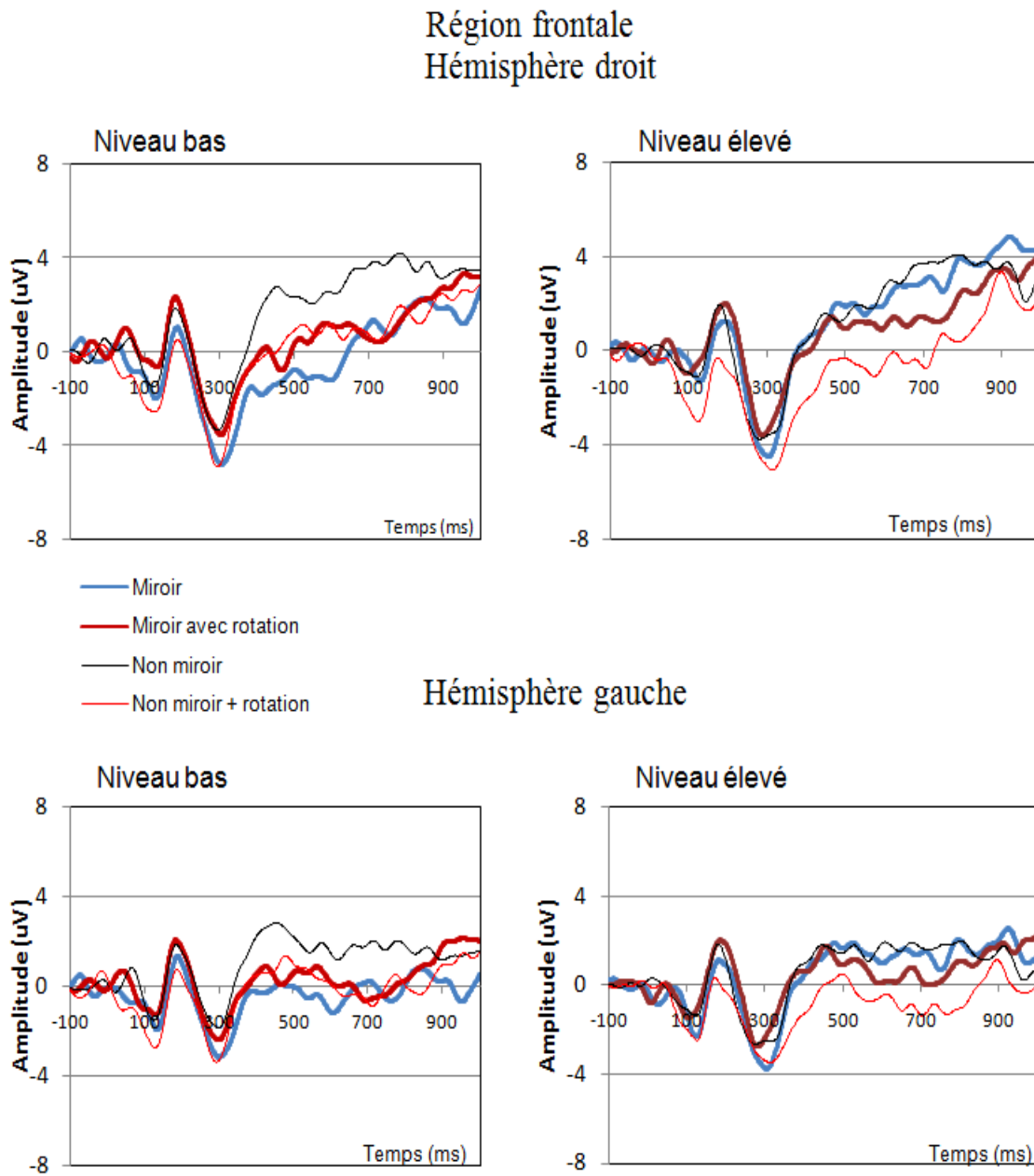
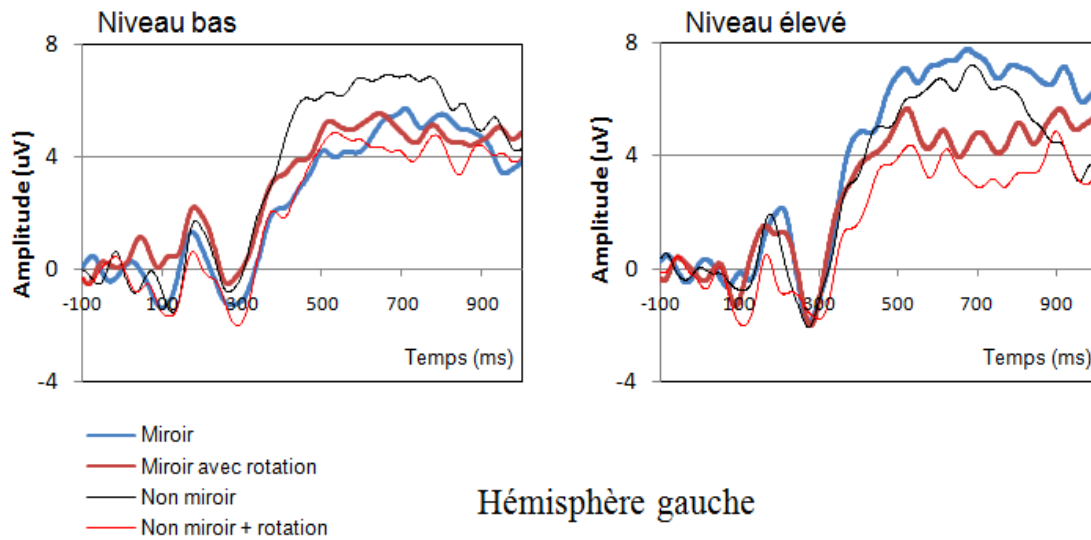


Figure 4 : Grand moyennage de la région frontale de tous les sujets.

Note : Les électrodes de l'hémisphère droit sont une moyenne de F2 et F4, les électrodes de l'hémisphère gauche sont une moyenne de F1 et F3.

Région centrale
Hémisphère droit



Hémisphère gauche

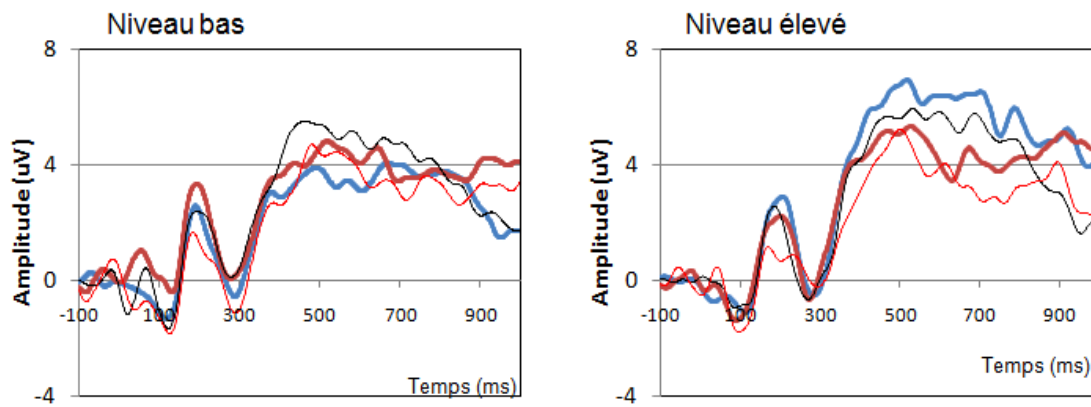
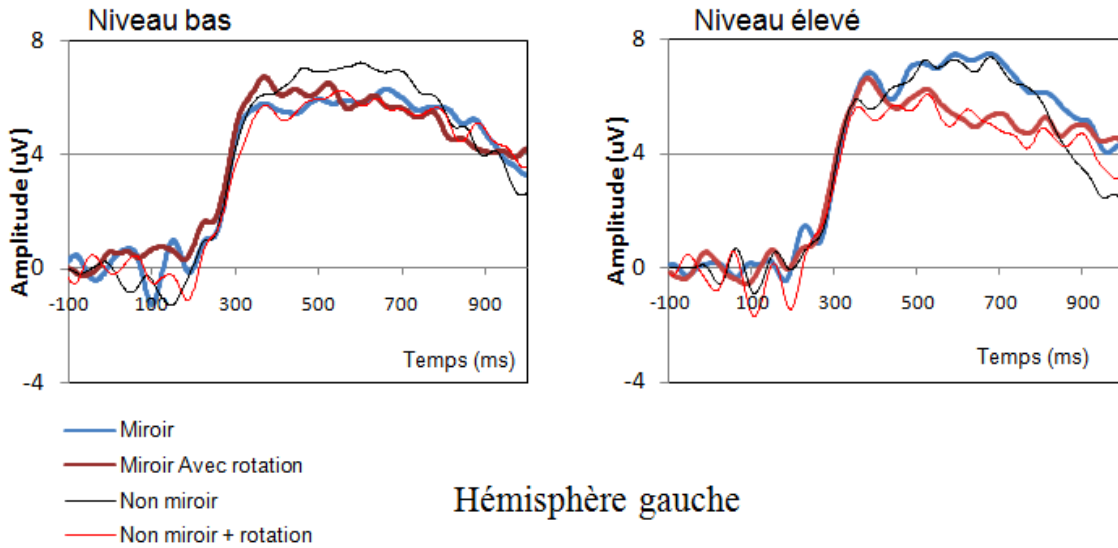


Figure 5 : Grand moyennage de la région centrale pour tous les sujets.

Note : Les électrodes de l'hémisphère droit sont une moyenne de C2 et C4, les électrodes de l'hémisphère gauche sont une moyenne de C1 et C3.

Région pariétale
Hémisphère droit



Hémisphère gauche

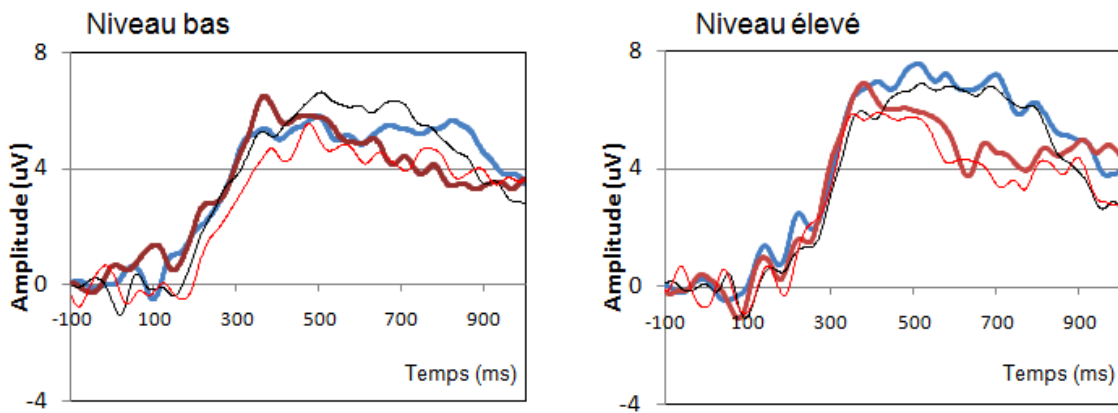


Figure 6 : Grand moyennage de la région pariétale pour tous les sujets.

Note : Les électrodes de l'hémisphère droit sont une moyenne de P2 et P4, les électrodes de l'hémisphère gauche sont une moyenne de P1 et P3.

Tableau III : Taux moyens des hormones gonadiques par sessions.

	Niveau bas	Niveau élevé	<i>t-test</i>
Œstrogènes (pmol/L)	168 (61)	565 (298)	0,001
Progestérone (nmol/L)	3.7 (6.7)	24.6 (27.6)	0,037
Testostérone (nmol/L)	1.6 (0.6)	2.0 (0.5)	0,016
LH (U/L)	4.3 (3)	7.6 (6)	0,018
FSH (U/L)	4.9 (1)	4.2 (3)	ns

LH : hormone lutéinisante; FSH : hormone folliculo-stimulante; ns : non significatif

Note : Les écarts-types sont entre parenthèses. Pour la testostérone, la sensibilité analytique a été de 0,1 ng / mL et le champ dynamique: 0.1 à 16.0 ng / mL. Pour l'œstradiol et la progestérone, la sensibilité analytique était de 20 pg / ml (73 pmol / L) et le champ dynamique de 20 à 4800 pg / mL (73 à 17621 pmol / L).

P300

Effets principaux

L'amplitude de la composante P300 était de 4.05 μ V ($\sigma = 2.4$) et sa latence était de 490 ms ($\sigma = 33$) en moyenne. Un seul effet principal de Région ($F(1,11)=5.67$, $p<.02$) a montré que l'amplitude a augmenté graduellement entre la région frontale (0.5 μ V) et centrale (4.5 μ V) jusqu'à atteindre son maximum dans la région pariétale (6.2 μ V).

Certaines tendances étaient notables, comme pour l'effet de Rotation ($F(1,11)= 4.01$, $p= .071$) qui se traduisait par une amplitude plus négative lors de la condition avec rotation que pour celle sans rotation. Des tendances également pour les interactions entre le niveau hormonal et le facteur miroir ($F(1,11)=4.6$, $p= .061$) et entre le niveau hormonal et la rotation ($F(1,11)=2.57$, $p= .137$) ont pu être observées.

Analyses pour les régions antérieures :

Sur la base de cet effet principal du facteur région, nous avons préconisé une analyse séparée par région. Les résultats pour l'effet de rotation sont illustrés à la figure 7. Aucun effet principal ne s'est avéré significatif pour chacune des 4 régions. Cependant, quelques interactions significatives étaient présentes pour les régions antérieures alors qu'il n'y en avait aucune pour la région pariétale. Ainsi en frontal et seulement pour cette région, une interaction entre le niveau hormonal et la rotation s'est avérée significative ($F(1,11)=4.64$, $p=.05$), démontrant que l'effet de rotation est beaucoup plus important lorsque les taux d'œstrogènes sont élevés (effet de rotation= $1.28 \mu V$) que quand leurs taux sont bas (effet de rotation= $.22 \mu V$). Toujours pour la région frontale, une sous-analyse, par niveau hormonal, a montré que l'effet de rotation est présent quand les taux d'œstrogènes sont élevés ($F(1,11)=6.70$, $p<.05$) alors que l'effet de rotation disparaît lorsque les taux d'œstrogènes sont bas ($p>.05$). Ceci est vrai également pour la région fronto-centrale ($F(1,11)=6.35$, $p<.05$) et pour la région centrale ($F(1,11)=6.9$, $p<.05$).

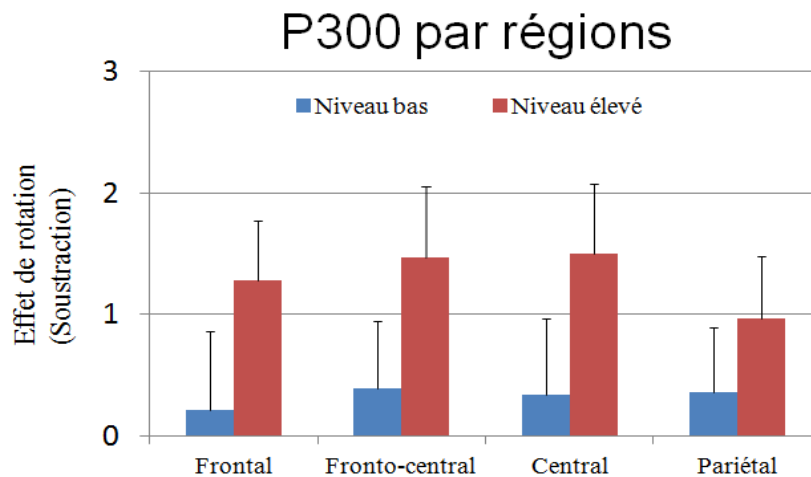


Figure 7 : Interaction Rotation par Niveau hormonal.

Note : L'effet de rotation est présent quand les hormones œstrogènes sont hautes pour les régions frontales, centrales et fronto-centrales. La soustraction est le résultat de la condition sans rotation d'avec celle avec rotation.

Dans la région frontale, une interaction entre la rotation et le facteur miroir ($F(1,11)=5.14, p<.05$) a montré que l'amplitude de la condition avec rotation est plus négative que pour celle sans rotation lors des images non miroirs et que c'est le contraire qui se produit lors des stimuli avec images miroirs. La sous-analyse a en effet démontré que l'effet de Rotation ($F(1,11)=10.5, p<.01$) est présent seulement lors des images non miroirs.

Analyses pour la région centrale :

Pour la région centrale, on a observé une interaction à 4 niveaux (Fig. 8) et une interaction rotation X hémisphère ($F(1,11)=5.88, p<.05$). L'interaction niveau hormonal X rotation X miroir X hémisphère ($F(1,11)=5.23, p<.05$) nous révèlent deux informations pertinentes sur la rotation. Premièrement, lorsque le taux d'hormones estrogènes est bas, l'effet de rotation est présent spécifiquement avec les images non miroirs. Deuxièmement, quand le taux d'hormones estrogènes est haut, l'effet de rotation se généralise aux deux conditions d'image miroir et non-miroir et il est bilatéral. Une troisième information (figure 9) nous est révélée par cette interaction à quatre niveaux, c'est l'augmentation de l'amplitude pour la condition miroir entre le taux d'œstrogène bas et le taux d'œstrogène haut ($F(1,11)=9.37, p<.02$). Une décomposition en sous-analyse par niveau hormonal nous révèle une interaction à trois niveaux de rotation X miroir X hémisphère lorsque les œstrogènes sont bas ($F(1,11)=5.27, p<.05$) ce qui sous-tend un effet de rotation pour les non-miroirs plus important dans l'hémisphère droit ($F(1,11) =5.16, p<.05$). L'effet de rotation est donc plus généralisé lorsque le taux d'estrogène est élevé et lorsque ce même taux est bas, l'effet de rotation dépendrait du facteur miroir et impliquerait principalement l'hémisphère droit.

Effet de miroir et de rotation

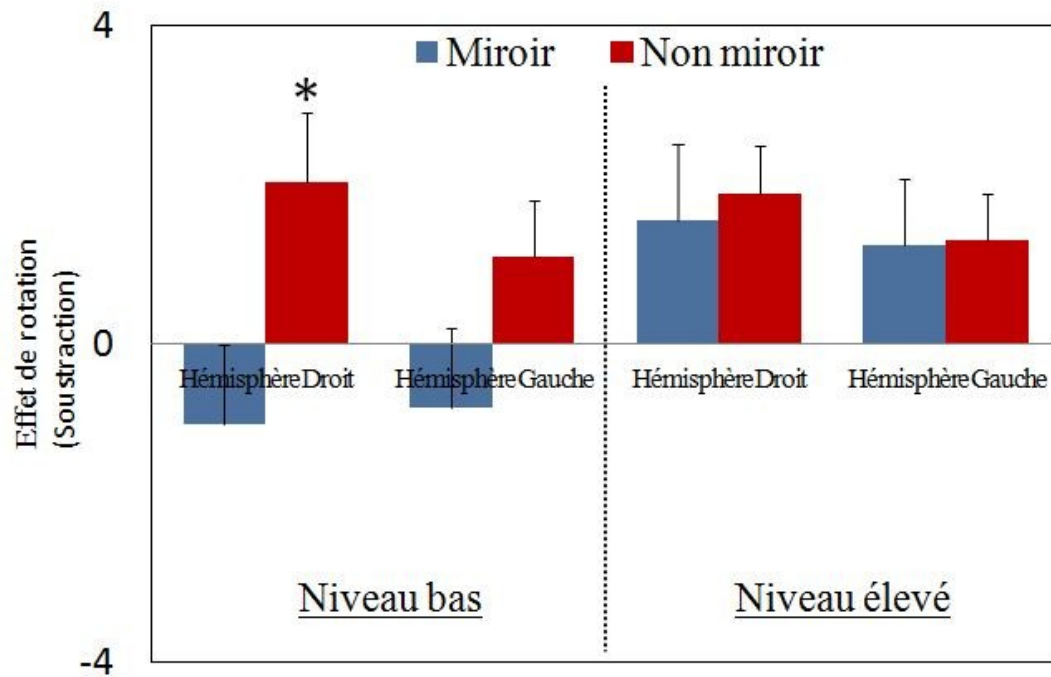


Figure 8 : Interaction de Rotation X Miroir X Hémisphère X Niveau hormonal.

Note : Les niveaux hormonaux sont séparés par la ligne pointillée. L'effet de rotation est absent lorsque l'œstrogène est bas pour la condition miroir (en bleu) et il est présent lorsque son niveau est élevé indépendamment de la condition miroir et des hémisphères.

En résumé pour la P300 :

- Lorsque les taux d'œstrogènes sont hauts, le processus de rotation a débuté pour les régions frontales, fronto-centrales et centrales
- Les taux d'œstrogènes ont un effet lors de la rotation mentale sur la P300 frontale. Ces hormones ont eu également un effet sur l'amplitude de la condition miroir pour les électrodes centrales.

- Le processus de rotation mentale est latéralisé dans l'hémisphère droit pour la région centrale lorsque le niveau d'œstrogène est bas. Tandis que lorsque les taux d'œstrogènes sont haut, le processus de rotation est bilatéral et il est présent pour les images miroirs et non-miroirs.

P300 région centrale

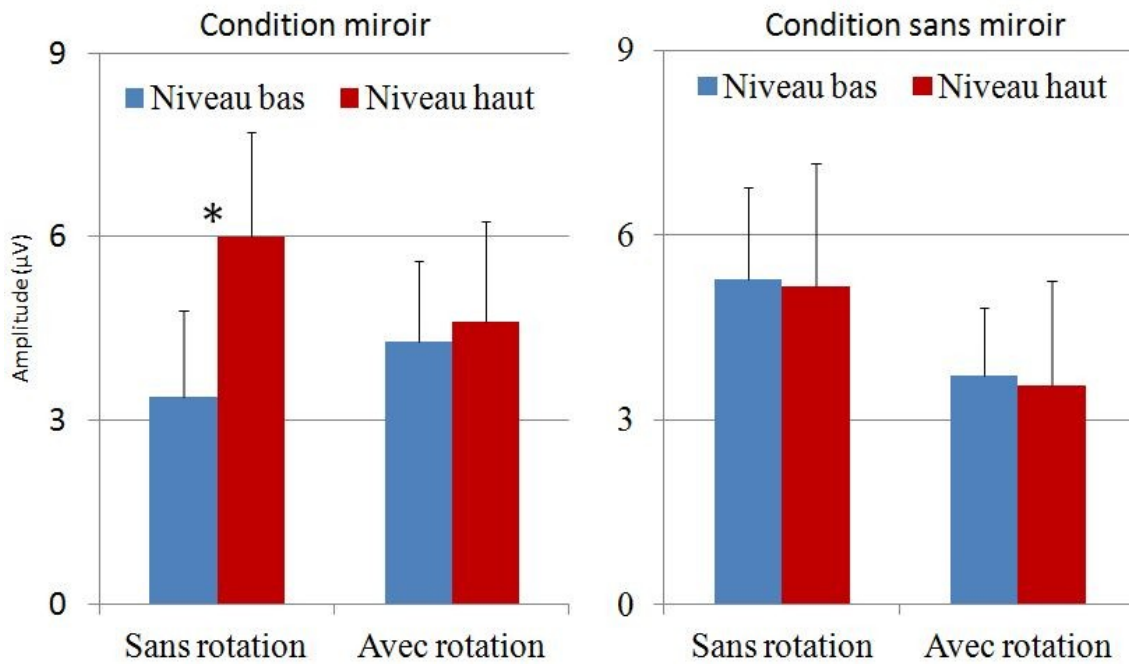


Figure 9 : La condition miroir sans rotation par niveau hormonal.

Note : À noter, l'amplitude qui n'a pas changé entre les deux niveaux d'œstrogènes, excepté pour la condition de miroir sans rotation.

LPC

Effets principaux

L'amplitude de la composante LPC était de $4.20\mu\text{V}$ ($\sigma = 1.8$) en moyenne et sa latence était de 750 ms en moyenne ($\sigma = 51$). L'analyse a révélé un effet principal d'hémisphère ($F(1,11)=22.21$, $p<.001$) appuyant une dominance de l'hémisphère droit ($4.2\ \mu\text{V}$) pour les 4 régions, en comparaison avec l'hémisphère gauche ($2.9\ \mu\text{V}$). Le facteur région est aussi significatif ($F(1,11)=5.63$, $p<.05$) avec la région pariétale qui a arboré les plus grandes amplitudes en moyenne ($5.4\mu\text{V}$), alors que c'est dans la région frontale qu'on a retrouvé les plus faibles amplitudes ($1.4\ \mu\text{V}$).

Effets d'interaction : rotation mentale, hémisphères et régions

Nous dénotons aussi une interaction à trois niveaux (Rotation X Hémisphère X Région [$F(1,11)=10.17$, $p<.01$]). Une décomposition en sous-analyses par région révèle un effet principal d'hémisphère pour toutes les régions, l'hémisphère droit est surtout dominant pour les régions antérieures ($F>12$, $p<.01$), mais il l'est aussi pour la région centrale ($F(1,11) = 6.25$, $p<.05$) et en pariétale ($F(1,11)=5.04$, $p<.05$) pour une moindre mesure. Pour cette dernière région, l'effet de rotation est beaucoup plus présent dans l'hémisphère gauche ($F(1,11)=4.96$, $p<.05$) que dans le droit ($F(1,11)=1.99$, $p>.05$). C'est dans les régions centrales et pariétales que l'on retrouve un effet de rotation par hémisphère montrant pour la région centrale ($F(1,11)=10$, $p<.01$), que l'effet de rotation est plus important dans l'hémisphère droit ($p=.036$) et à l'opposé, c'est dans l'hémisphère gauche que l'effet de rotation est le plus important pour la région pariétale (Rotation X Hémisphère [$F(1,11)=6.26$, $p<.05$]). Ces résultats sont illustrés à la figure 10.

LPC

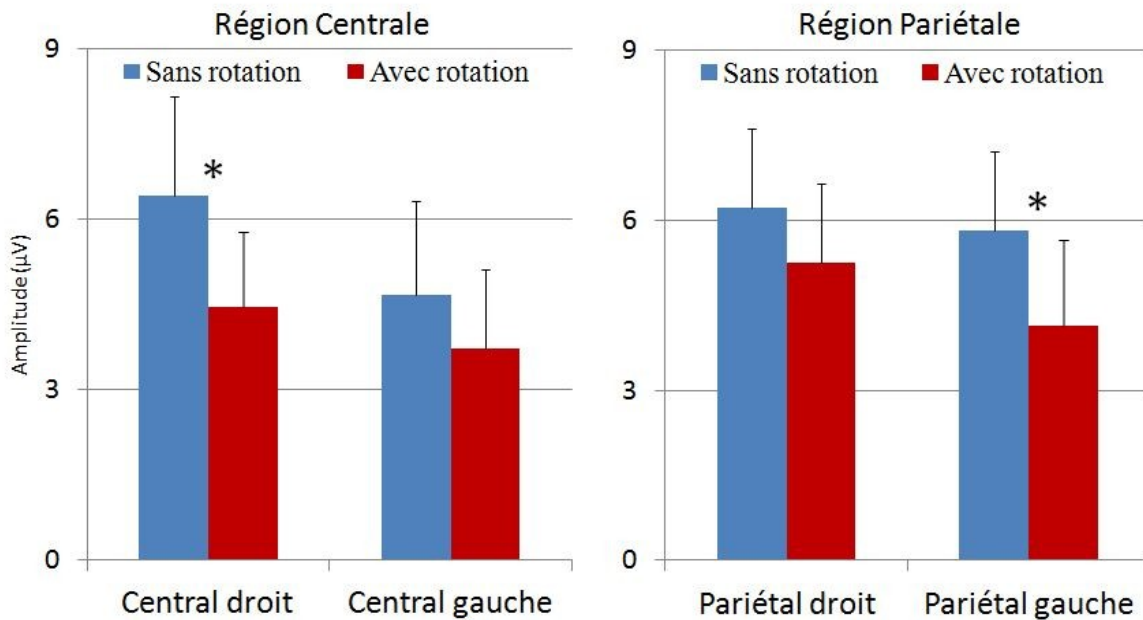


Figure 10 : Interaction de Rotation X Hémisphère.

Note : L'effet de rotation le plus important se retrouve dans la région centrale droite.

Analyses par niveau hormonal :

Une sous-analyse par niveau hormonal et réalisée séparément pour les deux régions montrant des asymétries pour l'effet de rotation a révélé que le niveau d'asymétrie hémisphérique est plus marqué d'un niveau hormonal à l'autre. Ainsi, lorsque les taux d'estrogènes sont bas, on observe que l'effet de rotation se retrouve dans l'hémisphère droit et qu'il est presque absent de l'hémisphère gauche. La figure 11 illustre la latéralisation droite du traitement de la rotation mentale pour la région centrale (Rotation X Hémisphère significative [F(1,11)=8.15, p<.05]). Lorsque les taux d'estrogènes sont élevés, l'effet de rotation est présent dans les deux hémisphères (Rotation [F(1,11)=5.2, p=.044]) avec un effet de rotation légèrement plus grand du côté droit du cerveau sans que l'interaction rotation X hémisphère soit significative (F<4.0, p>.05). Cette dominance de l'hémisphère droit pour la région centrale se reflète également dans son amplitude moyenne (5.4µV) plus grande pour toutes les

conditions comparativement à l'hémisphère gauche ($3.8\mu\text{V}$) lorsque les œstrogènes sont bas ($F(1,11)=5.58$, $p=.038$), cet effet est présent lorsque les œstrogènes sont hauts, mais il est non significatif ($F(1,11)=4.12$, $p=.07$).

Pour la région pariétale, c'est dans l'hémisphère gauche que l'on retrouve le plus grand effet de rotation pour les deux niveaux hormonaux, il est presque absent de l'hémisphère droit quand les taux d'œstrogènes sont bas, tel qu'illustré à la figure 11. Comme pour la région centrale, l'interaction Rotation X Hémisphère ($F(1,11)=5.50$, $p<.05$) est présente seulement lors du niveau hormonal bas. Lorsque les œstrogènes sont hauts, l'effet de rotation est présent dans les deux hémisphères sans toutefois atteindre le seuil significatif ($F(1,11)=3.48$, $p=0.089$), aucun autre effet principal ou d'interaction n'a été observé pour cette région quand les œstrogènes sont hauts.

À l'annexe 2, les résultats détaillés des analyses statistiques ANOVA sont présentés, pour la P300 et les LPC.

En résumé pour les LPC :

- Conformément aux autres études de PÉC sur la rotation mentale, on a retrouvé un effet de la rotation dans la région pariétale. Il était plus prononcé dans l'hémisphère gauche.
- On a également retrouvé un effet de la rotation pour la région centrale. Celui-ci était plus important dans l'hémisphère droit.
- Le niveau hormonal a eu un effet sur cette composante, on a observé que l'asymétrie cérébrale tend à être plus marquée lorsque le taux d'œstrogènes est bas.

Corrélations

Des analyses corrélationnelles bivariées de Pearson ont été réalisées. Nous n'avons trouvé aucun résultat significatif entre le taux des hormones œstrogènes ou progestérone et les données comportementales, pas plus qu'avec les tracés de PÉCs.

LPC

Effet de rotation par régions et hémisphères

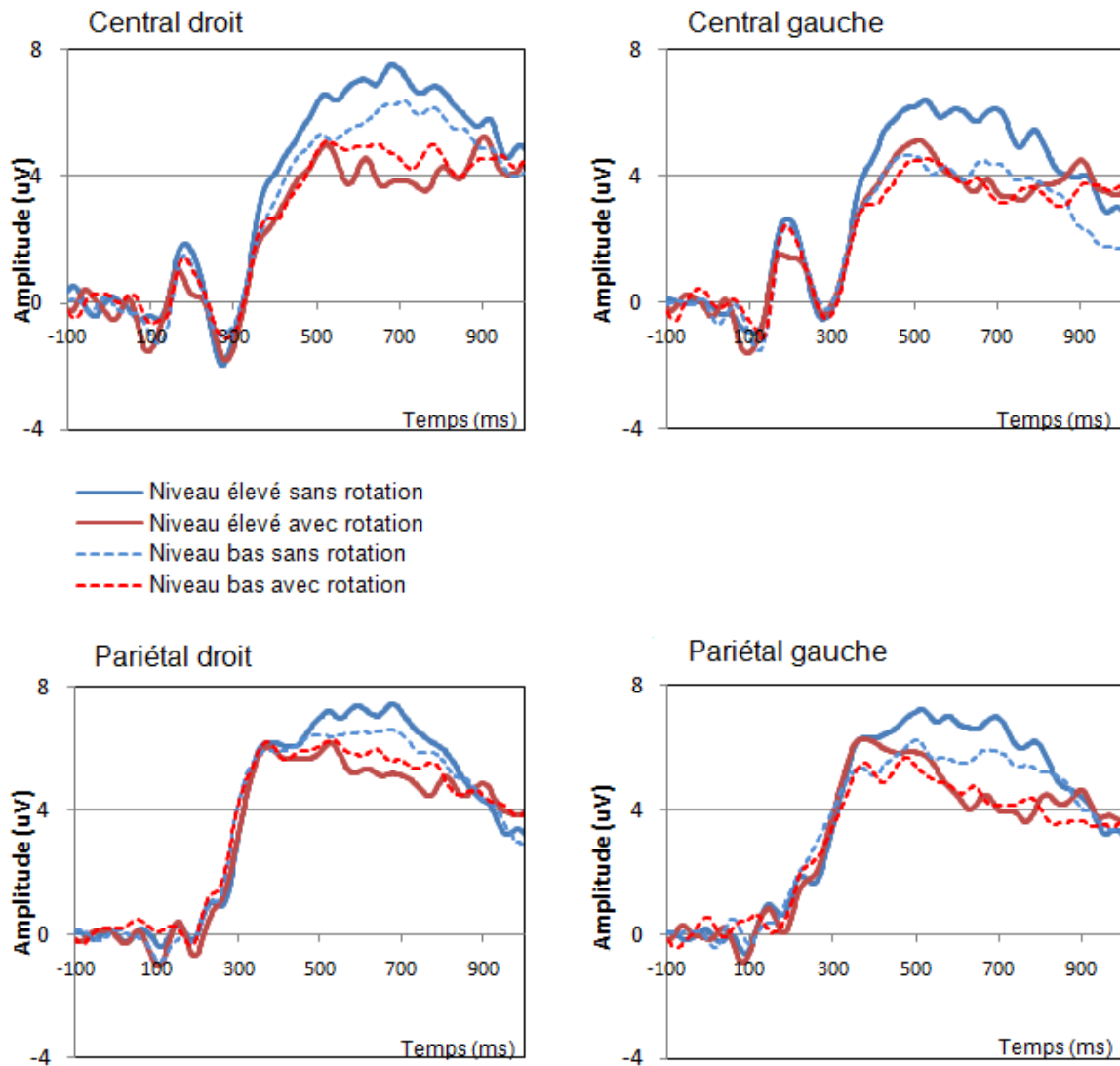


Figure 11 : Tracés des potentiels évoqués par régions et par niveau hormonal.

Note : Les tracés sans rotation (en bleu) incluent la condition miroir et ceux avec rotation (en rouge) incluent la condition miroir avec rotation. Les PÉCs obtenus lors du niveau hormonal bas sont en pointillés.

Discussion

Résumé des impacts comportementaux liés au traitement de la rotation mentale et aux variations oestrogéniques

La première question que nous adressions, dans le contexte de la présente étude, était de valider notre protocole de rotation mentale en regard des performances et des temps de réaction. Globalement, la performance ainsi que les temps de réaction ont été clairement affectés par les différentes conditions de la tâche de rotation mentale. Les stimuli exigeant une rotation mentale d'une des formes amenaient des latences de temps de réaction plus longues, ainsi qu'un nombre de bonnes réponses réduites en comparaison avec les stimuli sans rotation. Les images présentées en miroir engendraient également des temps de réponse plus longs et une performance réduite qu'avec les images non-miroirs. Pour la performance, on a noté une interaction entre les conditions d'images présentées en miroir et celles présentées en rotation. Ceci révèle que ces deux conditions combinées accroissent la difficulté de la tâche et donc les stimuli avec rotation et avec image miroir étaient plus difficiles que les trois autres conditions. Ces résultats sont en conformité avec la recension des écrits et suggèrent que les participants ont bel et bien exécuté la rotation mentale (Wijers, Otten, et al., 1989; Yu et al., 2009). Par contre, l'effet de complexité n'entraîne pas nécessairement une plus grande amplitude des composantes. Il est vrai, lorsque la difficulté augmente, qu'on s'attend à une plus grande amplitude due à une plus grande mobilisation des ressources mentales. Il arrive que ce ne soit pas toujours le cas. Il y a plusieurs raisons qui peuvent expliquer ce constat. Les stimuli complexes peuvent augmenter le niveau d'équivoque des participants au sujet de leur compréhension d'un événement ou peuvent entraîner la corrélation d'un stimulus cible avec la représentation gardée en mémoire plus ardue (Johnson, Jr. & Donchin, 1985; Kok, 2001). Cet effet peut être dû à un chevauchement de la P300 avec d'autres types de composantes qui ont une polarité plus négative comme dans le cas de la rotation mentale (Wijers, Otten, et al., 1989) et cet effet peut être relié à une réallocation des ressources lorsqu'il y a une charge accrue pour la mémoire de travail (Kok, 2001). Il se peut aussi que la P300 ou les LPC dans le

cas de la rotation mentale soient moins sensibles à la difficulté de la tâche que les données résultant du nombre de bonnes réponses. De plus, les stimuli plus complexes amènent une plus grande variabilité de la latence des composantes ce qui peut rendre l'amplitude moyenne de l'ensemble des participants, moins élevée à un moment précis.

Le changement hormonal entre les deux sessions n'a pas influencé les données comportementales comme le montre également l'absence de corrélation entre les œstrogènes et la performance. Nos résultats comportementaux, montrant qu'il n'y a pas de différence de performance entre les phases du cycle menstruel est similaire avec ceux obtenus lors d'études précédentes (Dietrich et al., 2001; Epting & Overman, 1998; Griksiene & Ruksenas, 2011; Schoning et al., 2007) ainsi qu'avec une autre étude qui n'a pas établi de corrélation entre le taux des hormones féminines et la performance (Mendrek et al., 2011). Par contre, ils contredisent les études qui ont obtenu des résultats améliorés lorsque les hormones étaient basses durant les menstruations (Hausmann et al., 2000; Maki et al., 2002; Phillips & Silverman, 1997). Cette inconsistance peut être reliée à la tâche de rotation mentale utilisée plutôt qu'aux changements hormonaux. Les trois études qui avaient obtenu des différences de performances entre les phases du cycle ont utilisé le paradigme de Vandenberg et Kluse (1978), où les participants doivent identifier, parmi quatre figures, deux autres figures identiques à la figure cible. Durant cette tâche, on doit faire de multiples comparaisons entre la figure cible et les quatre autres, ce qui demande une mémoire de travail plus importante que dans le cas où l'on compare seulement deux figures (Peters & Battista, 2008). La charge cognitive accrue pourrait donc expliquer les différences de résultats obtenus entre les phases du cycle menstruel pour ce type de rotation mentale (Griksiene & Ruksenas, 2011). Or, les autres études citées précédemment ainsi que notre étude ont privilégié la tâche de Shepard et Metzler (1971) avec deux figures géométriques et l'autre étude ayant obtenu des résultats négatifs, ont utilisé des figures humaines schématiques pour la rotation mentale (Epting & Overman, 1998).

Comme nos participantes ont passé ce test deux fois, un effet de la pratique aurait pu être observé, car certains chercheurs l'avaient constaté (Epting & Overman, 1998; Peters et al., 1995). Ce ne fut pas le cas ici, puisque la performance et les temps de réaction n'ont pas été affectés d'une session à l'autre. Ce facteur n'a donc pas influencé les résultats de notre étude.

Pour les mesures hormonales, le seul résultat un peu singulier à priori est la différence significative du taux de testostérone entre les deux sessions. Malgré que la différence entre les deux valeurs soit significative, l'augmentation est de faible nature (0,4 nmol/L). Elle peut s'expliquer par l'observation régulière que le taux des androgènes est plus important lors de la période du cycle menstruel qui correspond à l'ovulation ou aux jours précédant celle-ci. Comme cette augmentation coïncide avec le niveau d'œstrogène élevé, ceci apporte une preuve additionnelle que certaines participantes ont été testées durant la phase préovulatoire du cycle.

Résumé des impacts électrocorticaux liés aux changements hormonaux

La deuxième question visait à approfondir les impacts psychophysiologiques associés aux changements hormonaux. De façon générale, nous observons que même si les changements hormonaux n'ont pas eu d'effet sur la performance, c'est-à-dire sur le nombre de bonnes réponses et sur les temps de réaction, des différences d'activités cérébrales ont été documentées. En résumé, notre première hypothèse (H1) a été partiellement vérifiée, nous avons effectivement observé plus d'amplitude pour la P300 quand le taux d'œstrogène était haut. Par contre, cette différence n'était pas significative, à part pour la condition d'image miroir. Nous n'avons pas eu d'effet principal dû au changement de taux d'œstrogène pour aucune des quatre régions. L'amplitude de la composante LPC n'a pas été influencée par le taux des oestrogènes, ce résultat est comparable avec celui obtenu lors de deux autres études en PÉCs (Johnston & Wang, 1991; O'Reilly et al., 2004) avec d'autres types de tâches. Cependant, Krug et coll. (2000) ont observé que la LPC était plus grande durant la phase ovulatoire du cycle comparativement aux autres phases pour les stimuli sexuels seulement. Ce qui pourrait indiquer que la LPC est sensible au taux des hormones sexuelles pour des stimuli de type émotionnels seulement et que cette activation serait plus reliée à l'œstrogène qu'à la progestérone, car celle-ci est encore basse au moment de l'ovulation.

Conformément à notre seconde hypothèse (H2), nous avons assisté à une latéralisation de l'activité cérébrale associée à la condition de rotation, lorsque les œstrogènes étaient bas. Pour la région pariétale, c'est à gauche qu'on a retrouvé l'effet de rotation. Celui-ci était présent dans les deux hémisphères quand les œstrogènes étaient hauts. Nous avons également

observé une très forte activation de la région centrale pour la condition de rotation, et ce pour les deux niveaux hormonaux. Un effet des images miroirs pour la région frontale et centrale en association avec la rotation a été noté quand le taux d'œstrogène était bas, surtout.

Dans la prochaine section, les résultats seront décrits plus en détail en lien avec ces différentes régions sollicitées durant la rotation mentale.

La composante N250

Nous avons observé que cette composante présente une topographie plus frontale que centrale et qu'elle n'était pas affectée par les conditions de la tâche. Comme pour les autres études de PÉCs qui ont étudié l'activité cérébrale durant le cycle menstruel (Krug et al., 2000; Walpurger, Pietrowsky, Kirschbaum, & Wolf, 2004), nous n'avons pas observé de modulation de l'amplitude de la N2 en lien avec le niveau hormonal. Sa distribution frontale est associée à une orientation précoce en réponse aux stimuli cibles (Wijers, Lamain, Slopsema, Mulder, & Mulder, 1989) et aux stimuli déviants de la forme attendue (Luck & Hillyard, 1994; Naatanen & Gaillard, 1983). Quelques études ont trouvé un effet de la rotation mentale sur l'amplitude de la N250 dans la région frontale et occipitale (Schendan & Lucia, 2009; Wijers, Otten, et al., 1989). Cette activité cérébrale précoce a été associée à l'identification visuelle des caractéristiques et de l'orientation spatiale des formes dans un but de classification des stimuli (Schendan & Lucia, 2009). Plus cette classification sera difficile et plus la négativité de la N250 sera grande (Ritter, Simson, & Vaughan, 1983). Cet effet de la rotation mentale a eu lieu lorsque des lettres de l'alphabet étaient présentées sous un angle de rotation (60°, 120°) qui les faisait paraître sous un aspect non familier (Wijers, Otten, et al., 1989) ou est apparue avec des angles de rotation des plus extrêmes pour des stimuli de type Shepard et Metzler (Schendan & Lucia, 2009). Ces manipulations expérimentales ont exigé plus de ressources cognitives de la part des participants ou ont pu rendre l'étape de classification plus difficile. Cette modulation de la N250 peut donc être reliée aux différents angles de rotation qui ont été utilisés comme conditions de la tâche, alors que l'étude présente n'a pas séparé les stimuli selon leurs angles de rotation. Les stimuli ont été plutôt regroupés sous une même catégorie (rotation) pour l'ensemble des angles de rotation. Cette façon de faire pourrait expliquer nos résultats. Par

contre, l'absence d'effet au niveau de la composante N250 est cependant conforme à la vaste majorité des études qui ont plutôt situé le début des effets de la rotation mentale plus tard avec l'apparition de la composante P300 (Desrocher et al., 1995; Heil & Rolke, 2002; Johnson et al., 2002; Milivojevic et al., 2003). Une étude récente a même observé une modulation de l'amplitude due à l'effet de rotation seulement à 600 ms après l'apparition du stimulus (Yu et al., 2009). L'autre effet que nous avons observé pour cette composante N250 est une plus grande amplitude dans l'hémisphère droit qui était non spécifique. Cette implication plus grande de l'hémisphère droit a déjà été rapportée par une autre étude lors d'une tâche de rotation mentale, pour cette composante liée à l'évaluation précoce des stimuli (Desrocher et al., 1995). Ce qui introduit le concept d'une plus grande implication de l'hémisphère droit lors des processus de type visuospatial.

La composante P300 frontale et sa sensibilité au taux d'œstrogène

Plusieurs études de PÉCs ont étudié l'effet de la rotation mentale en focalisant sur la composante P300. La fenêtre de temps allant de 300 ms à 700 ms est généralement utilisée, car c'est à ce moment-là que l'on observe la modulation de l'amplitude en fonction de l'angle de rotation sur les électrodes pariétales (Beste et al., 2010). Cette observation a été vérifiée principalement par des études utilisant des lettres ou des chiffres comme stimuli. Une étude qui a utilisé les stimuli de Shepard et Metzler en 3-D a cependant observé un effet de rotation sur les LPC seulement (Yu et al., 2009). Cet effet plus tardif a été attribué à la plus grande complexité des stimuli.

D'autres études ont montré que l'amplitude et la latence de la P300 peuvent être affectées par le sexe des participants (Desrocher et al., 1995; Gootjes et al., 2008; Johnson et al., 2002) et aussi par le cycle menstruel, pour une tâche de mémoire (O'Reilly et al., 2004) ou pour des tâches impliquant des stimuli émotionnels (Johnston & Wang, 1991; Krug et al., 2000). Dans la présente étude, aucun effet principal n'a été induit par le niveau hormonal, pour l'ensemble des quatre régions. Toutefois, une interaction entre le niveau hormonal et la rotation mentale s'est avérée significative pour la région frontale montrant que l'effet de rotation était beaucoup plus grand lorsque le niveau d'œstrogène était élevé. Cet effet a été

observé pour les régions fronto-centrale et centrale également, mais sans que la différence n'atteigne le seuil de signification.

Donc, notre hypothèse de départ (H1) stipulant que lorsque le taux d'œstrogène serait haut, l'amplitude la P300 serait amplifiée a été vérifiée. En termes généraux, l'amplitude de la composante P300 est influencée par la rareté d'un stimulus ou par son importance par rapport à la tâche (Duncan et al., 2009). Elle peut être modulée également par la somme des ressources attentionnelles allouée au stimulus (Johnson, Jr., 1993), ce qui est vrai pour la plupart des tâches cognitives. Wijers (1989) a plutôt associé l'effet frontal à l'évaluation du stimulus, alors que ce stade correspondait à l'encodage mental des caractéristiques spécifiques des stimuli. Par ailleurs, les études topographiques par enregistrement intracérébral ont souligné l'importance de la région préfrontale dorsolatérale dans la génération de la P300 frontale (Halgren et al., 1995). De plus, les études cliniques ont démontré une diminution de la P300 lors de lésions frontales (Knight, 1984). On reconnaît principalement à la P300 frontale un rôle dans la détection de la nouveauté (Friedman, Cycowicz, & Gaeta, 2001). Il est donc possible que durant la période où le taux des hormones œstrogènes était élevé, le cortex frontal ait été sollicité de façon plus préminente lors du traitement de la rotation mentale et ce pour les deux types d'images miroirs. Alors que lorsqu'il était bas, l'analyse par niveau hormonal a montré qu'il y avait une activité frontale reliée au facteur miroir seulement. On peut conclure, en reprenant l'hypothèse de Wijers (1989), que l'encodage des stimuli a donc eu lieu dans le cortex frontal lors de chacun des niveaux d'œstrogènes, mais de façon différente.

Ce type d'activation de la région frontale, lors de la rotation mentale a été peu étudié en électrophysiologie. Néanmoins, des études récentes tendent à démontrer que les femmes ont des amplitudes P300 plus élevées que les hommes pour la région frontale droite (Yu et al., 2009) ou même pour l'ensemble des régions (Desrocher et al., 1995) en réponse à la rotation mentale. Cette dernière étude a également noté des effets de rotations plus élevées de la région antérieure que de la région postérieure pour la P300. Ces résultats sont cohérents avec les études en IRMf ayant rapporté une activation plus prononcée de cette aire chez les femmes lors d'une tâche de rotation mentale utilisant des stimuli en 3-D (Hugdahl et al., 2006; Jimenez, Mancini-Marie, Lakis, Rinaldi, & Mendrek, 2010; Jordan et al., 2002). Au-delà des effets dus au sexe, certaines études ont cherché à approfondir les effets neurophysiologiques

des taux d'œstrogènes lors d'une tâche de rotation mentale. À ce titre, l'équipe de Schoning a observé que durant la phase lutéale (œstrogènes élevés), les régions frontales supérieures et moyennes de l'hémisphère droit étaient plus activées que durant les menstruations. Cette activation, plus forte en frontal chez les femmes, a été interprétée comme reflétant une stratégie de type analytique ou de type verbale (Hugdahl et al., 2006; Schoning et al., 2007).

Par ailleurs, la tâche de rotation mentale, de par sa complexité, peut impliquer plusieurs processus cognitifs et sensoriels. Ceux-ci peuvent être opérés en même temps ou de façon successive. Une étude utilisant les formes géométriques de Shepard et Metzler a enregistré les mouvements oculaires des participants durant la tâche et ils ont constaté que les participants regardaient les différentes parties des deux formes plusieurs fois. Les auteurs ont conclu que ce processus servait à la mémorisation de l'aspect et de la localisation des parties de chaque forme (Just & Carpenter, 1985). Cohen (1996) a associé ce processus à la mémoire de travail spatiale. La tâche de rotation mentale fait appel à la maintenance d'une attention active et préparatoire à une forme d'action (la rotation mentale) qui requiert que la représentation d'une cible (objet à retourner) soit gardée pour quelque temps en mémoire de travail. Ce mécanisme impliquerait un circuit avec, entre autres, des connexions avec le cortex préfrontal et le cortex pariétal/postérieur, mais également dans le cas de tâche plus complexe, une partie de l'aire motrice (Cohen et al., 1996; Jonides et al., 1993). Ces éléments sont cohérents avec le fait que la mémoire de travail a souvent été associée à l'amplitude de la P300. Une des sources neuronales de la P300 qui se situerait dans la partie latérale du cortex pré-frontal a été associée à l'attention visuospatiale et fait probablement partie de la mémoire de travail (Clarke et al., 1999). Cette étape d'acquisition d'une représentation mentale des stimuli pourrait précéder ou encore être opérée en parallèle avec le processus de rotation mentale comme tel. L'absence d'activation de la région pariétale pour la P300, pour la présente étude, semblerait indiquer que ces deux opérations (mémoire de travail et rotation mentale) n'ont pas été effectuées en même temps. Cependant, une activité continue a été observée dans la région centrale pour la P300, ainsi que pour les composantes plus tardives (LPC). Comme certains auteurs n'ont pas situé le processus de rotation mental dans l'aire pariétale seulement, mais aussi dans l'aire centrale (Desrocher et al., 1995; Yoshino et al., 2000), on ne peut pas conclure avec certitude que les deux opérations ont été accomplies séparément dans le temps.

L'activation de l'aire centrale dans la fenêtre de temps relié à la P300 montre deux choses principalement; 1) un effet de rotation non latéralisé et non influencé par les images miroirs, lorsque les œstrogènes sont hauts et 2) lorsque les œstrogènes sont bas, on observe une latéralisation à droite de l'effet de rotation, mais uniquement pour les stimuli sans images miroirs. Cette modulation due aux images non miroirs disparaît plus tard, lors des LPC. Il est donc possible que les images miroirs vu leur plus grande complexité aient pris plus de temps à être traités. Ce postulat est cohérent avec les TRs qui ont été significativement plus longs avec les images miroirs, qu'avec les images non-miroirs. Le fait que lorsque les hormones œstrogènes étaient élevées, l'effet de rotation semblait déjà avoir débuté même avec les images miroirs est plus difficile à analyser, car cet effet qui a commencé plus tôt avec les images miroirs ne s'est pas traduit par une diminution des temps de réaction. La seule explication pourrait venir de l'étude de Just et Carpenter (1985), qui ont observé que les participants avec une intelligence spatiale plus élevée avaient moins besoin de balayer les formes du regard, comparativement à ceux avec une intelligence spatiale moins élevée. Les femmes dans la période lutéale ont souvent montré un niveau de performance moins élevé que durant les menstruations, pour les tâches spatiales (Hausmann et al., 2000; Maki et al., 2002). De plus, l'activation frontale suggère que le traitement des formes a été fait probablement par une méthode verbale et que cette stratégie demande plus de temps. Il est donc possible que les participantes aient commencé à analyser les stimuli plus tôt, mais qu'elles aient passé également plus de temps à les analyser et à les comparer, que lorsque les hormones œstrogènes étaient basses avant de procéder à la rotation mentale des stimuli comme tel. Leur mémoire de travail a été plus sollicitée ce qui s'est traduit par une plus grande amplitude des ondes reliées à l'effet de rotation avec la condition miroir.

En résumé, on peut conclure que la P300 a été affectée par les conditions de la tâche et par le niveau des hormones œstrogènes. Les participantes auraient alloué plus de ressources à l'évaluation des stimuli quand leur niveau d'œstrogènes était élevé, que lorsqu'il était bas.

La composante LPC postérieure : ressources cognitives et sensibilité à la rotation mentale

Les principaux résultats concernant la LPC ont été localisés dans la région centrale et pariétale du cortex cérébral. L'activation constante de la région pariétale durant la rotation mentale indique un rôle important de cette aire dans la transformation visuo-spatiale, comme le démontrent également les études où des patients avec des lésions du lobe pariétal ont montré des déficits importants lors de la rotation (Ditunno & Mann, 1990; Tomasino & Rumiati, 2004). Pour notre part, nous avons observé que tardivement cette activation localisée sur les électrodes pariétales, soit durant l'intervalle de temps de 500 à 900 ms. Ce résultat est similaire aux deux études de PÉCs ayant utilisé des stimuli en 3-D semblables aux nôtres. Schendan et Lucia (2009) ont noté que l'effet de rotation a eu lieu entre 500 et 900 ms, tandis que Yu et son équipe (2009) ont situé l'effet plus tardivement, soit de 900 à 1000 ms sur les électrodes pariétales. À cet endroit, l'effet de rotation se traduit par une amplitude associée à la condition de rotation plus négative que celle associée à la condition sans rotation. Ces négativités sont constituées de plusieurs déflexions qui s'étendent sur une période de temps plus longue que celle observée pour d'autres composantes comme la N200 ou la P300. Elles peuvent durer quelques centaines de millisecondes (Rosler, Heil, & Roder, 1997). Ces déflexions plus négatives, aussi retrouvées sous le vocable d'ondes lentes (*slow waves*), engendrées par la rotation mentale, seraient le résultat d'une activité neuronale située dans des couches plus profondes du cortex cérébral (Rosler et al., 1997). Elles apparaissent souvent lors de tâches cognitives complexes (Iguchi & Hashimoto, 2000; Ruchkin, Johnson, Mahaffey, & Sutton, 1988). Leurs amplitudes seraient directement reliées à la difficulté de la tâche, c'est-à-dire qu'elles deviennent plus négatives lorsque la tâche est plus difficile ou lorsqu'on doit faire plus d'effort pour résoudre un problème (Rosler et al., 1997). Ces ondes négatives sont générées en même temps que les LPC et ont pour effet de réduire leurs amplitudes. C'est ce que nous avons observé pour la condition de rotation mentale. Les ondes tardives positives seraient associées aux opérations perceptuelles et à la mise en mémoire. Les ondes négatives tardives seraient reliées à l'imagerie mentale et à la transformation mentale (Rosler et al., 1997). Ces ondes lentes ne seraient pas confinées uniquement aux opérations liées à la rotation mentale. Par exemple, une expérimentation comportant des opérations mathématiques, tel que la soustraction et la division ont montré que la division engendrait une amplitude plus négative que la soustraction. Cet effet était situé sur les électrodes centrales et pariétales, avec son effet maximum sur les sites postérieurs (Ruchkin et al., 1988). En ce qui concerne nos résultats, et

en accord avec les performances (nombre de bonnes réponses et TRs) qui n'ont pas changé entre les deux sessions, les ondes négatives tardives n'ont pas montré d'amplitude négative plus importante lorsque le taux d'œstrogène était élevé (voir la figure 11).

Différences hémisphériques et stratégies de traitement holistique

Les résultats montrent que l'effet de rotation a été plus important dans la région pariétale gauche pour l'ensemble des deux sessions. Certains chercheurs ont noté que le traitement de la rotation de stimuli simples comme des lettres va privilégier l'utilisation de l'hémisphère droit. Tandis que la rotation de stimuli plus complexes comme ceux de Shepard et Metzler, utilisés dans le présent protocole, impliquent davantage l'hémisphère gauche (Just & Carpenter, 1985). La raison suggérée serait que le traitement de la rotation mentale peut se faire selon deux sortes de stratégies. L'une de ces stratégies serait holistique, c'est-à-dire que le stimulus est retourné mentalement dans sa totalité, il n'est pas perçu comme un assemblage de différentes parties. Avec l'utilisation de cette stratégie, l'hémisphère droit est favorisé. Si au contraire, on utilise une approche qui consiste en une décomposition des différentes parties du stimulus et que la rotation mentale se fait seulement sur certaines parties du stimulus, l'hémisphère gauche sera alors davantage impliqué (Milivojevic et al., 2009). En définitive, la complexité du stimulus présenté influencerait la stratégie à préconiser et par conséquent va solliciter un hémisphère plutôt qu'un autre selon le traitement choisi. La stratégie utilisée dépendrait aussi de l'intelligence spatiale du sujet. Par exemple, si la complexité de la tâche est relativement faible et que la compétence du sujet est forte, la rotation mentale sera faite selon un mode holistique, ce qui résultera en une activation de l'hémisphère droit. Tandis qu'une tâche complexe et/ou une faible habileté spatiale du participant vont favoriser l'hémisphère gauche, car la représentation mentale du stimulus se ferait de manière non holistique (Jansen-Osmann & Heil, 2007; Voyer & Bryden, 1990). Même si un bon nombre d'études ont effectivement retrouvé plus d'activation dans le lobe pariétal droit pour des stimuli alphabétiques (Harris et al., 2000; Milivojevic et al., 2003; Yoshino et al., 2000). Certaines études ont obtenu des résultats contraires à ces postulats, une étude de TEP avec des lettres comme stimuli a noté une activation plus à gauche (Alivisatos & Petrides, 1997) et des études avec les stimuli de Shepard et Metzler ont enregistré une activité prépondérante à droite

(Halari et al., 2006; Schendan & Lucia, 2009; Tagaris et al., 1997). Nos résultats appuient l'idée d'une stratégie non holistique pour les stimuli de type Shepard et Metzler (1971).

D'autres théories ont été avancées pour tenter d'expliquer l'utilisation d'un hémisphère plutôt qu'un autre, dont le sexe de la personne. Les hommes auraient plus tendance à utiliser l'hémisphère droit et les femmes présenteraient une latéralisation plus diffuse et un certain biais pour l'hémisphère gauche (Wisniewski, 1998). Les hommes et les femmes ne choisiraient pas la même stratégie pour résoudre certaines opérations cognitives et ce choix dépend également du type de stimuli (Rilea, 2008). Pour la tâche de rotation mentale, on a souvent observé que les femmes utilisaient les deux hémisphères (Beste et al., 2010; Gootjes et al., 2008; Yu et al., 2009) et quelquefois, c'était plutôt le gauche qui était privilégié (Johnson et al., 2002; Rilea, 2008). Chez les hommes, une seule étude a plutôt noté une activation du lobe pariétal gauche ainsi qu'une partie du cortex préfrontal gauche, des activations dans l'hémisphère droit furent aussi observées, mais leurs rapports avec la rotation ont été moins reliés (Alivisatos & Petrides, 1997). La rotation de stimulus représentant des mains où des bras a montré que dans ces cas de figure, l'hémisphère gauche serait préférentiellement plus activé. Lors d'une étude d'imagerie cérébrale avec le TEP utilisant des mains comme stimuli, l'aire motrice primaire et le cortex pré-moteur gauche, ainsi que le lobe pariétal gauche ont été activés tandis que lors de cette même étude, les cubes 3-D de Shepard et Metzler n'ont activé que les lobes pariétaux droits et gauches (Kosslyn et al., 1998). Une étude électrophysiologique est venue confirmer ces résultats avec une activation très forte du lobe pariétal gauche lors de la rotation mentale de mains et de bras, principalement pour la composante P300 (Overney et al., 2005). Il est donc difficile de relier le processus de rotation mentale à un seul hémisphère ou encore de relier une utilisation préférentielle de ceux-ci à un sexe en particulier, ce problème concernant la latéralisation n'est pas clairement résolu à ce jour (Milivojevic et al., 2009).

De plus, les études de TEP et d'IRMf ont régulièrement constaté une activation du cortex pré-moteur lors de la rotation de cubes en 3-D (Cohen et al., 1996; Jordan et al., 2002; Kawamichi, Kikuchi, & Ueno, 2007; Lamm, Windischberger, Moser, & Bauer, 2007) alors que ce type de résultats n'a pas été reproduit pour d'autres études (Dietrich et al., 2001; Hugdahl et al., 2006; Jimenez et al., 2010; Kosslyn et al., 1998). Le cortex moteur primaire

qui correspond au gyrus précentral médial peut être également activé, la plupart du temps à gauche (Jordan et al., 2002; Kucian et al., 2005) à l'exception d'une étude où il a été activé à droite (Tagaris et al., 1997). Toutes ces études tendent à démontrer que le cortex moteur aurait un rôle à jouer dans la rotation de figure. Les aires pré-motrices seraient impliquées dans l'encodage des relations spatiales et dans les tâches demandant une attention substantielle (Cohen et al., 1996). De plus, l'aire dorsale pré-moteur droite jouerait un rôle dans la simulation mentale et la surveillance de l'environnement (Kawamichi et al., 2007). Sur la base de ces résultats, on propose que la rotation mentale puisse être exécutée selon deux modes; soit 1) un type avec simulation motrice impliquant une coordination entre l'aire préfrontale, l'aire motrice et pariétale ou 2) une simulation qui serait seulement de type visuel et qui impliquerait de façon plus substantielle l'hémisphère droit et les régions postérieures et pariétales (Tomasino & Rumiati, 2004; Zacks, 2008). En accord avec cette théorie et d'après les régions actives observées dans notre étude, il semblerait que la majorité des participantes aient adopté la stratégie de simulation motrice pour résoudre la tâche de rotation mentale.

Lors de la présente étude, nous avons observé une activation de la région centrale droite très significative, et ce, pour la plupart des composantes. Cette activation est probablement reliée à la mémoire de travail et à une simulation motrice de la rotation. D'autres études ont également rapporté l'effet de rotation le plus prononcé sur l'électrode C4 (Yoshino et al., 2000) et Desrocher (1995) a situé l'effet de rotation mentale dans les régions centrales et pariétales pour les composantes tardives. Cette activation de la région centrale droite, observée ici, ainsi qu'une plus grande activation de l'hémisphère droit par rapport à l'hémisphère gauche pour toutes les régions rejoint les résultats de recherches antérieures qui avaient également observé ce patron d'activation (Desrocher et al., 1995). Cependant, la majorité des études de PÉC qui avaient observé une plus grande activité à droite situaient celle-ci dans le lobe pariétal (Milivojevic et al., 2003; Schendan & Lucia, 2009; Yoshino et al., 2000) résultat qui n'a pas été entièrement reproduit ici. Cette différence peut s'expliquer par le fait que ces études ont utilisé des lettres comme stimuli et par leurs analyses qui ont été restreintes à la région pariétale. Ainsi, une activation de l'aire centrale a pu rester non détectée.

La prochaine question soulevée en introduction était de savoir si les fluctuations des niveaux d'œstrogènes affectaient l'activité électrocorticale durant une tâche de rotation

mentale. Dans la prochaine section, les différences d'activation due au cycle hormonal seront traitées.

Effet du taux d'œstrogène sur l'asymétrie cérébrale fonctionnelle

Malgré que les données comportementales n'aient pas été influencées par le niveau hormonal nous avons trouvé une activation cérébrale différente en fonction du taux des hormones gonadiques, particulièrement les œstrogènes. C'est ce que Schoning (2007) avait également observé. Donc, lorsque le taux d'œstrogène en particulier était bas, nous avons constaté une activation de la zone centrale droite pour les stimuli non miroirs pour la P300, représentant ainsi le début de l'effet de rotation. Par la suite, l'effet central était toujours présent à droite, mais non modulé par le type d'image miroir. Au même moment, une activation pariétale gauche est apparue. Lorsque le taux d'œstrogène était haut, l'activation était peu latéralisée et se situait surtout dans la région centrale droite et gauche avec un petit effet situé en frontal pour la P300. Plus tard, pour la LPC, l'effet de rotation était situé principalement dans la région centrale avec une tendance pour la région pariétale. Ces deux régions ont été activées de façon bilatérale, aucun effet d'hémisphère associé à la rotation n'a été observé lorsque les hormones œstrogènes étaient hautes.

Cette observation rejoint ce que les études sur les ACFs avaient noté (section 1.4.2 de l'intro.), soit un effet plus grand de latéralisation lors des menstruations ou lorsque les hormones œstrogènes étaient basses. Cet effet est particulièrement important pour les tâches faisant intervenir plus fortement l'hémisphère droit. Les raisons invoquées pour expliquer ce phénomène résident dans une inhibition de l'hémisphère droit lorsque les hormones œstrogènes sont hautes et/ou une stimulation plus grande de l'hémisphère gauche dans le même contexte. On a également proposé que les communications interhémisphériques sont réduites lorsque la progestérone est élevée (Hausmann & Gunturkun, 2000). Dernièrement, on a impliqué aussi l'hormone œstradiol dans ce mécanisme (Hausmann, Becker, Gather, & Gunturkun, 2002; Weis et al., 2008). Normalement lorsqu'il y a une latéralisation, on assiste à une inhibition de l'hémisphère dominant sur l'autre hémisphère pour la même région (*homotopic area*) activé par les stimuli. Cette action a lieu via le corpus callosum et implique les neurotransmetteurs glutamate et GABA (Conti & Manzoni, 1994; Cook, 1984). La progestérone réduirait les transmissions corticales en supprimant la réponse excitatrice des

neurones au glutamate et augmenterait leurs réponses inhibitrices au neurotransmetteur GABA. Pour les œstrogènes, le mécanisme d'action n'est pas très bien connu, mais il semblerait que ces hormones ont un effet sur les connexions à l'intérieur d'un même hémisphère (Weis et al., 2011). Lors d'une tâche de type verbale, des corrélations ont été établies entre le taux d'œstrogène et des changements de la latéralisation cérébrale (Weis et al., 2008). Nous n'avons pas assisté durant notre étude à une inhibition de l'hémisphère droit quand les hormones œstrogènes étaient élevées. On a plutôt observé une inhibition de la région pariétale droite quand les œstrogènes étaient bas et une inhibition du côté gauche pour la région centrale. Donc, le fait que l'activation ait été plus bilatérale lorsque les hormones œstrogènes étaient élevées serait plus dû à une activité accrue dans les deux hémisphères en même temps. Cet effet est particulièrement vrai pour la région centrale. Ces résultats semblent donc confirmer l'hypothèse d'une réduction de l'inhibition interhémisphérique avec pour résultat une activité décuplée pour chaque hémisphère (Hausmann & Gunturkun, 2000).

Effet du taux d'œstrogène sur l'activité électrocorticale

L'augmentation de l'amplitude de la P300 quand les œstrogènes sont élevés peut être reliée à un état général d'éveil ou d'excitation (*arousal*) plus grand. On a en effet remarqué une augmentation de la température corporelle, du rythme cardiaque et de la fréquence des ondes alpha sur l'EEG durant la phase lutéale du cycle menstruel (Becker, Creutzfeldt, Schwibbe, & Wuttke, 1980; Kaplan, Whitsett, & Robinson, 1990). Polich et Kok (1995) dans leur revue des facteurs biologiques pouvant affecter l'amplitude de la P300 avaient estimé que celle-ci était sensible à l'état d'éveil du sujet et que cet état pouvait changer en fonction de certains déterminants biologiques ou environnementaux. Il est possible qu'un type de stimulus particulièrement important pour le participant combiné avec un niveau élevé d'hormones ovariennes puissent contribuer à une augmentation de l'amplitude (Polich & Kok, 1995). Ainsi, on a observé que des stimuli d'image de bébés montrés à des femmes durant la période ovulatoire du cycle menstruel avaient un effet sur la P300 (Johnston & Wang, 1991). L'amplitude de la P300 varie selon le sens du stimulus, celui-ci peut-être affecté par trois variables; 1) la complexité de la tâche 2) la complexité du stimulus 3) sa valeur pour le participant (Johnson, Jr., 1986). Les stimuli utilisés lors de notre étude n'ont à priori aucune valeur émotionnelle pour les participantes, et la complexité de la tâche n'a pas augmenté entre

les deux sessions d'enregistrements. Malgré cela, nous avons observé pour la condition miroir uniquement, une augmentation de l'amplitude de la P300 lorsque le taux d'œstrogènes était haut. Des études en IRMf ont également noté une activation cérébrale plus forte durant la phase lutéale pour une tâche de rotation mentale, (Dietrich et al., 2001; Schoning et al., 2007) mais pas nécessairement reliée à la condition miroir. Il est possible aussi que cette augmentation soit reliée à une plus grande difficulté à se représenter mentalement ce type d'image et que les participantes aient donc alloué plus de ressources à ce processus lorsque les oestrogènes étaient élevés. Des chercheurs en TEP ont suggéré suite à une hausse de l'activité dans le cortex temporal supérieur et dans le lobe pariétal droit reliée à des images miroirs, que celles-ci étaient plus difficile à traiter que les images non miroirs (Alivisatos & Petrides, 1997). Ainsi, la complexité du stimulus pourrait être responsable de sa plus grande amplitude. Il y a cependant une faiblesse à cette explication, qui est celle de ne pas connaître pourquoi c'était plus difficile quand les hormones étaient hautes en comparaison du moment où elles étaient basses. Il est possible que ces trois facteurs, l'état d'éveil (arousal) plus fort dû aux oestrogènes élevés, l'importance du stimulus par rapport à la tâche et son traitement plus difficile aient contribué à l'augmentation de la P300.

En dernier lieu, certaines recherches menées chez l'animal ont montré que l'œstrogène est capable d'influencer l'excitabilité électrique des neurones (McEwen & Alves, 1999). Ses effets sont particulièrement importants dans l'hippocampe. Cette région peut être activée durant la tâche de rotation mentale, car elle serait reliée à la mémoire de travail spatiale. Il est donc logique de penser qu'une tâche nécessitant l'apport de cette région puisse être influencée par le taux d'œstrogène (Dietrich et al., 2001).

Aucune autre étude de PÉCs ayant étudié l'effet du cycle menstruel sur les composantes électrophysiologiques n'a utilisé la tâche de rotation mentale ou une tâche d'habileté spatiale. Trois études ont également employé des stimuli neutres, dont une seule avec des stimuli visuels (les autres avec des stimuli auditifs), aucune n'a observé un effet sur la P300 et les LPC ou les ondes lentes (Fleck & Polich, 1988; Tasman et al., 1999; Walpurger et al., 2004). D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer si les potentiels évoqués reliés aux tâches d'habiletés spatiales sont sensibles aux variations hormonales comme nos résultats semblent le montrer.

Limitations

Une des principales limitations de cette étude réside dans le fait de ne pas avoir contrebalancé les niveaux hormonaux entre les deux sessions. La majorité des participantes (n=9) ont passé le premier test avec un niveau bas d'œstrogènes et le deuxième avec un niveau haut. L'idéal aurait été d'avoir obtenu un nombre égal (n=6) pour chacune des conditions de passation. Il est donc possible qu'un effet de répétition ou d'habituation à la tâche soit un facteur confondant avec le niveau hormonal haut. Il est cependant difficile de contre balancer parfaitement les phases du cycle menstruel, car dans ce genre d'études, on doit souvent rejeter des participantes en raison du fait qu'elles n'avaient pas les valeurs hormonales attendues ou la prise de sang n'a pu être fait la même journée ou le tracé d'EEG contenait trop d'artéfacts pour l'analyse. On ne connaît donc pas d'avance, qui fera partie de l'échantillon final. Pour les prochaines recherches, il faudrait augmenter le nombre de participantes pour être en mesure d'avoir un nombre suffisant de sujets avec un niveau hormonal contrebalancé entre les sessions. Par contre, le fait que les temps de réaction et le nombre de bonnes réponses n'ont pas changé entre les deux sessions et qu'aucun effet principal relié au niveau d'œstrogènes n'ait été obtenu semble montrer qu'il n'y a pas eu d'effet d'habituation. Nos résultats sur la latéralisation changeante sont semblables à ceux obtenus lors des études sur les ACFs (voir section 1.4.2 de l'intro.). Il est donc fort probable que nos résultats soient valides. Il existe un précédent, une autre étude de PÉCs n'a pas été en mesure de contrebalancer l'ordre des sessions, sur leurs 12 participantes, 7 ont commencé l'étude avec un taux hormonal bas et 5 avec un taux élevé (O'Reilly et al., 2004). On ne peut comparer nos résultats avec cette étude car ils ont utilisé une tâche de mémoire et ils n'ont pas analysé les données avec le facteur hémisphère.

En deuxième lieu, pour des raisons techniques, on n'a pas enregistré l'activité sur les électrodes occipitales, ce qui constitue une autre limitation de cette étude. Car, lors de certaines études de PÉCs, une activité cérébrale significative avait eu lieu sur ces sites (Schendan & Lucia, 2009; Wijers, Otten, et al., 1989). Cependant, beaucoup d'études de PÉCs n'ont analysé que la région pariétale, en partant du postulat que la modulation des ondes de

cette région est le corrélat électrophysiologique de la rotation mentale (Heil & Rolke, 2002; Wijers, Otten, et al., 1989). Notre étude a cependant démontré que ce n'était pas toujours le cas. Il aurait fallu également avoir un plus grand nombre d'électrodes pour faire une analyse des sources génératrices dans le but de mieux situer la source électrocorticale en réponse à une tâche de rotation mentale avec des formes géométriques.

Cette étude s'est intéressée aux effets de l'œstrogène sur l'activité cérébrale, mais comme d'autres hormones varient durant le cycle menstruel. Il faudrait que des études futures puissent déterminer si elles ont le potentiel d'agir, tout comme les œstrogènes, sur la cognition. En définitive, le but recherché serait de connaître l'effet du cycle menstruel sur l'activité cérébrale, en relation de la fluctuation hormonale qui lui est intrinsèque. Aucune de nos participantes n'a rapporté souffrir du syndrome prémenstruel. De plus, les études qui ont évalué des femmes atteintes n'ont pas enregistré de différence d'amplitude pour la P300 entre les phases du cycle menstruel (Baker & Colrain, 2010; Waldo, Graze, de Graff Bender, Adler, & Freedman, 1987) et une seule a noté une différence de la latence pour cette composante (Ehlers, Phillips, & Parry, 1996). Ce dernier résultat n'affecte pas le travail présent étant donné que nous n'avons pas inclus l'analyse de la latence dans les résultats. Les recherches futures devraient quand même évaluer ce syndrome et l'humeur chez les participantes pour éviter tout facteur confondant.

Conclusion

Le but principal du présent travail était de documenter l'activité cérébrale en lien avec le niveau œstrogénique associé au cycle menstruel durant une tâche de rotation mentale. Ce type de recherche avait déjà été réalisé en imagerie par résonance magnétique avec cette tâche (Dietrich et al., 2001; Schoning et al., 2007) et avec une tâche de comparaison de figure géométrique (Weis et al., 2011). Toutefois, aucune étude de potentiel évoqué n'avait mis en relations les variations hormonales avec cette tâche. La recension permettait de prédire une augmentation de l'amplitude de la composante P300 en présence d'un niveau d'œstrogène élevé. Nos résultats confirment une augmentation de l'amplitude de la P300 lorsque le niveau d'œstrogène est élevé pendant la condition en image miroir sans rotation. De plus, lorsque l'œstrogène était bas, on a observé une modulation de l'activité cérébrale en fonction des images miroirs pour la région frontale. L'effet de rotation a été observé dans le cortex pariétal et central. Ce patron d'activation est très semblable aux aires activées lors d'un processus de mémoire de travail spatial (Cohen et al., 1996). Il est aussi très semblable à celui associé à une stratégie de simulation motrice en comparaison d'une stratégie visuelle et holistique. Lorsque le niveau d'œstrogène était élevé, ces mêmes régions ont été activées, mais de façon plus symétrique, ce qui suggère un effet œstrogénique sur les ACFs. Nos résultats viennent appuyer l'hypothèse amenée par Hausmann et Gunturkun (2000) qui postule que les connexions interhémisphériques sont influencées par les niveaux de progestérone et d'œstrogènes.

Plusieurs études de PÉCs avaient aussi noté une plus grande activité de l'hémisphère droit en lien avec la rotation mentale, ce que nous avons également constaté. Ce résultat vient renforcer l'implication de cet hémisphère dans les processus d'intégrations visuospatiales. Pour terminer, la latéralisation variable observée dans ce type de protocole pourrait expliquer pourquoi les études portant sur les différences sexuelles montrent des résultats inconsistants. Les prochaines études pourraient contrôler pour le niveau hormonal des femmes, en particulier pour des tâches reconnues pour amener des asymétries cérébrales.

Bibliographie

- Aleman, A., Bronk, E., Kessels, R. P., Koppeschaar, H. P., & van Honk, J. (2004). A single administration of testosterone improves visuospatial ability in young women. *Psychoneuroendocrinology*, *29*(5), 612-617. doi: 10.1016/S0306-4530(03)00089-1 S0306453003000891 [pii]
- Alivisatos, B., & Petrides, M. (1997). Functional activation of the human brain during mental rotation. *Neuropsychologia*, *35*(2), 111-118.
- Asthana, S., Craft, S., Baker, L. D., Raskind, M. A., Birnbaum, R. S., Lofgreen, C. P., . . . Plymate, S. R. (1999). Cognitive and neuroendocrine response to transdermal estrogen in postmenopausal women with Alzheimer's disease: results of a placebo-controlled, double-blind, pilot study. *Psychoneuroendocrinology*, *24*(6), 657-677.
- Baker, F. C., & Colrain, I. M. (2010). Daytime sleepiness, psychomotor performance, waking EEG spectra and evoked potentials in women with severe premenstrual syndrome. *J Sleep Res*, *19*(1 Pt 2), 214-227. doi: 10.1111/j.1365-2869.2009.00782.x
- Becker, D., Creutzfeldt, O. D., Schwibbe, M., & Wuttke, W. (1980). Electrophysiological and psychological changes induced by steroid hormones in men and women. *Acta Psychiatr Belg*, *80*(5), 674-697.
- Beste, C., Heil, M., & Konrad, C. (2010). Individual differences in ERPs during mental rotation of characters: lateralization, and performance level. *Brain Cogn*, *72*(2), 238-243. doi: S0278-2626(09)00176-6 [pii]10.1016/j.bandc.2009.09.005
- Bibawi, D., Cherry, B., & Hellige, J. B. (1995). Fluctuations of perceptual asymmetry across time in women and men: effects related to the menstrual cycle. *Neuropsychologia*, *33*(1), 131-138. doi: 002839329400103V [pii]
- Bloom, J. S., & Hynd, G. W. (2005). The role of the corpus callosum in interhemispheric transfer of information: excitation or inhibition? *Neuropsychol Rev*, *15*(2), 59-71. doi: 10.1007/s11065-005-6252-y
- Brann, D. W., Dhandapani, K., Wakade, C., Mahesh, V. B., & Khan, M. M. (2007). Neurotrophic and neuroprotective actions of estrogen: basic mechanisms and clinical implications. *Steroids*, *72*(5), 381-405. doi: S0039-128X(07)00032-3 [pii] 10.1016/j.steroids.2007.02.003
- Canada, Human Resources and Skills Development. (2001). The National Occupational Classification and the Career Handbook
- Clarke, J. M., Halgren, E., & Chauvel, P. (1999). Intracranial ERPs in humans during a lateralized visual oddball task: II. Temporal, parietal, and frontal recordings. *Clin Neurophysiol*, *110*(7), 1226-1244.
- Coenen, A. M. (1995). Neuronal activities underlying the electroencephalogram and evoked potentials of sleeping and waking: implications for information processing. *Neurosci Biobehav Rev*, *19*(3), 447-463.
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., . . . Belliveau, J. W. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation. A mapping study using functional MRI. *Brain*, *119* (Pt 1), 89-100.

- Coles, M. G. (1989). Modern mind-brain reading: psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, 26(3), 251-269.
- Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behav Neurosci*, 111(4), 845-849.
- Conti, F., & Manzoni, T. (1994). The neurotransmitters and postsynaptic actions of callosally projecting neurons. *Behav Brain Res*, 64(1-2), 37-53.
- Cook, N. D. (1984). Callosal inhibition: the key to the brain code. *Behav Sci*, 29(2), 98-110.
- Craig, M. C., Fletcher, P. C., Daly, E. M., Rymer, J., Brammer, M., Giampietro, V., & Murphy, D. G. (2008). Physiological variation in estradiol and brain function: a functional magnetic resonance imaging study of verbal memory across the follicular phase of the menstrual cycle. *Horm Behav*, 53(4), 503-508. doi: 10.1016/j.yhbeh.2007.11.005
- DeGroot, L.J. (1989). *Endocrinology* (2nd ed. Vol. 3). Philadelphia: Saunders, Toronto.
- Demotes-Mainard, J., Arnould, E., & Vincent, J. D. (1990). Estrogens Modulate the Responsiveness of in vivo Recorded Striatal Neurons to Iontophoretic Application of Dopamine in Rats: Role of D and D2 Receptor Activation. *J Neuroendocrinol*, 2(6), 825-832. doi: 10.1111/j.1365-2826.1990.tb00647.x
- Desrocher, M. E., Smith, M. L., & Taylor, M. J. (1995). Stimulus and sex differences in performance of mental rotation: evidence from event-related potentials. *Brain Cogn*, 28(1), 14-38. doi: S0278-2626(85)71031-7 [pii]10.1006/brcg.1995.1031
- Dietrich, T., Krings, T., Neulen, J., Willmes, K., Erberich, S., Thron, A., & Sturm, W. (2001). Effects of blood estrogen level on cortical activation patterns during cognitive activation as measured by functional MRI. *Neuroimage*, 13(3), 425-432. doi: 10.1006/nimg.2001.0703S1053-8119(01)90703-7 [pii]
- Ditunno, P. L., & Mann, V. A. (1990). Right hemisphere specialization for mental rotation in normals and brain damaged subjects. *Cortex*, 26(2), 177-188.
- Dohanich, G. (2003). Ovarian steroids and cognitive function. *Current directions in psychological science*, 12(2), 57-61. doi: 10.1111/1467-8721.01226
- Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Naatanen, R., . . . Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clin Neurophysiol*, 120(11), 1883-1908. doi: S1388-2457(09)00518-5 [pii]10.1016/j.clinph.2009.07.045
- Ehlers, C. L., Phillips, E., & Parry, B. L. (1996). Electrophysiological findings during the menstrual cycle in women with and without late luteal phase dysphoric disorder: relationship to risk for alcoholism? *Biol Psychiatry*, 39(8), 720-732. doi: 10.1016/0006-3223(95)00183-2
- Epting, L. K., & Overman, W. H. (1998). Sex-sensitive tasks in men and women: a search for performance fluctuations across the menstrual cycle. *Behav Neurosci*, 112(6), 1304-1317.
- Farage, M. A., Osborn, T. W., & MacLean, A. B. (2008). Cognitive, sensory, and emotional changes associated with the menstrual cycle: a review. *Arch Gynecol Obstet*, 278(4), 299-307. doi: 10.1007/s00404-008-0708-2
- Fleck, K. M., & Polich, J. (1988). P300 and the menstrual cycle. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 71(2), 157-160.

- Friedman, D., Cycowicz, Y. M., & Gaeta, H. (2001). The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neurosci Biobehav Rev*, 25(4), 355-373.
- Frye, C. A., Rhodes, M. E., & Dudek, B. (2005). Estradiol to aged female or male mice improves learning in inhibitory avoidance and water maze tasks. *Brain Res*, 1036(1-2), 101-108. doi: S0006-8993(04)01938-9 [pii]10.1016/j.brainres.2004.12.014
- Galea, L. A., Kavaliers, M., Ossenkopp, K. P., & Hampson, E. (1995). Gonadal hormone levels and spatial learning performance in the Morris water maze in male and female meadow voles, *Microtus pennsylvanicus*. *Horm Behav*, 29(1), 106-125. doi: S0018-506X(85)71008-2 [pii]10.1006/hbeh.1995.1008
- Gootjes, L., Bruggeling, E. C., Magnee, T., & Van Strien, J. W. (2008). Sex differences in the latency of the late event-related potential mental rotation effect. *Neuroreport*, 19(3), 349-353. doi: 10.1097/WNR.0b013e3282f519b300001756-200802120-00018 [pii]
- Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 55(4), 468-484.
- Griksiene, R., & Ruksenas, O. (2011). Effects of hormonal contraceptives on mental rotation and verbal fluency. *Psychoneuroendocrinology*, 36(8), 1239-1248. doi: S0306-4530(11)00089-8 [pii]10.1016/j.psyneuen.2011.03.001
- Halari, R., Sharma, T., Hines, M., Andrew, C., Simmons, A., & Kumari, V. (2006). Comparable fMRI activity with differential behavioural performance on mental rotation and overt verbal fluency tasks in healthy men and women. *Exp Brain Res*, 169(1), 1-14. doi: 10.1007/s00221-005-0118-7
- Halgren, E., Baudena, P., Clarke, J. M., Heit, G., Marinkovic, K., Devaux, B., . . . Biraben, A. (1995). Intracerebral potentials to rare target and distractor auditory and visual stimuli. II. Medial, lateral and posterior temporal lobe. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 94(4), 229-250.
- Hampson, E. (1990a). Estrogen-related variations in human spatial and articulatory-motor skills. *Psychoneuroendocrinology*, 15(2), 97-111.
- Hampson, E. (1990b). Variations in sex-related cognitive abilities across the menstrual cycle. *Brain Cogn*, 14(1), 26-43.
- Hampson, E. (1995). Spatial cognition in humans: possible modulation by androgens and estrogens. *J Psychiatry Neurosci*, 20(5), 397-404.
- Hampson, E., & Kimura, D. (1988). Reciprocal effects of hormonal fluctuations on human motor and perceptual-spatial skills. *Behav Neurosci*, 102(3), 456-459.
- Harris, I. M., Egan, G. F., Sonkkila, C., Tochon-Danguy, H. J., Paxinos, G., & Watson, J. D. (2000). Selective right parietal lobe activation during mental rotation: a parametric PET study. *Brain*, 123 (Pt 1), 65-73.
- Hausmann, M., Becker, C., Gather, U., & Gunturkun, O. (2002). Functional cerebral asymmetries during the menstrual cycle: a cross-sectional and longitudinal analysis. *Neuropsychologia*, 40(7), 808-816. doi: S0028393201001798 [pii]
- Hausmann, M., & Gunturkun, O. (2000). Steroid fluctuations modify functional cerebral asymmetries: the hypothesis of progesterone-mediated interhemispheric decoupling. *Neuropsychologia*, 38(10), 1362-1374. doi: S0028-3932(00)00045-2 [pii]

- Hausmann, M., Slabbekoorn, D., Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., & Gunturkun, O. (2000). Sex hormones affect spatial abilities during the menstrual cycle. *Behav Neurosci*, *114*(6), 1245-1250.
- Heil, M. (2002). The functional significance of ERP effects during mental rotation. *Psychophysiology*, *39*(5), 535-545. doi: 10.1017.S0048577202020449 S0048577202020449 [pii]
- Heil, M., & Rolke, B. (2002). Toward a chronopsychophysiology of mental rotation. *Psychophysiology*, *39*(4), 414-422. doi: 10.1017.S0048577202001105 S0048577202001105 [pii]
- Hines, M. (2010). Sex-related variation in human behavior and the brain. *Trends Cogn Sci*, *14*(10), 448-456. doi: S1364-6613(10)00172-5 [pii]10.1016/j.tics.2010.07.005
- Hines, M., Fane, B. A., Pasterski, V. L., Mathews, G. A., Conway, G. S., & Brook, C. (2003). Spatial abilities following prenatal androgen abnormality: targeting and mental rotations performance in individuals with congenital adrenal hyperplasia. *Psychoneuroendocrinology*, *28*(8), 1010-1026. doi: S030645300200121X [pii]
- Hugdahl, K., Thomsen, T., & Erslund, L. (2006). Sex differences in visuo-spatial processing: an fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, *44*(9), 1575-1583. doi: S0028-3932(06)00035-2 [pii]10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.026
- Hugdahl, K., & Westerhausen, R. (2010). *The two halves brain : Information processing in the cerebral hemispheres*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Iguchi, Y., & Hashimoto, I. (2000). Sequential information processing during a mental arithmetic is reflected in the time course of event-related brain potentials. *Clin Neurophysiol*, *111*(2), 204-213. doi: S1388-2457(99)00244-8 [pii]
- Inglis, J., & Lawson, J. S. (1981). Sex differences in the effects of unilateral brain damage on intelligence. *Science*, *212*(4495), 693-695.
- Jansen-Osmann, P., & Heil, M. (2007). Developmental aspects of parietal hemispheric asymmetry during mental rotation. *Neuroreport*, *18*(2), 175-178. doi: 10.1097/WNR.0b013e328010ff6b00001756-200701220-00014 [pii]
- Jimenez, J. A., Mancini-Marie, A., Lakis, N., Rinaldi, M., & Mendrek, A. (2010). Disturbed sexual dimorphism of brain activation during mental rotation in schizophrenia. *Schizophr Res*, *122*(1-3), 53-62. doi: S0920-9964(10)01181-3 [pii]10.1016/
- Johnson, B. W., McKenzie, K. J., & Hamm, J. P. (2002). Cerebral asymmetry for mental rotation: effects of response hand, handedness and gender. *Neuroreport*, *13*(15), 1929-1932.
- Johnson, R., Jr. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, *23*(4), 367-384.
- Johnson, R., Jr. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, *30*(1), 90-97.
- Johnson, R., Jr., & Donchin, E. (1985). Second thoughts: multiple P300s elicited by a single stimulus. *Psychophysiology*, *22*(2), 182-194.
- Johnston, V. S., & Wang, X. T. (1991). The relationship between menstrual phase and the P3 component of ERPs. *Psychophysiology*, *28*(4), 400-409.
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, *363*(6430), 623-625. doi: 10.1038/363623a0

- Jordan, K., Wustenberg, T., Heinze, H. J., Peters, M., & Jancke, L. (2002). Women and men exhibit different cortical activation patterns during mental rotation tasks. *Neuropsychologia*, *40*(13), 2397-2408. doi: S0028393202000763 [pii]
- Joseph, J. E., Swearingen, J. E., Corbly, C. R., Curry, T. E., Jr., & Kelly, T. H. (2012). Influence of estradiol on functional brain organization for working memory. *Neuroimage*, *59*(3), 2923-2931. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.09.067
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive coordinate systems: accounts of mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychol Rev*, *92*(2), 137-172.
- Kaplan, B. J., Whitsett, S. F., & Robinson, J. W. (1990). Menstrual cycle phase is a potential confound in psychophysiology research. *Psychophysiology*, *27*(4), 445-450.
- Katayama, Y., Tsukiyama, T., & Tsubokawa, T. (1985). Thalamic negativity associated with the endogenous late positive component of cerebral evoked potentials (P300): recordings using discriminative aversive conditioning in humans and cats. *Brain Res Bull*, *14*(3), 223-226.
- Kawamichi, H., Kikuchi, Y., & Ueno, S. (2007). Spatio-temporal brain activity related to rotation method during a mental rotation task of three-dimensional objects: an MEG study. *Neuroimage*, *37*(3), 956-965. doi: S1053-8119(07)00515-0 [pii] 10.1016/j.neuroimage.2007.06.001
- Keenan, P. A., Ezzat, W. H., Ginsburg, K., & Moore, G. J. (2001). Prefrontal cortex as the site of estrogen's effect on cognition. *Psychoneuroendocrinology*, *26*(6), 577-590.
- Kelly, Dennis D. (1991). Sexual differentiation of the nervous system. In E. R. S. Kandel, J.H., Jessel, T.M. (Ed.), *Principles of Neural Science* (Third ed.). Norwalk, Connecticut: Appleton & Lange.
- Kluck, N., O'Connor, S., Hesselbrock, V., Tasman, A., Maier, D., & Bauer, L. (1992). Variation in evoked potential measures over the menstrual cycle: a pilot study. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, *16*(6), 901-911. doi: 0278-5846(92)90108-Q
- Knight, R. T. (1984). Decreased response to novel stimuli after prefrontal lesions in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *59*(1), 9-20.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, *38*(3), 557-577.
- Kosslyn, S. M., DiGirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, *35*(2), 151-161.
- Kropotov, J. D., & Ponomarev, V. A. (1991). Subcortical neuronal correlates of component P300 in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *78*(1), 40-49.
- Krug, R., Plihal, W., Fehm, H. L., & Born, J. (2000). Selective influence of the menstrual cycle on perception of stimuli with reproductive significance: an event-related potential study. *Psychophysiology*, *37*(1), 111-122.
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Martin, E., & von Aster, M. (2005). Gender differences in brain activation patterns during mental rotation and number related cognitives tasks. *Psychology Science*, *47*(1), 112-131.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: the P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, *197*(4305), 792-795.
- Lamm, C., Windischberger, C., Moser, E., & Bauer, H. (2007). The functional role of dorso-lateral premotor cortex during mental rotation: an event-related fMRI study separating

- cognitive processing steps using a novel task paradigm. *Neuroimage*, 36(4), 1374-1386. doi: S1053-8119(07)00320-5 [pii]10.1016/j.neuroimage.2007.04.012
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Dev*, 56(6), 1479-1498.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- Maki, P. M., Rich, J. B., & Rosenbaum, R. S. (2002). Implicit memory varies across the menstrual cycle: estrogen effects in young women. *Neuropsychologia*, 40(5), 518-529. doi: S0028393201001269 [pii]
- Maki, P. M., Zonderman, A. B., & Resnick, S. M. (2001). Enhanced verbal memory in nondemented elderly women receiving hormone-replacement therapy. *Am J Psychiatry*, 158(2), 227-233.
- McEwen, B. S., & Alves, S. E. (1999). Estrogen actions in the central nervous system. *Endocr Rev*, 20(3), 279-307.
- Mead, L. A., & Hampson, E. (1996). Asymmetric effects of ovarian hormones on hemispheric activity: Evidence from dichotic and tachistoscopic test. *Neuropsychology*, 10(4), 578-587.
- Mendrek, A., Lakis, N., & Jimenez, J. (2011). Associations of sex steroid hormones with cerebral activations during mental rotation in men and women with schizophrenia. *Psychoneuroendocrinology*, 36(9), 1422-1426. doi: S0306-4530(11)00105-3 [pii] 10.1016/j.psyneuen.2011.03.016
- Miles, C., Green, R., Sanders, G., & Hines, M. (1998). Estrogen and memory in a transsexual population. *Horm Behav*, 34(2), 199-208. doi: S0018-506X(98)91478-7 [pii] 10.1006/hbeh.1998.1478
- Milivojevic, B., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2009). Functional neuroanatomy of mental rotation. *J Cogn Neurosci*, 21(5), 945-959. doi: 10.1162/jocn.2009.21085
- Milivojevic, B., Johnson, B. W., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2003). Non-identical neural mechanisms for two types of mental transformation: event-related potentials during mental rotation and mental paper folding. *Neuropsychologia*, 41(10), 1345-1356. doi: S0028393203000605 [pii]
- Murphy, D. D., & Segal, M. (1996). Regulation of dendritic spine density in cultured rat hippocampal neurons by steroid hormones. *J Neurosci*, 16(13), 4059-4068.
- Naatanen, R., & Gaillard, A.W.K. (1983). The orienting reflex and the N2 deflection on the event-related potential (ERP). *Advances in Psychology*, 10, 119-141.
- O'Reilly, M. A., Cunningham, C. J., Lawlor, B. A., Walsh, C. D., & Rowan, M. J. (2004). The effect of the menstrual cycle on electrophysiological and behavioral measures of memory and mood. *Psychophysiology*, 41(4), 592-603. doi: 10.1111/j.1469-8986.2004.00194.xPSYP194 [pii]
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Overney, L. S., Michel, C. M., Harris, I. M., & Pegna, A. J. (2005). Cerebral processes in mental transformations of body parts: recognition prior to rotation. *Brain Res Cogn Brain Res*, 25(3), 722-734. doi: S0926-6410(05)00258-2 [pii]

- 10.1016/j.cogbrainres.2005.09.024
- Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain Cogn*, *66*(3), 260-264. doi: S0278-2626(07)00144-3 [pii]10.1016/j.bandc.2007.09.003
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse mental rotations test: different versions and factors that affect performance. *Brain Cogn*, *28*(1), 39-58. doi: S0278-2626(85)71032-9 [pii] 10.1006/brcg.1995.1032
- Peters, M., Lehmann, W., Takahira, S., Takeuchi, Y., & Jordan, K. (2006). Mental rotation test performance in four cross-cultural samples (n = 3367): overall sex differences and the role of academic program in performance. *Cortex*, *42*(7), 1005-1014.
- Peters, M., Manning, J. T., & Reimers, S. (2007). The effects of sex, sexual orientation, and digit ratio (2D:4D) on mental rotation performance. *Arch Sex Behav*, *36*(2), 251-260. doi: 10.1007/s10508-006-9166-8
- Phillips, K., & Silverman, I. (1997). Differences in the relationship of menstrual cycle phase to spatial performance on two- and three-dimensional tasks. *Horm Behav*, *32*(3), 167-175. doi: S0018-506X(97)91418-5 [pii]10.1006/hbeh.1997.1418
- Pivik, R. T., Broughton, R. J., Coppola, R., Davidson, R. J., Fox, N., & Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Psychophysiology*, *30*(6), 547-558.
- Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biol Psychol*, *41*(2), 103-146.
- Raven, J.C. (1958). *Standard progressive matrices*. London: H.K. Lewis.
- Rilea, S. L. (2008). Sex and hemisphere differences when mentally rotating meaningful and meaningless stimuli. *Laterality*, *13*(3), 217-233. doi: 789997930 [pii]10.1080/13576500701809846
- Rilea, S. L., Roskos-Ewoldsen, B., & Boles, D. (2004). Sex differences in spatial ability: a lateralization of function approach. *Brain Cogn*, *56*(3), 332-343. doi: S0278-2626(04)00251-9 [pii]10.1016/j.bandc.2004.09.002
- Rissman, E. F., Heck, A. L., Leonard, J. E., Shupnik, M. A., & Gustafsson, J. A. (2002). Disruption of estrogen receptor beta gene impairs spatial learning in female mice. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *99*(6), 3996-4001. doi: 10.1073/pnas.012032699
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr. (1983). Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, *20*(2), 168-179.
- Rode, C., Wagner, M., & Gunturkun, O. (1995). Menstrual cycle affects functional cerebral asymmetries. *Neuropsychologia*, *33*(7), 855-865. doi: 0028-3932(95)00015-U [pii]
- Rosler, F., Heil, M., Bajric, J., Pauls, A. C., & Hennighausen, E. (1995). Patterns of cerebral activation while mental images are rotated and changed in size. *Psychophysiology*, *32*(2), 135-149.
- Rosler, F., Heil, M., & Roder, B. (1997). Slow negative brain potentials as reflections of specific modular resources of cognition. *Biol Psychol*, *45*(1-3), 109-141.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Mahaffey, D., & Sutton, S. (1988). Toward a functional categorization of slow waves. *Psychophysiology*, *25*(3), 339-353.

- Sanders, G., Sjodin, M., & de Chastelaine, M. (2002). On the elusive nature of sex differences in cognition: hormonal influences contributing to within-sex variation. *Arch Sex Behav*, *31*(1), 145-152.
- Sanders, G., & Wenmoth, D. (1998). Verbal and music dichotic listening tasks reveal variations in functional cerebral asymmetry across the menstrual cycle that are phase and task dependent. *Neuropsychologia*, *36*(9), 869-874. doi: S0028393298000220 [pii]
- Schendan, H. E., & Lucia, L. C. (2009). Visual object cognition precedes but also temporally overlaps mental rotation. *Brain Res*, *1294*, 91-105. doi: S0006-8993(09)01469-3 [pii] 10.1016/j.brainres.2009.07.036
- Schoning, S., Engeli, A., Kugel, H., Schafer, S., Schiffbauer, H., Zwitserlood, P., . . . Konrad, C. (2007). Functional anatomy of visuo-spatial working memory during mental rotation is influenced by sex, menstrual cycle, and sex steroid hormones. *Neuropsychologia*, *45*(14), 3203-3214. doi: S0028-3932(07)00237-0 [pii] 10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.011
- Seeman, M. V. (2002). The role of sex hormones in psychopathology: focus on schizophrenia. *Prim Care*, *29*(1), 171-182, viii.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, *171*(3972), 701-703.
- Sherwin, B. B. (2003). Estrogen and cognitive functioning in women. *Endocr Rev*, *24*(2), 133-151.
- Shughrue, P. J., & Merchenthaler, I. (2000). Estrogen is more than just a "sex hormone": novel sites for estrogen action in the hippocampus and cerebral cortex. *Front Neuroendocrinol*, *21*(1), 95-101. doi: 10.1006/frne.1999.0190
- Shumaker, S. A., Legault, C., Kuller, L., Rapp, S. R., Thal, L., Lane, D. S., . . . Coker, L. H. (2004). Conjugated equine estrogens and incidence of probable dementia and mild cognitive impairment in postmenopausal women: Women's Health Initiative Memory Study. *JAMA*, *291*(24), 2947-2958. doi: 10.1001/jama.291.24.2947291/24/2947 [pii]
- Slabbekoorn, D., van Goozen, S. H., Megens, J., Gooren, L. J., & Cohen-Kettenis, P. T. (1999). Activating effects of cross-sex hormones on cognitive functioning: a study of short-term and long-term hormone effects in transsexuals. *Psychoneuroendocrinology*, *24*(4), 423-447. doi: S0306-4530(98)00091-2 [pii]
- Tagaris, G. A., Kim, S. G., Strupp, J. P., Andersen, P., Ugurbil, K., & Georgakopoulos, A. (1997). Mental rotation studied by functional magnetic resonance imaging at high field (4 Tesla): Performance and cortical activation. *J Cogn Neurosci*, *9*(4), 419-432.
- Tasman, A., Hahn, T., & Maiste, A. (1999). Menstrual cycle synchronized changes in brain stem auditory evoked potentials and visual evoked potentials. *Biol Psychiatry*, *45*(11), 1516-1519.
- Terasawa, E., & Timiras, P. S. (1968). Electrical activity during the estrous cycle of the rat: cyclic changes in limbic structures. *Endocrinology*, *83*(2), 207-216.
- Tillman, G. D. (2010). Estradiol levels during the menstrual cycle differentially affect latencies to right and left hemispheres during dichotic listening: an ERP study. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(2), 249-261. doi: S0306-4530(09)00208-X [pii] 10.1016/j.psyneuen.2009.06.018

- Tomasino, B., & Rumiati, R. I. (2004). Effects of strategies on mental rotation and hemispheric lateralization: neuropsychological evidence. *J Cogn Neurosci*, *16*(5), 878-888. doi: 10.1162/089892904970753
- Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J., Frijda, N. H., & Van de Poll, N. E. (1994). Activating effects of androgens on cognitive performance: causal evidence in a group of female-to-male transsexuals. *Neuropsychologia*, *32*(10), 1153-1157. doi: 0028-3932(94)90099-X [pii]
- Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J., Frijda, N. H., & Van de Poll, N. E. (1995). Gender differences in behaviour: activating effects of cross-sex hormones. *Psychoneuroendocrinology*, *20*(4), 343-363. doi: 030645309400076X [pii]
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Percept Mot Skills*, *47*(2), 599-604.
- Voyer, D., & Bryden, M. P. (1990). Gender, level of spatial ability, and lateralization of mental rotation. *Brain Cogn*, *13*(1), 18-29.
- Voyer, D., Butler, T., Cordero, J., Brake, B., Silbersweig, D., Stern, E., & Imperato-McGinley, J. (2006). The relation between computerized and paper-and-pencil mental rotation tasks: a validation study. *J Clin Exp Neuropsychol*, *28*(6), 928-939. doi: MK042L83G6086570 [pii]10.1080/13803390591004310
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol Bull*, *117*(2), 250-270.
- Waldo, M. C., Graze, K., de Graff Bender, S., Adler, L. E., & Freedman, R. (1987). Premenstrual mood changes and gating of the auditory evoked potential. *Psychoneuroendocrinology*, *12*(1), 35-40.
- Walpurger, V., Pietrowsky, R., Kirschbaum, C., & Wolf, O. T. (2004). Effects of the menstrual cycle on auditory event-related potentials. *Horm Behav*, *46*(5), 600-606. doi: S0018-506X(04)00155-2 [pii]10.1016/j.yhbeh.2004.07.002
- Weis, S., Hausmann, M., Stoffers, B., & Sturm, W. (2011). Dynamic changes in functional cerebral connectivity of spatial cognition during the menstrual cycle. *Hum Brain Mapp*, *32*(10), 1544-1556. doi: 10.1002/hbm.21126
- Weis, S., Hausmann, M., Stoffers, B., Vohn, R., Kellermann, T., & Sturm, W. (2008). Estradiol modulates functional brain organization during the menstrual cycle: an analysis of interhemispheric inhibition. *J Neurosci*, *28*(50), 13401-13410. doi: 28/50/13401 [pii]10.1523/JNEUROSCI.4392-08.2008
- Wijers, A. A., Lamain, W., Slopsema, J. S., Mulder, G., & Mulder, L. J. (1989). An electrophysiological investigation of the spatial distribution of attention to colored stimuli in focused and divided attention conditions. *Biol Psychol*, *29*(3), 213-245.
- Wijers, A. A., Otten, L. J., Feenstra, S., Mulder, G., & Mulder, L. J. (1989). Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, *26*(4), 452-467.
- Wisniewski, A. B. (1998). Sexually-dimorphic patterns of cortical asymmetry, and the role for sex steroid hormones in determining cortical patterns of lateralization. *Psychoneuroendocrinology*, *23*(5), 519-547. doi: S0306453098000195 [pii]

- Yoshino, A., Inoue, M., & Suzuki, A. (2000). A topographic electrophysiologic study of mental rotation. *Brain Res Cogn Brain Res*, 9(2), 121-124. doi: S0926-6410(99)00046-4 [pii]
- Yu, Q., Tang, Y., Li, J., Lu, Q., Wang, H., Sui, D., . . . Heil, M. (2009). Sex differences of event-related potential effects during three-dimensional mental rotation. *Neuroreport*, 20(1), 43-47. doi: 10.1097/WNR.0b013e32831c50f400001756-200901070-00009 [pii]
- Zacks, J. M. (2008). Neuroimaging studies of mental rotation: a meta-analysis and review. *J Cogn Neurosci*, 20(1), 1-19. doi: 10.1162/jocn.2008.20013

Annexe 1

Tableau IV : Données démographiques et résultats à des tests du WAIS des participantes avec la moyenne et l'écart-type entre parenthèses.

Id sujet	Âge	Éducation	SES Parents	Edinburgh	Raven brut	Raven Perc.	Voca.	Simi.	Blocs
1	37	20	2	70	54	97		10	14
2	35	16	2	100	51	89	9	11	10
3	33	22	1	67	54	95	11	9	
4	19	15	1	80	48	66	15	10	11
5	19	13	3.5	79	54	88	12	12	10
6	18	14	2	81	43	45	18	16	10
7	18	14	1	67	38	28	15	11	14
8	45	22	4	76	43	78			
9	23	18	2	89	56	98			13
10	36	23	2	100	51	89	12	11	11
11	34	19	2	100	58	98		8	8
12	34	19	1	100	47	77		6	8
Moy. (σ)	29 (9)	18 (3.5)	2 (1)	84 (13)	50 (6)	79 (22)	13 (3)	10 (3)	11 (2)

SES : Statut socio-économique des parents selon la classification nationale des professions (Canada, 2001) (Tableau I); Edinburgh : Test d'Edinburg (Oldfield, 1971); Raven brut : Matrice de Raven (Raven, 1958); Les trois derniers tests sont des sous-tests du WAIS (*Wechsler adult intelligence scale*); Voca. : Test de vocabulaire; Simi. : Test de similitudes; Blocs : *Block Design subtest*; Perc. : Percentile; Moy. : Moyenne.

Tableau V : Résultats des données comportementales par niveau hormonal.

Les écarts-types sont entre parenthèses.

Catégories	Performance (nb de bonnes réponses)		Temps de réaction (ms)	
	Niveau bas	Niveau haut	Niveau bas	Niveau haut
Rotation sans miroir	23.1 (.8)	23.3 (.5)	1672 (53)	1657 (61)
Rotation avec miroir	20.1 (1.1)	20.4 (1.0)	1800 (64)	1810 (95)
Sans rotation sans miroir	24.8 (.1)	24.6 (.2)	1277 (57)	1240 (66)
Sans rotation avec miroir	23.7 (.6)	23.4 (.5)	1367 (78)	1401 (102)

Annexe 2

Tableau VII : Résultats des ANOVAs à mesures répétées pour la P300 et les LPC.

P 300		
	F	p
Rotation	4,01	0,071
Région	5,67	0,019
Rotation X niveau hormonal	2,57	0,137
Miroir X niveau hormonal	4,36	0,061
Niveau bas		
Miroir	3,54	0,087
Région	5,17	0,024
Niveau Haut		
Rotation	7,86	0,017
Région	5,81	0,017
LPC		
	F	p
Rotation	4,24	0,064
Hémisphère	22,21	0,001
Région	5,63	0,019
Rotation X region X hémis.	10,17	0,003
Niveau Haut		
Rotation	4,78	0,051
Hémisphère	12,75	0,004
Région	9,76	0,003
Rotation X region X hémis.	2,5	0,125
Niveau bas		
Hémisphère	12,53	0,005
Rotation X région X hémis.	7,81	0,007

Hémis : hémisphère

Tableau VIII : Résultats des sous-analyses pour la P300 par région et par niveau hormonal.

	Centrale		FC		Frontale	
	F	p	F	p	F	p
Rotation	3,44	0,091				
Rotation X hémis.	5,88	0,034				
Rotation X Niveau hormonal	2,91	0,116			4,64	0,054
Rotation X miroir X hémis X Niveau hormonal	5,23	0,043				
*Miroir X Niveau hormonal	9,37	0,011				
Rotation X miroir					5,14	0,044
Niveau bas						
Rotation X miroir X hémis.	5,27	0,042				
Rotation X miroir	3,7	0,081	4,16	0,066	4,7	0,053
Miroir			5,38	0,041	5,81	0,035
Niveau Haut						
Rotation	6,9	0,024	6,35	0,028	6,695	0,025

*Condition miroir sans rotation par niveau hormonal; miroir : correspond au facteur miroir
 FC : Fronto-central; hémis. : hémisphère

Tableau VIII : Résultats des sous-analyses pour la LPC par région et par niveau hormonal.

Pariétal LPC	Centrale			
	F	p	F	p
Rotation	3,51	0,088	3,36	0,094
Hémis.	5,04	0,046	6,25	0,03
Rotation X hémis.	6,26	0,029	10,01	0,009
Niveau bas				
Rotation X hémis.	5,5	0,039	8,15	0,016
Hémis.	3,71	0,08	5,58	0,038
Niveau Haut				
Rotation	3,48	0,089	5,19	0,044
Hémis.			4,13	0,067

Annexe 3



QUESTIONNAIRE D'INFORMATION

CENTRE DE RECHERCHE
FERNAND SEGUIN
Hôpital Louis-H. Lafontaine

Ce questionnaire est destiné à recueillir des informations concernant votre situation présente et passée, ainsi que sur certains aspects de votre histoire familiale. Ces informations nous aideront à comprendre les résultats de votre participation en les replaçant dans le contexte de votre situation individuelle. Vos réponses seront gardées de façon strictement confidentielle par l'équipe de recherche et ne seront transmises qu'avec votre autorisation écrite.

Écrivez toutes vos réponses en lettre d'imprimerie

Date : ____ / ____ / ____

Nom de famille : _____ Prénom : _____

Âge : ____ ans Genre (cochez) : Homme Femme

Adresse pers. : _____

Téléphone : Travail (____) _____ Pers. (____) _____

Profession ou plus récent emploi (si au chômage) (décrivez aussi clairement que possible) : _____

Situation maritale actuelle (cochez) :

Marié Célibataire Divorcé Concubin

Race (cochez) : Caucasien (blanc) Africain-Américain (noir)

Asiatique Latino-Américain (hispanique)

Autre (spécifiez) : _____

Dans quelle religion avez vous été élevé (cochez) :

Catholique Protestante Hindoue

Juive Musulmane

Autre (spécifiez) : _____

Évaluez la force de votre croyance religieuse (cochez) :

0 1 2 3 4 5

Inexistante

Très forte

EDUCATION

Combien d'années d'éducation avez vous effectuée (maternelle incluse) ? _____ ans

Quel est le niveau le plus élevé que vous ayez atteint (cocher) ?

Primaire Secondaire CEGEP Bac

M.p.s. Ph.D. M.D. Autre : _____

Quelles étaient vos notes au dernier niveau que vous avez atteint (cochez) ?

Souvent A A et B Souvent B B et C

Souvent C C et D Souvent D Dessous D

DEVELOPPMENT

Y a-t-il eu de complications à votre naissance ? Oui Non

Si oui, décrivez : _____

Autant que vous vous souvenez, avez parlé et marché au même âge que les autres enfants ?

Oui Non

HISTOIRE MEDICALE ACTUELLE (seulement au cours de l'année écoulée)

Êtes vous actuellement malade ? Oui Non

Si oui, décrivez : _____

Êtes vous allergique à des médicaments ? Oui Non

Si oui lesquels : _____

Avez vous d'autres allergies ? Oui Non

Si oui lesquelles : _____

HISTOIRE MEDICALE PASSEE (seulement avant l'année écoulée)

Avez vous déjà eu un traumatisme à la tête ? Oui Non

Si oui, indiquez votre âge quand c'est arrivé et combien de temps êtes vous resté inconscient.

Avez vous été malade ? Oui Non

Si oui décrivez : _____

Avez vous eu des allergies? Oui Non

Si oui décrivez : _____

Avez vous subi une chirurgie ? Oui Non

Si oui, indiquez à quel âge et le type de chirurgie.

HISTOIRE PSYCHIATRIQUE ACTUELLE (seulement au cours de l'année écoulée)

Avez vous été hospitalisé pour une maladie mentale durant l'année passée ?

Oui Non

Si oui, précisez : quel diagnostic : _____
quel hôpital : _____

Avez vous eu un traitement pour un trouble mental sans être hospitalisé durant l'année passée?

Oui Non

Si oui, précisez: quel diagnostic: _____
quel traitement : _____

Avez vous arrêté intentionnellement votre traitement ? Oui Non

Si oui, pourquoi : _____

HISTOIRE PSYCHIATRIQUE PASSEE (seulement avant l'année écoulée)

Avez vous été hospitalisé pour une maladie mentale? Oui Non

Si oui, précisez : quel diagnostic: _____
quel hôpital : _____

Avez vous eu un traitement pour un trouble mental? Oui Non

Si oui, précisez : quel diagnostic: _____
quel traitement: _____

UTILISATION DE MEDICAMENTS ET DE DROGUES

Utilisez vous des médicaments (autres que traitement médical et psychotropes) ?

Oui Non

Si oui, précisez : quel médicament : _____
en quelle occasion : _____

Buvez-vous de l'alcool ? Oui Non

Si oui, précisez :

Combien de verres, en moyenne, par jour ? ____ par semaine? ____ par occasion de boire? ____

Combien de fois êtes vous ivres par semaine? ____ par mois? ____

Avez vous déjà été hospitalisé à cause de l'alcool ? Oui Non

Avez vous déjà reçu un traitement pour alcoolisme ? Oui Non

Fumez-vous du tabac ? Oui Non

Si oui, combien de cigarette par jour en moyenne ? _____

Prenez-vous des drogues illicites (cocaïne, marijuana)? Oui Non

Si oui, quelle(s) drogues et avec quelle fréquence ? _____

HISTOIRE FAMILIALE

Mère : Âge ____ Profession avant la retraite : _____

Niveau d'éducation : _____

Père : Âge ____ Profession avant la retraite : _____

Niveau d'éducation : _____

Statut marital (cochez) :

Mariés Divorcés Concubins

Avez vous des frère(s) et sœur(s) ? Oui Non

Si oui, combien de frère(s) : ____ de sœur(s) : ____ votre rang : _____

Avez vous été adopté ? Oui Non

Par qui avez vous été élevé la plupart du temps (cochez) ?

Mère et père Mère seule Père seul
Grand-parents Oncle ou tante Autre (specifiez) : _____

Un membre de votre famille a-t-il été ou est-il hospitalisé pour troubles psychiatriques ?

Oui Non

Si oui, précisez : quel membre : _____
quel trouble : _____
où était-il/elle hospitalisé : _____

Un membre de votre famille a-t-il reçu, ou reçoit-il, un traitement pour un trouble mental sans être hospitalisé ?

Oui Non

Si oui, précisez : quel membre : _____
quel trouble : _____

Un membre de votre famille a-t-il été hospitalisé ou a reçu un traitement pour d'autres maladies ?

Oui Non

Si oui, préciser : quel membre : _____
Quelle maladie : _____
où était-il/elle hospitalisé : _____
