

Distinguer des composantes cérébrales dans le traitement de l'information sexuelle visuelle à l'aide de la neuroimagerie fonctionnelle

par Harold Mouras^{1,2}

¹INSERM U483, Université Pierre et Marie Curie, 9, quai Saint Bernard, 75005, Paris, France ;

²Institut de Psychologie, Université René Descartes, 71, avenue Edouard Vaillant, 92100, Boulogne-Billancourt, France.

E-mail : harold.mouras@snv.jussieu.fr

³IFR 49, 4, place du Général Leclerc, 91401 Orsay, France

Reçu le 31 mars 2004

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, les techniques modernes de neuroimagerie telles que la Tomographie par Emission de Positons (TEP) et l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) permettent de s'intéresser aux mécanismes neuraux des émotions et motivations humaines. En particulier, un nombre croissant d'études cherche à mieux comprendre les bases cérébrales du désir sexuel masculin. Un modèle neurocomportemental des mécanismes cérébraux impliqués dans le désir sexuel a été proposé (Redouté *et al.*, 2000), comprenant : *i*) une composante cognitive ; *ii*) une composante émotionnelle ; *iii*) une composante motivationnelle ; *iv*) une composante autonome. Entre autres régions, plusieurs zones cérébrales se sont révélées comme préférentiellement liées 1) à la composante cognitive du modèle : *i*) le cortex orbitofrontal

et les lobules pariétaux supérieurs, impliqués dans les processus attentionnels dirigés vers la cible (impliqués dans les mécanismes précoces de catégorisation des stimuli sexuels) ; *ii*) les lobules pariétaux inférieurs, impliqués dans les processus d'imagerie motrice se développant au cours du désir sexuel ; 2) à la composante motivationnelle : la partie caudale du gyrus cingulaire antérieur, impliquée dans les phénomènes de préparation motrice ; 3) à la composante autonome du modèle. Pour cette composante, des études ayant mesuré conjointement les activations cérébrales par imagerie fonctionnelle et la réponse érectile par pléthysmographie pénienne ont permis de montrer, entre autres, une implication de la partie rostrale du gyrus cingulaire antérieur, de l'insula et de l'hypothalamus dans la composante autonome du modèle.

SUMMARY Identifying distinct components in the cerebral treatment of visual sexual information through functional neuroimaging

For now several years, the growing development of neuroimaging techniques such as Positron Emission Tomography (PET) or functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) allowed a better understanding of neural processes involved in human emotions and goal-directed behaviors. In particular, several studies are now available on the neural correlates of male sexual arousal. A neurobehavioral model of neural processes involved in sexual arousal has been proposed (Redouté *et al.*, 2000) comprising: *i*) a cognitive component; *ii*) an emotional component; *iii*) a motivational component and *iv*) an autonomic component. Among other regions, several cerebral areas have been found to be linked to:

1) the cognitive component which comprises: *i*) the orbitofrontal cortex involved in attentional processes directed toward the target and the superior parietal lobules; *ii*) the inferior parietal lobules involved in motor imagery processes; 2) the motivational component which involves the caudal part of the anterior cingulate cortex, related to motor preparation processes; 3) the autonomic component: concurrent measures of cerebral activations by functional neuroimaging and of erectile response by penile plethysmography allow the demonstration of the involvement of the hypothalamus, the insula, and the rostral part of the anterior cingulate cortex in this component.

INTRODUCTION

Depuis maintenant plus de dix ans, le développement des techniques de neuroimagerie fonctionnelle a permis des progrès considérables dans les connaissances des

processus cérébraux impliqués dans de nombreux comportements humains. Depuis quelque temps, un champ de recherche complet s'est développé autour de l'utilisation des techniques de neuroimagerie fonctionnelle pour l'étude des mécanismes cérébraux en jeu dans les



émotions et les motivations humaines, permettant un développement rapide des connaissances dans le domaine des « neurosciences affectives » (voir par exemple Phan *et al.*, 2002) pour une revue récente de ces études). Le comportement sexuel est un des comportements motivés des plus importants (Alcock, 1997). Chez l'Homme, certaines de ses composantes sont plus développées : par exemple, les mécanismes cognitifs impliqués dans la mise en place d'une excitation sexuelle, mettant en jeu des phénomènes d'imagerie mentale. Indéniablement, le cerveau joue un rôle important dans l'ensemble des composantes du désir sexuel (McKenna, 1999). Parmi les recherches utilisant la neuroimagerie fonctionnelle pour mieux comprendre les processus cérébraux impliqués dans les émotions et motivations humaines, ce n'est que très récemment que des recherches ont été consacrées au domaine de la motivation sexuelle. Les connaissances des circuits neuraux impliqués dans la motivation sexuelle reposent en grande partie sur des modèles animaux. Cependant, de telles études sont insuffisantes pour comprendre certains aspects du désir sexuel humain. De même chez l'Homme, les connaissances sur les structures cérébrales impliquées ont souvent été approfondies par des études neuropsychologiques ou post-mortem chez des patients ayant présenté des troubles de ce comportement. Cependant, ces dernières portant le plus souvent sur des conditions pathologiques ne permettent qu'une compréhension partielle des processus en jeu dans le cerveau au cours des différentes phases du comportement sexuel. Depuis une récente étude (Stoléru *et al.*, 1999), plus de dix recherches ont été à ce jour publiées sur ce thème. À la suite de deux études menées en Tomographie par Emission de Positons (TEP), un modèle neurocomportemental des processus cérébraux impliqués dans le désir sexuel chez l'Homme a été proposé (Redouté *et al.*, 2000). Ce modèle comporte : *i*) une composante cognitive ; *ii*) une composante émotionnelle ; *iii*) une composante motivationnelle ; *iv*) une composante autonome. Nous aborderons ici successivement chacune de ces composantes et certains des résultats expérimentaux s'y rapportant. Pour la composante autonome, nous essaierons de montrer comment une approche récente consistant à mesurer de façon conjointe les variations d'activité cérébrale et les réponses érectiles peut permettre de compléter des analyses plus « classiques » menées en neuroimagerie fonctionnelle.

LA COMPOSANTE COGNITIVE DU MODÈLE

Plusieurs types de mécanismes appartiennent à cette composante :

1. lorsqu'un stimulus environnemental a une signification sexuelle potentielle, des *processus d'évaluation* participent à la catégorisation de ce stimulus comme « sexuellement pertinent ». Lors de cette catégorisation, des processus participent également au codage de l'intensité de la nature « sexuelle » du stimulus ;
2. cette catégorisation effectuée, il existe une *focali-*

sation des capacités attentionnelles du sujet sur ce stimulus ;

3. des *processus d'imagerie motrice*, liés à l'imagination par le sujet d'actes moteurs, interviennent de façon plus tardive que les premiers processus cognitifs.

Cortex orbitofrontal

Le cortex orbitofrontal est la partie du cerveau directement située au-dessus de l'orbite de l'œil. Cette région s'est révélée comme essentielle parmi les résultats d'activation qui ont été obtenus dans les différentes études d'imagerie sur les bases cérébrales du désir sexuel. Nous souhaitons ici souligner un résultat important obtenu en TEP. En effet, en IRM fonctionnelle, il existe au niveau de cette région des problèmes techniques d'artefacts qu'il est difficile actuellement encore de corriger de façon systématique. Ainsi, en TEP, une activation du cortex orbitofrontal est rapportée en réponse à des stimuli sexuellement explicites (Stoléru *et al.*, 1999 ; Redouté *et al.*, 2000). Cette activation est plus forte lors de la présentation de : *i*) stimuli « modérément stimulants » (photos de mannequins par exemple) que lors de celle de stimuli intensément stimulants ; *ii*) stimuli représentant des femmes, même s'il ne s'agit pas de scènes érotiques.

Ce résultat est en accord avec d'autres données expérimentales montrant le rôle prépondérant du cortex orbitofrontal dans l'évaluation des stimuli environnementaux ayant une pertinence sur le plan motivationnel (Rolls, 1999). Des études récentes de neuroimagerie ont montré une activation préférentielle du cortex orbitofrontal en réponse à des visages « attirants » par rapport à des visages « non-attirants » (Aharon *et al.*, 2001 ; O'Doherty *et al.*, 2003). L'ensemble de ces résultats permet de penser que l'activation du cortex orbitofrontal enregistrée en réponse à des stimuli visuels sexuellement explicites n'est pas liée spécifiquement à leur nature sexuelle, mais à des processus d'évaluation de ces stimuli, à rapprocher de la composante cognitive du modèle neurocomportemental (Redouté *et al.*, 2000). De plus, ces processus doivent se dérouler de façon précoce dans la chaîne de traitement de l'information sexuelle.

Lobules pariétaux

Les lobules pariétaux sont d'autres régions cérébrales qui ont souvent été considérées comme activées en réponse à des stimuli de nature sexuelle (Fig. 1a).

Lobules pariétaux supérieurs

Dans une étude récente (Mouras *et al.*, 2003), une activation bilatérale des lobules pariétaux supérieurs est rapportée en réponse à des stimuli visuels sexuellement explicites. Cette activation est non seulement maintenue pendant toute la période de présentation des stimuli sexuels, mais elle est aussi présente lorsqu'on analyse uniquement le début de la présentation des stimuli sexuels, démontrant une activation précoce de ces structures en réponse à des stimuli sexuels.

Les lobules pariétaux supérieurs sont également activés dans d'autres études de neuroimagerie. Ils s'activent très précocement lors du traitement d'une information pertinente sur le plan émotionnel et affectif, par exemple en réponse à des visages de personnes aimées comparés à des visages de personnes non aimées (Pizzagalli *et al.*, 2002). Par ailleurs, un rôle important des lobules pariétaux supérieurs dans les processus attentionnels est également connu. Des études montrent des délais de catégorisation très courts (moins d'une seconde) des stimuli sexuellement explicites, allant donc dans le sens d'une activation rapide de processus cognitifs lors du traitement de l'information sexuelle.

Ces résultats tendent donc à montrer que les lobules pariétaux supérieurs interviennent de façon précoce dans des processus d'évaluation des stimuli sexuellement explicites.

Lobules pariétaux inférieurs

Les lobules pariétaux inférieurs semblent également impliqués dans le traitement de l'information sexuelle. Dans une récente étude (Stoléru *et al.*, 2003a), les réponses cérébrales à des stimuli sexuellement explicites sont comparées chez un groupe de sujets témoins et chez des patients présentant un désir sexuel hypoactif : une activation des lobules pariétaux inférieurs est observée chez les sujets témoins mais absente chez les patients. Par ailleurs, une activation de ces structures est souvent rapportée dans des études impliquant des tâches "dites d'imagerie motrice" dans lesquelles il est demandé aux sujets d'imaginer des mouvements (Decety *et al.*, 1994; Stephan *et al.*, 1995; Grafton *et al.*, 1996).

Ainsi, les lobules pariétaux inférieurs semblent être préférentiellement impliqués dans des mécanismes

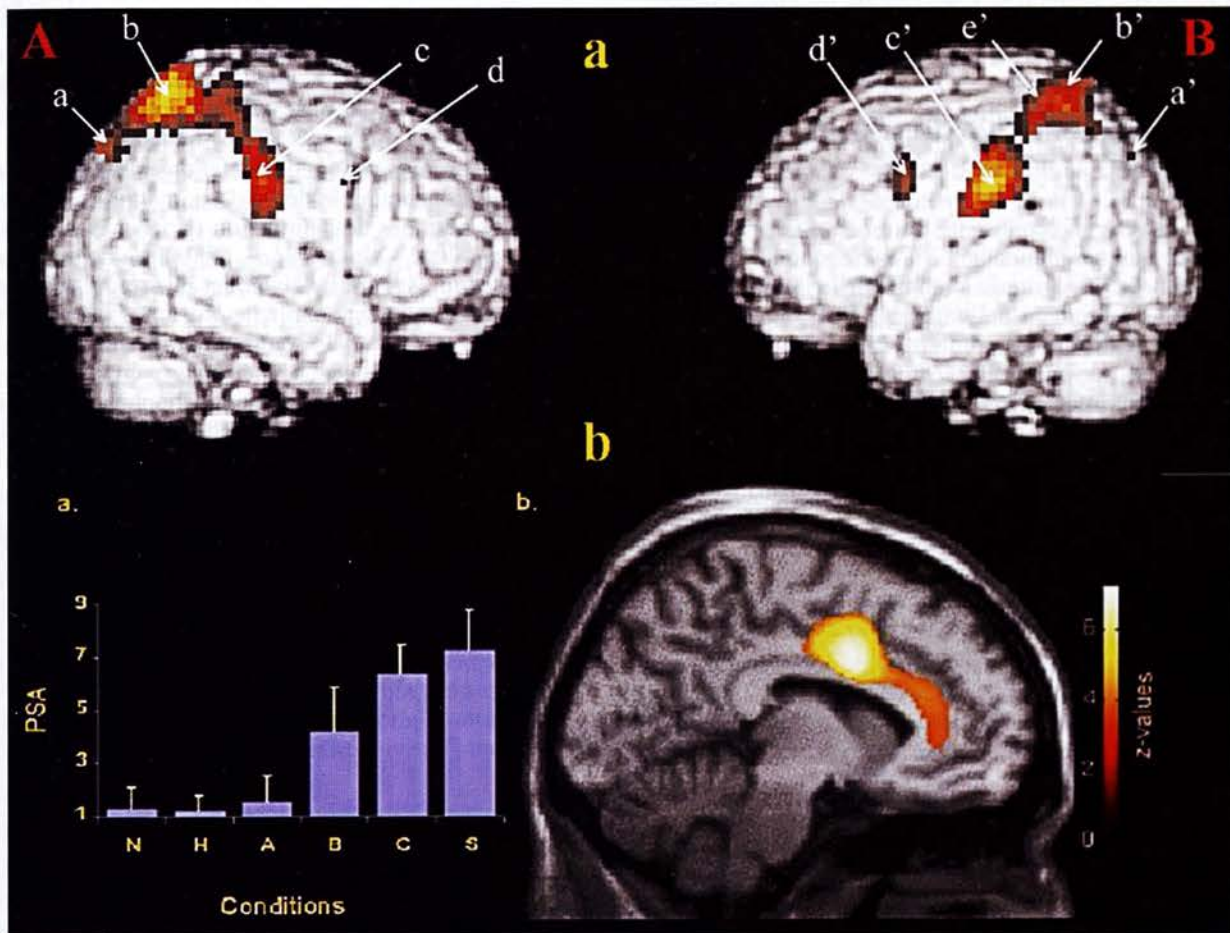


FIG. 1. – (a) Aires cérébrales activées plus fortement en réponse à des photographies de type sexuel qu'à des photographies neutres. Notes : (A) Partie droite du cerveau : a = sulcus pariéto-occipital ; b = lobule pariétal supérieur ; c = gyrus postcentral ; d = gyrus précentral ; (B) Partie gauche du cerveau : a' = sulcus intrapariétal ; b' = lobule pariétal supérieur ; c' = lobule pariétal inférieur ; d' = gyrus précentral ; e' = sulcus intrapariétal. Figure issue de Mouras *et al.*, *NeuroImage*, 20. Brain processing of visual sexual stimuli in healthy men: a functional magnetic resonance imaging study, pages 855-869; copyright (2003) avec la permission d'Elsevier.

(b) Activation du cortex cingulaire antérieur gauche corrélée avec le degré de Désir Sexuel Perçu (PSA) lors des différentes conditions expérimentales. Abréviations : N : clips neutres ; H : clips humoristiques ; S : clips sexuellement explicites ; A : photographies neutres ; B : photographies modérément excitantes ; C : photographies très excitantes. Figure issue de : Brain processing of visual sexual stimuli in human males, Redouté *et al.*, copyright © Wiley-Liss, Inc. Avec la permission de Wiley-Liss, Inc., une filiale de John and Sons, Inc.

d'imagerie motrice accompagnant la mise en place de l'excitation sexuelle.

COMPOSANTE ÉMOTIONNELLE DU MODÈLE

Cette composante du modèle neurocomportemental comprend préférentiellement les processus cérébraux en rapport avec le plaisir accompagnant la mise en place d'une excitation sexuelle. Des théories récentes, comme par exemple celle des « marqueurs somatiques » proposée par Antonio Damasio (Damasio, 1996), placent au centre des processus cérébraux impliqués dans les émotions la perception des variations physiologiques du corps au cours de la mise en place de cette émotion. Dans ce sens, il est fort probable que les régions impliquées dans la composante autonome du modèle neurocomportemental (abordée plus loin) interviennent aussi dans les processus émotionnels accompagnant la mise en place d'une excitation sexuelle.

COMPOSANTE MOTIVATIONNELLE DU MODÈLE

Cette troisième composante du modèle fait référence aux processus cérébraux liés à l'envie d'agir vers une cible ayant été catégorisée comme sexuellement explicite, et plus largement à l'ensemble des processus qui participent à diriger le comportement vers une cible sexuellement pertinente. Ces processus impliquent en particulier des mécanismes de préparation motrice se déclenchant face à une cible pertinente sur le plan sexuel.

Partie caudale du gyrus cingulaire antérieur

Le gyrus cingulaire est la partie du cortex qui repose directement sur le corps calleux. Sur le plan fonctionnel, il est possible de distinguer sa partie rostrale de sa partie caudale. La partie rostrale possède de nombreuses connexions avec des structures sous-corticales comme l'hypothalamus et l'amygdale et est préférentiellement liée aux systèmes endocrinien et autonome. Cette partie du gyrus cingulaire antérieur sera abordée dans le prochain paragraphe. La partie caudale est en connexion avec des aires corticales, et est plutôt liée à la modulation de processus attentionnels et exécutifs. Ainsi, pour la composante motivationnelle du modèle neurocomportemental, la partie caudale du gyrus cingulaire antérieur semble préférentiellement impliquée.

En TEP, une corrélation linéaire est observée entre le niveau d'activation de cette partie du gyrus cingulaire antérieur et l'intensité du désir sexuel perçu par les sujets dans les différentes conditions expérimentales (Redouté *et al.*, 2000 ; Fig. 1b). Par ailleurs, cette région possède, dans les fonctions motrices, un rôle similaire à celui des aires prémotrices et motrices supplémentaires (Dum, 1993) impliquées dans les phénomènes de préparation motrice.

Ces résultats plaident donc en faveur de l'implication préférentielle de cette partie du gyrus cingulaire antérieur dans des processus de préparation motrice accompagnant la mise en place de l'excitation sexuelle.

COMPOSANTE AUTONOME DU MODÈLE

Bien que la mise en place d'une excitation sexuelle s'accompagne de nombreuses variations physiologiques, nous souhaitons insister ici préférentiellement sur la réponse génitale qui se développe lors de cette excitation.

Chez l'animal, le rat par exemple, de nombreuses recherches ont permis d'approfondir les connaissances sur l'implication du cerveau dans la réponse érectile et en particulier dans son déclenchement (Rousseau *et al.*, 2003). De plus, ces résultats participent à la compréhension et à l'interprétation des résultats de neuroimagerie fonctionnelle chez l'Homme.

Un certain nombre d'études de neuroimagerie fonctionnelle ont étudié préférentiellement les aires cérébrales impliquées dans la réponse génitale intervenant lors de la mise en place d'une excitation sexuelle.

Dans certaines études, des cotations subjectives sont recueillies concernant le degré de l'érection ressentie au terme des périodes de stimulation (Bocher *et al.*, 2001 ; Park *et al.*, 2001 ; Mouras *et al.*, 2003) : le degré d'érection ressentie est significativement plus élevé lors de la condition sexuellement explicite que lors de la condition témoin. De tels résultats sont encourageants, puisqu'ils *i)* démontrent l'existence d'une réponse érectile dans un environnement de neuroimagerie fonctionnelle en réponse à des stimuli sexuellement explicites ; *ii)* montrent l'importance d'une mesure objective de l'excitation sexuelle, conjointement aux acquisitions cérébrales fonctionnelles. Une telle mesure est par exemple un enregistrement de la réponse génitale par pléthysmographie pénienne. Plusieurs études de neuroimagerie ont d'ores et déjà proposé une telle démarche, soit en TEP (Stoléru *et al.*, 1999 ; Redouté *et al.*, 2000), soit en IRMf (Arnou *et al.*, 2002). De telles mesures permettent des analyses de corrélation croisée entre l'activité cérébrale et la mesure physiologique. Nous n'aborderons ici que certaines aires cérébrales dont l'activité est apparue corrélée avec la réponse génitale.

Partie rostrale du gyrus cingulaire antérieur

Alors que la partie caudale du gyrus cingulaire antérieur est préférentiellement impliquée dans la composante motivationnelle du modèle, des résultats expérimentaux démontrent un rôle de sa partie rostrale (située juste au-dessus du genou du corps calleux) dans la composante autonome du modèle. Aussi bien en TEP (Redouté *et al.*, 2000) qu'en IRM fonctionnelle (Arnou *et al.*, 2002), une forte corrélation est rapportée entre la magnitude de la réponse pénienne mesurée par pléthysmographie et celle de l'activité de cette région en réponse à des stimuli visuels sexuels, surtout à gauche. Dans une étude récente

portant sur un échantillon de patients présentant un désir sexuel hypoactif (Stoléru *et al.*, 2003a), le coefficient de corrélation entre le flux sanguin cérébral régional dans cette région et la réponse érectile est significativement plus important dans le groupe de sujets témoins que dans le groupe de patients. Des expériences déjà anciennes, mais non reproduites à ce jour, montrent qu'une stimulation électrique de cette région produit des érections chez le singe (Dua & Maclean, 1964; Robinson & Mishkin, 1968). Des études de lésions et de stimulation démontrent l'implication de cette partie du gyrus cingulaire antérieur dans les réponses autonomes et l'expression des affects (Devinsky *et al.*, 1995).

L'ensemble de ces résultats permet de penser que la partie rostrale du gyrus cingulaire antérieur est préférentiellement impliquée dans le déclenchement et le contrôle de la réponse érectile.

Hypothalamus

Dans les différentes études d'imagerie sur les corrélats neuraux du désir sexuel actuellement disponibles dans la littérature, les analyses soustractives classiques ne démontrent que rarement des activations hypothalamiques en réponse à des stimuli sexuellement explicites. En revanche, certaines études ayant testé les corrélations entre activité cérébrale et réponse érectile mesurée par pléthysmographie au cours d'un temps donné rapportent de telles activations aussi bien en PET, au niveau de la partie postérieure de l'hypothalamus (Redouté *et al.*, 2000) qu'en IRM fonctionnelle (Arnou *et al.*, 2002). Une forte corrélation entre la tumescence pénienne et l'activation hypothalamique est présente chez un groupe de sujets témoins, mais absente

dans un groupe de patients présentant un désir sexuel hypoactif (Stoléru *et al.*, 2003a). Dans deux études récentes, les variations d'activations cérébrales en réponse à des stimuli sexuellement explicites ont été étudiées chez des sujets témoins et des patients souffrant de dysfonction érectile d'origine psychogène avant et après administration de placebo ou d'apomorphine, un agoniste dopaminergique présentant des propriétés pro-érectiles (Montorsi *et al.*, 2003) : en IRMf, une activation de l'hypothalamus postérieur est enregistrée en réponse à des stimuli sexuellement explicites chez les patients après administration d'apomorphine, alors qu'une telle activation n'est enregistrée ni chez les sujets témoins, ni chez les patients recevant un placebo. Enfin, chez un seul sujet et pour des niveaux de réponse pénienne très faibles, nous observons que l'activation hypothalamique corrélée avec la tumescence mesurée en pléthysmographie volumétrique précédait d'environ 30 secondes la réponse physiologique elle-même (Stoléru *et al.*, 2003b).

Ces résultats sont en accord avec de nombreuses données expérimentales obtenues chez l'animal démontrant l'implication forte de l'hypothalamus dans la réponse érectile : *i*) des stimulations électriques de l'hypothalamus chez le rat (Caggiula, 1970) ou chez le singe (Perachio *et al.*, 1979) induisent une érection ou un comportement copulatoire ; *ii*) chez le singe, la seule étude d'imagerie fonctionnelle actuellement disponible dans la littérature a montré des activations dans l'hypothalamus, en réponse à des odeurs de femelles en période d'ovulation (Ferris *et al.*, 2001). L'ensemble de ces résultats est donc en accord avec un rôle prépondérant de l'hypothalamus dans la réponse érectile s'établissant lors de l'excitation sexuelle.

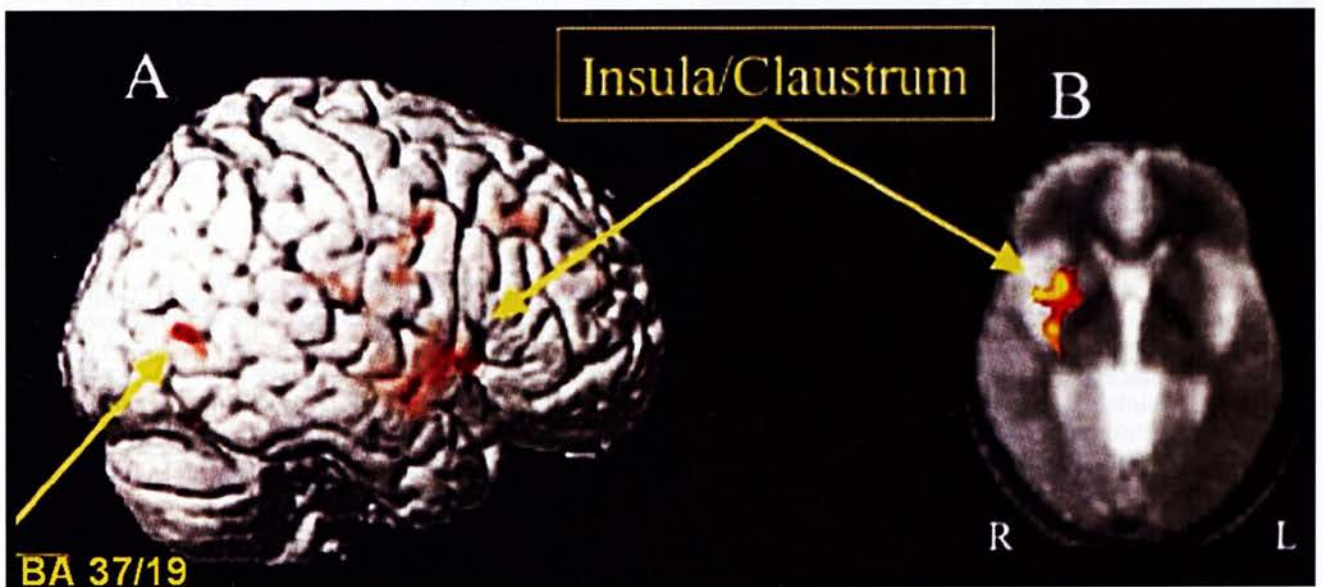


FIG. 2. – Activations cérébrales corrélées avec la réponse pénienne chez un groupe de 11 sujets masculins volontaires sains : (A) reconstruction de la surface cérébrale représentant la projection des activations sur l'hémisphère droit ; (B) coupe axiale montrant les activations droites de l'insula et du claustrum corrélées avec la réponse pénienne. Figure issue de Arnou *et al.*, 2002, Brain, brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males, pages 1014-1023, copyright (2003), avec la permission d'Oxford University Press.

Insula

Parmi les différentes études de neuroimagerie sur les corrélats neuraux du désir sexuel, des activations insulaires sont rapportées de façon relativement solide (Fig. 2). Dans une étude récente en IRMf, l'insula droite manifeste l'activation la plus importante parmi l'ensemble des régions cérébrales dont l'activité est corrélée avec la tumescence pénienne (Arnou *et al.*, 2002). Ce résultat est en accord avec des données expérimentales démontrant un implication de l'insula dans les processus cérébraux en relation avec l'information viscérale et somatosensorielle : *i*) en magnétoencéphalographie, une étude montre qu'une stimulation du nerf dorsal du pénis (innervant la majeure partie du pénis) induit une activation bilatérale des cortex somatosensoriels primaire et secondaire (Makela *et al.*, 2003), proches de l'insula et possédant de nombreuses connexions réciproques avec ces aires (voir par exemple Augustine *et al.*, 1996 pour revue); *ii*) des études de neuromorphologie utilisant des traceurs viraux trans-synaptiques montrent l'existence de voies neurales directes entre le cortex insulaire et les gonades (Gerendai *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2002); *iii*) enfin, dans une étude d'IRMf (Critchley *et al.*, 2004) pendant laquelle les sujets doivent détecter leur rythme cardiaque au cours d'une tâche, l'activation de l'insula droite prédit l'exactitude des sujets dans cette tâche de détection. De plus, le volume local de matière grise au niveau de l'insula est corrélé avec la précision des sujets dans la tâche et les cotations concernant la perception de leur état intéroceptif. À la suite de ces résultats très importants, les auteurs ont proposé une implication de l'insula antérieure droite dans la représentation des états viscéraux du corps, ce qui pourrait être le substrat de la prise de conscience des états corporels. Certaines théories actuelles, comme par exemple la théorie des marqueurs somatiques (Damasio, 1996), laissent penser que de tels processus de prise de conscience pourraient être à la base des mécanismes cérébraux impliqués dans les émotions.

Ainsi l'insula semble préférentiellement impliquée dans les mécanismes neuraux en rapport avec l'établissement d'une réponse érectile, mais aussi dans la représentation consciente de cette érection. À ce titre, les activations insulaires souvent rapportées dans les études des corrélats neuraux de l'excitation sexuelle sont à rapprocher non seulement de la composante autonome du modèle neurocomportemental abordée plus haut, mais aussi de la composante émotionnelle du modèle, dans laquelle des mécanismes de prise de conscience des variations physiologiques intervenant au cours de l'établissement de l'excitation sexuelle doivent participer à augmenter les émotions associées à l'accroissement de cette excitation.

Limitation des approches de pléthysmographie utilisées actuellement et perspectives

Dans l'ensemble des recherches comprenant une mesure de la pléthysmographie pénienne en parallèle des acquisitions cérébrales, les méthodes de pléthysmogra-

phie utilisées étaient des méthodes de type circonferentielle, prenant uniquement en compte les variations de circonférence du pénis. Dans une étude comparant la pléthysmographie circonferentielle et la pléthysmographie volumétrique, des variations inverses de circonférence et de volume sont parfois observées ("mirror-effect") lors de la phase précoce de la réponse génitale (Kuban *et al.*, 1999). De tels résultats montrent que la mesure volumétrique de la tumescence pénienne paraît : *i*) être plus sensible; *ii*) avoir une meilleure résolution temporelle que la simple pléthysmographie circonferentielle. Une telle mesure devrait permettre d'étudier de façon plus précoce et plus précise les aires cérébrales dont l'activité est corrélée avec la réponse autonome des sujets. La nécessité de l'utilisation d'une méthode de mesure ayant une très bonne résolution temporelle est renforcée par d'autres données montrant l'activation rapide de la composante autonome en réponse à des stimuli sexuellement explicites. Ainsi, en réponse à des stimuli sexuels auditifs, une dilatation pupillaire (indice de l'état d'excitation) est observée en moins de 5 secondes (Dabbs, 1997). Des études de stimulation des nerfs péniens montrent une réponse cérébrale non seulement dans le cortex somatosensoriel primaire mais aussi au niveau du cortex somatosensoriel secondaire entre 107 et 126 millisecondes après la stimulation (Makela *et al.*, 2003).

CONCLUSION

En conclusion, les données de neuroimagerie fonctionnelle sur les corrélats cérébraux du désir sexuel masculin montrent un nombre important d'aires impliquées dans le traitement de l'information de type sexuel. Les aires impliquées sont aussi bien des structures corticales que des structures sous-corticales. Il est donc important de montrer que ces activations reflètent des processus ayant plusieurs dimensions, tant sur le plan comportemental que sur le plan neural.

RÉFÉRENCES

- Aharon I., Etcoff N., Ariely D., Chabris C. F., O'Connor E. & Breiter H. C., Beautiful faces have variable reward value: fMRI and behavioral evidence. *Neuron*, 2001, 32, 537-551.
- Alcock J., Animal Behavior, 1997, Sunderland, MA, Sinauer Associates, Inc.
- Arnou B. A., Desmond J. E., Banner L. L., Glover G. H., Solomon A., Polan M. L., Lue T. F. & Atlas S. W., Brain activation and sexual arousal in healthy, heterosexual males. *Brain*, 2002, 125, 1014-1023.
- Augustine J. R., Circuitry and functional aspects of the insular lobe in primates including humans. *Brain Res. Brain Res. Rev.*, 1996, 22, 229-244.
- Bocher M., Chisin R., Parag Y., Freedman N., Meir Weil Y., Lester H., Mishani E. & Bonne O., Cerebral activation associated with sexual arousal in response to a pornographic clip: a 15O-H2O PET study in heterosexual men. *NeuroImage*, 2001, 14, 105-117.

- Caggiola A. R., Analysis of the copulation-reward properties of posterior hypothalamic stimulation in male rats. *J. Comp. Physiol. Psychol.*, 1970, 70, 399-412.
- Critchley H. D., Wiens S., Rotshtein P., Ohman A. & Dolan R. J., Neural systems supporting interoceptive awareness. *Nat. Neurosci.*, 2004, 7, 189-195.
- Dabbs J. M., Testosterone and pupillary response to auditory sexual stimuli. *Physiol. Behav.*, 1997, 62, 909-912.
- Damasio A. R., The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 1996, 351, 1413-1420.
- Decety J., Perani D., Jeannerod M., Bettinardi V., Tadary B., Woods R., Mazziotta J. C. & Fazio F., Mapping motor representations with positron emission tomography. *Nature*, 1994, 371, 600-602.
- Devinsky O., Morrell M. J. & Vogt B. A., Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain*, 1995, 118, 279-306.
- Dua S. & Maclean P. D., Localization for penile erection in medial frontal lobe. *Am. J. Physiol.*, 1964, 207, 1425-1434.
- Dum R. P., Cingulate motor areas, 1993, In: *Neurobiology of the cingulate cortex and limbic thalamus*, Boston, Birkhäuser, pp. 415-441.
- Ferris C. F., Snowden C. T., King J. A., Duong T. Q., Ziegler T. E., Ugrubil K., Ludwig R., Schultz-Darken N. J., Wu Z., Olson D. P., Sullivan Jr J. M., Tannenbaum P. L. & Vaughan J. T., Functional imaging of brain activity in conscious monkeys responding to sexually arousing cues. *Neuroreport*, 2001, 12, 2231-2236.
- Gerendai I., Toth I. E., Boldogkoi Z., Medveczky I. & Halasz B., Central nervous system structures labelled from the testis using the transsynaptic viral tracing technique. *J. Neuroendocrinol.*, 2000, 12, 1087-1095.
- Grafton S. T., Arbib M. A., Fadiga L., Rizzolatti G., Decety J., Perani D., Jeannerod M., Bettinardi V., Tadary B., Woods R., Mazziotta J. C., Fazio F., Stephan K. M., Fink G. R., Passingham R. E., Silbersweig D., Ceballos-Baumann A. O., Frith C. D. & Frackowiak R. S., Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Exp. Brain Res.*, 1996, 112, 103-111.
- Kuban M., Barbaree H. E. & Blanchard R., A comparison of volume and circumference phallometry: response magnitude and method agreement. *Arch. Sex. Behav.*, 1999, 28, 345-359.
- Lee S., Miselis R. & Rivier C., Anatomical and functional evidence for a neural hypothalamic-testicular pathway that is independent of the pituitary. *Endocrinology*, 2002, 143, 4447-4454.
- Makela J. P., Illman M., Jousmaki V., Numminen J., Lehecka M., Salenius S., Forss N. & Hari R., Dorsal penile nerve stimulation elicits left-hemisphere dominant activation in the second somatosensory cortex. *Hum. Brain Mapp.*, 2003, 18, 90-99.
- McKenna K., The brain is the master organ in sexual function: central nervous system control of male and female sexual function. *Int. J. Impot. Res.*, 1999, 11 Suppl. 1, S48-S55.
- Montorsi F., Perani D., Anchisi D., Salonia A., Scifo P., Rigiroli P., Deho F., De Vito M. L., Heaton J., Rigatti P. & Fazio F., Brain activation patterns during video sexual stimulation following the administration of apomorphine: results of a placebo-controlled study. *Eur. Urol.*, 2003, 43, 405-411.
- Mouras H., Stoléro S., Bittoun J., Glutron D., Péligrini-Issac M., Paradis A. L. & Burnod Y., Brain processing of visual sexual stimuli in healthy men: a functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, 2003, 20, 855-869.
- O'Doherty J., Winston J., Critchley H., Perrett D., Burt D. M., Dolan R. J., Aharon I., Etcoff N., Ariely D., Chabris C. F., O'Connor E. & Breiter H. C., Beauty in a smile: the role of medial orbitofrontal cortex in facial attractiveness. *Neuropsychologia*, 2003, 41, 147-155.
- Park K., Seo J. J., Kang H. K., Ryu S. B., Kim H. J. & Jeong G. W., A new potential of blood oxygenation level dependent (BOLD) functional MRI for evaluating cerebral centers of penile erection. *Int. J. Impot. Res.*, 2001, 13, 73-81.
- Perachio A. A., Marr L. D. & Alexander M., Sexual behavior in male rhesus monkeys elicited by electrical stimulation of preoptic and hypothalamic areas. *Brain Res.*, 1979, 177, 127-144.
- Phan K. L., Wager T., Taylor S. F. & Liberzon I., Functional neuroanatomy of emotion: a meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, 2002, 16, 331-348.
- Pizzagalli D. A., Lehmann D., Hendrick A. M., Regard M., Pascual-Marqui R. D. & Davidson R. J., Affective judgments of faces modulate early activity (approximately 160 ms) within the fusiform gyri. *NeuroImage*, 2002, 16, 663-677.
- Redouté J., Stoléro S., Gregoire M. C., Costes N., Cinotti L., Lavenne F., Le Bars D., Forest M. G. & Pujol J. F., Brain processing of visual sexual stimuli in human males. *Hum. Brain Mapp.*, 2000, 11, 162-177.
- Robinson B. W. & Mishkin M., Penile erection evoked from fore-brain structures in Macaca mulatta. *Arch. Neurol.*, 1968, 19, 184-198.
- Rolls E. T., *The brain and emotion*, 1999, New York, Oxford University Press.
- Rousseau J. P., Rampin O. & Giuliano F., Central nervous control of erection. *Bull. Acad. Natl. Med.*, 2003, 187, 417-428, discussion 428-429.
- Stephan K. M., Fink G. R., Passingham R. E., Silbersweig D., Ceballos-Baumann A. O., Frith C. D. & Frackowiak R. S., Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *J. Neurophysiol.*, 1995, 73, 373-386.
- Stoléro S., Gregoire M. C., Gerard D., Decety J., Lafarge E., Cinotti L., Lavenne F., Le Bars D., Vernet-Maury E., Rada H., Collet C., Mazoyer B., Forest M. G., Magnin F., Spira A. & Comar D., Neuroanatomical correlates of visually evoked sexual arousal in human males. *Arch. Sex. Behav.*, 1999, 28, 1-21.
- Stoléro S., Redouté J., Costes N., Lavenne F., Bars D. L., Dechaud H., Forest M. G., Pugeat M., Cinotti L. & Pujol J. F., Brain processing of visual sexual stimuli in men with hypoactive sexual desire disorder. *Psychiatry Res.*, 2003a, 124, 67-86.
- Stoléro S., Mouras H., Rouxel R., Péligrini-Issac M., Grandjean B., Glutron D., Bittoun J. & Burnod Y., Neuroanatomical correlates of penile tumescence recorded through volumetric phallometry in an fMRI environment [abstract]. Communication présentée à la 9^{ème} Conférence Internationale sur la Cartographie Fonctionnelle du Cerveau Humain, 19-22 Juin 2003, New York, NY. Disponible sur CD-Rom in *NeuroImage*, 2003b, Vol. 19, No. 2.