

## **LES LOBES FRONTAUX ET LE CONTRÔLE COGNITIF**

François RICHER<sup>1</sup>

*Centre Hospitalier de l'Université de Montréal  
Université du Québec à Montréal*

Claudine BOULET

*Centre Hospitalier de l'Université de Montréal  
Université du Québec à Montréal*

### **Résumé**

Les dysfonctionnements des régions frontales du cerveau donnent lieu à des troubles de contrôle cognitif qui affectent la planification des actions, l'attention perceptive, et l'évocation mnésique. Ces troubles sont aussi observés chez la majorité des personnes atteintes de psychopathologies ou de troubles neurologiques centraux. Les troubles de contrôle cognitif affectent spécialement les tâches difficiles, peu pratiquées ou comportant une interférence. Les erreurs commises par les personnes atteintes (ex: persévérations, substitutions, capture) indiquent que des processus compétitifs sont en jeu. Des données récentes suggèrent que le cortex frontal interagit avec d'autres régions de façon à biaiser ces processus compétitifs en faveur des buts visés. Le contrôle cognitif dépend probablement d'une consolidation interactive d'activité dans des circuits fronto-postérieurs. Les perturbations de cette consolidation par l'interférence expliquent plusieurs aspects des troubles de contrôle cognitif.

---

Mots clés : Attention, fonctions exécutives, planification des actions, mémoire de travail, rappel mnésique, sélection des réponses, striatum, cortex

---

---

1. Correspondance : F. Richer, Centre de neuroscience de la cognition, Université du Québec à Montréal, C. P. 8888, Montréal (QC), H3C 3P8.  
Courriel : richier.francois@uqam.ca

## INTRODUCTION

Les lobes frontaux sont une des régions les moins connues du cerveau. Cette région a été associée aux fonctions les plus nobles, comme l'intention et la conscience. Elle a aussi été associée à plusieurs psychopathologies. Les dommages aux régions frontales peuvent affecter des fonctions aussi diverses que le mouvement, la cognition et la personnalité. Cette grande diversité est liée au fait que le cortex frontal entretient des liens étroits avec les systèmes limbique, moteur et sensoriel et contribue à leur régulation.

Les symptômes cognitifs les plus caractéristiques des lésions du cortex frontal sont les déficits de contrôle cognitif (aussi appelé contrôle exécutif) (Luria, 1966; Stuss et Benson, 1986; Passingham, 1993; Fuster, 1997). Ces symptômes affectent la sélection des représentations mentales. Des problèmes de sélection des réponses produisent des troubles de décision et de planification des actions. Les personnes atteintes sont souvent hésitantes et désorganisées. De plus, des problèmes de sélection des perceptions produisent des troubles d'attention, qui rendent les personnes distraites et négligentes. Troisièmement, des problèmes de sélection des informations en mémoire produisent des troubles de récupération mnésique qui rendent les personnes susceptibles aux oublis.

Les troubles de contrôle cognitif sont les symptômes cognitifs les plus fréquents. Ils sont observés après des dommages aux régions frontales et sous-corticales (traumatisme crânien, démence fronto-temporale, Huntington, Parkinson) et dans les troubles neurologiques diffus (Alzheimer, HIV, traumatisme crânien, méningite, hydrocéphalie). Ils accompagnent aussi de nombreuses psychopathologies comme la dépression, l'obsession-compulsion et la schizophrénie et peuvent aussi être présents dans des affections communes comme l'alcoolisme et la toxicomanie, les troubles anxieux ou les troubles d'attention et de comportement chez l'enfant. Même le vieillissement normal peut donner lieu à des troubles de contrôle cognitif. Les troubles du contrôle cognitif affectent toutes les sphères d'activité de l'alimentation à la gestion des finances personnelles. Ils ont donc un impact majeur sur la qualité de vie et sur l'autonomie dans les activités quotidiennes.

Notre compréhension des problèmes de contrôle cognitif est encore peu développée. Ils ont été décrits comme des problèmes d'attention, des problèmes de mémoire de travail, ou des problèmes de planification, mais aucune de ces appellations ne rend compte de leur variété. Ils peuvent être observés dans un grand nombre d'activités, de la perception à la motricité, en passant par le calcul mental, le langage, la cognition spatiale et la mémoire. Cette hétérogénéité est liée au fait que le cortex frontal est impliqué dans des processus généraux qui influencent de nombreuses

fonctions. Les troubles de contrôle cognitif affectent plusieurs fonctions à la fois, non pas par une perte fonctionnelle de base, mais par une mauvaise régulation des processus cognitifs.

Les déficits de contrôle cognitif affectent la régulation des processus cognitifs en fonction des buts (Shallice, 1988). De nombreux processus cognitifs peuvent être considérés comme volontaires, dans un sens général. Cependant, seulement certains processus sont directement et systématiquement contrôlés par un but, en opposition aux processus automatisés qui fonctionnent essentiellement sur la base d'associations apprises. Les buts sont transformés dans le cerveau en signaux de contrôle qui modulent les processus cognitifs. Les processus de contrôle cognitif déterminent la vitesse, la progression et l'issue des processus tels que la sélection des réponses, la sélection perceptuelle et la sélection d'informations apprises pendant l'évocation mnésique. En raison de cette fonction régulatrice, les déficits de contrôle cognitif ont un impact important sur la plupart des activités. Ils affectent les points de décision dans la planification des actions. Ils peuvent perturber les épisodes d'attention causant des oublis quotidiens (effets personnels, listes, chiffres, instructions, événements). Ils affectent aussi les communications (manques du mot, perte du fil de la conversation, perte de fluence) ainsi que l'adaptation aux nouvelles situations.

## **LE CONTRÔLE COGNITIF EST SENSIBLE AUX PARAMÈTRES DES TÂCHES**

Les symptômes de contrôle cognitif sont plus apparents dans certaines conditions. On les observe fréquemment dans les **tâches nouvelles ou ambiguës** qui ne peuvent être résolues par des associations apprises. Par exemple, les difficultés de contrôle cognitif sont plus apparentes dans des combinaisons nouvelles de mouvements (ex : la série gestuelle Poing-Paume-Tranche de Luria) que dans des séquences gestuelles familières (ex: signer son nom) et plus apparentes face à des problèmes nouveaux qu'à des problèmes pratiqués.

Les troubles de contrôle cognitif apparaissent aussi quand la tâche comporte une **interférence** entre des stimuli ou des réponses compétitrices. Ceci est bien illustré dans les tâches d'attention comme la tâche Stroop où des noms de couleur sont écrits d'une couleur différente de celle indiquée par le mot (ex : Le mot 'Rouge' écrit en bleu). La compétition entre la réponse lue et la réponse de la couleur du mot dans cette tâche affecte particulièrement les patients présentant des désordres frontaux (Richer *et al.*, 1993).

Les symptômes de contrôle cognitif sont aussi sensibles aux **exigences cognitives** des tâches (précision, limites de temps, difficulté de

traitement). Par exemple, les choix de réponses seront affectés s'ils doivent être effectués rapidement et selon une règle décisionnelle complexe ou arbitraire. Dans des conditions plus pratiquées ou moins exigeantes, la performance dépend moins des mécanismes de contrôle cognitif et s'appuie davantage sur des processus de contrôle automatisés dans lesquels les associations apprises facilitent la sélection. Il est souvent dit que les symptômes de contrôle cognitif sont liés à la difficulté cognitive de la tâche ou à l'effort cognitif à fournir. Toutefois, ces termes généraux sont insuffisants pour expliquer les mécanismes à l'origine des troubles de contrôle cognitif.

### **LA MAJORITÉ DES TÂCHES CONTIENNENT DES ÉPISODES DE CONTRÔLE COGNITIF**

Si on considère une tâche demandant d'identifier le dernier nombre dans les deux séries suivantes : (52-53- ?) et (70-62- ?). Les stimuli sont similaires, la réponse est identique mais, pour la majorité des gens, la deuxième série requiert un épisode cognitif plus élaboré. Cet épisode cognitif comporte l'activation et l'intégration de plusieurs types d'information tels que la règle principale (moins 8) ainsi que des informations apprises (ex :  $12 - 8 = 4$ ). Il implique aussi le maintien du premier chiffre de la réponse correcte (5), l'inhibition de l'interférence des réponses compétitrices (ex : 58) et peut-être la vérification de la réponse ( $54 + 8 = 62$ ).

La plupart des tâches comportent de multiples épisodes de contrôle cognitif alternant avec des processus automatiques durant différentes phases de la tâche. Les épisodes de contrôle cognitif sont nécessaires quand il faut intégrer plusieurs types d'information liée au but pour prendre une décision. Selon la tâche examinée, les épisodes de contrôle cognitif sont parfois appelés épisodes de décision intentionnelle, épisodes attentionnels ou épisodes de récupération mnésique.

Même lorsqu'une action est simple ou hautement pratiquée (ex : manger un repas), les processus de contrôle cognitif peuvent être nécessaires durant de brefs intervalles, comme avant l'initiation d'une action, à certains points décisionnels critiques ou à des moments plus exigeants au cours desquels les habitudes ou indices associatifs ne peuvent spécifier la réponse. Étant donné que les déficits de contrôle cognitif affectent seulement de petits intervalles au sein de tâches prolongées, la sensibilité des tâches aux troubles de contrôle cognitif peut varier considérablement selon l'impact de ces intervalles critiques sur la performance. Par exemple, les tâches requérant de changer d'une règle à une autre à certains moments sont plus sensibles aux déficits de contrôle cognitif que les tâches à règle unique car les changements de règle

requièrent plus de contrôle cognitif (Lawrence, Sahakian, Hodges et al. 1996; Lawrence, Sahakian, Rogers, Hodges et Robbins, 1999).

## **LES ERREURS DE CONTRÔLE COGNITIF SONT LE REFLET DE PROCESSUS COMPÉTITIFS**

Les déficits de contrôle cognitif s'expriment souvent par des erreurs telle la sélection incorrecte d'une réponse alternative. La sélection d'une réponse est particulièrement atteinte lorsqu'il y a compétition entre plusieurs réponses ou lorsque les indices de sélection sont faibles comme dans les réponses évoquées de mémoire (Petrides, 1985; Passingham, 1993; Decary et Richer, 1995; Fuster, 1997). La réponse correcte est souvent remplacée par une autre réponse potentielle bien apprise, qui donne une **erreur de capture** (ex: continuer chez soi au lieu d'arrêter au magasin comme prévu), ou bien, par une réponse récente, ce qui donne une erreur de persévération. Les erreurs peuvent aussi être des réponses qui pourraient normalement suivre la réponse correcte telles les **erreurs d'inversion séquentielle** qui sont fréquentes dans les séquences motrices rapides ou dans le langage (ex: dire 'sauge' au lieu de 'chose'). Les réponses incorrectes peuvent aussi simplement partager certaines caractéristiques avec la réponse correcte comme l'emplacement général qui donne lieu à des **erreurs de substitution d'objet** (ex: jeter le bonbon au lieu du papier qui le recouvrait). Bref, il apparaît que le contrôle cognitif influence la compétition entre les réponses.

## **UN MODÈLE DU CONTRÔLE COGNITIF**

Les symptômes de contrôle cognitif demeurent mal compris. Ils sont souvent décrits par une liste de symptômes ou selon des fonctions générales, par exemple des difficultés de planification ou de mémoire à court terme. Plusieurs hypothèses générales ont été proposées pour expliquer les fonctions cognitives frontales. Certaines de ces hypothèses ont mis l'emphase sur la capacité des circuits frontaux à maintenir une information en mémoire à court terme (Goldman-Rakic, 1987). D'autres auteurs ont mis en lumière les fonctions de supervision des lobes frontaux (Shallice, 1988) ou encore leur fonction de régulation de l'apprentissage associatif (Petrides, 1985). Toutefois, de nombreuses régions du cerveau ont une capacité de mémoire à court terme et les lésions frontales ne produisent pas un problème de maintien de l'information à court-terme mais plutôt des problèmes d'utilisation de cette information de manière intentionnelle. De plus, plusieurs régions sont impliquées dans l'apprentissage associatif. Les systèmes frontaux sont uniques par leur contribution dominante aux fonctions de contrôle cognitif. Ces fonctions sont certainement dépendantes de l'activation de représentations à court-terme et elles peuvent être utiles dans de nombreuses situations

d'apprentissage, mais leur rôle principal est la régulation des processus cognitifs contrôlés par les buts.

Des modèles plus spécifiquement adaptés aux fonctions de contrôle cognitif des circuits frontaux ont proposés que le cortex frontal est impliqué dans des mécanismes généraux tels que l'intégration temporelle entre des processus sensoriel et moteur (Fuster, 1997) ou la sélection intentionnelle des réponses (Passingham, 1993).

Des travaux récents suggèrent que deux propriétés des systèmes frontaux sont particulièrement importantes pour comprendre les symptômes de contrôle cognitif: 1) le cortex frontal module l'activité des autres régions du cortex selon les priorités, 2) cette modulation produit une consolidation progressive de l'activité dans des boucles récurrentes entre le cortex frontal et les autres régions qui sous-tend les épisodes de contrôle cognitif.

1) Les systèmes frontaux interagissent avec les autres systèmes cérébraux afin de biaiser certains processus cognitifs en fonction des buts à atteindre (Schultz et Dickinson, 2000). Par exemple, les systèmes sensoriels des cortex postérieurs montrent une activité compétitrice durant la cognition et les signaux frontaux orientent ces activités en fonction des stimuli recherchés. Par exemple, dans les tâches d'attention les signaux frontaux peuvent aider à sélectionner les perceptions selon des représentations de stimuli-cibles. Des mécanismes similaires peuvent aussi aider à sélectionner les réponses en fonction de leur pertinence par rapport aux consignes de la tâche. Une fonction majeure du contrôle cognitif serait donc le contrôle de la compétition entre différentes possibilités dans la sélection perceptuelle, la sélection de réponses et la récupération d'informations en mémoire.

2) Les épisodes de contrôle cognitif comportent une consolidation progressive des informations qui ont un lien avec le but. Les circuits qui relient les systèmes frontaux et d'autres régions cérébrales intègrent de multiples sources d'information sur la base de leur pertinence par rapport au but. Cette activité d'intégration circule à travers les circuits et se développe graduellement vers une représentation finale (ex: la réponse sélectionnée). Le temps de consolidation peut être affecté par le taux d'accumulation des informations pertinentes ainsi que par les effets d'interférence des stimuli ou réponses compétitrices.

Le mécanisme de consolidation peut expliquer plusieurs propriétés des problèmes de contrôle cognitif, incluant la sensibilité à des facteurs comme la nouveauté, l'interférence, les exigences de la tâche et les limites de temps. Durant la consolidation cognitive, l'information relative au but est accumulée dans des réseaux neuronaux durant de brefs intervalles. Les erreurs surviennent parce que les épisodes de contrôle cognitif sont sujets

à l'interférence durant la consolidation. La nouveauté et la difficulté de la tâche pourraient affecter la consolidation en réduisant la quantité d'informations apprises pertinentes à la tâche. La performance dépend alors plus fortement des épisodes de contrôle cognitif. Finalement, les limites de temps d'une tâche augmentent les probabilités de consolidation incorrecte et peuvent donc augmenter le nombre d'erreurs.

## **LE RALENTISSEMENT ET LA VARIABILITÉ DE LA PERFORMANCE REFLÈTENT DES PROBLÈMES DE CONSOLIDATION**

Le ralentissement de la performance est un des symptômes majeurs des désordres frontaux et striataux. Les patients sont lents à l'initiation et parfois durant l'exécution des mouvements (Brown et Marsden, 1988; Bhatia et Marsden, 1994; Lepage et al., 1999). Les tâches plus complexes exacerbent ce ralentissement, suggérant qu'il est partiellement lié à la complexité des processus cognitifs impliqués. Les problèmes de contrôle cognitif amènent aussi une grande variabilité dans la vitesse de performance, les réponses rapides normales alternant avec des réponses très lentes (Jahanshahi, Brown et Marsden, 1993; Richer et Boulet, 1999). Cette variabilité indique que les épisodes de sélection de réponses peuvent se consolider adéquatement mais que leur consolidation est sujette à des fluctuations.

Il faut plus plus ou moins de temps pour consolider un épisode de contrôle cognitif selon la difficulté à accéder aux informations pertinentes et selon le niveau d'interférence présent. Des données récentes suggèrent que les variations dans la rapidité des réponses dans les choix rapides sont liées au taux d'augmentation de l'activité des cellules du cortex frontal durant la préparation de la réponse (Hanes et Schall, 1996). Il est possible que les désordres frontaux diminuent le taux de consolidation des choix de réponse en les rendant plus sensibles à des variables telles que l'interférence, la complexité ou la nouveauté.

Les problèmes de contrôle cognitif peuvent aussi affecter le contrôle temporel des réponses durant la préparation de réponses simples ou rythmiques (Halsband, Ito, Tanji et Freund, 1993; Richer et Boulet, 1999). La variabilité temporelle dans l'initiation des réponses peut être réduite par des indices temporels tel un décompte (Richer et Boulet, 1999), ce qui suggère que des stimuli peuvent contrôler la préparation motrice et compenser pour la variabilité dans le contrôle temporel de la réponse.

## **LES PROBLÈMES DANS LES SÉQUENCES DE MOUVEMENTS REFLÈTENT UNE SENSIBILITÉ À L'INTERFÉRENCE**

Il est reconnu depuis longtemps que les désordres frontaux affectent les réponses sérielles (Luria, 1966; Benecke, Rothwell, Dick, Day et

Marsden, 1987; Passingham, 1993). Ces déficits ont été observés dans des problèmes complexes ou des labyrinthes, mais aussi dans de courtes séquences de mouvements (Shallice, 1982; Canavan *et al.*, 1989; Owen, Downes, Sahakian, Polkey et Robbins, 1990; Glosser et Goodglass, 1990; Karnath et Wallesch, 1992). Les séquences de réponses requièrent la sélection rapide de plusieurs réponses adjacentes. Dans ces situations, les processus de contrôle cognitif sont nécessaires pour assurer un performance fluide et prévenir l'interférence entre les différentes réponses. L'activité neuronale et l'imagerie fonctionnelle indiquent que les structures fronto-striatales jouent un rôle majeur dans la préparation et l'exécution des séquences de mouvement (Barone et Joseph, 1989; Mushiake, Inase et Tanji, 1991; Passingham, 1993; D'Esposito *et al.*, 1995; Bunge, Klingberg, Jacobsen et Gabrieli, 2000; Adcock, Constable, Gore et Goldman-Rakic, 2000; Fink, Dolan, Halligan, Marshall et Frith, 1997).

Les patients ayant un désordre frontal ou striatal montrent des erreurs dans la performance de séquences d'actions, particulièrement lorsque la vitesse de réponse est augmentée (Jahanshahi *et al.*, 1993; Bradshaw *et al.*, 1992; Lepage et Richer, 1996; 2000; Bloxham, Mindel et Frith, 1984; Willingham, Koroshetz, Treadwell et Bennett, 1995; Georgiou, Bradshaw, Phillips, Chiu et Bradshaw, 1995; Richer, Bédard, Lepage et Chouinard, 1998). Les décisions sont donc sujettes à l'interférence des décisions adjacentes. Ceci suggère que les épisodes de sélection des réponses adjacentes interfèrent entre eux et que cette interférence est exacerbée chez les patients.

## **LES TROUBLES DE CONTRÔLE COGNITIF PEUVENT AFFECTER LA PERCEPTION**

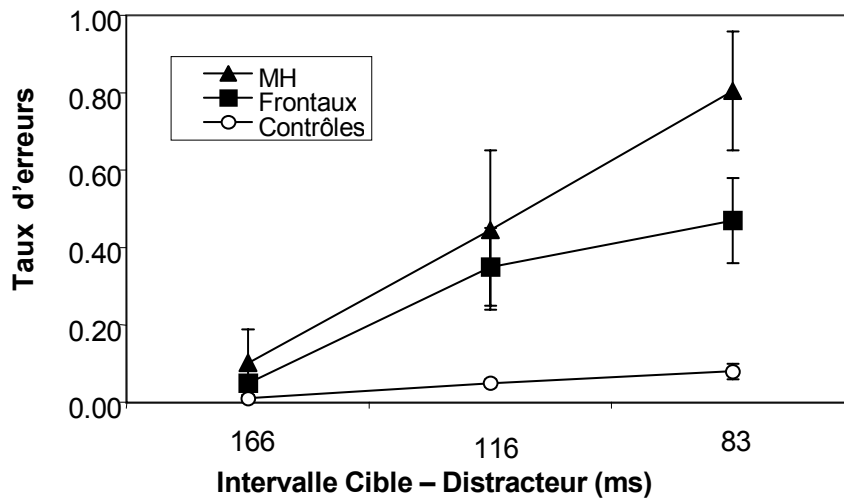
La perception est souvent une affaire de catégorisation. Les catégorisations ou décisions perceptuelles sont souvent effectuées dans des contextes ambigus ou comportant des distracteurs et requièrent un contrôle cognitif (un épisode d'attention).

Les désordres frontaux et striataux peuvent produire des déficits significatifs dans les tâches d'attention perceptuelle. Ils affectent le repérage de stimuli-cibles parmi des distracteurs (Brouwers, Cox, Martin, Chase et Fedio, 1984; Brown et Marsden, 1988; 1991; Sharpe, 1990; Richer, Decary, Lapierre, Rouleau, Bouvier et Saint-Hilaire, 1993). Ils affectent également la catégorisation perceptuelle dans des contextes d'interférence. Par exemple, dans une tâche où un stimulus-cible doit être identifié parmi une séquence rapide de stimuli, les patients ayant un dommage frontal ou striatal font plus d'erreurs que des sujets contrôles lorsqu'un distracteur suit de près la cible (voir Figure 1) (Richer et Lepage, 1996; Richer *et al.*, 2002). Un distracteur qui suit de près une cible produit un effet de masquage, une brève compétition perceptuelle qui affecte la

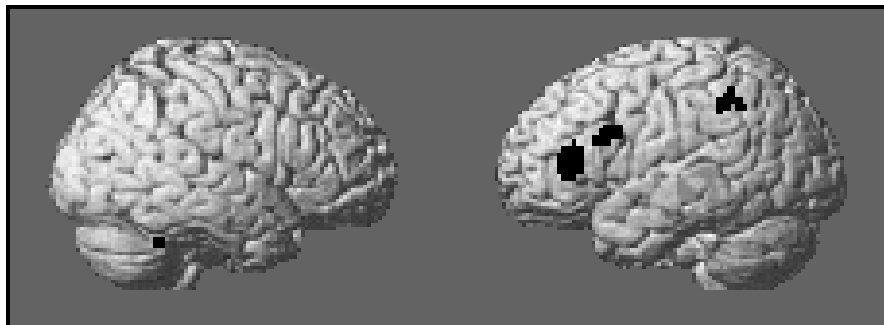
perception de la cible et augmente la probabilité de voir le distracteur plutôt que la cible (Di Lollo, Enns et Rensick, 2000; Raymond, Shapiro et Arnell, 1992). Cette compétition est résolue par une réponse attentionnelle qui biaise les processus perceptifs en faveur de la cible. Les désordres frontaux augmentent la période durant laquelle les épisodes de catégorisation perceptuelle peuvent être perturbés.

Le rôle des lobes frontaux dans l'attention perceptuelle commence à être mieux connus. On sait que les circuits frontaux interagissent avec les cortex sensoriels de façon à réguler leur activité selon les buts perceptifs du moment (ex: repérer les oiseaux dans un arbre) (Fuster, Bauer et Jervey, 1985; Colby et Goldberg, 1999; Hopfinger, Buonocore et Mangun, 2000; Miller et Cohen, 2001; Kastner et Ungerleider, 2000). Une activité frontale est observée durant la sélection de stimuli-cibles parmi des distracteurs et durant la catégorisation des stimuli (Kastner et Ungerleider, 2000; Reynolds, Chelazzi et Desimone, 1999; Rainer, Assad et Miller, 1998; Kim et Shadlen, 1999; Thompson et Schall, 1999).

L'imagerie cérébrale fonctionnelle durant les tâches de décision perceptuelle montre que les circuits frontaux sont impliqués (Richer *et al.*, soumis). Lorsque les sujets tentent d'identifier les cibles parmi une séquence rapide, l'interférence des distracteurs augmente l'activation dans les régions corticales frontale et pariétale (voir Figure 1). Les processus de contrôle cognitif nécessaires aux décisions perceptuelles sous interférence pourraient dépendre de l'interaction entre ces régions. Ces données appuient l'hypothèse que les épisodes de contrôle cognitif comportent une période de consolidation des interactions entre le lobe frontal et d'autres régions cérébrales.



(A)



(B)

Figure 1. A) Identification d'une lettre cible dans une séquence rapide lorsque la cible et le distracteur suivant sont séparés de 83 ms, 116 ms, ou 166 ms. (MH : maladie de Huntington)  
 B) Activation cérébrale fonctionnelle (IRMf) des circuits fronto-pariétaux associés à l'identification d'un stimulus cible lorsqu'il est suivi d'un distracteur après 83 ms.

## LES TROUBLES DE CONTRÔLE COGNITIF PEUVENT AFFECTER L'APPRENTISSAGE

L'apprentissage sensorimoteur est associé à des changements dans les processus de contrôle de la performance. Dans les phases initiales, des processus de contrôle cognitifs sont nécessaires pour planifier les réponses car il y a peu d'associations automatiques établies. Avec la pratique, des liens associatifs appropriés ou des programmes moteurs se développent et le contrôle des mouvements passe d'épisodes fréquents de contrôle cognitif à un degré croissant de contrôle automatique ou prédictif (Schmidt, 1982). Les systèmes fronto-striataux montrent des changements

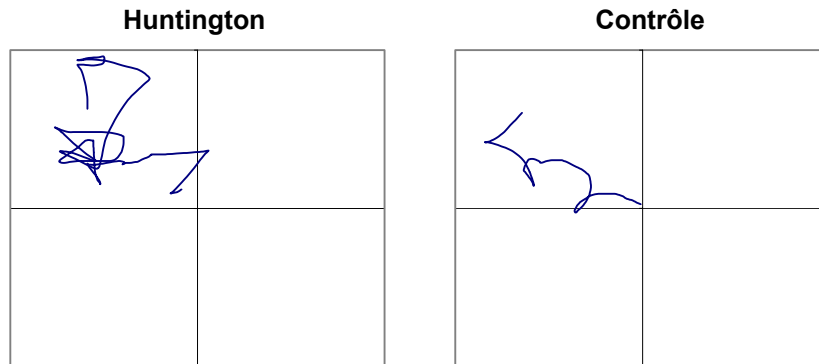
d'activité liés à l'apprentissage sensorimoteur (Shadmehr et Holcomb, 1997; Petersen, vanMier, Fiez et Raichle, 1998). Toutefois, il n'est pas clair à quel point ces changements d'activité reflètent des changements dans le degré de contrôle cognitif dans les mouvements au cours de l'apprentissage ou d'autres aspects de l'apprentissage.

Les déficits de contrôle cognitif peuvent affecter les mouvements peu pratiqués. Par exemple, les patients avec des dommages frontaux ou striataux montrent une mauvaise performance initiale dans les tâches d'apprentissage sensorimoteur. Dans les mouvements inversés en miroir, les patients montrent des problèmes significatifs de contrôle de la trajectoire (voir Figure 2) (Boulet *et al.*, soumis; Richer, Chouinard et Rouleau, 1999). Dans les tâches de poursuite visuo-motrice, les patients nécessitent des vitesses plus lentes pour maintenir un niveau de précision normal (Willingham, Koroshetz et Peterson, 1996). Ainsi, les désordres frontaux et striataux affectent le contrôle cognitif des mouvements peu pratiqués. Les processus de contrôle cognitif peuvent être recrutés durant le mouvement en raison d'un manque de programmes appris.

Plusieurs études ont suggéré que les désordres frontaux et striataux produisent des problèmes dans l'apprentissage de règles d'association stimulus-réponse arbitraires (Petrides, 1985; Maddox et Filoteo, 2001; Knopman et Nissen, 1987; Saint-Cyr, Taylor et Lang, 1988; Pascual-Leone *et al.*, 1993; Willingham et Koroshetz, 1993; Jackson, Jackson, Harrison, Henderson et Kennard, 1995; Doyon *et al.*, 1997). Étant donné que les problèmes de contrôle cognitif affectent la sélection de réponses dans de nouveaux contextes, il est difficile de départager les problèmes d'apprentissage des problèmes de contrôle dans ces situations. Avant qu'une association stimulus-réponse soit bien apprise, la sélection de la réponse implique de résoudre la compétition entre des associations correctes et incorrectes, un processus qui nécessite le contrôle cognitif. Par conséquent, la difficulté peut reposer autant sur la récupération d'informations faiblement apprises que dans l'acquisition d'associations conditionnelles.

Le lien entre les déficits de contrôle cognitif et l'acquisition demeure encore nébuleux. Les effets des désordres fronto-striataux dans les tâches d'apprentissage sensorimoteur sont en partie attribuables à des déficits de contrôle cognitif et il est souvent difficile d'isoler des troubles d'acquisition qui soient indépendants du contrôle cognitif. Il faudra mieux connaître les fonctions des circuits fronto-striataux dans le contrôle de la performance avant que leur rôle dans l'apprentissage puisse être compris adéquatement (Wise, 1996).

## Mouvements de pointage en miroir



**Figure 2. Exemples de tracés réalisés lors des premiers essais d'une tâche de pointage en miroir sur une tablette graphique par un patient ayant la maladie d'Huntington et un sujet contrôle. Les mouvements étaient réalisés du centre vers une cible périphérique.**

## CONCLUSIONS

Les troubles de contrôle cognitif ont une importance majeure pour la performance des activités quotidiennes. Cependant, notre compréhension de ces troubles est très préliminaire. Des données récentes permettent maintenant de commencer à développer des modèles neuroscientifiques de ces symptômes. Les systèmes frontaux impliqués dans les processus de contrôle cognitif ont quelques propriétés fondamentales: 1) Ils interagissent avec d'autres systèmes cérébraux pour réguler les processus cognitifs en fonction du but de la tâche. 2) Ils gèrent des épisodes transitoires qui sont recrutés à des intervalles critiques au cours d'une tâche. Ces épisodes de contrôle cognitif intègrent des informations sensorielles, mnésiques et motivationnelles pertinentes aux exigences de la tâche. La consolidation de ces épisodes dépend de nombreux facteurs dont la facilité d'accès aux informations pertinentes et le niveau d'interférence. Les travaux futurs devront clarifier les contributions des différentes portions des circuits frontaux dans les signaux de régulation liés aux buts. Ces études aideront à développer des modèles plus précis des déficits de contrôle cognitif qui permettront de mieux prédire la performance dans les activités quotidiennes.

## Abstract

### THE FRONTAL LOBES AND COGNITIVE CONTROL

Dysfunction in the frontal lobes produces cognitive control problems which affect action planning, perceptual attention and memory retrieval. These deficits are observed in a majority of patients with a psychopathology or a central neurological disorder. Cognitive control deficits especially affect tasks which are novel, sequential, or which have high cognitive demands or interference. Errors produced by the affected persons (e.g. substitutions, capture errors, perseverations) indicate that competitive processes are involved. Recent data suggest that frontal cortex interacts with other brain regions to regulate these competitive processes in favor of immediate goals. Cognitive control may thus involve a consolidation of activity in recurrent fronto-posterior circuits. Perturbations of these consolidation processes by interference may help explain many aspects of cognitive control symptoms.

---

Key words : Attention, executive control, voluntary action planning, working memory, response selection, perceptual categorization, memory retrieval, cortex, striatum

---

## Références

- Adcock, R. A., Constable, R. T., Gore, J. C. et Goldman-Rakic, P. S. (2000). Functional neuroanatomy of executive processes involved in dual-task performance. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 97, 3567-3572.
- Barone, R. et Joseph, J. P. (1989). Prefrontal cortex and spatial sequencing in macaque monkey. *Experimental Brain Research*, 78, 447-464.
- Benecke, R., Rothwell, J. C., Dick, J. P. R., Day, B. L. et Marsden, C. D. (1987). Disturbance of sequential movements in patients with Parkinson's disease. *Brain*, 110, 361-379.
- Bhatia, K. et Marsden, C. D. (1994). The behavioural and motor consequences of focal lesions of the basal ganglia in man. *Brain*, 117, 859-876.
- Bloxham, C. A., Mindel, T. A. et Frith, C. D. (1984). Initiation and execution of predictable and unpredictable movements in Parkinson's Disease. *Brain*, 107, 371-384.
- Boulet, C., Fimbel, E., Beuter, A., Chouinard, S., et Richer, F. The control of visually-guided corrections in early Huntington's disease. (Soumis).
- Bradshaw, J. L., Phillips, J. G., Dennis, C., Mattingley, J. B., Andrewes, D., Chiu, E., Pierson, J. M. et Bradshaw, J. A. (1992). Initiation and execution of movement sequences in those suffering from and at-risk of developing Huntington's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 14, 179-192.
- Brouwers, P., Cox, C., Martin, A., Chase, T. et Fedio, P. (1984). Differential perceptual-spatial impairment in Huntington's and Alzheimer's dementias. *Archives of Neurology*, 41, 1073-1076.
- Brown, R. G. et Marsden, C. D. (1988). Subcortical dementia : The neuropsychological evidence. *Neuroscience*, 25, 363-387.

- Brown, R. G. et Marsden, C. D. (1991). Dual task performance and processing resources in normal subjects and patients with Parkinson's disease. *Brain*, 114, 215-231.
- Bunge, S. A., Klingberg, T., Jacobsen, R. B. et Gabrieli, J. D. E. (2000). A resource model of the neural basis of executive memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 3573-3578.
- Canavan, A. G. M., Passingham, R. E., Marsden, C. D., Quinn, N., Wyke, M. et Polkey, C. E. (1989). Sequence ability in parkinsonians, patients with frontal lobe lesions and patients who have undergone unilateral temporal lobectomies. *Neuropsychologia*, 27, 787-798.
- Colby, C. L. et Goldberg, M. E. (1999). Space and attention in parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 22, 319-349.
- D'Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S. et Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature*, 378, 279-281.
- Decary, A. et Richer, F. (1995). Response selection deficits in frontal excisions. *Neuropsychologia*, 33, 1243-1253.
- Di Lollo, V., Enns, J. T. et Rensick, R. A. (2000). Competition for consciousness among visual events : The psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 481-507.
- Doyon, J., Gaudrea, D., Laforce, R., Castonguay, M., Bédard, P. J., Bédard, F. et Bouchard, G. (1997). Role of the striatum, cerebellum and frontal lobes in the learning of a visuomotor skill. *Brain and Cognition*, 34, 218-245.
- Fink, G. R., Dolan, R. J., Halligan, P. W., Marshall, J. C. et Frith, C. D. (1997). Space-based and object-based visual attention : shared and specific neural domains. *Brain*, 120, 2013-2028.
- Fuster, J. M. (1997). *The prefrontal cortex*. Philadelphia : Lippincott-Raven.
- Fuster, J. M., Bauer, R. H. et Jervey, J. P. (1985). Functional interactions between inferotemporal and prefrontal cortex in a cognitive task. *Brain Research*, 25, 299-307.
- Georgiou, N., Bradshaw, J. L., Phillips, J. G., Chiu, E. et Bradshaw, J. A. (1995). Reliance on advance information and movement sequencing in Huntington's disease. *Movement Disorders*, 10, 472-481.
- Glosser, G. et Goodglass, H. (1990). Disorders in executive control functions among aphasic and other brain-damaged patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12, 485-501.
- Gold, J. I. et Shadlen, M. N. (2001). Neural computations that underlie decisions about sensory stimuli. *Trends in Cognitive Science*, 5, 10-16.
- Goldman-Rakic, P. S. (1987). Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. In *Handbook of physiology vol. 5 – The nervous system*. R. Plum (ed.), New York: The Physiological Society.
- Halsband, U., Ito, N., Tanji, J. et Freund, H.J. (1993). The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain*, 116, 243-166.
- Hanes, D. P. et Schall, J. D. (1996). Control of voluntary movement initiation. *Science*, 274, 427-430.
- Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H. et Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, 3, 284-291.
- Jackson, G. M., Jackson, S. R., Harrison, J., Henderson, L. et Kennard, C. (1995). Serial reaction time learning and Parkinson's disease : Evidence for a procedural learning deficit. *Neuropsychologia*, 33, 577-593.
- Jahanshahi, M., Brown, G. et Marsden C.D. (1993). A comparative study of simple and choice reaction time in Parkinson's, Huntington's and cerebellar disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 56, 1169-1177.
- Karnath, H. O. et Wallesch, C. W. (1992). Inflexibility of mental planning : A characteristic disorder with prefrontal lesions? *Neuropsychologia*, 30, 1011-1016.
- Kastner, S. et Ungerleider, L. G. (2000). Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 315-341.
- Kim, J. N. et Shadlen, M. N. (1999). Neural correlates of a decision in the dorsolateral prefrontal cortex of the macaque. *Nature Neuroscience*, 2, 176-185.
- Knopman, D. S et Nissen, M. J. (1987). Procedural learning is impaired in Huntington's disease : evidence from the serial reaction time task. *Neuropsychologia*, 29, 245-254.

- Lawrence, A. D., Sahakian, B. J., Hodges, J. R., Rosser, A. E., Lange, K. W. et Robbins, T. W. (1996). Executive and mnemonic functions in early Huntington's disease. *Brain*, *119*, 1633-1645.
- Lawrence, A. D., Sahakian, B. J., Rogers, R. D., Hodges, J. R. et Robbins, T. W. (1999). Discrimination, reversal, and shift learning in Huntington's disease: Mechanisms of impaired response selection. *Neuropsychologia*, *37*, 1359-1374.
- Lepage, M. et Richer, F. (2000). Frontal brain lesions affect the use of advance information during response planning. *Behavioral Neuroscience*, *114*, 1034-1040.
- Lepage, M. et Richer, F. (1996). Inter-response interference contributes to the sequencing deficit in frontal lobe lesions. *Brain*, *119*, 1289-1295.
- Lepage, M., Beaudoin, G., Boulet, C., O'Brien, I., Marcantoni, W., Bourgooin, P., Richer, F. (1999). Frontal cortex and the programming of repetitive movements in man: lesion effects and functional neuroimaging. *Cognitive Brain Research*, *8*, 17-25.
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. New York: Basic Books.
- Maddox, W. T. et Filoteo, J. V. (2001). Striatal contributions to category learning: Quantitative modeling of simple linear and complex non-linear rule learning in patients with Parkinson's. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *7*, 710-727.
- Miller, E. K. et Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167-202.
- Mushiake, H., Inase, M. et Tanji, J. (1991). Neuronal activity in the primate premotor, supplementary, and precentral motor cortex during visually guided and internally determined sequential movements. *Journal of Neurophysiology*, *66*, 705-718.
- Owen, A. M., Downes, J. J., Sahakian, B. J., Polkey, C. E. et Robbins, T. W. (1990). Planning and spatial working memory following frontal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, *28*, 1021-1034.
- Pascual-Leone, A., Grafman, J., Clark, K., Stewart, M., Massaquoi, S., Sou, J. S. et Hallett, M. (1993). Procedural learning in Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Annals of Neurology*, *34*, 594-602.
- Passingham, R. (1993). *The frontal lobes and voluntary action*. Oxford: Oxford University Press.
- Petersen, S. E., vanMier, H., Fiez, J. A. et Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*, 853-860.
- Petrides, M. (1985). Deficits on conditional associative-learning tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, *23*, 601-614.
- Rainer, G., Assad, W. F. et Miller, E. K. (1998) Selective representation of relevant information by neurons in the primate prefrontal cortex. *Nature*, *393*, 577-579.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L. et Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 849-860.
- Reynolds, J. H., Chelazzi, L. et Desimone, R. (1999). Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *Journal of Neuroscience*, *19*, 1736-1753.
- Richer, F. et Boulet, C. (1999). Frontal lesions and fluctuations in response preparation. *Brain and Cognition*, *40*, 234-238.
- Richer, F. et Lepage, M. (1996). Frontal lesions increase post-target interference in rapid visual streams. *Neuropsychologia*, *34*, 509-514.
- Richer, F., Decary, A., Lapierre, M. F., Rouleau, I., Bouvier, G. et Saint-Hilaire, J. M. (1993). Target detection deficits in frontal lobectomy. *Brain and Cognition*, *21*, 203-211.
- Richer, F., Bédard, S., Lepage, M. et Chouinard, M. J. (1998). Frontal lesions produce a dual task deficit in simple rapid choices. *Brain and Cognition*, *37*, 173-175.
- Richer, F., Chouinard, M. J. et Rouleau, I. (1999). Frontal lesions impair the attentional control of movements during motor learning. *Neuropsychologia*, *37*, 1427-1435.
- Richer, F., Marcantoni, W. S., Lévesque, M., Mansour, B., Beaudoin, G. et Bourgooin, P. (Soumis). Distinct brain systems for masking interference and inter-target interference in visual attention.
- Richer, F., Boulet, C., Maheu, G., Achim, A. et Chouinard, S. (2002). Frontal and striatal brain lesions increase susceptibility to masking in perceptual decisions. *Brain and Cognition*, (in press).

- Saint-Cyr, J. A., Taylor, A. E. et Lang, A. E. (1988). Procedural learning and neostriatal dysfunction in man. *Brain*, 111, 941-959.
- Schmidt, R. A. (1982). *Motor control and learning*. Champaign, IL : Human Kinetics.
- Schultz, W. et Dickinson, A. (2000). Neuronal coding of prediction errors. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 473-500.
- Shadmehr, R. et Holcomb, H. H. (1997). Neural correlates of motor memory consolidation. *Science*, 277, 821-825.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences*, 298, 199-209.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York : Cambridge.
- Sharpe, M. H. (1990). Distractibility in early Parkinson's disease. *Cortex*, 26, 239-246.
- Smith, M. A., Brett, J. et Shadmehr, R. (2000). Motor disorder in Huntington's disease begins as a dysfunction in error feedback control. *Nature*, 403, 544-549.
- Stuss, D.T., et Benson, D.F. (1986). *The frontal lobes*. New York : Raven Press.
- Thompson, K. G. et Schall, J. D. (1999). The detection of visual signals by macaque frontal eye field during masking. *Nature Neuroscience*, 2, 283-288.
- Willingham, D. B. et Koroshetz, W. J. (1993). Evidence for dissociable motor skills in Huntington's disease patients. *Psychobiology*, 21, 173-182.
- Willingham, D. B., Koroshetz, W. J. et Peterson, E. W. (1996). Motor skills have diverse neural bases : Spared and impaired skill acquisition in Huntington's disease. *Neuropsychology*, 10, 315-321.
- Willingham, D. B., Koroshetz, W. J., Treadwell, J. R. et Bennett, J. P. (1995). Comparison of Huntington's and Parkinson's disease patients' use of advance information. *Neuropsychology*, 9, 39-46.
- Wise, S. P. (1996). The role of the basal ganglia in procedural memory. *Seminars in Neuroscience*, 8, 39-46.