

## **P**lasticité sensori-motrice et récupération fonctionnelle : les effets thérapeutiques de l'adaptation prismatique sur la négligence spatiale unilatérale

Une des propriétés les plus intéressantes du système nerveux central est sa faculté de modifier son organisation fonctionnelle aussi bien que structurale. Les neurosciences comportementales montrent que des mécanismes de plasticité des fonctions sensori-motrices, responsables des interactions de l'individu avec son environnement, peuvent être mis en jeu dans quatre situations principales : le développement, l'apprentissage, l'adaptation à de nouvelles conditions physiques, et la récupération fonctionnelle consécutive à une lésion cérébrale. Dans le cadre de cet article, deux de ces aspects seront envisagés. Ce sont tout d'abord les processus d'adaptation sensori-motrice à des perturbations de l'environnement qui retiendront notre attention, car ils sont les plus faciles à manipuler à des fins expérimentales. Nous envisagerons ensuite comment la stimulation de ces processus est susceptible de faciliter la récupération fonctionnelle du déficit observé après lésion cérébrale.

### **La plasticité des fonctions sensori-motrices**

La nécessité pour le système nerveux central de développer et d'entretenir la plasticité des fonctions sensori-motrices tient évidemment aux modifications physiques progressives subies par l'organisme humain au cours de la vie (allongement des membres, prise de taille, perte de souplesse, prise de poids, déficits visuels...), qui impliquent une adaptation des commandes motrices aux nouvelles propriétés physiques de l'organisme. L'adaptation de ces fonctions répond également aux perturbations de l'environnement. L'être humain peut ainsi faire face à des conditions de

surpression (plongée sous-marine) ou d'apesanteur (dans l'espace), et s'adapter au port de lunettes ou aux conséquences de la chirurgie orthopédique. Pour qu'une telle perturbation puisse induire un processus d'adaptation, il est nécessaire qu'elle soit suffisamment prolongée dans le temps et suffisamment cohérente dans l'espace. En ce sens, la plasticité du comportement se distingue des mécanismes de flexibilité qui concernent, pour leur part, l'ajustement inopiné du décours d'un geste en réponse à une modification ponctuelle de la relation entre un segment corporel et le but poursuivi.

Au niveau neuronal, les mécanismes rendant compte de ces phénomènes de plasticité fonctionnelle sont multiples (utilisation de circuits neuronaux redondants, modification de l'efficacité synaptique (LTP, LTD), modifications structurales (synaptogenèse, etc.). Il est intéressant de constater que les phénomènes d'adaptation sensori-motrice et de récupération fonctionnelle après lésion semblent partager certains de ces mécanismes neuronaux [1]

Le modèle le plus étudié de plasticité sensori-motrice est l'adaptation à une perturbation du champ visuel par l'intermédiaire de dispositifs optiques car elle produit des effets à court terme, réversibles, et faciles à quantifier. La question posée initialement à l'aide d'un tel dispositif découlait de l'observation de l'inversion des images rétiniennes par les propriétés optiques de l'œil. Que pouvait-il se passer si l'on inversait les images qui arrivent à l'œil, de sorte que les images formées sur la rétine deviennent plus conformes à la réalité extérieure [2] ? Lorsque l'on chausse des lunettes qui inversent la vue, il n'est tout d'abord plus pos-

sible de se tenir debout, tant les réactions posturales déclenchées par les stimulations visuelles sont automatiques. Mais une modification aussi considérable ne prive pas l'organisme de sa capacité d'agir. Au bout de quelques minutes surviennent déjà des modifications qui permettront au sujet de retrouver, au terme de quelques jours, le niveau de performance initial. Que s'est-il donc passé ? Pour répondre à cette question, nous allons décrire ici les réactions qui sont observées en présence d'une modification apparente mais beaucoup moins radicale : la déviation optique du champ visuel.

Que se passe-t-il lorsque l'on chausse des lunettes prismatiques déviant latéralement le champ visuel ? Si l'amplitude du décalage visuel n'est pas trop importante\*, le spectateur ne perçoit aucune modification patente de sa relation avec l'environnement, car l'ensemble des relations spatiales vues à travers ce média demeurent intactes. Aucune, tant qu'il ne cherche pas à atteindre un point de son espace visuel. Car les effets de la déviation visuelle apparaissent dès que la main est dirigée vers un objet. En effet, le but visuel de la main ne peut être localisé dans l'espace qu'au moyen de l'image, décalée, de la cible vue à travers les lunettes (figure 1). Le mouvement élaboré pour atteindre ce but ne peut initialement pas prendre en compte l'artifice expérimental introduit à l'insu du sujet et celui-ci va donc diriger son mouvement vers l'image virtuelle de l'objet. Si le mouvement d'atteinte est lent, les mécanismes de

\* Car une déviation excessive, fonction de la qualité des verres utilisés, s'accompagne de déformations optiques statiques et dynamiques ainsi que de l'apparition de franges colorées de décomposition de la lumière.

flexibilité motrice permettront de l'amender avant son terme et d'atteindre ainsi l'objet réel. En revanche, un mouvement rapide atteindra la position virtuelle de la cible, ce qui permettra au système

nerveux de quantifier son erreur et de modifier progressivement ses correspondances sensori-motrices, réalisant une adaptation prismatique (voir revues [3, 4]). Après une pratique de quelques minutes, le sujet

sera, à sa propre surprise, confronté à un problème inverse lors du retrait des lunettes: il devra maintenant se « désadapter », c'est-à-dire s'adapter à l'absence de décalage visuel !

L'adaptation prismatique peut être aisément quantifiée au moyen de différentes mesures de ce qu'il est convenu d'appeler les effets consécutifs. Parmi ces mesures, la déviation de pointages manuels réalisés les yeux fermés dans la direction perçue de l'axe du corps (« droit-devant manuel ») permet de bien évaluer l'adaptation à une exposition prismatique de courte durée (ex : [5], revue : [3]). A la suite de l'adaptation, ces pointages sont déviés dans la direction opposée à la déviation prismatique, ce qui montre que la perception de la position du bras a été modifiée (figure 1B).

### La négligence unilatérale, trouble de la pensée spatiale

La négligence spatiale unilatérale est un trouble singulier de l'utilisation et de la conscience de l'espace. Il s'agit d'un déficit neurologique de la perception, de l'attention, de la représentation et/ou de la réalisation d'actions dans l'hémi-espace controlatéral à la lésion cérébrale [6].

Cliniquement, le patient qui est atteint de négligence unilatérale (ou « hémispatale ») ne répond pas ou ne prête pas attention à un interlocuteur placé du côté négligé, oublie la nourriture placée sur un bord de son assiette, ne se rase qu'une partie du visage ou ne lit qu'une partie des lignes ou des colonnes d'un journal. Au lit du malade la mise en évidence d'un comportement de négligence est aisée, reposant sur l'observation du sujet et le résultat de tests simples comme le dessin de figures, la lecture ou des épreuves d'exploration visuelle (figures 2 et 3). Le patient peut également présenter des perturbations du regard avec une déviation des yeux du côté sain et un ralentissement des mouvements de poursuite visuelle du côté négligé. Des déficits moteurs (hémiplégie), sensoriels (hémi-anesthésie, hémi-anopsie, hémi-anacusie) et cognitifs (apraxie constructive ou anosognosie\*) lui sont fréquemment associés.

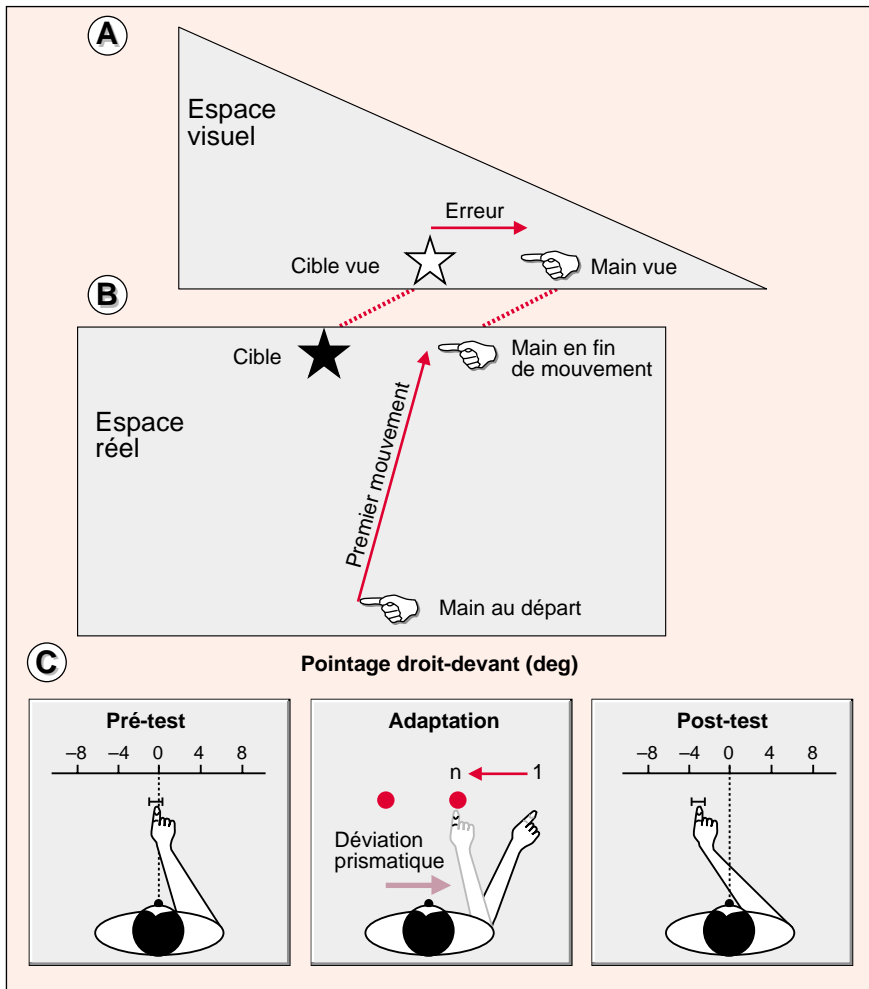


Figure 1. **Effet des lunettes prismatiques.** A. Pour comprendre l'effet du décalage du champ visuel, on peut se figurer que le sujet est confronté à deux expériences de l'environnement. La vision lui apporte une information correcte sur la position relative des objets, mais la position apparente de ces objets par rapport à son corps est erronée. Les informations apportées par la vision sur la position de la main sont également décalées par rapport aux informations proprioceptives. Lorsque la main du sujet doit atteindre la cible, elle se dirige vers l'image de la cible, qui est décalée par rapport à sa position réelle. Lorsque la main n'est pas visible pendant le mouvement, elle se dirige donc vers une position qui ne correspond pas à la cible réelle. Si la main est vue une fois le mouvement exécuté, son image à travers les prismes est décalée de la même façon que la cible. L'erreur visualisée par le sujet, position relative de la main et de la cible, est donc la même que l'erreur réelle. Cette erreur peut ensuite être utilisée pour modifier la direction vers laquelle seront dirigés les mouvements suivants (d'après [3]). B. L'amplitude de l'adaptation prismatique peut être évaluée par une mesure de la déviation des pointages manuels réalisés « droit-devant », les yeux fermés, en direction opposée à la déviation prismatique (déviation calculée en degré d'angle).

Le syndrome de négligence unilatérale se manifeste donc dans l'espace physique, qu'il s'agisse de l'espace environnant ou de l'espace du corps (et l'on parle respectivement de négligence extracorporelle ou corporelle). Il peut également concerner l'espace imaginé c'est-à-dire la représentation mentale de l'espace (figure 5). Ces différents symptômes peuvent être associés ou dissociés entre eux, témoignant de la complexité des formes cliniques existantes. En outre, les modifications comportementales entraînées par la négligence peuvent concerner la perception et/ou l'action conduisant à établir en clinique une distinction entre des tableaux cliniques à dominante sensorielle (visuelle, auditive, olfactive...) ou motrice [7].

De façon intéressante, les différents symptômes de négligence unilatérale peuvent être réduits par une manipulation sensorielle, vestibulaire, optocinétique, ou proprioceptive (revue : [8]). Cette amélioration transitoire concerne les aspects sensoriels et moteurs de la négligence et peut améliorer pendant quelques minutes certains désordres plus cognitifs tels que la négligence de l'espace représenté [9] ou l'anosognosie [10].

### Un désordre attentionnel ou représentationnel ?

Actuellement deux groupes de théories sont proposés pour rendre compte des différentes manifestations du syndrome de négligence spatiale unilatérale : celles qui font appel à un trouble de l'attention et celles qui invoquent un déficit de la représentation interne de l'espace.

Les théories attentionnelles reposent en grande partie sur l'idée que la négligence pourrait s'expliquer par une réduction de l'attention prêtée à la partie de l'espace située du côté opposé à la lésion cérébrale. Les patients présenteraient donc un trouble de l'attention dont ces différentes théories ont tenté d'expliquer la nature, les structures anatomiques impliquées et la prédominance hémisphérique droite. Le syndrome de

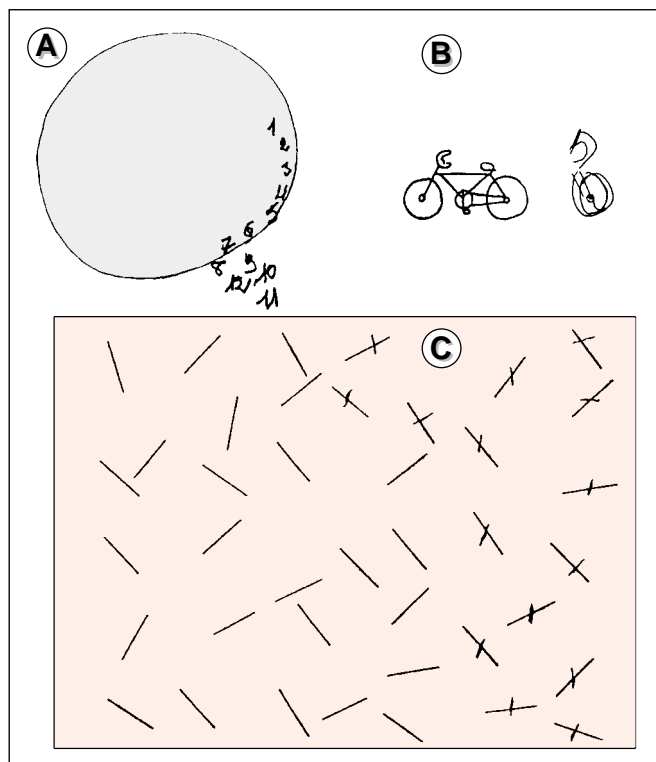


Figure 2. **Négligence unilatérale gauche mise en évidence par deux tests visuo-graphiques simples.** Les tests **A)** de l'horloge, dans lequel le patient doit placer les nombres, **B)** de copie de dessin (bicyclette), et **C)** de barrage de lignes, dans lequel le patient doit cocher chaque segment dans la page. Réalisés par un sujet porteur d'une lésion postérieure de l'hémisphère droit, montrent un oubli de toute la partie gauche de l'espace global et/ou des objets eux-mêmes.

négligence pourrait résulter (1) de l'interruption d'une boucle cortico-cingulo-réticulaire qui assurerait au niveau de chaque hémisphère cérébral le contrôle de l'hémi-espace controlatéral aussi bien pour les aspects attentionnels qu'intentionnels du comportement [11]; (2) d'un déséquilibre entre deux vecteurs attentionnels, entraînant un biais attentionnel en faveur de l'espace contrôlé par l'hémisphère sain et une négligence pour l'hémi-espace opposé [12]; (3) d'un défaut de désengagement de l'attention sélective spatiale du côté ipsilatéral à la lésion vers le côté opposé, [13]; ou (4) de l'interruption d'un réseau de neurones impliqués dans le traitement d'informations issues d'une partie de l'espace et utilisées pour l'action [14]. Selon ces différentes hypothèses, la sévérité et la persistance des négligences par atteinte de l'hémisphère droit s'expliqueraient par le rôle prédominant de cet hémisphère dans la perception de l'espace aussi bien controlatéral qu'ipsilatéral, alors que l'hémisphère gauche n'assurerait que la perception de l'espace controlatéral [15].

La principale limite des théories attentionnelles est leur incapacité de

rendre compte des manifestations productives du syndrome de négligence, comme les productions parfois fabulatoires des sujets héminégligents sur leur hémicorps paralysé (délire somatoparaphrénique), les phénomènes d'allo-esthésie\* ou de complétion de mots. La non-conscience que le sujet négligent semble avoir d'une partie de son espace semble donc devoir plutôt être rattachée selon certains auteurs à une perturbation d'un des mécanismes impliqués dans la représentation de cet espace.

Reprenant des travaux antérieurs, l'hypothèse d'un trouble représentationnel a surtout été développée par Bisiach [16], à partir de travaux montrant que la négligence n'était pas toujours limitée au domaine perceptif ou intentionnel. En demandant à des patients héminégligents gauche de s'imaginer la Place du Dôme de Milan, en adoptant une perspective donnée, ces auteurs ont montré que l'évocation mentale restait limitée à la

\* Transfert de la perception d'un stimulus au côté opposé où il a été présenté. Un patient négligent peut par exemple attribuer à la partie droite d'un objet un élément situé dans sa partie gauche.

\* Méconnaissance par le malade du déficit (hémianopsie, hémiplégie par exemple) dont il est atteint.

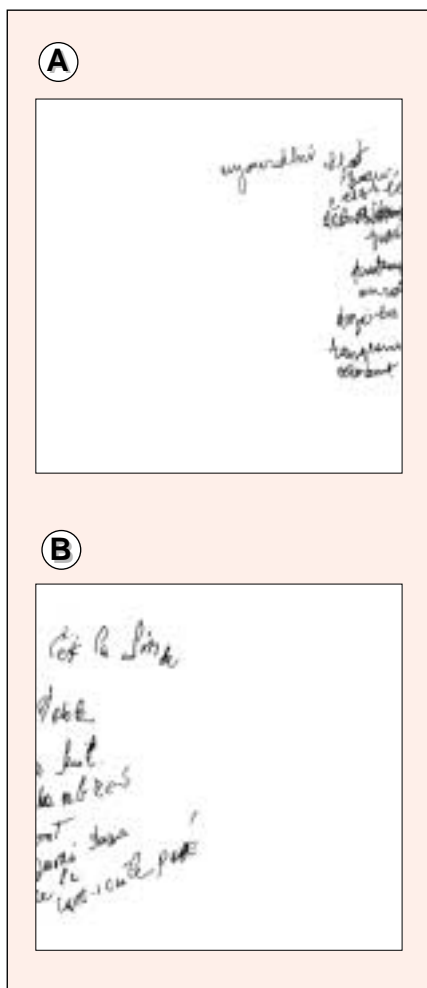


Figure 3. **Négligence unilatérale mise en évidence par l'épreuve de dictée.** **A.** Négligence gauche par lésion postérieure de l'hémisphère cérébral droit. **B.** Négligence droite par lésion postérieure de l'hémisphère cérébral gauche. Dans chaque cas, il est mis en évidence une utilisation exclusive de la partie extrême de la feuille située du côté de la lésion cérébrale.

seule partie de la place située à leur droite. De façon spectaculaire, il en était de même lorsque l'on demandait aux patients d'effectuer la description à partir de la perspective mentale opposée, c'est-à-dire après une rotation mentale de 180° (voir aussi [17]). Les malades décrivaient alors de nouveau la partie de la place située à leur droite, c'est-à-dire du côté opposé à la partie qu'ils décrivaient dans la première partie de l'épreuve. Ces résul-

tats ont conduit à une nouvelle interprétation du syndrome de négligence, conçu comme une incapacité de construire une représentation interne de l'espace controlatéral à la lésion, que cette construction repose sur l'utilisation d'informations sensorielles extérieures ou mnésiques [18]. Enfin, une de ces hypothèses représentationnelles propose que la négligence unilatérale résulte d'une perturbation d'un cadre de référence spatial, appelé aussi référence égocentrique et utilisé pour la coordination visuo-motrice et pour l'orientation dans l'espace [19]. Cette hypothèse est proche de la notion de représentation interne de l'axe longitudinal du corps ou de « milieu du corps ». Une déviation du côté de la lésion cérébrale du cadre de référence spatiale peut être observée en cas de négligence unilatérale par atteinte pariétale postérieure, mais également en cas d'autres syndromes pariétaux [20]. La quantification du décalage de cette référence est réalisée de la même façon que la mesure de l'adaptation prismatique présentée sur la figure 1: par un pointage vers le « droit-devant » subjectif. La manipulation de cette référence égocentrique au moyen de l'adaptation prismatique permet donc de tester l'hypothèse référentielle de la négligence.

#### Adaptation prismatique et symptômes de négligence

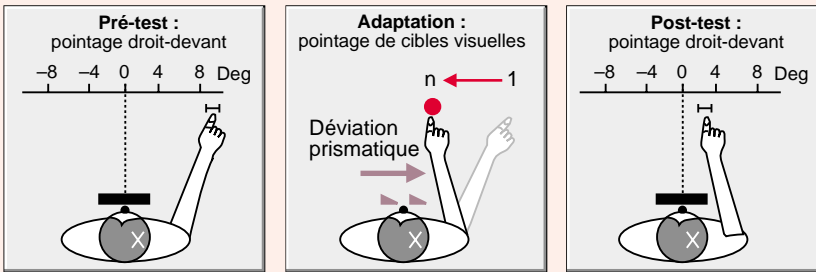
Considérant qu'une brève période d'adaptation prismatique pouvait induire, chez le sujet sain, une modification du droit-devant subjectif, dont la déviation constitue justement un des symptômes de la négligence spatiale unilatérale, nous avons entrepris d'étudier les effets de l'adaptation prismatique chez des patients héminégligents [21]. Deux expériences principales ont été réalisées initialement. La première approche a consisté à vérifier les capacités d'adaptation à une déviation du champ visuel chez les patients, et la deuxième à étudier l'effet de l'adaptation sur les symptômes de l'héminégligence. Lorsque des sujets sains sont soumis à un décalage du champ visuel, et qu'ils doivent effectuer des mouvements vers une cible visuelle,

on observe, parmi les effets consécutifs à court-terme de l'adaptation prismatique, un décalage des mouvements de pointage droit-devant dans la direction opposée à la déviation optique. Ce décalage possède généralement une amplitude de l'ordre de la moitié du déplacement visuel (figure 1). Des effets similaires sont observés lorsque les mêmes conditions sont appliquées à des patients héminégligents, ce qui déplace leur référence égocentrique vers la gauche pour une déviation prismatique vers la droite (figure 4A), et démontre leur capacité à s'adapter\*. Dans une deuxième expérience, nous avons examiné si les symptômes les plus classiquement étudiés en clinique étaient eux aussi affectés par l'adaptation prismatique. Nous avons soumis pendant environ trois minutes deux groupes de patients à une tâche de pointage, réalisée, soit avec des verres neutres, soit avec des verres prismatiques [21]. L'évolution de leur performance était évaluée par des tests de barrage de lignes (voir figure 2C), de bissection de lignes, de copie de dessin (figure 4B), de dessin de mémoire (figure 4C) et de lecture. Les résultats obtenus montrent que seuls les patients ayant bénéficié des prismes présentent une amélioration significative de leurs performances. De façon spectaculaire, l'amélioration obtenue concerne tous les tests réalisés. En particulier, l'effet thérapeutique observé s'appliquait tant aux épreuves visuelles que visuo-graphiques, et concernait à la fois les symptômes de négligence centrée sur l'objet et sur l'espace (voir figure 4B). En outre, la présence d'une hémianopsie\* et la prédominance motrice ou sensorielle des symptômes n'interférait pas avec les effets observés. Notre travail s'est orienté plus récemment vers l'exploration des autres niveaux de représentation spatiale [22], en explorant des fonctions indépendantes de la motricité ainsi que des fonctions motrices indépendantes de l'adaptation prismatique. L'image-

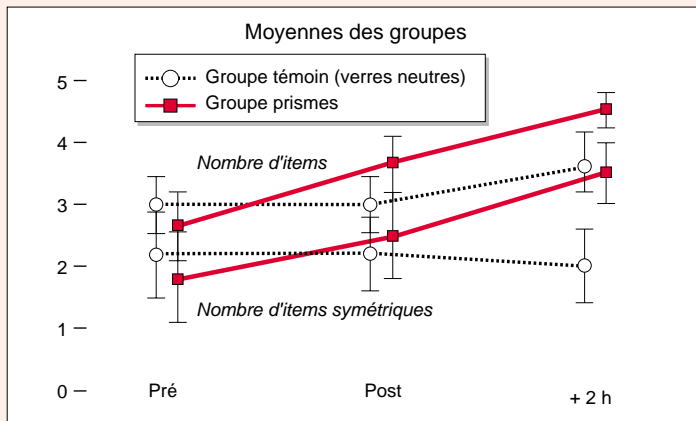
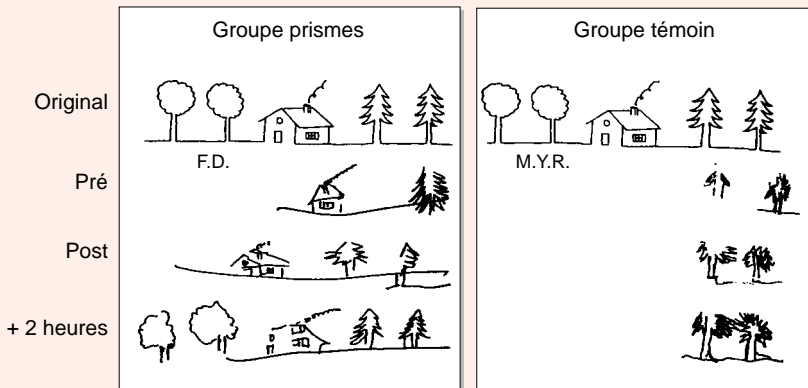
\* En revanche, les mêmes patients ne s'adaptent pas à un décalage de leur champ visuel vers la gauche.

\* Amputation de la moitié du champ visuel des deux yeux, du côté controlatéral à la lésion cérébrale.

**A** Adaptation prismatique



**B** Copie de dessin



**C** Dessin de mémoire



Figure 4. **Effets de l'adaptation prismatique sur les tests standards de négligence.** **A.** Effets de l'adaptation prismatique sur le pointage droit-devant des patients héminégligents. On notera que l'effet obtenu est plus important que chez les sujets normaux (voir figure 1) (d'après [21]). **B.** Copie de dessin avant et après adaptation prismatique. Résultats individuels d'un patient de chaque groupe et moyennes des groupes illustrant le bénéfice apporté par l'adaptation tant pour la négligence de la partie gauche de l'espace que pour celle de la partie gauche des objets (tiré de [21]). **C.** Dessin de mémoire d'une marguerite avant et immédiatement puis 2 heures après adaptation prismatique, illustrant l'amélioration de la symétrie des représentations spatiales (tiré de [22]).

rie mentale et des tâches purement attentionnelles sont modifiées par l'adaptation de façon assez radicale. La figure 5A présente les résultats d'un patient dans une tâche d'imagerie mentale visuelle, qui montre une amélioration de l'exploration mentale de la partie gauche de l'image. A l'autre pôle, la perturbation de l'équilibre postural observée chez les patients négligents [23] peut ainsi être réduite et la conduite du fauteuil roulant est également améliorée (figure 5B) après adaptation prismatique [24]. Ce dernier résultat suggère que les effets de l'adaptation ne sont pas limités à l'espace péricorporel.

L'importance clinique de ces résultats est entièrement fonction de la durée des effets obtenus. Dans un premier temps, notre étude a évalué la négligence des patients immédiatement après et à deux heures de la période d'adaptation prismatique [21]. Alors que les effets consécutifs de l'adaptation ne durent que quelques minutes chez les sujets sains, le niveau de performance des patients négligents a tendance à s'améliorer pendant les deux premières heures passées sans lunettes (voir figures 4B et 4C). Dans certains cas, l'amélioration maximale est même observée non pas immédiatement après la fin de l'adaptation, mais 24 heures plus tard. Cet effet thérapeutique est donc beaucoup plus durable que celui obtenu au moyen des stimulations sensorielles

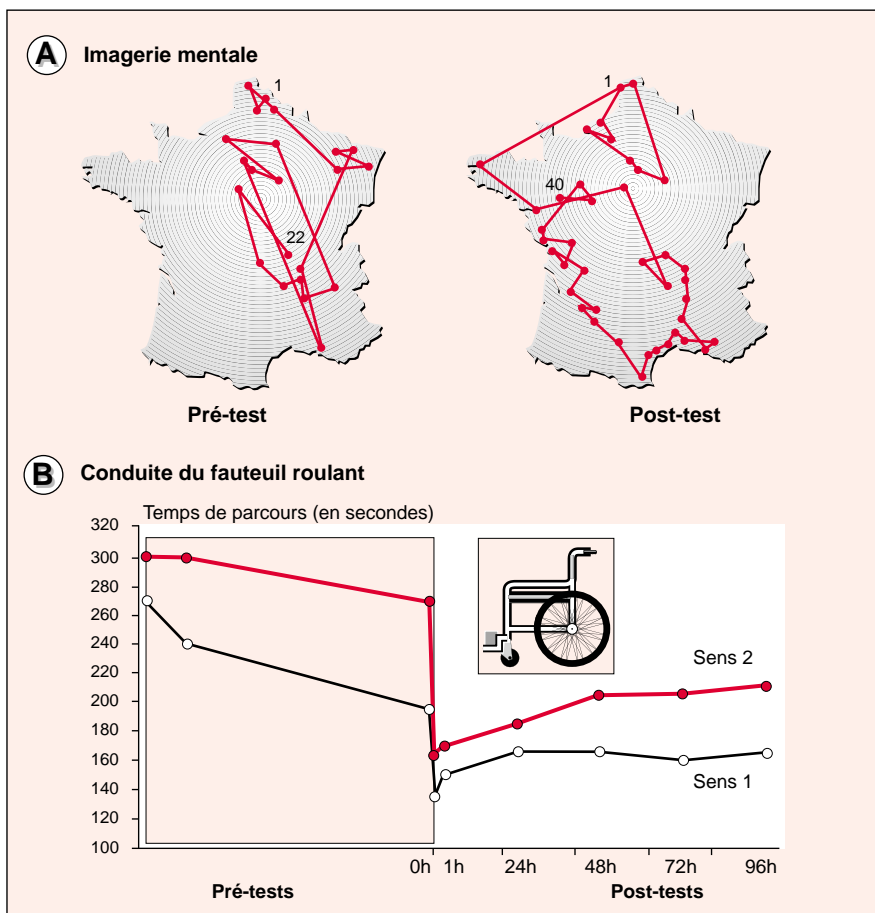


Figure 5. **Perspectives. A. Négligence de l'espace imaginé** mis en évidence par l'évocation mentale de la carte de France avant et après adaptation prismatique chez un sujet héminégligent gauche. Les ronds rouges indiquent la position des villes qui sont évoqués mentalement sur la carte. Une asymétrie droite-gauche est mise en évidence initialement, traduisant une impossibilité du sujet à élaborer une représentation mentale symétrique de la carte. Après adaptation, le patient retrouve la possibilité d'explorer et d'utiliser mentalement la partie gauche de ses représentations spatiales. **B. Durée des effets de l'adaptation prismatique sur la déambulation en fauteuil roulant.** Le temps de parcours d'un circuit constitué des couloirs de l'hôpital a été mesuré dans les deux sens à 3 reprises avant l'adaptation puis suivi pendant 96 heures après adaptation (0h). L'amélioration obtenue chez ce patient après l'adaptation prismatique est maintenue pendant toute la période de l'expérience [24].

précitées. Nous avons donc entrepris de suivre la performance des patients pendant une période plus longue. L'amélioration de la négligence est maintenue pendant une période d'une semaine chez certains patients (voir figure 5B), alors qu'elle est limitée à 24h chez d'autres. Ces études dynamiques ont également permis d'évaluer les relations entre référence égocentrique et négligence, en étudiant leurs co-variations. Nous n'avons trouvé de corrélation entre

les deux mesures ni au niveau inter-individuel ni au niveau dynamique intra-individuel, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse d'une relation causale entre la perturbation du référentiel spatial et les autres symptômes de négligence [25].

### Perspectives

Ces résultats montrent que l'adaptation prismatique produit un effet bénéfique durable sur la négligence

spatiale unilatérale, ce qui permet de souligner le rôle fondamental de l'action dans la structuration des représentations spatiales. Ils ouvrent des perspectives intéressantes pour la rééducation des patients héminégligents. Il s'agit en effet d'une technique simple, sans effets secondaires et à coût réduit, pouvant même être utilisée au lit du malade. L'objectif thérapeutique potentiel est de pouvoir ainsi réduire le handicap cognitif que présentent ces malades, qui peut à la fois majorer le handicap moteur souvent associé et constituer une entrave à la rééducation. La deuxième perspective clinique de cette recherche est de déterminer les facteurs conditionnant la durée totale de la régression des symptômes et de vérifier si l'adaptation prismatique peut améliorer d'autres déficits fonctionnels résultant d'une lésion cérébrale droite, tels que l'hémiplégie gauche. Un autre enjeu médical est de pouvoir disposer d'un traitement susceptible d'agir directement sur des mécanismes de plasticité cérébrale. Il sera intéressant de déterminer dans quelle mesure la mise en jeu de l'adaptation sensori-motrice peut stimuler la plasticité nerveuse de certaines structures cérébrales.

Le cervelet semble être la structure la plus impliquée dans le développement de l'adaptation prismatique (revues: [3, 26]), comme le montrent les difficultés à s'adapter à un décalage visuel relevées chez des patients présentant une lésion du système olivo-ponto-cérébelleux [27, 28]. Deux études récentes d'activation cérébrale utilisant la tomographie à émission de positrons suggèrent que le lobe pariétal supérieur est activé au cours de l'adaptation à une perturbation visuelle [29, 30]\*. Chacune de ces deux structures pourraient ainsi constituer le siège des deux aspects complémentaires de l'adaptation prismatique: le réalignement intersensoriel et les mécanismes cognitifs de plus haut niveau. Nos résultats permettent donc de proposer une hypothèse quant aux

\* Leur conclusion quant à l'absence d'activation cérébelleuse au cours de l'adaptation prismatique ne peut être considérée comme définitive du fait du type particulier de protocole d'adaptation prismatique utilisé.

médicaments physiopathologiques responsables de la négligence. La spécificité directionnelle de l'adaptation observée chez les patients, son amplitude spatiale, et l'importance de sa durée, suggèrent que les connexions anatomo-fonctionnelles entre le cervelet et le lobe pariétal pourraient jouer un rôle-clé dans la récupération de l'héminégligence. Enfin, il est intéressant de noter sur le plan épistémologique que les résultats d'une expérimentation, bien que très positifs, apportent des arguments à l'encontre de l'hypothèse fondatrice de ce travail, qui attribuait un rôle physiopathologique à la déviation de la référence spatiale des patients négligents ■

#### Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien de la région Rhône-Alpes (N° 97-12-591), des Hospices civils de Lyon (PHRC N° 95-05) et de ELYPsEs. Les auteurs souhaitent remercier Catherine Bourdet, Jean-Marie Desce, et Hélène Gréa pour leur lecture critique du manuscrit, et Jean-Louis Borach pour son aide avec les illustrations.

#### RÉFÉRENCES

- Nudo R, Plautz EJ, Milliken GW. Adaptive plasticity in primate motor cortex as a consequence of behavioral experience and neuronal injury. *Semin Neurosci* 1997; 9: 13-23.
- Stratton GM. Vision without inversion of the retinal image. *Psychol Rev* 1897; 4: 341-60.
- Rossetti Y. Des modalités sensorielles aux représentations spatiales en action: représentations multiples d'un espace unique. In: Proust J, ed. *Perception et inter-modalité: approches actuelles de la question de Molyneux*. Paris: Presses Universitaires de France 1997; 179-221.
- Paillard J. Les déterminants moteurs de l'intégration multisensorielle. In: M-M. Ramanantsoa MM, Legros P, eds. *Activités Physiques Adaptées. Données scientifiques récentes*. Paris: Éditions EPS (sous presse).
- Redding GM, Wallace B. Adaptive spatial alignment and strategic perceptual-motor control. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1996; 22: 379-94.
- Heilman KM, Bowers D, Coslett HB, Whelan H, Watson RT. Directional hypokinesia: prolonged reaction times for leftward movements in patients with right hemisphere lesions and neglect. *Neurology* 1985; 35: 855-9.
- Halligan PW, Marschall JC. The history and presentation of neglect. In: *Unilateral neglect and experimental studies*. In: Robertson IH, Marschall JC, eds. Lawrence Erlbaum Associates, 1993: 3-25.
- Vallar G, Guariglia C, Rusconi M L. Modulation of the neglect syndrome by sensory stimulation. In: Thier P, Karnath HO, eds. *Parietal lobe contributions to orientation in 3D space*. Heidelberg: Springer-Verlag 1997: 555-78.
- Rode G, Perenin MT. Temporary remission of representational hemineglect through vestibular stimulation. *Neuroreport* 1994; 5: 869-72.
- Rode G, Charles N, Perenin MT, Vighetto A, Trillet M, Aimard G. Partial remission of hemiplegia and somatoparaphrenia through vestibular stimulation in a case of unilateral neglect. *Cortex* 1992; 28: 203-8.
- Heilman KM, Valenstein E. Mechanisms underlying hemispatial neglect. *Ann Neurol* 1979; 5: 166-70.
- Kinsbourne M. The control of attention by interaction between the cerebral hemispheres. In: Kornblum S, ed. *Attention and Performance (IV)*. New York: Academic Press, 1973: 69-86.
- Posner MI. Cumulative development of attentional theory. *Am Psychol* 1982; 37: 168-79.
- Rizzolatti G, Camarda R. Neural circuits for spatial attention and unilateral neglect. In: Jeannerod M, ed. *Neurophysiological and neuropsychological aspects of neglect*. Amsterdam: North-Holland, 1987: 289-313.
- Heilman KM, Van Den Abell T. Right hemisphere dominance for attention: the mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology* 1980; 30: 327-30.
- Bisiach E, Luzzatti C. Unilateral neglect of representational space. *Cortex* 1978; 14: 129-33.
- Rode G, Perenin MT, Boisson D. Négligence de l'espace représenté: mise en évidence par l'évocation mentale de la carte de France. *Rev Neurol* 1995; 151: 161-4.
- Bisiach E, Berti A. Dyschiria. An Attempt at its systematic explanation. In: Jeannerod M, ed. *Neurophysiological and neuropsychological aspects of neglect*. Amsterdam: North-Holland 1987; 183-201.
- Jeannerod M, Biguer B. The directional coding of reaching movements. A visuomotor conception of spatial neglect. In: Jeannerod M, ed. *Neurophysiological and neuropsychological aspects of neglect*. Amsterdam: North-Holland 1987: 87-113.
- Perenin M T. Optic ataxia and unilateral neglect: clinical evidence for dissociable spatial functions in posterior parietal cortex. In: Thier P, Karnath HO, eds. *Parietal lobe contributions to orientation in 3D space*. Heidelberg: Springer-Verlag 1997: 289-308.
- Rossetti Y, Rode G, Pisella L, Farnè A, Li L, Boisson D, Perenin MT. Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature* 1998; 395: 166-9.
- Rossetti Y, Rode G, Cheikh-Rouhou M, Farnè A, Pisella L, Li L, Boisson D. Amélioration durable des symptômes de la négligence par adaptation prismatique: Quels arguments pour les théories référentielle, attentionnelle et intégrationnelle? In: Penrenou D, Brun V, Pélissier J, eds. *Les syndromes de négligence spatiale*. Paris: Masson 1998: 299-310.
- Rode G, Tiliket C, Boisson D. Predominance of postural imbalance in left hemiparetic patients. *Scand J Rehabil Med* 1997; 29: 11-6.
- Jacquin S, Luauté J, Li L, Rode G, Rossetti Y, Boisson D. Amélioration de la conduite en fauteuil roulant après adaptation prismatique chez le patient héminégligent. *Ann Réadapt Méd Phys* 1998; 41: 320-21.
- Pisella L, Rossetti Y, Rode G, Boisson D. Hemispatial neglect and the egocentric reference: the prism-adaptation answer. *Eur J Neurosci* 1998; 10: 255.
- Jeannerod M, Rossetti Y. Visuomotor coordination as a dissociable visual function: experimental and clinical evidence. In: Kennard C, ed. *Visual perceptual defects*. London: Ballière Tindall. 1993: 439-60.
- Weiner MJ, Hallett M, Funkenstein HH. Adaptation to lateral displacement of vision in patients with lesions of the central nervous system. *Neurology* 1983; 33: 766-72.
- Martin TA, Keating JG, Goodkin HP, Bastian AJ, Thatch WT. Throwing while looking through prisms. I. Focal olivocerebellar lesions impair adaptation. *Brain* 1996; 119: 1183-98.
- Clower DM, Hoffman JM, Votaw JR, Fabert TL, Woods R, Alexander GE. Role of posterior parietal cortex in the recalibration of visually guided reaching. *Nature* 1996; 383: 618-21.
- Inoue K, Kawashima R, Satoh K, Kinomura S, Goto R, Sugiura M, Ito M, Fukuda H. Activity in the parietal area during visuomotor learning with optical rotation. *Neuroreport* 1997; 8: 3979-83.

#### Yves Rossetti

Chargé de recherches au Cnrs, médecin attaché des Hospices civils de Lyon, Inserm U. 94, Espace et Action, 16, avenue Lépine, Case 13, 69676 Bron, France. [rossetti@lyon151.inserm.fr](mailto:rossetti@lyon151.inserm.fr)

#### Gilles Rode

Praticien hospitalo-universitaire, Service de rééducation neurologique, Hôpital Henri-Gabrielle, Hospices civils de Lyon, BP 57, 69565 Saint-Genis Laval Cedex, France.

#### Laure Pisella

Doctorante en neuropsychologie, Inserm U. 94, Espace et Action, 16, avenue Lépine, Case 13, 69676 Bron Cedex, France.

#### Dominique Boisson

Professeur des universités, praticien hospitalier, Service de rééducation neurologique, Hôpital neurologique, 59, boulevard Pinel, 69500 Bron, France et Service de rééducation neurologique, Hôpital Henri-Gabrielle, Hospices civils de Lyon, BP 57, 69565 Saint-Genis Laval Cedex, France.