

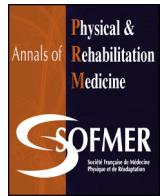


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Article original

Effets sensori-moteurs et fonctionnels à long terme d'un traitement hebdomadaire par adaptation prismatique dans la négligence : un essai randomisé et contrôlé en double insu^{☆,☆☆}



G. Rode^{a,b,*,c}, S. Lacour^a, S. Jacquin-Courtois^{a,b,c}, L. Pisella^a, C. Michel^d, P. Revol^{a,c}, J. Luauté^{a,b,c}, P. Halligan^e, D. Pélisson^a, Y. Rossetti^{a,c}

^a Inserm UMR-S 1028, CNRS UMR 5292, ImpAct, centre de recherche en neurosciences de Lyon, université Lyon 1, 16, avenue Lépine, 69676 Bron, France

^b Service de médecine physique et réadaptation, hôpital Henry-Gabrielle, hospices civils de Lyon, 20, route de Vourles, 69230 Saint-Genis-Laval, France

^c Plate-forme « mouvement et handicap », hôpital Henry-Gabrielle, hospices civils de Lyon, 20, route de Vourles, 69230 Saint-Genis-Laval, France

^d Laboratoire Inserm U1093, faculté des sciences du sport (UFR Staps), université de Bourgogne, 21078 Dijon, France

^e School of Psychology, Cardiff University, Tower Building, 70, Park Place, Cardiff, Royaume-Uni

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 10 septembre 2014

Accepté le 10 octobre 2014

Mots clés :

Négligence spatiale

Réhabilitation

Adaptation prismatique

R É S U M É

La négligence spatiale (NS) constitue un facteur de mauvais pronostic fonctionnel. L'adaptation à une déviation prismatique de la vision vers la droite améliore la NS. Les bases neurophysiologiques et les modalités optimales de l'adaptation prismatique (AP) restent à valider. Cette étude vise à explorer les effets sensori-moteurs, cognitifs et fonctionnels à long terme produits par une séance d'AP hebdomadaire pendant 4 semaines. Un essai monocentrique, en double insu, randomisé et contrôlé a été réalisé. Vingt patients avec NS gauche secondaire à un accident vasculaire cérébral droit ont été inclus (10 dans le groupe « prisme » et 10 dans le groupe « témoin »). Les effets sensori-moteurs de l'AP ont été évalués par des mesures des droit-devant manuel et visuel, et par la précision du pointage sans rétroaction visuelle avant et après chaque séance d'AP. La mesure de l'indépendance fonctionnelle (MIF) était évaluée avant et 1, 3 et 6 mois après AP, la sévérité de la NS par l'échelle Behavioural Inattention Test (BIT) avant et 6 mois après AP. Au terme des 6 mois de suivi, les deux groupes montraient une amélioration similaire, corrélée à l'évolution du droit-devant visuel, marqueur de l'évolution des patients. Une séance d'AP hebdomadaire pendant 4 semaines s'avère une posologie insuffisante pour produire un bénéfice fonctionnel à long terme. Avant intervention, seul le droit-devant manuel constituait une mesure sensori-motrice reproductible. Pendant l'exposition prismatique, un questionnaire a montré qu'aucun patient n'a perçu les effets directs de la déviation optique sur le déroulement du geste de pointage. Les effets consécutifs sensori-moteurs produits par ce régime d'AP ont favorisé la réduction plus rapide du droit-devant manuel vers la gauche, suivie secondairement par le droit-devant visuel, ce qui permet d'éclairer les mécanismes d'action de l'AP sur la NS.

© 2015 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

La négligence spatiale (NS) se définit comme une difficulté singulière à détecter, répondre ou orienter son attention vers des stimuli présentés ou représentés du côté controlatéral à une lésion

cérébrale, en particulier de l'hémisphère droit [1–3]. Ce syndrome majore la sévérité des déficits moteurs et sensoriels associés et constitue un facteur de mauvais pronostic fonctionnel [4–8]. Plusieurs méthodes de rééducation ont été proposées pour réduire le biais comportemental dirigé du côté de la lésion cérébrale et le défaut de conscience de l'hémi-espace controlatéral de la NS avec un faible niveau de preuve [9,10]. À partir d'une méta-analyse ayant inclus 23 essais cliniques randomisés (628 participants), Bowen et al. [11] ont montré que la plupart des études évaluent l'effet des rééducations sur des tests standardisés d'évaluation ; 15 études ont évalué l'impact sur les activités de la vie quotidienne immédiatement après la rééducation et seulement 6 études ont mesuré ces effets à distance. Les résultats

DOI de l'article original: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2014.10.004>

^{*} Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original en anglais, en utilisant le DOI ci-dessus.

^{**} Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une communication orale lors du 8th World Congress for NeuroRehabilitation et du 19th European Congress of Physical and Rehabilitation Medicine.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : gilles.rote@chu-lyon.fr (G. Rode).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2015.01.002>

1877-0657/© 2015 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

disponibles actuellement montrent un effet significatif en faveur des rééducations cognitives, mais seulement sur les tests d'évaluation standardisée de la NS. L'efficacité sur les activités de la vie quotidienne n'est donc pas rigoureusement démontrée.

Parmi ces méthodes, la rééducation par adaptation prismatique (AP) est l'une des méthodes qui apparaît comme la plus utilisée et efficace à court terme [12–14]. Ses effets recouvrent un très large panel de fonctions perceptives, cognitives ou motrices affectées dans la NS [15–18] : la négligence visuelle [19–21], la négligence somatosensorielle [22] et haptique [23], l'extinction tactile [24], l'extinction auditive [25], la négligence représentationnelle [26,27], des représentations numériques [28] ainsi que l'écriture [29], ou le déplacement en fauteuil roulant [30,31]. Des bénéfices ont également été observés sur le déséquilibre postural chez des patients après rémission clinique de leur NS [32].

Les effets de l'AP sont étonnement prolongés dans le temps par rapport aux durées connues chez le sujet sain. Depuis notre étude initiale qui rapportait des effets durant au moins deux heures à la suite de quelques minutes d'exercice visuo-moteur sous prismes [21], des effets prolongés ont été rapportés après une seule séance d'AP sur la négligence visuelle [33], ainsi que sur des manifestations cliniques comme la lecture [19], l'écriture [29] et la déambulation en fauteuil roulant [30]. De façon plus pertinente pour la rééducation, la durée des effets obtenus est prolongée après des séances répétées d'adaptation. Plusieurs études non randomisées [20,34–37] et randomisées [38–41] ont rapporté des effets à long terme, supérieurs à 5 semaines, à la suite d'une rééducation intensive comprenant deux séances d'AP par jour pendant 2 semaines. Dans un essai randomisé contrôlé ayant inclus 38 patients avec NS (20 rééduqués et 18 témoins), un bénéfice fonctionnel lié à l'AP a été observé à la sortie de l'hôpital seulement dans le sous-groupe de patients avec NS modérée [39].

Pour mettre au point un protocole de rééducation, il est nécessaire de cerner la durée des effets d'une séance isolée d'AP. L'amélioration cognitive rapportée après une seule séance est généralement maximale 24 heures après l'AP, puis persiste avec une durée de l'ordre de quelques jours à une semaine [15]. Compte tenu de l'amointrissement des effets consécutifs avec la répétition des séances d'adaptation, nous avons choisi d'espacer les séances d'AP. Prenant également en compte le fait que les effets sensori-moteurs de l'AP présentent une durée de plusieurs jours [19,33], nous avons décidé de tester un régime composé d'une séance d'AP par semaine. En contrepartie, nous avons prolongé la durée de rééducation à un mois au lieu des périodes de deux semaines utilisées dans la plupart des essais thérapeutiques [20,34,36,39]. Le but principal de cet essai contrôlé randomisé en double insu est donc d'explorer les effets d'une posologie modérée d'AP consistant en une séance d'AP hebdomadaire pendant 4 semaines sur la NS et les activités de la vie quotidienne chez des patients chroniques. L'intérêt clinique potentiel de ce régime d'adaptation prismatique allégé serait de permettre une prise en charge thérapeutique en ambulatoire.

Le second objectif de cette étude est de suivre l'évolution des référentiels spatiaux [42] au cours de la récupération des patients négligents et de clarifier la relation existant entre les effets consécutifs sensori-moteurs de l'AP [43] et l'expansion de ces effets à la sphère cognitive [15]. En effet, des dissociations entre ces deux niveaux d'action de l'AP ont été rapportées [33] alors que certaines études ont observé une corrélation significative entre les effets consécutifs proprioceptifs et la NS [44]. L'existence ou non d'un lien quantitatif entre les conséquences sensori-motrices et cognitives de l'AP dans la NS est fondamentale pour la conception et la validation d'études pilotes réalisées chez le sujet sain, mais aussi afin de disposer de facteurs pronostiques objectifs et immédiats du bénéfice thérapeutique attendu chez un patient donné. Cette étude inclut donc la mesure de paramètres sensori-moteurs permettant à la fois de suivre l'évolution des référentiels

spatiaux des patients et de quantifier l'AP : le droit-devant manuel (DDM), le droit-devant visuel (DDV) et le pointage sans rétroaction visuelle (ou en boucle ouverte ; PSRV). Compte tenu de la confusion existant chez certains auteurs entre adaptation visuo-motrice et réduction des erreurs pendant l'exposition à une déviation, conduisant à la conclusion erronée que l'adaptation est déficiente chez les patients négligents [45], l'exploration détaillée de ces paramètres vise également à clarifier comment mesurer l'adaptation prismatique vraie [46]. La question de l'altération ou de la facilitation du processus d'adaptation dans la négligence est de plus abordée par un questionnaire évaluant la conscience des patients pour la déviation prismatique. La fiabilité et la valeur prédictive de ces variables, encore non décrites dans la littérature, sont également explorées dans cette étude.

2. Méthodes

2.1. Patients

Dix-neuf patients admis dans le service de médecine physique et réadaptation neurologique, hôpital Henry-Gabrielle, hospices civils de Lyon et présentant une NS gauche secondaire à un accident vasculaire droit ont été inclus dans l'étude de septembre 2001 à septembre 2005 (Fig. 1). Tous les patients étaient droitiers selon le questionnaire d'Edinburgh [47].

Les critères d'inclusion étaient :

- un âge compris entre 18 et 90 ans ;
- un accident vasculaire cérébral unique confirmé par un examen tomodensitométrique ou d'imagerie par résonance magnétique cérébrale ;
- une NS gauche confirmée par les tests neuropsychologiques suivants (test de bissection de lignes [48], test des ballons [49], copie de dessin, dictée d'un texte et lecture d'un texte) ;
- un délai d'au moins un mois après la survenue de l'ictus.

Les critères d'exclusion étaient :

- l'existence de lésions cérébrales multiples ;
- une désorientation temporo-spatiale ;
- des troubles psychiatriques ;
- une pathologie associée non stabilisée.

Les caractéristiques des patients des deux groupes sont détaillées dans le [Tableau 1](#).

2.2. Description de l'étude

Il s'agit d'un essai clinique randomisé contrôlé monocentrique en double insu comprenant 2 groupes de patients présentant une NS gauche : un groupe bénéficiant de la rééducation par AP et un groupe témoin. Le critère de jugement principal de l'étude était l'amélioration fonctionnelle dans les actes de la vie quotidienne après rééducation et mesurée par la mesure de l'indépendance fonctionnelle (MIF) [50]. Ce score a été utilisé dans un essai clinique non randomisé évaluant l'efficacité d'une orthèse de tronc dans la rééducation de la NS chez deux groupes de patients [51]. Ces auteurs ont montré, à 6 mois d'évolution, une différence statistiquement significative entre les scores moyens des 2 groupes (différence moyenne = 24 ; $n = 11$). Sachant que dans cette étude précédente, le critère de jugement MIF avait un écart-type de 10 unités, pour avoir 90 chances sur 100 au moins de mettre en évidence une différence de 25 points entre les réponses moyennes des deux groupes (avec un risque d'erreur de première espèce au plus égal à 5 %), il faudra inclure au minimum 9 sujets par groupe

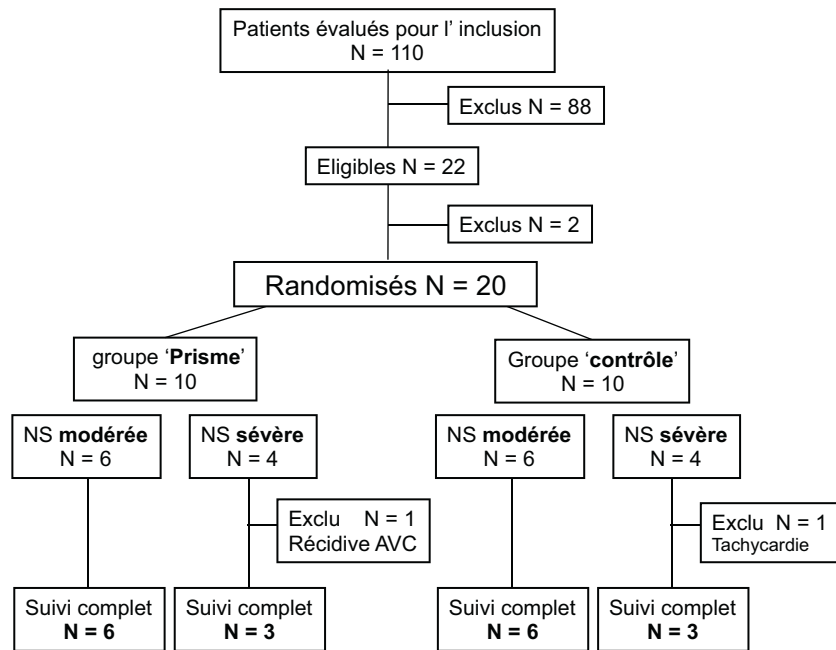


Fig. 1. Conception de l'étude. NS : négligence spatiale ; NS modérée : score BIT > 55 ; NS sévère : score BIT ≤ 55.

Tableau 1

Caractéristiques des patients.

Cas	NS	Âge / sexe	IL	DM	DS	HLH G	DTY	Délai	Étiologie	Lésion
<i>Groupe prisme</i>										
1	N+	40 / F	100	3	3	P	1	44	Isch	Frontal, pariétal, occipital, temporal, insula, corona radiata, putamen
7	N	40 / F	100	3	3	P	2	47	Isch	Frontal, pariétal, temporal, insula, corona radiata, putamen
8	N	47 / F	100	3	0	P	1	34	Isch	Corona radiata, substance blanche frontale, insula, capsule interne, putamen, noyau caudé
9	N	69 / M	100	3	3	P	0	54	Isch	temporal (occipital), corona radiata, capsule interne, putamen
10	N	66 / M	16,66	3	3	A	2	60	Isch	Frontal, pariétal (temporal), corona radiata, putamen
11	N	59 / M	100	2	2	P	1	88	Hem	Pariétal, occipital
13	N	49 / M	100	3	3	P	1	30	Isch	Frontal (temporal, pariétal), putamen
15	N	63 / F	100	3	3	P	1	42	Isch	Corona radiata, capsule interne, putamen
16	N	71 / M	100	3	3	P	1	60	Isch	Frontal, pariétal, corona radiata, putamen
<i>Groupe témoin</i>										
2	N	45 / M	83,33	3	3	A	1	35	Isch	Corona radiata, substance blanche frontale, insula, capsule interne, putamen
3	N	45 / M	100	3	3	A	1	92	Isch	Substance blanche frontale, corona radiata, insula, putamen, noyau caudé
4	N	57 / M	100	3	3	P	1	38	Isch	Frontal, temporal, pariétal, insula, putamen
5	N	72 / M	100	3	3	A	1	60	hem	Corona radiata, insula, capsule interne, putamen
6	N	62 / F	91,66	3	3	P	1	46	Isch	Pariétal, occipital
12	N	79 / F	100	2	2	P	1	38	Hem	Pariétal, occipital
14	N	51 / M	100	3	3	P	2	67	Isch	Temporal, pariétal, occipital
17	N	75 / F	100	1	1	P	1	34	Isch	Occipital, substance blanche pariétale, putamen, noyau caudé
18	N	69 / F	100	3	2	P	2	60	Isch	Frontal, temporal, pariétal, corona radiata, putamen, noyau caudé

NS : négligence spatiale (+ = NS modérée ; ++ = NS sévère) ; IL : index de latéralité (questionnaire d'Edimbourg) [47] ; DM : déficit moteur (0 = absent ; 1 = monoparésie ; 2 = hémicorporel incomplet ; 3 = complet) ; DS : déficit sensitif (0 = absent ; 1 = superficiel isolé ; 2 = superficiel et profond incomplet ; 3 = complet) ; HLH G : hémianopsie latérale homonyme gauche (A = absence ; P = présence) ; DTY : déviation de la tête et des yeux du côté droit (0 = aucune déviation ; 1 = déviation réductible spontanément ; 2 = déviation réductible sur ordre ; 3 = déviation irréductible) ; étiologie (Isch = ischémique ; Hem = hémorragique) ; lésions : les parenthèses indiquent une atteinte partielle du lobe cérébral.

(c'est-à-dire : $1 - \beta = 0,90$; $\beta = 0,10$; $\alpha = 0,05$ et $\Delta = 25$; $n = \sigma^2 \times M / \Delta^2 = 100 \times 54 / 625 = 8,6$, soit au moins 9 sujets).

Une randomisation par bloc a été réalisée avec une distinction de deux niveaux de sévérité du déficit selon la gravité initiale de la NS évaluée par les tests d'inclusion : NS sévère : déficit présent à tous les tests d'inclusion, score au test de Schenkenberg et al. [48] supérieur à 50 % de déviation et score de BIT ≤ 55 ; NS modérée : déficit présent à certains tests d'inclusion (de 1 à 4), score au test de Shenkenberg et al. compris entre 11 et 50 % de déviation et score de BIT > 55.

Il s'agit d'une étude en double insu : les examinateurs réalisant l'évaluation (G.R., S.L., E.M.) ignoraient si le patient inclus a bénéficié d'une AP ou non. Ils étaient distincts des examinateurs réalisant la tâche d'exposition aux lunettes prismatiques ou aux verres neutres (Y.R., S.J.C., L.P.). Par ailleurs, la procédure en double insu a été facilitée par le fait que les patients avec NS ne sont pas conscients de la perturbation induite par la déviation prismatique et ne présentent pas les réactions végétatives attendues lors de l'apparition d'erreurs motrices au début du port de prismes (cf. infra et [18]), ce qui permet de les affecter au groupes « prisme » et

« témoin » à leur insu. De plus, cela permet aux investigateurs réalisant les évaluations de ne pas recevoir d'informations de la part des patients, qui pourraient dégrader le double insu en simple insu.

La randomisation par bloc et le tirage au sort répartissant les patients dans le groupe « prisme » ou « témoin » ont été réalisés par monsieur Denis Péllisson, directeur de l'équipe ImpAct, du centre de recherche en neurosciences de Lyon. Une randomisation à 2 niveaux a été réalisée : à un premier niveau, par la sélection des patients dans le groupe « prisme » ou « témoin », puis à un 2^e niveau, par la sélection des patients selon la gravité de la NS initiale à partir du score BIT, afin que le ratio patients atteints d'une négligence sévère et patients atteints d'une négligence modérée soit comparable dans les deux groupes.

Tous les patients ont donné leur consentement pour la participation à cette étude. La procédure expérimentale a été approuvée par le Comité consultatif de protection des personnes dans la recherche biomédicale Lyon B le 5 juin 2001 (dossier 2001-040 B). Les hospices civils de Lyon ont été le promoteur de cette étude, enregistrée le 2 août 2001 sous le numéro 2001/0294. Le financement de l'étude a été assuré par l'Inserm, les hospices civils de Lyon et l'université Claude-Bernard – Lyon-1.

2.3. Paramètres de l'étude

Les référentiels spatiaux et la précision des pointages vers une cible visuelle (réalisés sans rétroaction visuelle) ont été mesurés de l'inclusion du patient jusqu'à six mois afin de suivre leur évolution au cours de la récupération des patients. Une double mesure a de plus été réalisée, avant et après chaque séance d'exposition, afin de quantifier les effets consécutifs de l'adaptation prismatique.

Le critère de jugement d'efficacité thérapeutique principal est le score fonctionnel obtenu à partir de l'échelle de mesure de l'indépendance fonctionnelle (MIF) [50]. Le critère secondaire est le score total du Behavioural Inattention Test (BIT) [52], reflétant la sévérité de la NS. La mesure du critère de jugement principal a été réalisée à 4 reprises : en pré-test et en post-tests à 1 (M1), 3 (M3) et 6 mois (M6) après la première séance d'AP. Pour la batterie BIT, deux évaluations ont été réalisées en pré-test et en post-tests à 6 mois ; aucune évaluation intermédiaire n'a été réalisée en cours de suivi afin de limiter l'effet confondant d'un apprentissage lié à la répétition des tests.

2.4. Adaptation prismatique et paramètres sensori-moteurs

Dans le groupe « prisme », l'AP a été obtenue par le port d'une paire de lunettes produisant une déviation optique du champ visuel de 10° vers la droite (OptiquePeter.com). Les verres prismatiques étaient composés de deux verres courbes point par point de 5° chacun, ajustés à une monture glacier avec des œillères latérales, afin d'éviter l'accès à la vision non décalée. Ces prismes couvraient un champ visuel total de 105° dont chaque champ monoculaire représentait 75° et le champ visuel binoculaire central 45°.

Pendant l'exposition prismatique, le patient devait réaliser 80 mouvements de pointage rapides en direction de cibles visuelles situées à 10 degrés à droite ou à gauche par rapport au milieu de son corps, alternées de façon pseudo-aléatoire. En dépit de l'instruction répétée de réaliser des mouvements rapides, la vitesse de mouvement des patients cérébrésés reste généralement assez lente pour autoriser une rétroaction visuelle et les erreurs produites ne reflétaient pas toujours l'amplitude de la déviation optique ou le stade de l'adaptation (Fig. 2). Cette vitesse restait cependant compatible avec le développement d'une adaptation sensori-motrice vraie en limitant les composantes stratégiques de la compensation [53,54]. Les mouvements de pointage étaient réalisés avec une pause d'environ 30 secondes

après chaque série de 20 permettant de favoriser une augmentation des erreurs au début de la série suivante. Durant l'exposition, le patient ne voyait pas la position initiale de la main, qui entraînait dans le champ visuel entre le tiers et la moitié de son mouvement [55], afin de favoriser un codage proprioceptivo-visuel du mouvement [56]. La durée de l'exposition prismatique était comprise entre 6 et 10 minutes. Les patients du groupe « témoin » réalisaient cette tâche visuo-motrice dans les mêmes conditions mais avec le port d'une paire de lunettes placebo, équipée de verres neutres de même poids et composées de deux verres prismatiques de 5 degrés collés en opposition et ne produisant aucune déviation optique ([21] ; OptiquePeter.com). Chaque patient a effectué la tâche d'exposition (avec lunettes prismatiques ou verres neutres) à 4 reprises : à j0 (Expo1), à j + 7 (Expo2), à j + 14 (Expo3) et à j + 21 (Expo4). Toutes les séances d'exposition ont été réalisées dans les mêmes conditions et avec les mêmes opérateurs.

La conscience perceptive des patients pour la déviation optique et ses conséquences sur le déroulement du geste ont été étudiées systématiquement par un questionnaire phénoménologique (Annexe 1). Ce questionnaire ouvert comprend 20 questions regroupées en 3 grandes parties, et évoluant de formulations très ouvertes jusqu'à des questions très spécifiques sur la déviation prismatique. La première partie comprend 5 questions très ouvertes posées après une dizaine de pointages préliminaires réalisés avant de chausser les lunettes. Ces questions progressent de (Q1 : comment se passe l'exercice ?) et (Q3 : avez-vous observé quelque chose de particulier ?) jusqu'à (Q5 : est-ce que c'est facile de viser vers la cible ?). La deuxième partie, principale, est administrée après 5 mouvements réalisés avec les lunettes, donc pendant la période précoce de l'exposition qui génère habituellement les erreurs maximales de pointage [57]. Cette deuxième partie de 12 questions reprend initialement les 5 questions ouvertes précédentes (Q6 à Q10), puis propose des questions de plus en plus explicites (Q11 à Q17 ; Q17 : chez certains patients, ces lunettes peuvent entraîner des difficultés pour viser avec la main. Comment cela se passe-t-il pour vous ?). La troisième partie du questionnaire (Q18 à Q20) est proposée après 20 mouvements et à la fin de la période d'adaptation.

Les effets consécutifs de l'AP ont été évalués par des mesures répétées du DDM dans l'obscurité ($n = 10$), du DDV dans l'obscurité ($n = 10$) et du PSRV vers une cible visuelle ($n = 10$). Les DDV et DDM présentent un double intérêt dans le cadre de cette étude car ils sont classiquement utilisés de façon indépendante pour évaluer la référence égocentrique [58–60], et par soustraction des mesures obtenues avant et après exposition aux prismes (VS : *visual shift* et PS : *proprioceptive shift*), pour quantifier les effets consécutifs de l'AP [43]. Le PSRV est utilisé pour mesurer par la même soustraction (TS : *total shift*) les effets consécutifs totaux de l'AP [43]. Ces trois paramètres sensori-moteurs ont été évalués en pré-test, en post-tests à 1 (M1), 3 (M3) et 6 mois (M6) pour suivre l'évolution des référentiels de chaque patient, ainsi qu'avant et après chaque séance d'exposition prismatique (Expo1, Expo2, Expo3 et Expo4) dans le but de quantifier l'adaptation. Afin d'éviter de contaminer les mesures sensori-motrices par des paramètres cognitifs pouvant être impliqués dans la compensation de la déviation prismatique indépendamment de l'adaptation [43,53,61], un soin tout particulier a été porté sur l'utilisation de conditions différentes pendant les évaluations des pré- et post-tests et pendant l'exposition aux prismes : la cible utilisée pour le PSRV et les consignes de précision/vitesse étaient différentes de celles utilisées pendant l'exposition.

La mesure du DDM a été réalisée en demandant au patient de pointer avec sa main droite dans l'obscurité en position « droit-devant dans la direction d'une ligne imaginaire séparant leur corps en deux moitiés équivalentes ». Le sujet déployait son bras sans

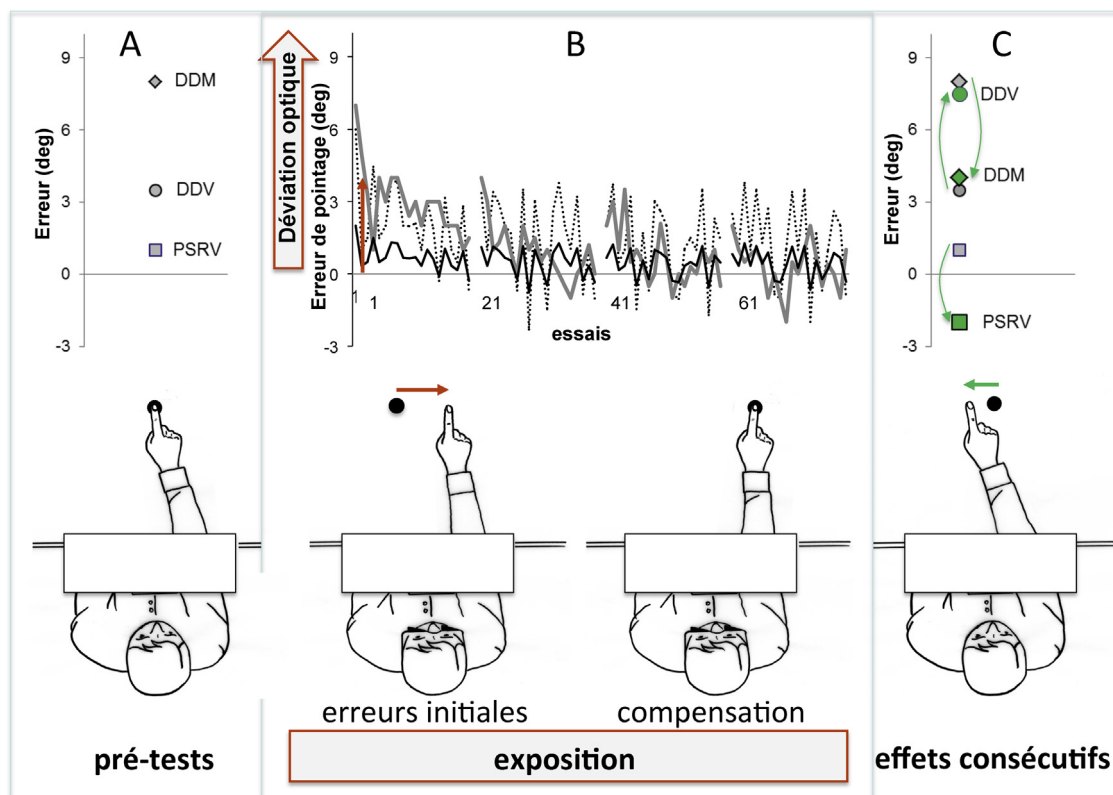


Fig. 2. Les phases de l'adaptation prismatique. A. Pré-test : le sujet est assis confortablement devant une table. Une mentonnière maintient le tronc en position droite et empêche le sujet de voir sa main au début du mouvement, afin d'engager une programmation motrice proprioceptivo-visuelle [55,56]. Des pré-tests sont réalisés pour permettre la mesure ultérieure des effets consécutifs compensatoires. Chez le patient avec NS, le PSRV reste correct, mais les droit-devant (DDM et DDV) sont déviés du côté droit. B. Exposition active : le sujet porte une paire de lunettes avec des verres prismatiques point par point déviant la vision de 10 degrés du côté droit. Le mouvement de pointage rapide (suppression du rétrocontrôle visuel du mouvement) [53] en direction d'une cible visuelle est décalé du côté de la déviation optique (flèche rouge), en direction de la cible virtuelle. Le système moteur peut alors prendre en compte l'erreur spatiale consécutive à la déviation prismatique, que le sujet ait une conscience phénoménologique de cette erreur ou non [70], et compenser finalement la déviation optique. Les trois exemples de courbes de réduction d'erreur correspondent à un patient parvenant à pointer assez rapidement pour générer des erreurs initialement importantes (gris), un patient pointant assez lentement pour produire des erreurs peu importantes (noir), et un patient avec une performance de pointage dégradée en variabilité (pointillé). On observe une correction progressive de la déviation des pointages, avec une recrudescence transitoire après chaque pause. Pendant cette exposition active aux prismes, le sujet compense la déviation optique de la vision, mais la présence d'une adaptation ne peut être attestée que par la présence d'effets consécutifs [43,53]. C. Effets consécutifs : après retrait des lunettes prismatiques, lorsque l'on demande au sujet de pointer à nouveau de façon rapide en direction d'une cible, le mouvement est décalé dans la direction opposée à la déviation optique (donc vers la gauche : flèche verte). Cet effet consécutif compensateur est l'effet consécutif total, ou réaligement spatial, qui peut être décomposé en deux composantes visuelle et proprioceptive, elles-mêmes mesurées par les droit-devant. [43,55,62]. L'amplitude de l'adaptation totale est quantifiée par la différence des mesures obtenues pour le PSRV en post- et pré-tests (PSRVpost-PSRVpré). Elle montre un décalage compensateur vers la gauche lorsque des prismes déviant la vision vers la droite sont utilisés. La composante visuelle de l'adaptation (DDVpost-DDVpré) montre un décalage compensateur du côté de la déviation optique, donc à droite. La composante proprioceptive (DDMpost-DDMpré) montre un décalage compensateur vers la gauche. PSRV : pointage sans rétroaction visuelle ; DDM : droit-devant manuel ; DDV : droit-devant visuel.

contrainte de vitesse ou d'amplitude, et l'on lui rappelait si nécessaire qu'il n'était pas attendu qu'il aille vite ou étire le bras au maximum. La mesure du pointage était effectuée à l'aide d'un contacteur soudé sur un dé à coudre enfilé sur l'index droit, au-dessus d'une table recouverte d'un papier carbone isorésistif, sur laquelle étaient appliquées deux électrodes de 65×1 cm définissant ainsi un secteur d'angle de 50° centré sur la position de départ près du torse, et d'une profondeur de 70 cm. Entre les électrodes, était généré un courant continu de 5 V. Lorsque le doigt atteignait la surface de la table, la tension était mesurée entre le contact du dé et l'électrode de référence comme dans un potentiomètre. Cette tension permettait de calculer la position angulaire par rapport à l'axe sagittal objectif, convertie en degrés et signée conventionnellement (négatif à gauche et positif à droite ; Fig. 3A). La précision de cette mesure est estimée à $\pm 0,5$ degrés.

La mesure du DDV a été réalisée dans l'obscurité totale. Le patient était assis confortablement devant une table, la tête était maintenue droite par une mentonnière [21]. Une diode lumineuse rouge était déplacée par l'expérimentateur sur une rampe horizontale de deux mètres fixée à une distance d'un mètre en face

du patient. La vitesse de déplacement était comprise entre 20 et 30 cm/s. Dix mesures successives étaient réalisées en alternant le déplacement de la cible dans le sens droite-gauche et dans le sens opposé. On demandait au patient d'interrompre verbalement (« stop ! ») le déplacement de la cible lorsqu'il la percevait en position « droit-devant » (Fig. 3B). La mesure de la déviation était réalisée grâce à un galvanomètre calibré et convertie en déviation angulaire par rapport au droit-devant objectif.

La mesure du PSRV a été réalisée dans les mêmes conditions d'obscurité et avec le même dispositif (Fig. 3C). La cible lumineuse était alignée avec l'axe sagittal du patient. L'instruction donnée au patient pour ce test était de placer sa main droite à l'aplomb de la cible, en privilégiant la précision et sans aucune contrainte de temps, afin de s'éloigner des conditions de pointage utilisées pendant l'exposition et d'obtenir une mesure des effets consécutifs sensori-moteurs moins polluée par des facteurs cognitifs [43].

Au cours de l'exposition prismatique, les erreurs terminales de chaque mouvement étaient relevées au moyen du dé à coudre et converties en degrés d'erreur angulaire par rapport à la cible visée.

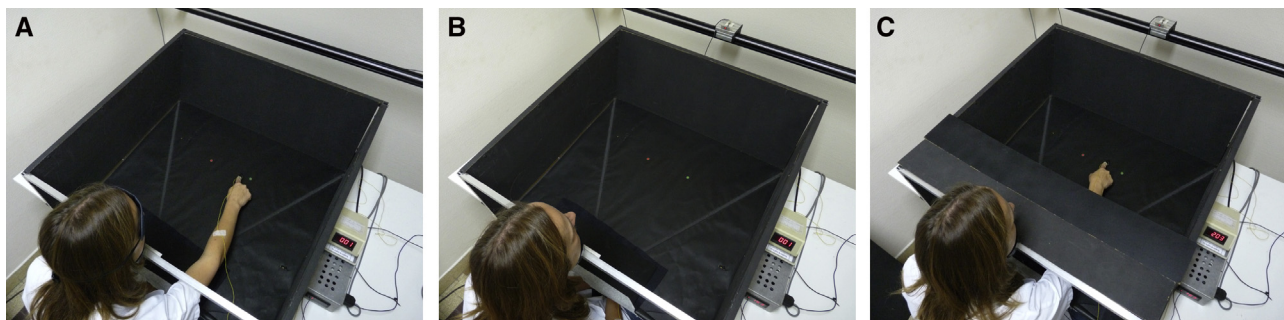


Fig. 3. Évaluation quantitative de l'adaptation prismatique. A. Mesure du droit-devant manuel. Le sujet doit réaliser une série de 10 pointages avec sa main droite dirigée dans l'obscurité en direction de son « droit-devant ». B. Mesure du droit-devant visuel. Le sujet doit interrompre le déplacement latéral d'une cible visuelle (10 essais) lorsque celle-ci est perçue en position « droit-devant ». C. Mesure du pointage sans rétroaction visuelle. Le sujet doit réaliser une série de 10 pointages avec sa main droite en direction d'une cible visuelle et en l'absence de vision de sa main.

2.5. Analyse statistique

Les résultats des deux groupes aux pré-tests ont d'abord été comparés. Une première analyse de variance à mesures répétées a comparé les deux groupes pour les paramètres suivants (âge, MIF, BIT, délai moyen post-AVC). Les paramètres sensori-moteurs ont été comparés par une rmANOVA (analyse de variance à mesures répétées) incluant le facteur session puisque deux pré-tests étaient disponibles. La fiabilité de ces mesures sensori-motrices a été évaluée par une corrélation.

L'évaluation des effets sensori-moteurs a procédé en deux étapes principales. Les premiers tests ont comparé les différences effets consécutifs mesurés par la différence post-pré par des tests-*t* de Student unilatéral contre la valeur théorique zéro. Une analyse de variance à mesures répétées à trois facteurs a ensuite comparé les deux traitements (facteur groupe, inter-sujet : prisme et témoin) avec deux facteurs intra-sujets : pré-post (mesure avant et après exposition) et session (Expo1 à Expo4). Les courbes de réduction d'erreurs obtenues pendant l'exposition n'étaient pas interprétables du fait de la vitesse de mouvement à la fois variable et lente des patients.

Afin d'étudier l'impact à long terme des 4 séances d'AP sur les variables sensori-motrices, une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée avec les facteurs « session » (pré, M1, M3, M6 ou pré et M6), « groupe » (prisme, témoin) pour chaque paramètre fonctionnel étudié.

Pour terminer, les résultats ont également permis d'explorer la valeur prédictive des paramètres sensori-moteurs sur les scores BIT et MIF, ainsi que sur leur évolution entre les pré-tests et M6.

3. Résultats

3.1. Pré-tests

La comparaison préalable des 2 groupes de patients ne montre pas de différence pour l'âge ($55,2 \pm 11,9$ ans pour le groupe « prisme » ; $61,7 \pm 12,9$ ans pour le groupe « témoin » ($t(16) = 1,1$; $p > 0,25$)), la sévérité de la NS (score moyen BIT : $76,7 \pm 38,2$ pour le groupe « prisme » ; $70,2 \pm 37,6$ pour le groupe « témoin » ($t(16) = -0,36$; $p > 0,7$)) et le niveau d'incapacité (score moyen MIF : $64 (24,1)$ pour le groupe « prisme » et $62,4 (22)$ pour le groupe « témoin » ($t(16) = 0,14$; $p > 0,8$)) le délai moyen post-AVC ($51 \pm 17,4$ jours pour le groupe « prisme » ; $52,2 \pm 19,3$ jours pour le groupe « témoin » ($t(16) = 0,41$; $p > 0,8$)).

Les performances initiales des patients pour le DDM étaient systématiquement déviées vers la droite puisque sur les 36 mesures réalisées en pré-test chez les 18 patients, seules deux étaient déviées, modérément, à gauche ($-4,0$ et $-2,9^\circ$). Toutes les

autres mesures étaient comprises entre $0,3$ et $22,3^\circ$. La moyenne du groupe « prisme » était de $6,0^\circ (\pm 6,47)$ au premier pré-test et de $8,8^\circ (\pm 9,25)$ au second. La moyenne du groupe « témoin » était de $8,1^\circ (\pm 5,5)$ au premier pré-test et de $8,2^\circ (\pm 8,0)$ au second. Les différences entre les deux groupes ($F(1,16) = 0,003$; $p > 0,95$) et entre les deux sessions ($F(1,16) = 3,14$; $p > 0,10$) n'étaient pas significatives, ni leur interaction ($F(1,16) = 0,44$; $p > 0,50$). Pour l'ensemble des 18 patients, la moyenne du DDM était de $7,0^\circ (\pm 5,9)$ et de $8,5^\circ (\pm 8,4)$ respectivement pour les deux pré-tests. La fiabilité de cette mesure était excellente puisque la corrélation test-retest entre les deux mesures était fortement significative ($y = 1,32 \times +0,06$; $R^2 = 0,73$; $p < 0,00005$).

Pour le DDV, la réalisation de la tâche était difficile pour certains patients et un nombre insuffisant de mesures fiables a pu être réalisé. Les analyses décrites ci-dessous incluent donc seulement les données de 13 patients qui pouvaient réaliser la tâche complètement (6 du groupe « prisme » et 7 du groupe « témoin »). L'appréciation du DDV était faiblement latéralisée (14 moyennes sur les 26 mesures des deux pré-tests étaient déviées à gauche). La valeur moyenne d'appréciation du DDV était de $-3,0^\circ (\pm 6,1)$ au premier pré-test et de $3,5^\circ (\pm 5,0)$ au second pour les patients du groupe « prisme » et de $1,0^\circ (\pm 4,55)$ au premier pré-test et $0,4^\circ (\pm 4,4)$ au second pré-test pour les sujets du groupe « témoin ». Sur les 18 patients, les valeurs moyennes étaient de $-0,85^\circ (\pm 5,55)$ au premier pré-test et $1,85^\circ$ au second pré-test ($\pm 4,8$), donc globalement proches de zéro. La différence entre les deux groupes n'était pas significative ($F(1,11) = 1,22$; $p > 0,70$). Un effet groupe ($F(1,11) = 6,41$; $p < 0,05$) et une interaction groupe \times session ($F(1,11) = 6,16$; $p < 0,03$) ont été observés, qui reflètent probablement la grande variabilité de cette mesure (6 patients sur 13 montrent une variation supérieure à 6 degrés entre les deux pré-tests). La fiabilité de cette mesure chez 13 patients testés à deux reprises en pré-test s'avère en effet très mauvaise puisque la corrélation entre les deux sessions était très médiocre ($y = 0,14 \times +2,12$; $R^2 = 0,03$; $p > 0,57$).

Les PSRV étaient très précis en moyenne, avec des valeurs d'erreur de $2,8^\circ (\pm 2,3)$ dans le groupe « prisme », et de $-2,4^\circ (\pm 5,4)$ dans le groupe « témoin » au premier pré-test (valeur moyenne de $0,2^\circ [\pm 4,8]$ pour les 18 patients), et des valeurs d'erreur de $2,6^\circ (\pm 3,6)$ dans le groupe « prisme », et de $-1,9^\circ (\pm 4,6)$ dans le groupe « témoin » au second pré-test (valeur moyenne de $0,3^\circ [\pm 4,6]$ pour les 18 patients). La différence entre les deux groupes était significative ($F(1,16) = 9,14$; $p < 0,01$) mais le facteur session n'était significatif ni isolément ($F(1,16) = 0,02$; $p > 0,80$) ni en interaction avec le facteur groupe ($F(1,16) = 0,10$; $p > 0,75$). Cependant, la fiabilité de cette mesure était médiocre (corrélation entre les deux pré-tests : $y = 0,50 \times +0,24$; $R^2 = 0,26$; $p < 0,05$) malgré un large étalement des valeurs individuelle entre $-11,0$ et $7,0$ degrés.

3.2. Effets directs de l'exposition prismatique

La faible vitesse des mouvements de pointage réalisés par les patients leur permettait très souvent de corriger les effets de la déviation optique avant la fin de leur mouvement, en utilisant automatiquement les rétroactions visuelles [53]. De ce fait, de nombreux pointages se terminaient sans erreur significative. La Fig. 2B présente trois exemples représentatifs de réduction d'erreurs observés chez les patients du groupe « prisme ». Comme cela a déjà été démontré [46,53], la réduction des erreurs était indépendante du développement des effets consécutifs.

Les résultats du questionnaire phénoménologique sont probants : aucun patient n'a révélé le moindre indice de détection des effets des prismes au cours de la première exposition. Les réponses des patients pendant le questionnaire exprimaient simplement l'absence de détection d'une déviation optique (oui ou non) et les commentaires recueillis ne permettaient pas de déceler une connaissance implicite ou une interrogation sur un quelconque effet sur le pointage. Certains patients ont commenté spontanément le poids des lunettes, ou même déclaré qu'« elles fonctionnent mieux que les miennes ». Il est remarquable que les deux dernières questions, exprimant pourtant la possibilité d'une déviation visuelle ou du mouvement aient systématiquement recueilli des réponses négatives très affirmatives. On peut rappeler à titre de comparaison que des sujets sains, y compris les conjoints des patients qui ont essayé les lunettes prismatiques, expriment tous une réaction verbale et émotionnelle (surprise, rire...) dès le premier essai de pointage avec prismes. Lors des 3 expositions suivantes, les réponses des patients sont restées du même type. La seule exception notable à ce résultat tranché ou a été observée lors de la quatrième exposition d'une patiente, qui a indiqué à la dernière question qu'« effectivement il lui semblait que sa main était plutôt déviée du côté droit avec les lunettes ».

3.3. Effets consécutifs sensori-moteurs de l'adaptation

3.3.1. Droit-devant manuel

La Fig. 4A montre que chaque session d'exposition entraîne la modification attendue du DDM dans la direction opposée à la déviation prismatique. L'amplitude d'adaptation mesurée par la différence post-pré était de $-4,7^\circ (\pm 3,1)$ pour Expo1 (comparaison au standard zéro : $t(8) = 4,57$, p unilatéral $< 0,001$), $-7,0^\circ (\pm 6,47)$ pour Expo2 (comparaison à zéro : $t(8) = 3,23$, p unilatéral $< 0,01$), $-5,5^\circ (\pm 8,0)$ pour Expo3 (comparaison à zéro : $t(8) = 2,04$, p unilatéral $< 0,04$) et $-3,3^\circ (\pm 6,8)$ pour Expo4 (comparaison à zéro : $t(8) = 1,46$, p unilatéral $< 0,09$) pour le groupe « prisme ». La reproductibilité des effets de l'exposition prismatique sur le DDM est illustrée par le fait que 100 % des patients du groupe « prisme » ont présenté un effet consécutif vers la gauche pour les trois premières sessions et 67 % pour la dernière. À titre de comparaison, la différence post-pré chez les patients du groupe « témoin » variait entre $+0,1^\circ (\pm 4,7)$ et $-1,7^\circ (\pm 6,4)$. En conséquence, la déviation initiale de la référence égocentrique a été globalement réduite de $8,8^\circ \pm 9,25$ à $0,1^\circ \pm 13,8$ dans le groupe « prisme » entre la première et la dernière mesure alors qu'elle ne variait que de $7,3^\circ \pm 8,0$ à $2,4^\circ \pm 4,35$ entre la première et la dernière mesure dans le groupe « témoin ».

L'analyse de variance à mesures répétées (facteurs session [Expo1, Expo2, Expo3, Expo4], pré-post [avant et après AP] et groupe [prisme, témoin]) ne montre pas d'interaction significative pré-post \times session \times groupe ($F(3,48) = 0,48$; $p > 0,70$) ni d'effet principal du groupe ($F(1,16) = 0,81$; $p > 0,30$). Les effets principaux pré-post ($F(1,16) = 12,98$; $p < 0,005$) et session ($F(3,48) = 3,53$; $p < 0,05$) sont interprétables à la lumière des interactions entre deux facteurs. L'effet session \times groupe ($F(3,48) = 2,92$; $p < 0,05$) illustre simplement le fait que pour certaines sessions la moyenne des mesures pré- et post-est inférieure dans le groupe « prisme ».

L'interaction pré-post \times groupe ($F(1,16) = 5,62$; $p < 0,05$) illustre le fait que seul le groupe « prisme » produit un effet consécutif de l'exposition significatif (cf. supra tests de comparaison au standard zéro).

3.3.2. Droit-devant visuel

La Fig. 4B montre l'évolution du DDV dans les deux groupes de patients au cours de la prise en charge. Globalement, l'effet observé dans le groupe « prisme » à la première session est dans la direction attendue (i.e., dans la direction de la déviation optique) alors que, de façon inattendue, la tendance globale au cours du mois de prise en charge évolue dans la direction opposée. La variabilité inter-individuelle et la fluctuation spontanée du groupe « témoin » rendent difficile l'interprétation plus précise des variations de cette variable. L'analyse de variance à mesures répétées (facteurs session [Expo1, Expo2, Expo3, Expo4], pré-post [avant et après AP] et groupe [prisme, témoin]) ne montre aucun effet significatif (seule l'interaction session \times groupe est marginalement significative avec $F(3,30) = 2,69$; $p = 0,064$ et les autres $ps > 0,30$). Aucune comparaison des différences post-pré n'est significativement différente de zéro (Student $ts < 1,7$; $ps > 0,15$).

3.3.3. Pointage sans rétroaction visuelle (boucle ouverte)

La Fig. 4C montre que l'amplitude d'adaptation mesurée par la différence post-pré était de $-5,3^\circ (\pm 2,51)$ pour Expo1, $-5,7^\circ (\pm 3,93)$ pour Expo2, $-2,2^\circ (\pm 1,60)$ pour Expo3 et $-1,8^\circ (\pm 3,65)$ pour Expo4 pour le groupe « prisme ». Les tests- t de Student comparant ces valeurs au standard zéro étaient significatifs pour les trois premières sessions ($t(8) = 6,30$; $p = 0,0001$ pour Expo1 ; $t(8) = 4,31$; $p = 0,001$ pour Expo2 ; $t(8) = 4,11$; $p = 0,002$ pour Expo3 ; $t(8) = 1,44$; $p = 0,09$ pour Expo4). Il est également significatif de noter que 100 % des patients du groupe « prisme » ont présenté un effet consécutif vers la gauche pour les deux premières sessions ; 89 % pour la troisième et 67 % pour la dernière. À titre de comparaison, la différence post-pré chez les patients du groupe « témoin » variait aléatoirement entre $+0,2 (2 \pm 2,8)$ et $-1,8^\circ (\pm 0,5)$ et les tests- t de Student comparant ces valeurs au standard zéro n'étaient marginalement significatifs que pour la dernière session ($t(8) = 2,39$; $p = 0,05$).

L'analyse de variance à mesures répétées (facteurs session [Expo1, Expo2, Expo3, Expo4], pré-post [avant et après AP] groupe [prisme, témoin]) a révélé une interaction significative entre les facteurs. Les effets principaux (groupe : $F(1,16) = 0,07$; $p > 0,8$; session : $F(3,48) = 0,17$; $p > 0,9$; pré-post : $F(1,16) = 27,39$; $p < 0,005$) et les interactions simples (session \times groupe : $F(3,48) = 3,18$; $p < 0,005$; pré-post \times groupe : $F(1,16) = 12,97$; $p < 0,005$) ; session \times pré-post : $F(3,48) = 2,03$; $p > 0,10$) ne sont pas directement interprétables en raison d'une interaction significative groupe \times session \times pré-post : $F(3,48) = 3,24$; $p < 0,05$). Cette interaction a donc été explorée par des comparaisons planifiées complémentaires par tests univariés, qui ont révélé que l'interaction entre pré-post et groupe (prisme, témoin) était significative pour les sessions Expo1 ($F(1,16) = 10,0$; $p < 0,001$), Expo2 ($F(1,16) = 9,70$; $p < 0,001$), Expo3 ($F(1,16) = 5,30$, $p < 0,05$) mais pas pour Expo4 ($F(1,16) = 0,002$; $p > 0,95$). En conclusion, ces analyses confirment l'impression visuelle donnée par la Fig. 4 selon laquelle l'amplitude des effets consécutifs tend à se réduire avec la répétition des sessions d'exposition aux prismes.

3.3.4. Alignement des référentiels

Chez le sujet sain à l'état normal, ces trois mesures sensorimotrices sont alignées et ne montrent pas de déviation significative comme chez le patient avec NS. Ces mesures servent de base pour la quantification des effets consécutifs de l'AP (soustractions post-pré). On observe alors en général une additivité des effets de l'AP telle que le PSRV, qui mesure l'alignement visuo-proprioceptif, correspond à la somme des deux autres mesures, droit-devant

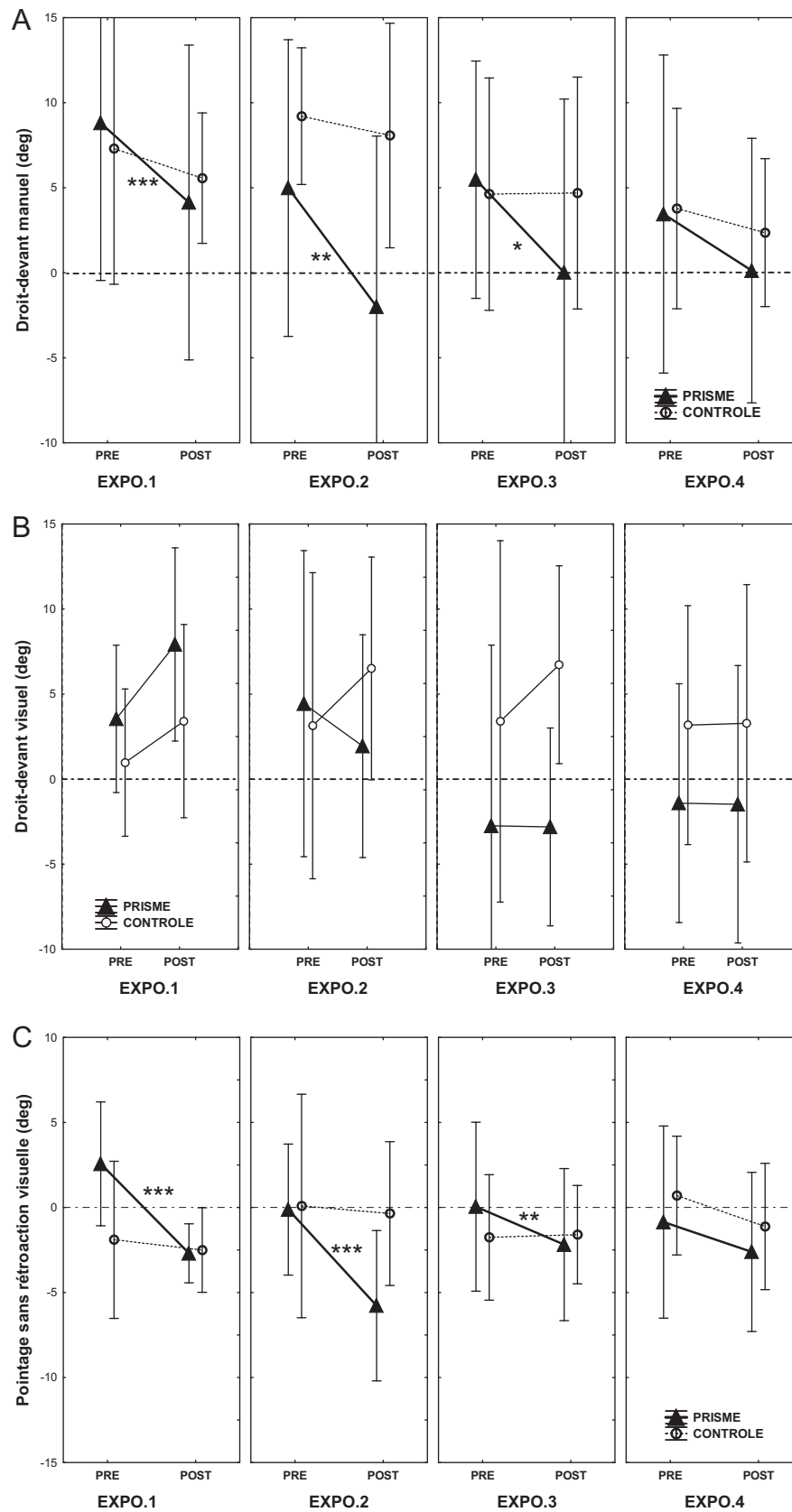


Fig. 4. Quantification de l'AP par la mesure du DDM (A), du DDV (B) et du PSRV (C) après chaque exposition (Expo1, Expo2, Expo3 et Expo4) pour les patients des groupes « prisme » (triangle noir) et « témoin » (cercle blanc). A. Les mesures du DDM réalisées avant et après chaque séance d'exposition montrent d'une part l'effet de chaque session d'exposition prismatique, produisant à chaque fois un décalage vers la gauche et produisant une évolution globale du DDM d'une valeur initialement fortement ancrée à droite vers une valeur centrée au terme du traitement. En comparaison, le groupe témoin n'est pas affecté par les séances d'exposition et suit une évolution spontanée moins marquée. B. Le DDV suit une évolution en deux temps dans le groupe prisme, avec une première session exagérant le décalage vers la droite et une évolution ultérieure, procédant autant entre les sessions que pendant les sessions, jusqu'à des valeurs paradoxalement négatives. En comparaison le groupe témoin ne suit pas d'évolution notable.

visuel et droit-devant proprioceptif, qui sont de signes opposés [PSRV = DDM + DDV] [43,61,62]. Il est donc intéressant de déterminer à partir de ces trois mesures si cette cohérence est perturbée chez le patient négligent et comment celle-ci est affectée par l'AP. Deux analyses complémentaires ont été réalisées pour explorer l'alignement visuo-proprioceptif des patients et sa modification par l'AP.

Par ailleurs dans cette étude, la mesure répétée des paramètres sensori-moteurs permet d'étudier les liens entre les référentiels visuel et proprioceptif et la précision du pointage. Les mesures des droit-devant disponibles pour 13 patients avec NS réalisées en pré-test permettent-elles de prédire le résultat de leur pointage sans rétroaction visuelle ? La Fig. 5 représente les trois mesures sensori-motrices et la prédiction d'additivité (DDV + DDM). Il apparaît clairement, et de façon congruente, que la somme des mesures visuelle et proprioceptive (DDV + DDM = 8,6° (±6,8) pour le pré-test 1 et 6,3° (±8,3) pour le pré-test 2) est très différente de la mesure des pointages sans rétroaction visuelle (-0,8° (±5,2) pour le pré-test 1 et -0,1° (±5,1) pour le pré-test 2). L'alignement visuo-proprioceptif reflété par le PSRV des patients est très peu dévié en moyenne alors que l'alignement prédit est très dévié vers la droite. Un test-t apparié de Student confirme une différence très significative entre ces deux variables ($t(12) = 4,81$; $p < 0,0005$), ce qui confirme une forte différence avec le résultat attendu chez des sujets sains.

Enfin, la mesure de l'adaptation totale, évaluée par le PSRV, correspond-elle à la somme des deux mesures visuelle (DDV) et proprioceptive (DDM) ? La Fig. 6 évalue cette fois l'hypothèse d'une additivité des effets consécutifs visuel et proprioceptif pour constituer l'effet consécutif total, mesuré par le PSRV [43,61–63]. Les effets consécutifs visuels et proprioceptifs sont bien des directions opposées, et le décalage visuo-proprioceptif mesuré par le PSRV est dévié du même côté que le décalage prédit. Malgré l'imperfection de l'additivité prédite, le test-t apparié de Student ne révèle pas de différence significative entre ces deux variables ($t(12) = 0,74$; $p = 0,49$).

3.4. Effets sensori-moteurs à long terme de l'AP

Le DDM, marqueur à la fois de l'AP et de la NS et significativement dévié vers la droite dans les deux groupes initialement, évolue progressivement vers des valeurs proches de zéro. L'avantage induit pour le groupe « prisme » par le traitement s'estompe progressivement (à M1 : groupe « prisme » = 2,4 ± 7,4 et groupe « témoin » = 6,2 ± 3,3 ; à M3 : groupe « prisme » = 0,2 ± 7,7 et groupe « témoin » = 1,8 ± 7,9 ; à M6 : groupe « prisme » = 1,9 ± 4,4 et groupe « témoin » = -0,15 ± 3,0). L'ANOVA étudiant l'effet « mois » (pré, M1, M3, M6) et l'effet « groupe » ne relève pas d'interaction significative ($F(3,48) = 0,19$; $p > 0,9$). L'effet « mois » est significatif ($F(3,48) = 5,14$; $p < 0,005$) et l'effet « groupe » ne l'est pas ($F(1,16) = 1,5$; $p > 0,2$).

Le DDV, initialement dévié de façon non significative vers la gauche, suit une évolution globalement stable. La différence induite entre les deux groupes par l'AP s'estompe après la fin du traitement. L'ANOVA ne révèle pas d'effet significatif ni d'interaction entre les facteurs « groupe » et « mois » ($F_s < 1,25$).

Le PSRV, initialement différent dans les deux groupes sans raison évidente, est stabilisé autour de la précision maximale zéro après le traitement dans le groupe « prisme » : (-0,5 ± 3,0 à M1 ; -0,3 ± 4,3 à M3 ; 0,3 ± 4,5 à M6). Il reste dévié vers la gauche à M1 (-3,0 ± 9,3) dans le groupe « témoin » mais rejoint la précision du

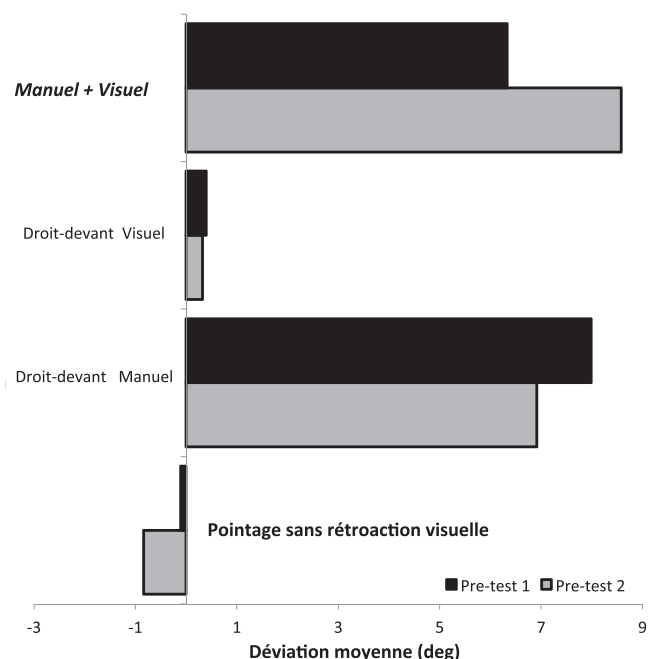


Fig. 5. Paramètres sensori-moteurs mesurés lors des deux pré-tests. Les deux pré-tests permettent des observations similaires. Alors que le DDM est dévié vers la droite, le DDV et le PSRV sont en moyenne proches de zéro. En conséquence, l'alignement visuo-proprioceptif prédit par les deux droit-devant (DDM + DDV) est fortement dévié vers la droite et significativement différent de la valeur du pointage observé (PSRV), ce qui ne correspond pas à l'hypothèse d'additivité des valeurs absolues (PSRV = DDM + DDV). Ce décalage pourrait expliquer la facilité adaptative des patients aux prismes droits, et leur résistance à l'adaptation vers la gauche [71] (nota : les valeurs présentées dans cette figure sont différentes des figures précédentes car seules les données de 13 patients y sont incluses).

pointage du groupe « prisme » à M6 (-0,15 ± 3,0). L'ANOVA ne révèle pas d'effet significatif ni d'interaction entre les facteurs « groupe » et « mois » ($F_s < 2,60$).

3.5. Effets cognitifs et fonctionnels à long terme de l'AP

3.5.1. Score MIF

La Fig. 7 montre que les deux groupes se sont améliorés au cours de leur suivi. L'analyse de variance ANOVA à mesures répétées (facteurs « session » [pré, M1, M3, M6], « groupe » [prisme, témoin]) ne met pas en évidence d'interaction entre les facteurs session et groupe ($F(3,48) = 0,03$; $p > 0,05$) pour le critère de jugement principal. Il existe un effet significatif du temps, témoignant d'une amélioration de l'autonomie dans les deux groupes ($F(3,48) = 34,1$; $p < 0,0001$).

3.5.2. Score BIT

Les scores BIT moyen de chaque groupe, initialement pathologiques avec des valeurs de 70,2 ± 37,6 pour le groupe « prisme » et 76,7 ± 38,2 pour le groupe « témoin » atteignent au terme du suivi 113,4 (±28,0) pour le groupe « prisme » et 117,4 (±23,7) pour le groupe « témoin », correspondant à des valeurs supérieures au seuil. L'analyse de variance à mesures répétées (facteur « session » [pré, M6], « groupe » [prisme, témoin]) ne met pas en évidence d'interaction significative ($F(1,1-) = 0,82$; $p > 0,05$). L'augmentation du score BIT

C. Le PSRV reste bien centré aux cours des pré-tests des deux groupes. Chaque session d'exposition aux prismes produit l'effet attendu de décalage vers la gauche, mais aucune évolution globale n'est notée dans les deux groupes, les patients réalignant probablement leur système sensori-moteur grâce aux rétroactions générées au cours de leurs actions quotidiennes. Les étoiles indiquent le résultat des tests-t contre la référence zéro réalisés sur la différence post-pré dans le groupe prisme (* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$).

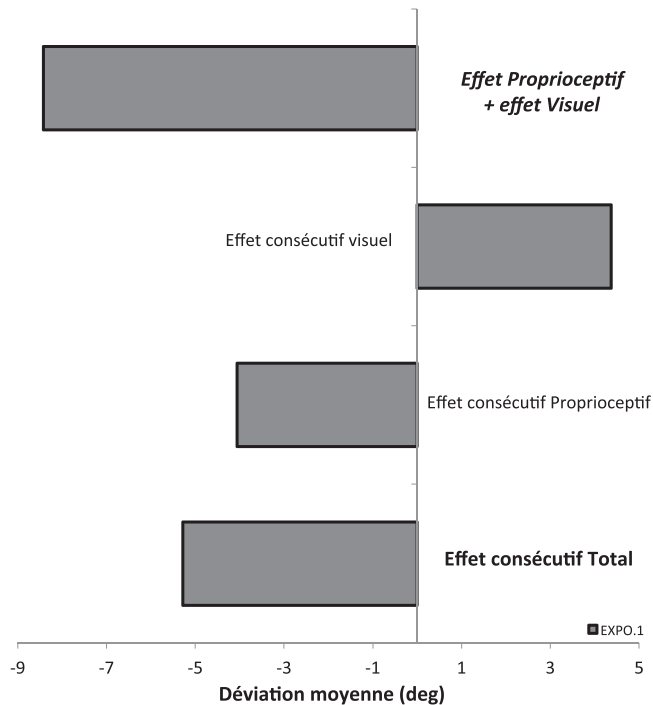


Fig. 6. Hypothèse d'additivité des effets consécutifs de l'adaptation prismatique. Au cours de la première exposition (Expo1), les patients montrent les effets consécutifs attendus : le réalignement visuo-proprioceptif, ou effet consécutif total (*total shift*) mesuré par le PSRV est dévié de façon compensatrice vers la gauche. Les effets consécutifs proprioceptifs mesurés par le DDM sont déviés vers la gauche, et les effets consécutifs visuels mesurés par le DDV sont déviés vers la droite [43,62]. En revanche, la valeur de réalignement prédite par l'hypothèse d'additivité des composantes visuelle et proprioceptive (en valeur absolue) excède la valeur observée (nota : les valeurs présentées ici sont différentes des figures précédentes car seules les données de 6 patients y sont incluses).

observée à 6 mois est en faveur d'une amélioration à terme de la NS similaire dans les deux groupes de patients ($F(1,16) = 53,1$; $p < 0,0001$) avec une moyenne globale qui augmente de 73,4 ($\pm 36,9$) à 115,4 ($\pm 25,3$).

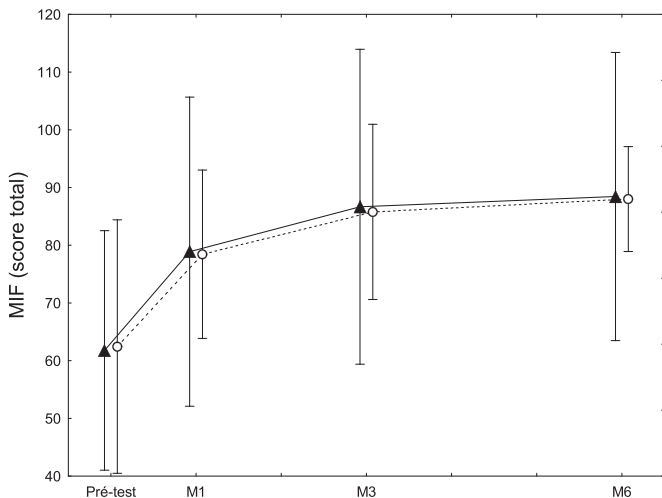


Fig. 7. Scores totaux de la MIF des patients des groupes « prisme » (triangle noir) et « témoin » (cercle blanc). L'évolution montre une amélioration des scores des patients des 2 groupes sans différence significative, témoignant d'une amélioration comparable de l'autonomie des patients des 2 groupes à 6 mois. L'augmentation des scores se produit essentiellement durant le premier mois, puis évolue plus lentement. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 0,95.

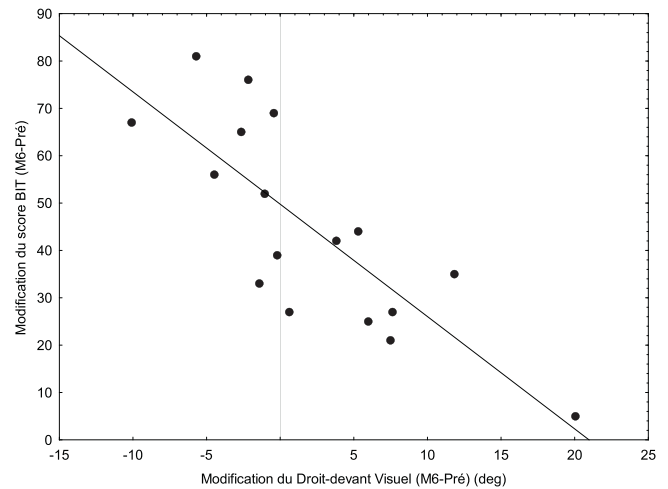


Fig. 8. Corrélation entre la variation du BIT et la variation du DDV entre le pré-test et M6. Une corrélation très significative est observée entre les valeurs différentielles (post-pré) des paramètres sensori-moteurs et du score BIT. La régression partielle est très significative pour le DDV uniquement, illustrant que l'augmentation du score BIT entre l'inclusion et M6 est proportionnelle à l'évolution du DDV. En pratique, tous les patients montrent une amélioration à 6 mois de leur score BIT, et tous les patients ($n = 7$) montrant une variation du DDV vers la gauche, et uniquement eux, présentent une augmentation d'au moins 50 points de leur score BIT.

3.6. Valeur prédictive des paramètres sensori-moteurs

Une première série d'analyse a exploré la valeur prédictive des paramètres sensori-moteurs pour les scores BIT et MIF recueillis en pré-tests et à M6. Les trois analyses de régression multiple réalisées avec les paramètres sensori-moteurs des inclusions (pré-test 1), du pré-test de Expo1, ou pré-test 2 et de la moyenne de ces deux pré-tests (pré-moyen) ne sont pas significatives ($R_s < 0,6$; $p_s > 0,3$). Une seule des neuf corrélations partielles est significative, montrant que la variable dépendante BIT n'est corrélée qu'au DDV mesuré au pré-test 1 ($t(13) = 2,17$; $p < 0,05$), ce qui corrobore la variabilité décrite plus haut entre les deux pré-tests du DDV, mais suggère que le score BIT, test essentiellement visuel, est potentiellement lié au DDV. L'analyse de régression multiple réalisée avec les trois paramètres sensori-moteurs mesurés à M6 montre que le lien observé en pré-test a disparu au terme du suivi à 6 mois ($ts(13) < 0,9$; $ps > 0,4$). Pour le score MIF, aucune corrélation significative n'est observée ni pour les pré-tests ni à M6 ($ts < 2,0$; $ps > 0,05$).

Une deuxième série d'analyse a exploré la valeur prédictive des paramètres sensori-moteurs sur l'évolution des scores BIT et MIF. Ce sont donc ici les valeurs différentielles (M6-pré) de chaque paramètre qui ont été utilisées comme variables dépendantes (MIF ou BIT) et indépendantes (DDM, DDV, PSRV) de la régression multiple. Pour le BIT, la régression multiple est très significative ($R = 0,86$; $F(3,13) = 12,5$; $p < 0,0005$). La modification du BIT montre une corrélation très significative avec la modification du DDV ($t(13) = 4,91$; $p < 0,0005$; Fig. 8), marginale avec la modification du PSRV ($t(13) = 2,09$; $p = 0,057$), et non significative avec le DDM ($t(13) = 0,88$). Aucun résultat significatif n'a été obtenu avec les scores de MIF.

4. Discussion

Cet essai contrôlé randomisé monocentrique en double insu a évalué l'effet à long terme d'un traitement allégé d'une séance d'AP hebdomadaire pendant 4 semaines chez des patients présentant une NS chronique après accident vasculaire cérébral. L'évolution différentielle des effets sensori-moteurs, de la NS, et de l'incapacité

fonctionnelle permet de révéler que les effets sensori-moteurs de l'AP ne s'accompagnent pas nécessairement d'effets thérapeutiques à long terme. Notre discussion propose d'aborder successivement les dimensions sensori-motrices et thérapeutiques des effets observés, afin d'en tirer des enseignements utiles à la prise en charge clinique des patients et au dessin de futurs essais thérapeutiques.

Le DDM des patients mesuré en pré-test, à l'exception de deux d'entre eux, était systématiquement dévié du côté droit. Cette observation est concordante avec les valeurs de déviation en pré-test rapportées par plusieurs études précédentes [21,27,33,41]. Le décalage du droit-devant proprioceptif du côté de la lésion cérébrale présente une signification physiopathologique de la NS intéressante [42,58,60,64] même si des observations de double dissociation [19,33] ont amené à la discuter. Ce paramètre constitue cependant une perturbation clinique pertinente à mesurer. La corrélation test-retest obtenue ici révèle la fiabilité de cette mesure. Celle-ci peut donc être recommandée en pratique clinique comme marqueur susceptible d'être utilisé non seulement pour la quantification de l'AP mais également pour le suivi de la référence égocentrique des patients [42]. Il en est différemment pour les performances des patients pour le DDV et le PSRV, qui se révèlent peu reproductibles entre les deux pré-tests. Bien que la NS soit primordialement considérée comme une pathologie à manifestation visuelle, la fiabilité de cette mesure proprioceptive est à mettre en relation avec les manifestations somesthésiques de ce syndrome [22–24]. Elle pourrait également être liée aux effets somesthésiques observés également chez le sujet sain après AP vers la gauche [65,66].

Certains auteurs ont proposé que la réduction des erreurs au cours du traitement par AP puisse servir d'indice de l'efficacité thérapeutique [67]. Cette proposition est affaiblie par le fait que les paramètres utilisés pour leurs analyses sont un mélange confus d'erreurs de pointage mesurées pendant une session et au cours de plusieurs sessions successives. Les résultats de cette étude confirment que les courbes de réduction d'erreurs ne permettent pas de prédire la quantité d'effet consécutif et donc d'adaptation, ceci aussi bien chez le sujet sain [53] que chez le patient cérébrolésé [46].

La mesure systématique des effets sensori-moteurs de l'exposition prismatique éclaire également les bases physiologiques de l'action thérapeutique de l'AP. Tous les patients ayant bénéficié d'une exposition prismatique ont présenté des effets consécutifs sensori-moteurs après exposition : 100 % des patients après les trois premières sessions et 67 % après la dernière pour les effets mesurés par le DDM ; 100 % des patients après les deux premières, 89 % pour la troisième et 67 % pour la dernière pour les effets mesurés par le PSRV. À l'issue de la 4^e exposition, les patients ne présentent plus de déplacement de leurs représentations du côté droit. De la même façon que les pré-tests avaient révélé l'intérêt préférentiel de cette mesure, les effets sensori-moteurs les plus fiables observés dans notre étude concernent le droit-devant proprioceptif. Ce paramètre, initialement dévié vers la droite, est déplacé vers la gauche après chaque séance d'AP. À la différence de plusieurs études précédentes [21,44,45], nous n'observons pas ici d'exagération des effets consécutifs proprioceptifs, pour un effet consécutif total normal [43]. En contraste, le DDV, initialement peu dévié, ne suit l'évolution attendue en direction de la déviation optique que lors de la première séance d'exposition. Il est surprenant de constater ici que son évolution ultérieure se produit en sens inverse (Fig. 4B), comme si ce paramètre visuel était finalement attiré par l'évolution du droit-devant proprioceptif, jusque vers des valeurs négatives. Ce résultat paradoxal permet de confirmer que le droit-devant proprioceptif est un marqueur clinique de l'efficacité de l'AP sur la NS : il est généralement dévié à droite initialement, sa mesure est fiable, il est modifié dans le sens

compensateur par l'adaptation (donc vers la gauche pour une déviation optique vers la droite), et de façon reproductible malgré la réduction progressive de l'amplitude des effets. À l'inverse, le DDV n'est pas fiable et modifié vers la droite par la déviation optique droite utilisée à des fins thérapeutiques. Son évolution globale dans la direction opposée à la déviation optique semble indiquer qu'il ne s'agit que d'un paramètre modifié secondairement par une action à un autre niveau, en l'occurrence proprioceptif.

Le PSRV, qui reflète classiquement l'alignement des deux référentiels visuels et proprioceptif et qui est classiquement utilisé pour quantifier l'adaptation [43,60,61], ne semble pas présenter les mêmes avantages de fiabilité et de reproductibilité que le DDM pendant les pré-tests. Nous avons initialement conclu que les effets consécutifs mesurés chez les patients négligents avec le DDM, d'amplitude double de celle observée chez des sujets sains, signifiaient que la réaction adaptative était accrue dans la NS, produisant des effets consécutifs plus importants [21,68]. L'idée que la compensation globale de la déviation optique puisse reposer sur des réactions stratégiques et sur des réactions véritablement adaptatives (réalignement spatial) [21,43,53] a permis à Michel et al. [69] de postuler que l'absence de composante stratégique dans la NS résultait en une mobilisation accrue du réalignement, mesuré par les effets consécutifs et seul témoin de l'adaptation [18,68]. L'augmentation de l'adaptation pourrait résulter de l'absence de conscience de la déviation révélée chez les patients négligents, confirmée par leur absence de réaction électrodermale à l'introduction de prismes [18]. En effet, des conditions d'exposition progressive aux prismes reproduisant cette perte de conscience perceptive chez le sujet sain accroissent également les effets consécutifs de l'adaptation [70]. Dans une intéressante étude des conséquences sensori-motrices et cognitives de l'AP chez des patients négligents, Saari et al. [44] avaient confirmé que l'amplitude des effets consécutifs proprioceptifs de l'AP étaient augmentée chez le patient négligent [21] mais que le PSRV était modifié de façon semblable chez le patient négligent et le sujet sain (voir aussi : [45]), suggérant un effet consécutif total (*total shift*) normal dans la NS. Une explication de l'exagération du DDM est que ce paramètre peut être affecté à la fois directement par les effets consécutifs de l'adaptation, et indirectement par la répercussion sur la référence égocentrique de l'expansion cognitive des effets de l'adaptation [33,44]. Mais le groupe de patients suivis ici montre à l'inverse des effets consécutifs proprioceptif normal et visuel exagéré, donc en direction anti-thérapeutique.

L'étude de l'alignement visuo-proprioceptif au cours des pré-tests (Fig. 5) permet de révéler l'existence d'un désalignement visuo-proprioceptif dans la NS, puisque le décalage du DDM vers la droite n'est pas compensé par un décalage opposé du DDV. Ce décalage calculé par l'hypothèse d'additivité n'est pas reflété par le PSRV, mais son existence pourrait expliquer l'asymétrie singulière des capacités adaptatives des patients négligents, qui s'adaptent au moins normalement à une déviation optique droite [21], mais pas à une déviation optique gauche [71]. En effet, la direction des effets consécutifs visuels et proprioceptifs induits par une déviation droite est compensatrice des déviations visuelles et proprioceptives préexistantes chez nos patients, alors qu'une déviation gauche induirait des effets de direction opposée, qui sont plus difficilement sur-additionnés aux déviations préexistantes.

Notre étude ne permettant pas une analyse des variations concomitantes des variables sensori-motrices et cognitives pour chaque séance d'AP ne peut malheureusement pas être plus conclusive sur ce point. L'étude des corrélations entre effets sensori-moteurs et cognitifs chez le sujet sain pourrait elle aussi permettre d'explorer cette question fondamentale sur les mécanismes liant les domaines sensori-moteur et cognitif [28,69,72,73] à l'origine des effets thérapeutiques de l'AP [68]. Il est néanmoins

intéressant de constater que l'amélioration spontanée des variables sensori-motrices dans le groupe « témoin » permet de rattraper l'avantage acquis transitoirement par le groupe « prisme » au cours du traitement. Une séance hebdomadaire d'AP ne permet donc pas de produire un avantage sensori-moteur à long terme, même si le bénéfice apporté par l'AP se maintient au-delà du traitement. Ces observations suggèrent que le traitement optimal par AP devra être plus intense pour apporter un bénéfice significatif par rapport à la récupération spontanée.

Les analyses de corrélation entre les paramètres sensori-moteurs et les scores BIT et MIF pendant les pré-tests et en termes d'évolution entre les pré-tests et M6 permettent d'éclairer la physiopathologie de la NS et les effets de l'AP. En effet, la faible corrélation entre le score BIT initial des 18 patients et les pré-tests sensori-moteurs disparaît à M6, soit lorsque les valeurs du BIT ne sont plus pathologiques. Ceci suggère que la déviation du DDV est seulement corrélée avec l'existence d'une NS marquée. De plus, l'évolution du score BIT, test de négligence essentiellement visuelle, au cours des 6 mois de suivi est fortement corrélée à la modification du DDV pendant la même période. Malgré sa variabilité initiale, l'évolution du DDV est ainsi le meilleur prédicteur de l'amélioration des patients à 6 mois.

Les effets sensori-moteurs de l'adaptation prismatique observés dans notre étude, même s'ils sont étonnamment durables pour une prise en charge aussi allégée, ne s'accompagnent pas d'une amélioration fonctionnelle à long terme. Nos résultats ne montrent pas de différence significative pour le critère de jugement principal (FIM) et secondaire (BIT) après la rééducation par AP. Cet essai clinique randomisé ne permet donc pas d'étendre les résultats rapportés à la suite d'une seule séance d'AP sur la négligence visuelle [33], la dyslexie spatiale [19], la dysgraphie spatiale [29] et la déambulation en fauteuil roulant [30,31] vers des effets plus durables. Dans ces études de cas [29,30,33] et de séries avec groupe témoin non randomisé [19], l'amélioration rapportée était maximale 24 heures après la séance d'exposition prismatique, puis persistait pour disparaître après une semaine, ce qui pouvait suggérer qu'une séance d'AP hebdomadaire était suffisante. Dans cet essai, aucune évaluation intermédiaire de la NS n'a été réalisée après chaque exposition avant et après chaque session d'AP, afin de limiter l'effet d'un apprentissage lié à la répétition des tests et il n'est donc pas possible de décrire les effets à court terme de chaque exposition sur l'amélioration de la NS. Néanmoins, nos résultats démontrent seulement qu'une séance d'AP hebdomadaire est insuffisante pour réduire à long terme les manifestations de la NS. Le régime utilisé dans le cadre de notre étude est en effet très allégé par rapport aux études ayant produit des résultats thérapeutiques intéressants, tant en termes de fréquence que de nombre de séances d'exposition aux prismes [15].

Des effets dissociés similaires ont été rapportés dans d'autres études [41,74]. Dans une étude contrôlée évaluant l'efficacité de 4 séances d'AP au cours du premier mois après un accident vasculaire cérébral, une amélioration plus rapide a été rapportée dans le groupe ayant bénéficié de l'AP que dans le groupe témoin au cours des premières semaines, sans maintien de cet avantage à un mois après le traitement, suggérant comme ici une posologie insuffisante pour produire des effets à long terme [40]. Enfin, des dissociations ont été rapportées dans des études de cas objectivant une réduction du biais sensori-moteur, y compris oculomoteur et l'absence d'effet cognitif après une séance d'AP [75,76]. Ces effets consécutifs de l'AP reflètent le réalignement des coordonnées spatiales. Cette composante de l'AP dépend de l'intégrité du cervelet [77], alors que les effets cognitifs et fonctionnels semblent dépendre de l'activation d'un réseau impliquant initialement le cervelet mais également, des zones

corticales [68,78–80]. Dans cette étude, aucun patient ne présentait de lésion cérébelleuse, ce qui permet d'expliquer que tous les patients du groupe « prisme » ont présenté des effets consécutifs.

Les études qui ont rapporté des effets durables de l'AP ont généralement utilisé une rééducation intensive comprenant deux séances d'exposition par jour pendant 2 semaines. Des effets à long terme ont ainsi été rapportés dans plusieurs études non randomisées [20,34–37] et randomisées [38,40], dont une randomisée contrôlée multicentrique, [39], qui a clairement montré que l'amélioration produite par cette rééducation par AP intensive (20 séances d'exposition pendant 2 semaines) concernait principalement les patients présentant une NS modérée. Une des limites de notre essai concerne le choix du critère de jugement principal. En effet, la MIF est une échelle générique d'évaluation des limitations d'activités non spécifique de la NS. Son avantage est de mesurer les conséquences fonctionnelles des différentes déficiences mais sa sensibilité au changement spécifique de l'amélioration de la NS est réduite en cas de déficit moteur et sensitif associé important, ce qui était le cas dans cet essai où 80 % des patients des 2 groupes présentaient des déficits sévères (Tableau 1).

En termes de recommandations pratiques, notre résultat suggère tout d'abord que l'espacement hebdomadaire des sessions d'AP ne permet pas de cumuler les effets de l'AP de façon optimale. En effet, la Fig. 6 illustre que les effets d'une session ont tendance à s'épuiser au pré-test de la session suivante, ce qui prévient la cumulation progressive des effets. Il est possible que dans ce cadre les effets terminaux de notre prise en charge ne dépassent pas ceux d'une seule séance d'adaptation. On peut donc supposer que cette faible fréquence de prise en charge, plus que la durée du traitement, est responsable de l'absence de bénéfice fonctionnel supplémentaire à long terme [40]. Les posologies ayant entraîné un bénéfice thérapeutique sont actuellement de 10 à 20 séances à raison de 2 par semaine à 2 par jour [15]. Deux séances d'AP hebdomadaires semblent donc représenter la dose minimale utilisable à des fins thérapeutiques durables, et la relation entre l'efficacité et la durée du traitement et le nombre de séance reste encore à étudier par des essais cliniques.

Notre étude permet également de définir la valeur respective des trois paramètres sensori-moteurs. Malgré sa variabilité, le DDV se distingue comme seul indice de rémission de la négligence. Son évolution, plus que sa valeur absolue, permet de prédire l'évolution du score BIT. Nos résultats confortent l'idée que le PSRV, marqué par une très forte significativité des résultats d'adaptation, reste le plus approprié pour décrire et quantifier les effets consécutifs de l'AP dans la NS [43,44,62]. Le DDM est une mesure robuste, déviée vers la droite de façon stable dans la négligence, qui permet de préciser le mécanisme d'action de l'AP sur la négligence. L'efficacité thérapeutique de l'AP suit la direction des effets consécutifs manuels, donc l'action des prismes au niveau proprioceptif, et non la direction des effets consécutifs visuels. Malgré cela, l'amélioration de la NS suit la variation du DDV, qui évolue paradoxalement vers la gauche au cours des séances répétées d'AP (Fig. 4A). On peut donc supposer que l'action des prismes au niveau proprioceptif constitue une porte d'entrée vers la coordination perturbée des référentiels spatiaux, au niveau de laquelle elle produit un effet de réorganisation attesté par la modification du DDV. Ce mécanisme proprioceptif fonderait donc une action inauguratrice d'un réalignement spatial multimodal secondaire dont l'amplitude serait mesurable par ses conséquences sur le DDV. Une hypothèse intéressante apportée par notre étude est que l'amélioration des paramètres cognitifs de la négligence spatiale résulterait de la modification du DDV des patients, en conformité avec la vision avant-gardiste de Marc Jeannerod [42,59,60,81].

Nous disposons aujourd'hui d'un nombre important d'études qui montrent le potentiel d'amélioration de la NS apporté par la rééducation par AP [10,12,15,82] même si les effets à long terme restent à confirmer par des essais randomisés multicentriques [11]. Des études supplémentaires sont aussi nécessaires pour déterminer la fréquence optimale et les modalités des expositions, l'amplitude maximale de la déviation prismatique et les critères de sélection des patients susceptibles de bénéficier de cette technique par rapport aux autres méthodes de rééducation de la NS. Dans la mesure où la NS est, dans la plus majorité des cas, associée à une hémiplegie, une héli-anesthésie ou une hélianopsie dont elle contribue à majorer la sévérité [10], il serait utile également intéressant d'associer l'AP à d'autres méthodes de rééducation spécifique des déficits moteurs et sensitifs pour réduire l'incapacité résultante. Cette association de méthodes complémentaires a été envisagée pour la rééducation de la NS dans des études non randomisées avec des effets à long terme, suggérant ainsi une potentialisation des possibilités de récupération [51,83,84]. Des effets cumulatifs ont été aussi obtenus en associant l'AP et la stimulation vibratoire des muscles postérieurs de la nuque [85]. Les investigations futures devront préciser quelles sont les associations les plus efficaces et comment les choisir en fonction des profils symptomatologiques et anatomiques de chaque patient.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs n'ont pas transmis de déclaration de conflits d'intérêts.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les patients et madame Lisette Arsenault pour leur participation volontaire à cet essai thérapeutique, messieurs Frédéric Volland et Christian Urquizar pour leur contribution déterminante à la réalisation des dispositifs expérimentaux.

Annexe 1. Questionnaire d'auto-évaluation de l'adaptation prismatique

I. Après 10 pointages sans lunettes prismatiques (pré-test) :

- Q1 – Comment se passe l'exercice ?
- Q2 – Est-ce que ça n'est pas trop compliqué ?
- Q3 – Est-ce que vous avez observé quelque chose de particulier ?
- Q4 – Est-ce que vous voyez bien la cible ?
- Q5 – Est-ce que c'est facile de viser vers la cible ?
- Q6 – Avez-vous des remarques à faire au sujet de cet exercice ?

II. Après 5 pointages avec lunettes prismatiques (exposition) :

- Q7 – Comment se passe l'exercice ?
- Q8 – Est-ce que ça n'est pas trop compliqué ?
- Q9 – Est-ce que vous avez observé quelque chose de particulier ?
- Q10 – Est-ce que vous voyez bien la cible ?
- Q11 – Est-ce que c'est facile de viser vers la cible ?
- Q12 – Les lunettes vous semblent-elles spéciales ?
- Q13 – Est-ce plus facile ou plus difficile de pointer avec les lunettes ?
- Q14 – Avez-vous l'impression de faire des erreurs de pointage ?
- Q15 – Avez-vous tendance à viser plus d'un côté que de l'autre ?

Q16 – Avez-vous l'impression que votre main est, attirée vers la droite ou vers la gauche ?

Q17 – Chez certains patients, ces lunettes posent parfois des problèmes de vue. Comment cela se passe-t-il pour vous ?

Q18 – Chez certains patients, ces lunettes peuvent entraîner des difficultés pour viser avec la main. Comment cela se passe-t-il pour vous ?

III. Après 20 pointages avec lunettes prismatiques (exposition) :

Q19 – Avez-vous des remarques à faire au sujet de cet exercice ?

IV. À la fin de l'adaptation prismatique (post-test immédiat) :

Q20 – Avez-vous des remarques à faire au sujet de cet exercice ?

Références

- [1] Bisiach E, Vallar G. Unilateral neglect in humans. In: Boller F, Grafman J, Rizzolatti G, editors. Handbook of neuropsychology. 2nd ed., Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V; 2000. p. 459–502.
- [2] Halligan PW, Fink GR, Marshall JC, Vallar G. Spatial cognition: evidence from visual neglect. Trends Cogn Sci 2003;7:125–33.
- [3] Heilman KM, Watson RT, Valenstein E. Neglect and related disorders. In: Heilman KM, Valenstein E, editors. Clinical neurophysiology. New York: Oxford University Press; 1993. p. 279–336.
- [4] Denes G, Senenza C, Stoppa E, Lis A. Unilateral spatial neglect and recovery from hemiplegia: a follow-up study. Brain 1982;115:543–52.
- [5] Fullerton KJ, McSherry D, Stout RW. Albert's test: a neglected test of perceptual neglect. Lancet 1986;327:430–2.
- [6] Gillen R, Tennen H, McKee T. Unilateral spatial neglect: relation to rehabilitation outcomes in patients with right hemisphere stroke. Arch Phys Med Rehabil 2005;86:763–7.
- [7] Karla L, Perez I, Gupta S, Wittink M. The influence of visual neglect on stroke rehabilitation. Stroke 1997;28:1386–91.
- [8] Katz N, Hartman-Maeir A, Ring H, Soroker N. Functional disability and rehabilitation outcome in right hemisphere damaged patients with and without unilateral spatial neglect. Arch Phys Med Rehabil 1999;80:379–84.
- [9] Luaute J, Halligan P, Rossetti Y, Rode G, Boisson D. Visuo-spatial neglect ; a systematic review of current interventions and their effectiveness. Neurosci Biobehav Rev 2006;30:961–82.
- [10] Rossetti Y, Rode G. Reducing spatial neglect by visual and other sensory manipulations: non-cognitive (physiological) routes to the rehabilitation of a cognitive disorder. In: Karnath HO, Milner AD, Vallar G, editors. The cognitive and neural bases of spatial neglect. New York: Oxford University Press; 2002. p. 375–96.
- [11] Bowen A, Hazelton C, Pollock A, Lincoln NB. Cognitive rehabilitation for spatial neglect following stroke. Cochrane Database Syst Rev 2013.
- [12] Luaute J, Halligan P, Rode G, Jacquin-Courtois S, Boisson D. Prism adaptation first among equals in alleviating left neglect. A review. Restor Neurol Neurosci 2006;24:409–18.
- [13] Milner AD, McIntosh RD. The neurological basis of visual neglect. Curr Opin Neurol 2005;18:748–53.
- [14] Yang NYH, Zhou D, Chnong RCK, Li-Tsang CWP, Fong KNK. Rehabilitation interventions for unilateral neglect after stroke: a systematic review from 1997 through 2012. Front Hum Neurosc 2013;7:1–11.
- [15] Jacquin-Courtois S, O'Shea J, Luaute J, Pisella L, Revol P, Mizuno K, et al. Rehabilitation of spatial neglect by prism adaptation. A peculiar expansion of sensorimotor after-effects to spatial cognition. Neurosci Biobehav Rev 2013;37:594–609.
- [16] Rode G, Pisella L, Rossetti Y, Farne A, Boisson D. Bottom-up transfer of sensory-motor plasticity to recovery of spatial cognition: visuomotor adaptation and spatial neglect. Prog Brain Res 2003;142:273–87.
- [17] Rode G, Luaute J, Klos T, Courtois-Jacquin S, Revol P, Pisella L, et al. Bottom-up visuo-manual adaptation: consequences for spatial cognition. In: Haggard P, Rossetti Y, Kawato M, editors. Sensorimotor foundation of higher cognition. Attention and performance XXII. New York: Oxford University Press; 2007. p. 207–29.
- [18] Rossetti Y, Jacquin-Courtois S, Calabria M, Michel C, Mizuno K, Honoré J, et al. Testing cognition and rehabilitation in unilateral neglect with wedge prism adaptation: multiple interplays between sensorimotor adaptation and spatial cognition. In: Kansaku K, Cohen L, Birbaumer N, editors. Clinical systems neuroscience: from laboratory to clinical practice, Verlag: Springer, Japan; 2015 [in press].
- [19] Farnè A, Rossetti Y, Toniolo S, Ladavas E. Ameliorating neglect with prism adaptation: visuo-manual and visuo-verbal measures. Neuropsychologia 2002;40:718–29.

- [20] Frassinetti F, Angeli V, Meneghello F, Avanzi S, Ladavas E. Long-lasting amelioration of visuo-spatial neglect by prism adaptation. *Brain* 2002;125:608–23.
- [21] Rossetti Y, Rode G, Pisella L, Farnè A, Li L, Boisson D, et al. Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect. *Nature* 1998;395:166–9.
- [22] Dijkerman HC, Webeling M, Walter JM, Groet E, van Zandvoort MJ. A long-lasting improvement of somatosensory function after prism adaptation, a case study. *Neuropsychologia* 2004;42:1697–702.
- [23] McIntosh RM, Rossetti Y, Milner AD. Prism adaptation improves chronic visual and haptic neglect. *Cortex* 2002;38:309–20.
- [24] Maravita A, McNeil J, Malhotra P, Greenwood R, Husain M, Driver J. Prism adaptation can improve contralesional tactile perception in neglect. *Neurology* 2003;60:1829–31.
- [25] Jacquin-Courtois S, Rode G, Pavani F, O'Shea J, Guiard MH, Boisson D, et al. Effect of prism adaptation on left dichotic listening deficit in neglect patients: glasses to hear better? *Brain* 2010;133:895–908.
- [26] Rode G, Rossetti Y, Li L, Boisson D. The effect of prism adaptation on neglect for visual imagery. *Behav Neurol* 1998;11:251–8.
- [27] Rode G, Rossetti Y, Boisson D. Prism adaptation improves representational neglect. *Neuropsychologia* 2001;39:1250–4.
- [28] Rossetti Y, Jacquin-Courtois S, Rode G, Ota H, Michel C, Boisson D. Does action make the link between number and space representation? Visuo-manual adaptation improves number bisection in unilateral neglect. *Psychol Sci* 2004;15:426–30.
- [29] Rode G, Pisella L, Marsal L, Mercier S, Rossetti Y, Boisson D. Prism adaptation improves spatial dysgraphia following right brain damage. *Neuropsychologia* 2006;44:2487–93.
- [30] Jacquin-Courtois S, Rode G, Boisson D, Rossetti Y. Wheel-chair driving improvement following visuo-manual prism adaptation. *Cortex* 2008;44:90–6.
- [31] Watanabe S, Amimoto K. Generalization of prism adaptation for wheel-chair driving task in patients with unilateral spatial neglect. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91:443–7.
- [32] Tilikete C, Rode G, Rossetti Y, Li L, Pichon J, Boisson D. Prism adaptation to rightward optical deviation improves postural imbalance in left hemiparetic patients. *Curr Biol* 2001;11:524–8.
- [33] Pisella L, Rode G, Farnè A, Boisson D, Rossetti Y. Dissociated long-lasting improvements of straight-ahead pointing and line bisection tasks in two unilateral neglect patients. *Neuropsychologia* 2002;40:327–34.
- [34] Fortis P, Maravita A, Gallucci M, Ronchi R, Grassi E, Senna I, et al. Rehabilitating patients with left spatial neglect by prism exposure during a visuomotor activity. *Neuropsychologia* 2010;24:681–97.
- [35] Serino A, Bonifazi S, Pierfederici L, Ladavas E. Neglect treatment by prism adaptation: what recovers and for how long. *Neuropsychol Rehabil* 2007;17:657–87.
- [36] Shiraiishi H, Muraki T, Ayakaitou YS, Hirayama K. Prism intervention helped sustainability of effects and ADL performances in chronic hemispatial neglect: a follow-up study. *Neurorehabil Neural Repair* 2010;27:165–72.
- [37] Shiraiishi H, Yamakawa Y, Itou A, Muraki T, Asada T. Long-term effects of prism adaptation on chronic neglect after stroke. *Neuro Rehabil* 2008;23:137–51.
- [38] Keane S, Turner C, Sherrington C, Beard JR. Use of Fresnel prism glasses to treat stroke patients with hemispatial neglect. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:1668–72.
- [39] Mizuno K, Tsuji T, Takebayashi T, Fujiwara T, Hase K, Liu M. Prism adaptation therapy enhances rehabilitation of stroke patients with unilateral spatial neglect: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2011;25:711–20.
- [40] Nys GMS, de Haan EHF, Kuneman A, de Kort PLM, Dijkerman HC. Acute neglect rehabilitation using repetitive prism adaptation: a randomized placebo-controlled trial. *Restor Neurol Neurosci* 2008;26:1–12.
- [41] Turton AJ, O'Leary K, Gabb J, Woodward R, Gilchrist ID. A single blinded randomised controlled pilot trial of prism adaptation for improving self-care in stroke patients with neglect. *Neuropsychol Rehabil* 2010;20:180–96.
- [42] Jeannerod M, Rossetti Y. Visuomotor coordination as a dissociable visual function: experimental and clinical evidence. *Baillieres Clin Neurol* 1993;2:439–60.
- [43] Redding GM, Rossetti Y, Wallace B. Applications of prism adaptation: a tutorial in theory and method. *Neurosci Biobehav Rev* 2005;29:431–44.
- [44] Saari M, Greenwood R, Kalra L, Husain M, Driver J. Prism adaptation after-effects in stroke patients with spatial neglect: Pathological effects on subjective straight-ahead but not visual open-loop pointing. *Neuropsychologia* 2008;46:1069–80.
- [45] Aimola L, Rogers G, Kerkhoff G, Smith DT, Schenk T. Visuomotor adaptation is impaired in patients with unilateral neglect. *Neuropsychologia* 2012;50:1158–63.
- [46] 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.
- [47] Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97–113.
- [48] Schenkenberg T, Bradford DC, Ajax ET. Line bisection with neurologic impairment. *Neurology* 1980;30:509–17.
- [49] Edgeworth JA, Robertson TMIH. The Balloons Test Manual. Thames Valley Test Company; 1998.
- [50] Data Management Service of the Uniform Data System for Medical Rehabilitation the Center for Functional Assessment Research. Guide for use of the uniform data set for medical rehabilitation including the functional independence measure (FIM). Version 3. O. State University of New York: Buffalo, NY; 1990.
- [51] Wiart L, Côme AB, Debelleix X, Petit H, Joseph PA, Mazaux JM, et al. Unilateral neglect syndrome rehabilitation by trunk rotation and scanning training. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:424–9.
- [52] Wilson B, Cockburn J, Halligan P. Behavioural inattention test. Suffolk, UK: Thames Valley Test Company; 1987.
- [53] O'Shea J, Gaveau V, Kandel M, Koga K, Susami K, Prablanc C, et al. Kinematic markers dissociate error correction from sensorimotor realignment during prism adaptation. *Neuropsychologia* 2014;55:15–24.
- [54] Pisella L, Michel C, Grèa H, Tilikete C, Vighetto A, Rossetti Y, et al. Preserved prism adaptation in bilateral optic ataxia: strategic versus adaptive reaction to prisms. *Exp Brain Res* 2004;156:399–408.
- [55] Rode G, Rossetti Y, Boisson D. Rôle de la vision dans la structuration du geste. *Motricité Cereb* 1997;18:41–52.
- [56] Rossetti Y, Desmurget M, Prablanc C. Vectorial coding of movement: vision, proprioception, or both? *J Neurophysiol* 1995;74:457–63.
- [57] Rossetti Y, Koga K, Mano T. Prismatic displacement of vision induces transient changes in the timing of eye-hand coordination. *Percept Psychophys* 1993;54:355–64.
- [58] Ventre J, Flandrin JM, Jeannerod M. In search for the egocentric reference. A neurophysiological hypothesis. *Neuropsychologia* 1984;22:797–806.
- [59] Jeannerod M, Biguer B. Egocentric reference and represented space. *Rev Neurol (Paris)* 1989;145:635–9.
- [60] Jeannerod M, Biguer B. The directional coding of reaching movements. A visuomotor conception of spatial neglect. In: Jeannerod M, editor. *Neurophysiological and neuropsychological aspects of neglect*. Amsterdam: Elsevier Science; 1987. p. 87–113.
- [61] Rossetti Y. Des modalités sensorielles aux représentations spatiales en action : représentations multiples d'un espace unique. In: Proust J, editor. *Perception et inter-modalité : approches actuelles de la question de Molyneux*. Paris: Presses Universitaires de France; 1997. p. 179–221.
- [62] Rossetti Y, Jacquin-Courtois S, Legrain V, Bultitude J, O'Shea JD. Le syndrome douloureux régional complexe à la lumière des troubles de la cognition spatiale : des opportunités physiopathologiques et thérapeutiques. In: Ribinik P, Genty M, editors. *Syndromes douloureux chroniques en médecine physique et de réadaptation*. Verlag France: Springer; 2013. p. 99–109.
- [63] Redding GM, Wallace B. Prism adaptation and unilateral neglect: review and analysis. *Neuropsychologia* 2005;44:1–20.
- [64] Rossetti Y, Jeannerod M. The movement of the hand obituary (1935–2011). *Neuropsychologia* 2012;50:351.
- [65] Girardi M, McIntosh RD, Michel C, Vallar G, Rossetti Y. Sensorimotor effects on central space representation: prism adaptation influences haptic and visual representations in normal subjects. *Neuropsychologia* 2004;42:1477–87.
- [66] Michel C, Rossetti Y, Rode G, Tilikete C. After-effects of visuo-manual adaptation to prisms on body posture in normal subjects. *Exp Brain Res* 2003;148:219–26.
- [67] Serino A, Angeli V, Frassinetti F, Ladavas E. Mechanisms underlying neglect recovery after prism adaptation. *Neuropsychologia* 2006;44:1068–78.
- [68] Pisella L, Rode G, Farnè A, Tilikete C, Rossetti Y. Prism adaptation in the rehabilitation of patients with visuo-spatial cognitive disorders. *Curr Opin Neurol* 2006;19:534–42.
- [69] Michel C, Pisella L, Halligan PW, Luauté J, Rode G, Boisson D, et al. Simulating unilateral neglect in normals using prism adaptation: implications for theory. *Neuropsychologia* 2003;41:25–39.
- [70] Michel C, Pisella L, Prablanc C, Rode G, Rossetti Y. Enhancing visuomotor adaptation by reducing error signals: single-step (aware) versus multiple-step (unaware) exposure to wedge prisms. *J Cogn Neurosci* 2007;19:341–50.
- [71] Luauté J, Jacquin-Courtois S, O'Shea J, Christophe L, Rode G, Boisson D, et al. Left-deviating prism adaptation in left neglect patient: reflexions on a negative result. *Neural Plast* 2012;718604.
- [72] Colent C, Pisella L, Bernieri C, Rode G, Rossetti Y. Cognitive bias induced by visuomotor adaptation to prisms: a simulation of unilateral neglect in normal individuals? *Neuroreport* 2000;11:1899–902.
- [73] Michel C. Stimulating unilateral neglect in normal: myth or reality? *Restor Neurol Neurosci* 2006;24:419–30.
- [74] Rousseaux M, Bernati T, Saj A, Kozłowski O. Ineffectiveness of prism adaptation on spatial neglect signs. *Stroke* 2006;37:542–3.
- [75] Dijkerman HC, McIntosh RD, Rossetti Y, Tilikete C, Roberts RC, Milner AD. Ocular scanning and perceptual size distortion in hemispatial neglect: effects of prism adaptation and sequential stimulus presentation. *Exp Brain Res* 2003;153:220–30.
- [76] Ferber S, Danckert J, Joannisse M, Goltz HC, Goodale MA. Eye movements tell only half the story. *Neurology* 2003;60:1826–9.
- [77] Pisella L, Rossetti Y, Michel C, Rode G, Boisson D, Pélissier D. Ipsidirectional impairment of prism adaptation after unilateral lesion of anterior cerebellum. *Neurology* 2005;65:150–2.
- [78] Strieman C, Blangero A, Rossetti Y, Boisson D, Rode G, Salemm R, et al. Bilateral parietal lesions disrupt the beneficial effects of prism adaptation: evidence from a patient with optic ataxia. *Exp Brain Res* 2008;187:295–302.
- [79] Luauté J, Halligan P, Rode G, Pisella L, Jacquin-Courtois S, Costes N. Functional anatomy of the therapeutic effects of prism adaptation on left neglect. *Neurology* 2006;24:409–18.

- [80] Luauté J, Schwartz S, Rossetti Y, Spiridon M, Rode G, Boisson D. Dynamic changes in brain activity during prism adaptation. *J Neurosci* 2009;29:169–78.
- [81] Farnè A, Ponti F, Ládavas E. In search of biased egocentric reference frames in neglect. *Neuropsychologia* 1998;36:611–23.
- [82] Barrett AM, Goedert KM, Basso JC. Prism adaptation for spatial neglect after stroke: translational practice gaps. *Nat Rev* 2012;8:567–77.
- [83] Polanowska K, Seniow J, Paprot E, Lesniak M, Czlonkowska A. Left-hand sensory stimulation combined with visual scanning training in rehabilitation for post-stroke hemineglect: a randomised, double-blind study. *Neuropsychol Rehabil* 2009;19:364–82.
- [84] Schindler I, Kerkhoff G, Karnath HO, Keller I, Goldenberg G. Neck muscle vibration induces lasting recovery in spatial neglect. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002;73:412–9.
- [85] Saevarsson S, Kristjansson A, Haslsband U. Strength in numbers: combining neck vibration and prism adaptation produces additive therapeutic effects in unilateral neglect. *Neuropsychol Rehabil* 2010;20:704–24.