










Syndrome d'Ehlers-Danlos, type d'hypermobilité: impact des orthèses somatosensorielles sur le contrôle postural (étude pilote)

 **Emma G. Dupuy**¹,  **Pascale Leconte**¹,  **Elodie Vlaminck**¹,  **Audrey Sultan**^{1,2},  **Christophe Chesneau**³,  **Pierre Denise**¹,  **Stéphane Besnard**¹,  **Boris Bienvenu**^{1,2} et  **Leslie M. Decker**^{1*}

- ¹ COMETE, INSERM, UNICAEN, Université de Normandie, Caen, France
- ² Département de médecine interne, Centre hospitalier universitaire de Caen, UNICAEN, Université de Normandie, Caen, France
- ³ LMNO, CNRS, UNICAEN, Université de Normandie, Caen, France

Le syndrome d'Ehlers-Danlos (EDS) est la manifestation clinique de troubles du tissu conjonctif et comprend plusieurs formes cliniques sans symptômes spécifiques et examens médicaux sélectifs qui entraînent un retard de diagnostic d'environ 10 ans. Le type hypermobilité EDS (hEDS) est caractérisé par une hypermobilité articulaire généralisée, une hyperextensibilité cutanée variable et une proprioception altérée. Puisque le traitement somatosensoriel et l'intégration multisensorielle sont cruciaux pour la perception et l'action, nous émettons l'hypothèse que les déficits somatosensoriels chez les patients hEDS peuvent, entre autres symptômes cliniques, entraîner une perception erronée de la verticalité et de l'instabilité posturale. Par conséquent, le but de cette étude était double: (i) évaluer l'impact du déficit somatosensoriel sur la stabilité verticale visuelle subjective (SVV) et la stabilité posturale; et (ii) quantifier l'effet du port d'orthèses somatosensorielles (c.-à-d., vêtements compressifs et semelles intérieures) sur la stabilité posturale. Six patients hEDS et six témoins appariés selon l'âge et le sexe ont subi une évaluation SVV (assis, debout, couché sur le côté droit) et une évaluation posturale sur une plateforme de force (Synapsys), avec ou sans information visuelle (yeux ouverts) / yeux fermés (CE)). Ces deux dernières conditions se sont déroulées sans orthèses, ou avec des vêtements de compression (CG), ou des semelles intérieures, ou les deux. Les résultats ont montré que les patients ne présentaient pas d'inclinaison perçue substantielle de la verticale visuelle dans la direction de l'inclinaison du corps (effet Aubert) comme les sujets témoins. De manière intéressante, de tels effets différentiels n'étaient apparents que lorsque la tige était initialement positionnée à gauche de l'axe vertical (opposé à l'axe longitudinal du corps). De plus, les patients présentaient une plus grande instabilité posturale (zone de balancement) que les témoins. L'ablation de la vision a exacerbé cette instabilité, en particulier dans la direction médio-latérale (ML). Le port d'orthèses a amélioré la stabilité posturale, en particulier dans les yeux fermés, avec un effet particulièrement marqué dans la direction antéropostérieure (PA). Par conséquent, cette étude suggère que le hEDS est associé à des changements dans les contributions relatives des entrées somatosensorielles et vestibulaires à la perception de la verticalité. De plus, la déficience du contrôle postural a été compensée, au moins partiellement, par le port d'orthèses somatosensorielles.

introduction

Le syndrome d'Ehlers-Danlos (EDS) est un groupe hétérogène de maladies héréditaires du tissu conjonctif, qui sont présentes chez au moins 1/5000 individus avec une majorité de femmes ([Sobey, 2014](#)). La dégradation de la composition et l'élasticité du tissu conjonctif entraînent une symptomatologie large, prononcée et non spécifique. Par conséquent, les critères révisés de Brighton classent l'EDS dans six sous-types, selon la prédominance de leurs manifestations cliniques ([Beighton et al., 1998](#)). Le sous-type d'hypermobilité EDS (hEDS) est le plus fréquemment rencontré. Outre les symptômes communs avec d'autres sous-types tels que la fatigue et la douleur, le hEDS est caractérisé par une hypermobilité articulaire généralisée associée à une hyperélasticité cutanée variable et à une altération proprioceptive ([Beighton et al., 1998](#) , [Castori, 2012](#)). En effet, peu d'études ayant étudié la sensibilité proprioceptive (c.-à-d. Le sens de la position articulaire) dans hEDS ont démontré l'existence d'une déficience proprioceptive dans cette population ([Rombaut et al., 2010a](#) ; [Clayton et al., 2015](#)). Une hypothèse forte pour expliquer la base neurophysiologique de cette altération suggère que l'hypermobilité articulaire généralisée spécifique à hEDS induit une extension excessive et répétée des ligaments, endommageant les récepteurs proprioceptifs environnants (corpuscules de Ruffini et de Pacini, organes du tendon de Golgi). De plus, les modifications de l'élasticité cutanée affectent probablement les informations de pression transmises par les mécanorécepteurs tactiles cutanés aux zones corticales. Il est donc probable que le hEDS induise non seulement un déficit proprioceptif mais, plus largement, un déficit somatosensoriel. Par conséquent, les déficiences fonctionnelles majeures exprimées par ces patients, y compris la maladresse et les chutes, qui

mènent parfois à la kinésiophobie, pourraient être le résultat de cette atteinte somatosensorielle ([Rombaut et al., 2012](#)).

En effet, les informations somatosensorielles, issues des muscles, de la peau et des articulations, jouent un rôle clé dans la perception, l'équilibre et, plus largement, dans le mouvement. Actuellement, il y a de plus en plus de preuves que l'équilibre et le mouvement sont basés sur l'intégration hétéromodale de trois types de modalité sensorielle, visuelle, vestibulaire et somatosensorielle, qui contiennent des informations redondantes, spécifiques et complémentaires ([Lacour et al., 1997](#)). L'intégration de ces modalités sensorielles par le système nerveux central fournit trois référentiels spatiaux: égocentrique (corps), géocentrique (gravitation) et allocentrique (c.-à-d. Indices externes) qui contribuent au développement de modèles internes particulièrement impliqués. en équilibre et en mouvement ([Gurfinkel et al., 1981](#) , [Massion, 1994](#) , [Mergner et Rosemeier, 1998](#)). Dans les processus sensorimoteurs, les modèles internes se réfèrent à un processus neuronal responsable de la synthèse des informations issues des modalités sensorielles et combinent des informations efférentes et afférentes pour résoudre l'ambiguïté sensorielle ([Merfeld et al., 1999](#)). De plus, le traitement sensoriel est un mécanisme flexible ([Peterka, 2002](#)). Le système nerveux central module continuellement le poids attribué à chaque modalité sensorielle pour fournir une représentation interne dynamique, permettant de toujours générer une réponse musculaire appropriée pour maintenir et adapter l'équilibre à l'environnement en constante évolution ([Van der Kooij et al., 2001](#) ; [et al., 2002](#) , [Peterka et Loughlin, 2004](#) , [Logan et al., 2014](#)). Dans ce processus, le système somatosensoriel fournit spécifiquement des informations sur la position des différentes parties du corps les unes par rapport aux autres. De plus, il permet la caractérisation et la localisation du toucher et de la douleur ([Dijkerman et De Haan, 2007](#)). Ainsi, le système somatosensoriel contribue principalement à la carte sensorimotrice de l'espace corporel dans les modèles internes, processus inconscient appelé aussi «schéma corporel» ([De Vignemont, 2010](#)).

[Mittelstaedt \(1983\)](#) a rapporté que les informations fournies par la proprioception contribuent considérablement au maintien de la verticalité du corps. La perception de la verticale est considérée comme le résultat de la synthèse d'informations visuelles, somatosensorielles et vestibulaires ([Brandt et al., 1994](#) , [Bisdorff et al., 1996](#) , [Merfeld et al., 1999](#) , [Van Beuzekom et Van Gisbergen, 2000](#) , [Bronstein et al., 2003](#) , [Barbieri et al., 2008](#) , [Pérennou et al., 2008](#) , [Tarnutzer et al., 2009](#)). Cependant, il est connu que la contribution de chaque modalité sensorielle dans la perception de la verticalité varie entre les sujets et, dans une plus grande mesure, dans les populations présentant soit des altérations vestibulaires (par exemple, perte vestibulaire unilatérale, [Lopez et al., 2008](#)), soit des altérations somatosensorielles (par exemple, les patients victimes d'AVC avec une pression d'hypoesthésie et les patients paraplégiques, [Barra et al., 2010](#)). Fait intéressant, l'effet Aubert, consistant à incliner la verticale visuelle vers le corps lors de l'inclinaison latérale due à la résultante du vecteur gravitationnel (perception de l'organe otolithique) et du vecteur idiotropique (perception de l'axe longitudinal principal) du corps, est modifié en faveur du vecteur gravitationnel proportionnellement au degré d'atteinte somatosensorielle ([Barra et al., 2010](#)). Par conséquent, il semble raisonnable de se demander si une altération somatosensorielle chez les patients atteints de hEDS pourrait modifier l'effet Aubert. Dans le même temps, il a été montré précédemment que les patients hEDS développaient des troubles du schéma corporel entraînant une perte partielle de contrôle du mouvement ([Rombaut et al., 2010b](#)) et une instabilité posturale ([Galli et al., 2011](#)). Cette détérioration de la stabilité posturale se manifeste à la fois dans des conditions statiques (debout) et dynamiques (marche) ([Rombaut et al., 2011](#) , [Rigoldi et al., 2013](#)). Des études antérieures ont déjà montré un lien étroit entre les déficits somatosensoriels et les troubles de l'équilibre, en particulier dans la maladie de Parkinson ([Jacobs et Horak, 2006](#) , [Vaugoyeau et al., 2011](#)). En règle générale, ces patients, comme dans le cas du vieillissement normal, compensent leur déficit sensoriel par une dépendance excessive à l'information visuelle ([Lord et Webster, 1990](#) , [Isableu et coll., 1997](#) , [Azulay et coll., 2002](#)). Par conséquent, on peut supposer que la déficience somatosensorielle pourrait être responsable dans une large mesure de cette instabilité posturale, et qu'elle pourrait être compensée en utilisant un niveau élevé d'information visuelle.

Les vêtements de compression (CG) ont été testés de manière empirique en pratique clinique dans le cadre de l'étude hEDS, ce qui a eu des effets bénéfiques sur la douleur, la fatigue et la mobilité. De manière spéculative, on pense que les CG, en raison de leur effet mécanique, améliorent la coaptation des articulations et augmentent la pression du tissu conjonctif sous-cutané à une plage normale. Par conséquent, CG peut améliorer la rétroaction somatosensorielle au cerveau et, par conséquent, sa contribution au contrôle postural. De même, les semelles proprioceptives (PI) peuvent améliorer les afférences cutanées plantaires et la stabilité posturale. Par conséquent, les orthèses somatosensorielles (c.-à-d., CG et PI) offrent une solution thérapeutique pour réduire les déficiences somatosensorielles, mais faiblement évaluées. Parallèlement à ces observations, des études antérieures ont démontré que la CG induisait une amélioration de la proprioception du genou et que l'IP diminuait la demande attentionnelle de la démarche ([Clark et al., 2014](#) , [Ghai et al., 2016](#)). À l'inverse, ces deux orthèses ne présentaient aucun

impact chez les sujets jeunes en bonne santé et la GC semblait induire une détérioration de la stabilité posturale chez les sujets âgés ([Hijmans et al., 2009](#) ; [Dankerl et al., 2016](#)). A la lumière de ces observations contradictoires, nous avons cherché à quantifier l'impact de ces orthèses somatosensorielles sur la stabilité posturale dans une population présentant une atteinte spécifique du système somatosensoriel. En effet, il semble plausible que, bien que le port de CG n'ait probablement pas d'impact immédiat sur les récepteurs proprioceptifs articulaires endommagés, son effet compressif appliqué au tissu conjonctif sous-cutané pourrait permettre une meilleure transmission somatosensorielle des mécanorécepteurs tactiles cutanés. Ainsi, le déficit somatosensoriel pourrait être partiellement réduit par CG, ce qui permettrait de compenser la déficience de proprioception conjointe. De même, les afférences cutanées plantaires améliorées induites par le PI pourraient augmenter les informations sensorielles disponibles pour le contrôle postural.

Le but de la présente étude était d'évaluer: (i) l'impact du déficit somatosensoriel sur la stabilité verticale visuelle subjective (SVV) et la stabilité posturale; et (ii) les effets des orthèses somatosensorielles (CG et PI) sur le contrôle postural statique. Nous avons émis l'hypothèse que: (i) les déficiences somatosensorielles modifieraient la SVV, altéreraient fortement la stabilité posturale et augmenteraient l'utilisation de l'information visuelle; et (ii) l'amélioration de la rétroaction somatosensorielle avec les orthèses rétablirait l'équilibre dans l'utilisation des modalités sensorielles, réduisant ainsi l'utilisation de l'information visuelle, et par conséquent améliorer la stabilité posturale.

Matériaux et méthodes

Etude la population

Six patients avec hEDS (6 femmes, âge moyen \pm écart-type: $37 \pm 10,41$ ans) et six sujets témoins sains, appariés selon l'âge et le sexe (6 femmes, âge moyen \pm SD: $36 \pm 11,52$ ans) ont participé à cette étude. La sélection des patients a été réalisée au service de médecine interne du CHU de Caen. Les critères d'inclusion étaient basés sur les critères révisés de Villefranche, incluant la présence d'hypermobilité articulaire généralisée, d'hyperélasticité cutanée, de douleurs musculo-squelettiques chroniques et / ou d'antécédents familiaux positifs ([Beighton et al., 1998](#)). De plus, les patients doivent avoir signalé une hypersensorialité (p. Ex. Un seuil auditif faible). Les critères d'exclusion étaient: (i) le port d'orthèses somatosensorielles (c.-à-d. PI et CG); (ii) l'incapacité de maintenir un minimum de stabilité posturale dans des conditions statiques (c.-à-d. en maintenant une position verticale pendant 1 minute); (iii) un traitement par un physiothérapeute; et (iv) d'autres pathologies qui affectent directement le contrôle postural (par exemple, la maladie de Ménière). Enfin, les patients ont été examinés pour des troubles vestibulaires par examen ORL avec potentiels évoqués myogéniques otolithiques, et vidéonystagmographie. Les sujets témoins sains ont été recrutés par appel téléphonique local. Les sujets témoins ont été exclus s'ils avaient un trouble neurologique (avec un accent particulier sur la maladie vestibulaire en utilisant le test de [Fukuda, Fukuda, 1959](#)) ou un trouble orthopédique (analyse des distributions de pression plantaire du pied en utilisant un podoscope). maladie affectant les articulations, ou un score de Beighton > 4/9.

Tous les sujets ont été traités dans le strict respect de la Déclaration d'Helsinki. Le protocole a été approuvé par le CERSTAPS (Comité d'éthique de la recherche sur le sport et les activités physiques), numéro d'avis: 2016-26-04-13, approuvé par la Commission nationale des études (CNU) le 26 avril 2016. Le consentement éclairé a été obtenu tous les participants.

Instrumentation

Orthèses somatosensorielles

Le CG et le PI requis dans cette étude ont été personnalisés en fonction des besoins de chaque patient par des orthésistes et des prothésistes (Novatex Medical). Les CG comprenaient des pantalons, des gilets et des mitaines qui couvraient l'ensemble du corps de tous les participants (c.-à-d., Le tronc, les membres supérieurs et inférieurs, la figure [1](#)).

FIGURE 1



Figure 1. (A) Vêtements de compression (CG) et **(B)** semelles proprioceptives (PI) portées par un patient de type hypermobilité du syndrome d'Ehlers-Danlos (hEDS) au cours de l'expérience.

Contrôle postural

Le balancement postural a été enregistré à l'aide d'une plate-forme à force motorisée (SYNAPSYS, France). Trois jauges de contrainte intégrées dans la plate-forme de force ont enregistré le composant de force de réaction au sol vertical. Les données ont été échantillonnées à 100 Hz et transformées par un logiciel d'analyse de stabilité automatisé par ordinateur (logiciel Synapsys) pour obtenir les coordonnées xy du centre de pression (COP).

Subjective Visual Vertical

La perception de la verticale a été évaluée par le test SVV à l'aide du système Perspective[®] (Framiral[®], France).

Procédure expérimentale

Dans la première partie de l'expérience, les participants ont subi une évaluation de contrôle postural (durée: 1 h 45 min pour les patients et 20 min pour les contrôles) suivie d'une évaluation SVV (durée: 15 min pour tous les participants).

Évaluation verticale visuelle subjective

Pour évaluer la SVV, chaque participant, dans une pièce complètement obscure, a été montré, devant lui, la projection d'une tige lumineuse (ligne laser de 2 m de long placée à 3 m en face d'eux). Les participants pouvaient faire tourner la tige autour de son centre dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à l'aide d'un émetteur, et devaient placer la tige verticalement par rapport à la verticale gravitationnelle réelle. Tous les sujets ont effectué le test SVV dans trois conditions: debout, assis et couché sur le côté droit. Dans cette dernière condition, les participants se trouvaient dans une position standard sur un brancard avec un appuie-tête réglable, positionné à l'identique pour chaque participant (le corps et la tête étaient respectivement inclinés à 90 ° et 72 °). Les sujets ont été invités à minimiser leurs mouvements pendant les tests. Chaque condition comprenait quatre essais: deux avec la tige initialement orientée vers le côté droit (c.-à-d. 30 ° vers la droite-sens des aiguilles d'une montre) et deux vers la gauche (-30 ° vers la gauche). Les tests et les conditions ont été distribués au hasard à chaque participant.

Évaluation du contrôle postural

Le balancement postural a été mesuré pendant 52 s alors que les participants se tenaient sur une plate-forme de force. Les participants devaient rester immobiles, pieds nus, les bras pendants, les pieds placés à un angle de 30 °, et se concentrer sur une marque de référence visuelle fixée à 1,5 m devant eux dans leur ligne de vision individuelle. L'évaluation comprenait quatre conditions avec deux tests d'une durée de 52 s chacun, avec un repos de 20 s entre chaque test, et 5 min entre chaque condition. Les signaux de démarrage et d'arrêt ont été donnés 3 s avant et 3 s après chaque acquisition. Les quatre conditions étaient: (1) condition de contrôle (CC, sans orthèses); (2) CG; (3) PI; et (4) la combinaison de CG et PI (CG-PI). Chaque condition a été réalisée avec les deux yeux ouverts (EO) ou les yeux fermés (EC). Les participants ont également subi des essais à double tâche (en combinant le contrôle postural avec une tâche cognitive) et dynamiques (traduction sinusoïdale du soutien) dans les quatre conditions susmentionnées (les résultats ne sont pas inclus dans le présent article). Pour minimiser les effets d'ordre pendant les tests, tels que les effets de la fatigue, toutes les conditions et les essais (EO / EC) ont été randomisés entre les sujets. Un test d'entraînement a été effectué avant le test (Figure 2).

FIGURE 2

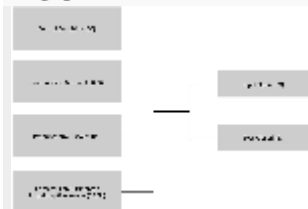


Figure 2 . Conception de l'évaluation de contrôle postural.

L'analyse des données

Analyse verticale visuelle subjective

L'erreur d'évaluation de SVV a été évaluée en degrés de déviation par rapport à la verticale. Les erreurs moyennes ont été calculées dans toutes les conditions, en fonction de l'orientation initiale de la tige. Les erreurs ont été notées négativement lorsque la verticale subjective était orientée vers la gauche, et positivement quand elle était orientée vers la droite.

Analyse de contrôle postural

Les paramètres de balancement postural calculés à partir des enregistrements COP étaient les suivants: l'écart-type antéropostérieur et médio-latéral (SD-AP / SD-ML, mm) et la zone de balancement (AREA-CE, mm²) correspondant à la zone elliptique de confiance à 95% inclus dans le chemin COP.

Analyses statistiques

Les variables dépendantes SVV (angle de déviation de la verticale) et posturale (AREA-CE, SD-AP et SD-ML) n'ont pas réussi à afficher une distribution normale acceptable (test de Shapiro-Wilk). Par conséquent, des tests non paramétriques ont été utilisés pour l'analyse statistique.

Le test U de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les témoins sains aux patients hEDS sur la perception de la verticalité et la stabilité posturale. Un test de Friedman a été utilisé pour déterminer les différences entre les performances réalisées dans chaque condition posturale (CC, CG, PI et CG / PI) et chaque condition SVV (debout, assise, couchée: orientation initiale droite et gauche). Lorsque le résultat du test de Friedman était significatif, nous avons ensuite utilisé un test de Wilcoxon pour les échantillons appariés afin de déterminer les effets de la vision (EO et EC) et des orthèses somatosensorielles sur la stabilité posturale. Nous avons utilisé la méthode de Bonferroni pour corriger les comparaisons multiples. La signification statistique a été fixée à 0,05. Statistica (version 10, Statsoft, Inc., Tulsa, OK, États-Unis) a été utilisé pour effectuer toutes les analyses.

Résultats

Subjective Visual Vertical

Nous avons d'abord analysé la perception de la verticale visuelle dans chaque position (debout, assis, couché sur le côté droit) en utilisant le test U de Mann-Whitney. En position debout, les patients hEDS ont orienté la verticale plus à gauche que les contrôles, lorsque l'orientation initiale de la tige était également à gauche ($U = 4, p = 0,026$). Simultanément, dans le bon état, lorsque l'orientation initiale de la tige était à gauche, les patients ne présentaient pas l'inclinaison perçue substantielle de la verticale visuelle dans la direction de l'inclinaison du corps (effet Aubert), et orientaient leur rapprochement vertical à la verticale réelle par rapport aux contrôles, ($U = 0, p = 0,002$). Fait intéressant, en condition assise, la perception de la verticale visuelle était similaire dans les deux groupes (figure 3).

FIGURE 3



Figure 3 . Comparaison des performances verticales visuelles subjectives (SVV) entre les patients atteints de hEDS et les témoins dans différentes positions du corps: **(A)** debout, **(B)** assis et **(C)** allongé sur le côté droit. SVV a été mesurée en présentant une tige laser 12 fois dans l'obscurité totale avec un écart de 30 degrés de la verticale alternativement sur la droite et la gauche. Les sujets ont été invités à repositionner la tige verticalement en utilisant une télécommande. Les diagrammes en boîte représentent la médiane et les quartiles, et les points représentent la performance de chaque participant comme suit: contrôles: noir; patient 1: rouge; patient 2: vert; patient 3: violet; patient 4: bleu clair; patient 5: orange; patient 6: bleu foncé. * $p < 0,05$, *** $p < 0,005$.

Le test de Friedman a révélé des différences significatives dans la perception de la verticalité selon l'orientation initiale de la tige (droite et gauche) et la position du corps (assis, debout et couché à droite) chez les patients hEDS ($p = 0,0001$) et témoins ($p = 0,00034$). Comme 30 comparaisons côte à côte ont été effectuées pour chaque analyse *post hoc*, la méthode de Bonferroni a été utilisée pour corriger le niveau de signification à 0,0016. Par conséquent, tous les résultats du test de Wilcoxon rapportés ci-dessous avec un $p > 0,0016$ ont été utilisés en raison de notre petite taille d'échantillon, et ont donc une vocation descriptive.

Indépendamment de la position, l'orientation initiale de la tige semble influencer la perception de la verticalité des patients hEDS (assis: $Z = 2,20, p = 0,027$, debout: $Z = 2,20, p = 0,027$, couché: $Z = 2,20, p = 0,027$). Lorsque l'orientation initiale de la tige était vers la droite, les patients montraient un plus grand écart de perception de la verticalité au repos comparé à la position assise ($Z = 2,20, p = 0,027$) et plus ($Z = 2,20, p = 0,027$) et en position debout ($Z = 2,20, p = 0,027$). En revanche, aucune différence n'a été observée lorsque l'orientation initiale de la tige était à gauche. De même, dans les contrôles, l'orientation initiale de la tige n'influence pas la perception de la verticalité. En outre, les contrôles présentaient une plus grande déviation de leur perception de la verticalité lorsqu'ils étaient couchés par opposition à assis et

debout, quelle que soit l'orientation initiale de la tige (orientation initiale droite: assis vs couché: $Z = 2.20, p = 0.027$; $Z = 2.20, p = 0.027$, orientation initiale gauche: assis ou couché: $Z = 2.20, p = 0.027$, debout vs couché: $Z = 2.20, p = 0.027$).

Contrôle postural sans orthèses somatosensorielles

Comparativement aux témoins, les patients atteints de hEDS présentaient une stabilité posturale altérée, reflétée par leur surface de balancement accrue (OE, $U = 4, p = 0,052$) et une augmentation de l'écart-type AP (OE, $U = 3, p = 0,015$). Ces derniers effets sont devenus plus prononcés en l'absence d'information visuelle (AREA-CE: EC, $U = 2, p = 0,017$, SD-AP: CE, $U = 0, p = 0,004$). De plus, la stabilité posturale s'est également détériorée dans la direction ML sans vision ($U = 4, p = 0,052$). En outre, le test de Wilcoxon comparant EO et EC a révélé une augmentation de la zone de balancement ($Z = 2,022, p = 0,043$) et une augmentation de l'écart-type ML chez les patients hEDS ($Z = 2,022, p = 0,043$). L'élimination de la vision n'a eu aucun effet sur la stabilité posturale chez les témoins (figure 4).

FIGURE 4

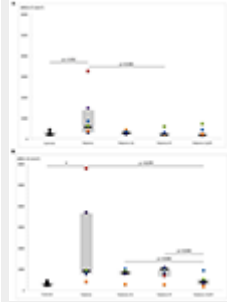


Figure 4 . Comparaison de AREA-CE (zone de confiance à 95%, mm^2) obtenue par les patients atteints de hEDS et les témoins, avec et sans orthèses somatosensorielles (CG, compressions, PI, semelles proprioceptives, CG-PI, orthèses somatosensorielles): in (**A**) les yeux ouverts et (**B**) les yeux fermés. Les diagrammes en boîte représentent la médiane et les quartiles, et les points représentent la performance de chaque participant comme suit: contrôles: noir; patient 1: rouge; patient 2: vert; patient 3: violet; patient 4: bleu clair; patient 5: orange; patient 6: bleu foncé. * $p < 0,05$.

Contrôle postural avec des orthèses somatosensorielles

Le test de Friedman a été mené pour évaluer les effets des orthèses somatosensorielles sur la stabilité posturale chez les patients hEDS dans quatre conditions (contrôle, PI, CG et PI-CG), avec (EO) et sans (EC) vision. Puis, comme six comparaisons côte à côte ont été effectuées dans chaque analyse *post hoc*, le seuil de signification a été fixé à 0,00833, comme indiqué par la correction de Bonferroni. Semblable à la SSV, tous les résultats du test de Wilcoxon rapportés ci-dessous avec $p > 0,00833$ ont une vocation descriptive.

Avec Vision

Le test de Friedman a révélé que les orthèses somatosensorielles avaient tendance à avoir un effet significatif sur la zone de balancement ($p = 0,069$), avec une amélioration de la stabilité posturale (diminution de la zone de balancement) en présence de PI ($Z = 2,022, p = 0,043$) La figure 4A). Cependant, la distribution des performances des patients dans chaque condition d'orthèse indique que ce résultat peut être dû à une hétérogénéité interindividuelle inférieure à celle de CG / PI, et une médiane légèrement inférieure à celle de CG (figure 4A). Par conséquent, il y a peu de preuves que l'état PI induit une amélioration de la stabilité posturale supérieure aux autres conditions (CG, CG / PI), qui semblent toutes induire un effet bénéfique mais similaire sur la stabilité posturale. Cet effet semblait être encore plus prononcé lorsque le patient était instable dans le CC. D'un autre côté, les orthèses somatosensorielles n'ont pas d'effet significatif sur l'écart-type AP et ML SD (Figures 5A , 6).

FIGURE 5

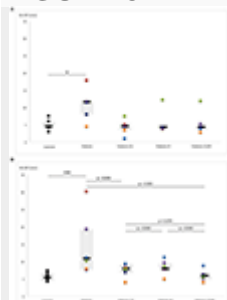


Figure 5 . Comparaison de SD-AP (écart-type du déplacement du centre de pression antéropostérieur (COP): mm) obtenu par les patients atteints de hEDS et les témoins, avec et sans orthèses somatosensorielles (CG, compressions, PI, semelles proprioceptives, CG-PI, orthèses

somatosensorielles): en (A) yeux ouverts et (B) yeux fermés. Les diagrammes en boîte représentent la médiane et les quartiles, et les points représentent la performance de chaque participant comme suit: contrôles: noir; patient 1: rouge; patient 2: vert; patient 3: violet; patient 4: bleu clair; patient 5: orange; patient 6: bleu foncé. * $p < 0,05$, *** $p < 0,005$.

FIGURE 6

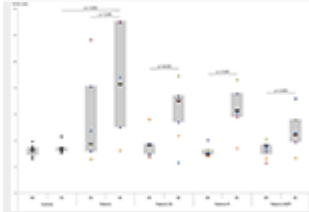


Figure 6 . Comparaison de SD-ML (écart-type du déplacement COP médio-latéral: mm) obtenu par les patients hEDS et les témoins, yeux ouverts (OE) et yeux fermés (EC) en fonction des orthèses somatosensorielles portées (CG, compressions, PI, semelles proprioceptives CG-PI, deux orthèses somatosensorielles). Les diagrammes en boîte représentent la médiane et les quartiles, et les points représentent la performance de chaque participant comme suit: contrôles: noir; patient 1: rouge; patient 2: vert; patient 3: violet; patient 4: bleu clair; patient 5: orange; patient 6: bleu foncé.

Sans vision

Le test de Friedman a révélé que les orthèses somatosensorielles avaient un impact significatif sur l'écart-type AP ($p = 0,040$) et tendaient à avoir un effet significatif sur la zone de balancement ($p = 0,06$). Il est important de noter que le port simultané des deux orthèses semble avoir induit une amélioration supplémentaire de l'écart-type AP ($Z = 2,022$, $p = 0,043$, figure [5B](#)) par rapport au contrôle, par opposition au port de chaque orthèse séparément. En effet, les effets observés étaient plus prononcés lorsque les deux orthèses étaient portées ensemble plutôt que séparément (AREA-CE: CG vs CG / PI: $Z = 2,022$, $p = 0,043$, PI vs CG / PI: $Z = 2,022$, $p = 0,043$; figure [4B](#); SD-AP: CG par rapport à CG / PI: $Z = 1,75$, $p = 0,079$; PI vs. CG / PI: $Z = 2,022$, $p = 0,043$; Figure [5B](#)). En outre, la perte de stabilité AP induite par CG ($Z = 2,022$, $p = 0,043$) a tendance à être supérieure à celle induite par PI ($Z = 1,75$, $p = 0,079$, Figure [5B](#)). Cependant, à la lumière de la distribution des performances des patients dans ces deux conditions, il est difficile d'identifier un effet supplémentaire de CG par rapport à PI. Dans le sens ML, les orthèses somatosensorielles n'ont pas montré d'impact significatif sur la stabilité posturale.

Avec vs. Sans Vision

La zone d'oscillation accrue observée chez les patients hEDS sans vision et les orthèses somatosensorielles ($Z = 2,022$, $p = 0,043$) persistait quand ils portaient des orthèses, seuls (PI: $Z = 2,022$, $p = 0,043$, CG: $Z = 1,75$, $p = 0,079$) ou en combinaison ($Z = 2,022$, $p = 0,043$). Un résultat similaire a été observé pour la SD ML (PI: $Z = 2,022$, $p = 0,043$, CG: $Z = 1,75$, $p = 0,079$, PI / CG: $Z = 1,75$, $p = 0,079$, Figure [6](#)). En revanche, l'élimination visuelle ne semble pas affecter l'écart-type AP, indépendamment de la présence d'orthèses somatosensorielles.

Discussion

Visual vertical subjectif dans hEDS

À l'état debout, les résultats obtenus par les patients atteints de hEDS suggèrent un écart plus important par rapport à la verticale gravitationnelle réelle que les témoins. Cet effet semble être moins apparent dans la condition assise. Ces résultats suggèrent que le hEDS est associé à des changements dans le traitement neural des entrées somatosensorielles, ce qui pourrait à son tour modifier le jugement de la SVV ([Trousselard et al., 2003](#)). De plus, comme on l'a déjà observé chez les patients victimes d'AVC, cette altération spécifique de la perception de la verticalité à l'état debout pourrait être associée à une instabilité posturale chez les patients hEDS et surtout à une asymétrie des membres inférieurs ([Bonan et al., 2006](#), [2007](#)). Cependant, les analyses corrélationnelles ne confirment pas fortement un lien direct entre ces deux facteurs. Le petit nombre de sujets inclus dans cette étude pilote rend ces analyses non pertinentes en raison de l'hétérogénéité prononcée entre les patients tant dans la stabilité posturale que dans les performances de perception de la verticalité. De plus, certaines limitations techniques nous ont empêchés de calculer des paramètres permettant de quantifier l'asymétrie posturale. Néanmoins, ces observations fournissent des données préliminaires qui devraient être explorées plus avant. Plus pertinemment, en position correcte, l'effet Aubert ou A (c.-à-d. Déviation SVV de la vraie verticale dans la même direction que l'inclinaison du corps, [Aubert, 1861](#)) a été trouvé lorsque la tige était inclinée vers la droite dans les deux sens. groupes, mais absents lorsque la tige était initialement orientée vers la gauche chez les patients hEDS. Chez les témoins sains, on considère que l'effet A résulte de la tendance du sujet à déplacer la SVV vers l'axe longitudinal du corps, indépendamment de l'orientation initiale de la tige

([Mittelstaedt et Glasauer, 1993](#)). Plus précisément, il peut résulter de changements dans les intrants vestibulaires (c.-à-d., Organes otolithiques, *vecteur gravitationnel*) et somatosensoriels (endocapteurs musculaires et articulaires, exocapteurs cutanés, *vecteur idiotropique d'interception*) liés à une inclinaison du corps dans l'obscurité ([Bronstein, 1999](#)). Dans leur étude, [Bronstein et al. \(1996\)](#) ont démontré que lorsque les patients présentant une lésion labyrinthique périphérique bilatérale se situent à environ 90 ° du côté droit, ils présentaient un effet A deux fois plus important que les témoins. Les auteurs ont suggéré que l'effet d'inclinaison médiée sur la verticale visuelle est plus susceptible d'être d'origine somatosensorielle plutôt que vestibulaire. L'implication du système somatosensoriel dans la perception de la verticalité a été confirmée par des études sur la SVV dans les populations déficientes somatosensorielles ([Yardley, 1990](#), [Anastasopoulos et Bronstein, 1999](#)). Dans ces études, les auteurs ont trouvé une perte unilatérale de l'effet A lorsque les patients hémianesthésiques se trouvaient du même côté que leur lésion, et une perte bilatérale chez les patients atteints de polyneuropathie sévère. Ainsi, nos résultats sont compatibles avec ceux rapportés dans la littérature pour les contrôles sains. Une conclusion frappante est que la verticale perçue des patients hEDS n'était pas loin de la verticale réelle lorsque la tige était initialement orientée vers le côté gauche. Cette constatation est également cohérente avec des études antérieures ([Yardley, 1990](#), [Anastasopoulos et Bronstein, 1999](#)), et une autre étude menée par [Barra et al. \(2010\)](#), qui ont constaté que l'effet A était nettement réduit chez les patients présentant un déficit somatosensoriel (hémiplégie et paraplégie). L'explication avancée est que ces patients ne peuvent pas intégrer les entrées somatosensorielles. Par conséquent, leur SVV repose principalement sur l'entrée gravitationnelle (vestibulaire). Une autre découverte intéressante est que ce phénomène n'apparaissait pas lorsque la baguette était initialement orientée à droite. Une explication plausible est que, dans cette condition, l'orientation initiale de la tige était directement congruente avec la combinaison conjointe des vecteurs idiotropes et gravitationnels (représentation interne de la verticale). Ce n'était pas le cas lorsque la tige était initialement orientée vers la gauche (c'est-à-dire qu'elle tournait dans une direction opposée à l'axe longitudinal du corps). Cela peut être dû à la plus grande complexité de la tâche qui a conduit les patients à s'appuyer préférentiellement sur l'apport gravitationnel (vestibulaire). En effet, pour ajuster la tige avec leur perception de la verticalité quand elle était initialement orientée à gauche, la tige a systématiquement traversé la vraie verticale. Par conséquent, on peut postuler que la prédominance de l'entrée vestibulaire par rapport à l'entrée somatosensorielle a conduit les patients à percevoir comme verticale la position où la tige convergeait avec le vecteur gravitationnel. Cette découverte est cohérente avec le fait que l'apport somatosensoriel n'est pas absent, mais est compromis par l'endommagement de ses récepteurs et la mauvaise transmission de la pression induite par le tissu conjonctif dégradé. Par conséquent, nous pourrions suggérer que la contribution somatosensorielle est également présente, mais sa contribution à la perception pourrait être inhibée ou réduite en raison de son manque de fiabilité. Enfin, pris ensemble, ces résultats mettent en évidence des changements dans les contributions relatives des entrées somatosensorielles et vestibulaires à la perception de la verticalité chez les patients hEDS (c.-à-d. Adaptation centrale dans les systèmes perceptuels somato-vestibulaires).

Caractéristiques de base du contrôle postural dans hEDS

Conformément aux études précédentes, les patients hEDS ont montré des difficultés significatives dans le contrôle des déplacements COP (augmentation de la zone d'ellipse de confiance), en particulier lorsque l'information visuelle était absente ([Galli et al., 2011](#); [Rigoldi et al., 2013](#)). Fait intéressant, les témoins n'ont montré aucune différence dans leur stabilité posturale entre les conditions d'OE et d'EC, comme on l'a observé dans d'autres études ([Lacour et al., 1997](#), [Błaszczuk et al., 2014](#)). Ce résultat n'est pas surprenant compte tenu du fait que les contrôles sains inclus dans cette étude étaient assez jeunes (environ 37 ans) et ne présentaient aucun trouble orthopédique et sensoriel. De plus, il est également possible que les paramètres posturaux utilisés dans cette étude ne soient pas les plus sensibles pour évaluer l'effet de l'enlèvement visuel chez les sujets jeunes en bonne santé ([Prieto et al., 1996](#)). Cependant, notre résultat suggère que les patients hEDS (en particulier les cas les plus instables) se fiaient à la vision pour la stabilité posturale. [Marigold et Eng \(2006\)](#) ont constaté que l'élimination de la vision chez les patients victimes d'AVC augmentait l'instabilité posturale, en particulier dans le sens ML, et ce d'autant plus en présence d'asymétrie posturale. Pour expliquer cette observation, les auteurs ont suggéré que, chez les patients victimes d'un AVC, le schéma corporel formé par le SNC peut ne pas contenir d'informations somatosensorielles appropriées en raison de centres supraspinaux altérés ([Niam et al., 1999](#)). Chez les patients atteints de hEDS, une altération des récepteurs somatosensoriels induirait une diminution de la pondération de cette modalité sensorielle, compensée par une augmentation de la pondération de la modalité visuelle (dynamique lente, [Chiba et al., 2015](#)). L'équilibre entre les contributions de chaque modalité sensorielle est essentiel dans la repondération sensorielle continue (dynamique rapide), qui permet le maintien d'un contrôle postural efficace et adaptable ([Nashner, 1976](#), [Asslander et Peterka, 2014](#), [Chiba et al., 2015](#)). De plus, les patients atteints de hEDS avaient également de grandes difficultés à maintenir leur stabilité posturale ML lorsque la vision était retirée. Par conséquent, la stabilité

ML semble dépendre de deux facteurs: le recours à la vision et l'asymétrie dans le contrôle postural. Nos résultats tendent à confirmer une dépendance excessive vis-à-vis de l'information visuelle, mais suggèrent seulement la présence d'asymétrie posturale chez les patients hEDS. Il serait intéressant d'étudier cette question dans de futures études. Indépendamment de la condition visuelle, la différence intergroupe dans l'écart-type SD était plus prononcée dans la direction AP. Un effet anti-AP accru a également été observé chez les patients victimes d'un AVC lorsque l'information somatosensorielle a été modifiée ([Marigold et al., 2004](#)). Pour interpréter ces résultats, les auteurs ont émis l'hypothèse que la capacité d'intégrer l'information provenant de la sensation cutanée peut réduire la contribution de la proprioception de la cheville dans le contrôle de l'équilibre postural. Par conséquent, l'augmentation de la prévalence d'AP observée chez les patients victimes d'AVC chez qui la proprioception de la cheville était compromise serait due à leur incapacité à compenser en utilisant des informations plantaires cutanées ([Marigold et al., 2004](#) , [Marigold et Eng, 2006](#)). Cependant, les auteurs n'ont trouvé aucune corrélation entre la sensation plantaire plantaire cutanée et le balancement postural. Ainsi, il est encore difficile de savoir comment l'information somatosensorielle affecte le balancement postural AP chez les patients victimes d'AVC. Cette observation, également observée chez les patients hEDS présentant une atteinte somatosensorielle spécifique, suggère que la stabilité de l'AP résulte, au moins en partie, d'une information somatosensorielle précise. De plus, une étude antérieure menée chez des sujets jeunes et en bonne santé a montré que le système neuromusculaire doit allouer 50% d'effort supplémentaire pour contrôler la stabilité de l'AP dans la position verticale ([Błaszczyk et al., 2014](#)). Ainsi, le plus grand écart-type des AP chez les patients atteints de hEDS suggère qu'ils peuvent avoir des difficultés à générer un effort neuromusculaire suffisant pour maintenir leur stabilité posturale. Cependant, cette hypothèse doit être confirmée par [Błaszczyk et al. \(2014\)](#) ont utilisé la vitesse COP (coefficient de balancement et indice directionnel de balancement) pour quantifier la stabilité posturale. Les limitations technologiques nous ont empêché de calculer ce paramètre. Par conséquent, nous postulons que l'effort neuromusculaire plus important alloué pour contrôler la stabilité AP peut produire un recrutement plus élevé du système somatosensoriel. Par conséquent, une atteinte somatosensorielle pourrait empêcher les patients atteints de hEDS de produire un effort neuromusculaire suffisant pour stabiliser leur équilibre dans le sens AP. En résumé, les spécificités du contrôle postural chez les patients hEDS semblent résulter à la fois de leur déficience somatosensorielle et de l'adoption de stratégies compensatoires posturales. Ce déséquilibre dans l'intégration multisensorielle complique le contrôle de l'attitude droite et, par conséquent, est au moins en partie responsable de leur instabilité posturale. Enfin, ce processus semble être relativement variable entre les participants. Cette découverte n'était pas surprenante étant donné qu'une variabilité considérable de l'expression clinique est communément observée chez les patients atteints de hEDS. Par conséquent, il a été récemment proposé de considérer le hEDS comme un spectre de manifestations pathogénétiques de l'hypermobilité articulaire ([Malfait et al., 2017](#)). Par conséquent, il serait intéressant d'étudier plus avant le lien entre la sévérité de l'expression clinique de hEDS et l'évolution de la stratégie sensori-motrice adoptée par ces patients.

Effets des orthèses somatosensorielles sur le contrôle postural dans les EDH

Chez les patients atteints de hEDS (notamment les cas les plus instables), le port d'orthèses somatosensorielles semble réduire leur instabilité posturale (zone de balancement) à tel point que leurs performances deviennent comparables à celles des témoins en état ouvert. Cependant, d'autres investigations seront nécessaires pour confirmer ces observations préliminaires avec un échantillon plus large. Fait intéressant, cet effet s'est avéré être encore plus prononcé en l'absence d'information visuelle. Le port combiné des deux orthèses semble aider les patients à stabiliser leur équilibre et à minimiser leur écart-type. Ainsi, le port combiné des orthèses pourrait induire un effet de synergie. En effet, il semble améliorer la stabilité posturale plus que le port du CG ou du PI séparément dans la condition yeux fermés à la fois pour la zone de balancement et AP sway SD. Par conséquent, on peut raisonnablement supposer que l'augmentation de la sensation plantaire cutanée appliquée par la pression sur les récepteurs de la sole de PI pourrait être concomitante avec l'augmentation de la sensation cutanée et le sens de la position articulaire favorisé par CG. Par conséquent, la combinaison de CG et de PI pourrait éventuellement améliorer l'information somatosensorielle disponible et, par conséquent, l'équilibre, même sans vision. En outre, il convient de noter que la suppression des informations visuelles augmente l'impact des orthèses somatosensorielles sur la stabilité posturale, en particulier dans le sens AP. Nous suggérons donc que, dans la condition EO, l'information visuelle compense le manque d'information somatosensorielle. Par conséquent, l'élimination de la vision oblige les patients à rééquilibrer leur utilisation des modalités sensorielles en faveur de l'information somatosensorielle, renforçant ainsi l'apport somatosensoriel fourni par les orthèses. En revanche, la stabilité ML semble être peu affectée par les orthèses somatosensorielles et reste sensible à l'apport visuel. Ce résultat confirme notre hypothèse précédente, qui supposait que l'information visuelle était, au moins en partie, responsable de la stabilité ML. En outre, nos résultats n'ont montré aucun effet des orthèses somatosensorielles sur la dépendance excessive vis-à-vis de l'apport visuel chez les patients atteints de hEDS. De plus, leur stratégie posturale,

qui consiste à compenser leur manque d'information somatosensorielle par l'utilisation généralisée d'informations visuelles, semble avoir persisté bien que l'apport somatosensoriel ait été amélioré. Il est donc légitime de supposer que, pour modifier la stratégie adoptée par ces patients, un port prolongé d'orthèses somatosensorielles serait nécessaire. L'utilisation à long terme d'orthèses somatosensorielles stimulerait et préserverait à la fois les récepteurs somatosensoriels et ainsi développerait et consoliderait le réseau neuronal, soutenant une stratégie sensori-motrice plus équilibrée. Enfin, contrairement aux études précédentes qui n'ont trouvé aucun effet sur les PI et les CG, notre étude a suggéré leur efficacité sur la stabilité posturale chez les patients hEDS ([Hijmans et al., 2009](#) ; [Dankerl et al., 2016](#)). En effet, dans les contrôles sains, il est possible que l'apport somatosensoriel amélioré fourni par la CG déclenche plus d'informations que nécessaire pour contrôler leur posture. Par conséquent, le port de CG peut induire du bruit dans l'apport somatosensoriel chez les sujets sains, alors qu'il aide à ajuster le seuil somatosensoriel chez les patients atteints de hEDS ([Hijmans et al., 2009](#)). De même, l'IP n'a induit aucun effet sur la stabilité posturale chez les sujets sains, probablement parce qu'aucune amélioration proprioceptive n'était requise ([Dankerl et al., 2016](#)).

Limites de l'étude

Cette étude pilote présente un certain nombre de limites. Premièrement, l'étude a été menée sur un petit échantillon. Deuxièmement, la méthodologie utilisée pour étudier la SVV pourrait être améliorée à plusieurs égards: (i) le nombre d'essais réalisés ([Piscicelli et al., 2015](#) : un minimum de six essais est requis); (ii) la tête du sujet doit être fixée à son support pour éviter tout mouvement spéculatif; (iii) la tête pourrait être placée dans le même alignement que le corps; et (iv) la position allongée pourrait également être réalisée du côté gauche.

Conclusions

Collectivement, les explorations fonctionnelles effectuées sur des patients atteints de hEDS, en utilisant la posturographie et la SVV, suggèrent un déséquilibre dans l'intégration des entrées sensorielles. Les résultats tendent à montrer que la déficience somatosensorielle modifie à la fois la perception de la verticalité (effet Aubert) et l'instabilité posturale. Plus précisément, les résultats de l'évaluation posturale suggèrent une nouvelle pondération de l'intégration multisensorielle en faveur de l'entrée visuelle. Cette stratégie compensatoire, adoptée par les patients pour maintenir leur équilibre, peut diminuer leur adaptabilité, ce qui pourrait, au moins en partie, expliquer leur instabilité posturale. En revanche, nos résultats suggèrent une amélioration de la rétroaction somatosensorielle induite par les orthèses, facilitant ainsi le contrôle postural, qui à son tour tend à devenir plus stable. Enfin, il s'agit de la première enquête évaluant l'effet des orthèses somatosensorielles chez les patients hEDS, offrant de nouvelles perspectives pour améliorer les soins médicaux. Cependant, les observations dans cette étude pilote doivent être confirmées par d'autres investigations avec un plus grand nombre de sujets. Pourtant, ils suggèrent fortement que les évaluations posturale et SVV sont des outils potentiellement utiles pour le diagnostic et le suivi de cette pathologie.

Contributions des auteurs

LMD et EGD ont conçu l'étude. LMD, EGD et PL ont réalisé l'expérience. EGD, LMD et CC ont analysé les données. EGD et LMD ont conçu les chiffres. EGD, LMD, SB, BB et PD ont interprété les résultats et rédigé le manuscrit. BB, AS et EV ont examiné les participants potentiels afin de déterminer leur admissibilité à l'étude. Tous les auteurs ont révisé le manuscrit et approuvé sa version finale.

Déclaration de conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent que la recherche a été menée en l'absence de toute relation commerciale ou financière qui pourrait être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel.

Remerciements

Cette recherche a été financée par l'Ecole doctorale Normandie Biologie Intégrative, Santé, Environnement (EGD), le Conseil Régional de Basse-Normandie (financement des équipements), et l'Association des Patients Normands Ehlers Danlos (APNED, Président: Dr. Claire El Moudden). Nous remercions sincèrement la société NOVATEX Medical[®] pour la fourniture de vêtements de compression personnalisés et de semelles proprioceptives pour les patients et tous les participants à notre étude.

Les références

Anastasopoulos, D., et Bronstein, AM (1999). Un cas de syndrome thalamique: influences somatosensorielles sur l'orientation visuelle. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatrie* 67, 390-394. doi: 10.1136 / jnnp.67.3.390

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Asslander, L., et Peterka, RJ (2014). Dynamique de repondération sensorielle dans le contrôle postural humain. *J. Neurophysiol.* 111, 1852-1864. doi: 10.1152 / jn.00669.2013

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Aubert, H. (1861). Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes se rapproche de tous les liens. *Archiv f. Pathol. Anat.* 20, 381-393. doi: 10.1007 / bf02355256

[CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Azulay, JP, Mesure, S., Amblard, B., et Pouget, J. (2002). Augmentation de la dépendance visuelle dans la maladie de Parkinson. *Percept. Mot. Compétences* 95, 1106-1114. doi: 10.2466 / pms.2002.95.3f.1106

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Barbieri, G., Gissot, AS, Fouque, F., Casillas, JM, Pozzo, T., et Pérennou, D. (2008). La proprioception contribue-t-elle au sens de la verticalité? *Exp. Cerveau Res.* 185, 545-552. doi: 10.1007 / s00221-007-1177-8

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Barra, J., Marquer, A., Joassin, R., Reymond, C., Metge, L., Chauvineau, V., et al. (2010). Les humains utilisent des modèles internes pour construire et mettre à jour un sens de la verticalité. *Brain* 133, 3552-3563. doi: 10.1093 / cerveau / awq311

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Beighton, P., De Paepe, A., Steinmann, B., Tsipouras, P., et Wenstrup, RJ (1998). Syndromes d'Ehlers-Danlos: nosologie révisée, Villefranche, 1997. *Am. J. Med. Genet.* 77, 31-37. doi: 10.1002 / (SICI) 1096-8628 (19980428) 77: 131 :: AID-AJMG8> 3.3.CO; 2-P

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Bisdorff, A., Wolsley, C., Anastasopoulos, D., Bronstein, A., et Gresty, MA (1996). La perception de la verticalité corporelle (verticale posturale subjective) dans les troubles vestibulaires périphériques et centraux. *Cerveau* 119, 1523-1534. doi: 10.1093 / cerveau / 119.5.1523

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Błaszczuk, JW, Beck, M. et Sadowska, D. (2014). Évaluation de la stabilité posturale chez les jeunes sujets sains basée sur les caractéristiques directionnelles des données posturographiques: effets de la vision et du genre. *Acta. Neurobiol. Exp.* 74, 433-442.

[Résumé de PubMed](#) | [Google Scholar](#)

Bonan, IV, Guettard, E., Leman, MC, Colle, FM, et Yelnik, AP (2006). La perception verticale subjective subjective se rapporte à l'équilibre dans l'AVC aigu. *Cambre. Phys. Med. Réhabil.* 87, 642-646. doi: 10.1016 / j.apmr.2006.01.019

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Bonan, IV, Hubeaux, K., Gellez-Leman, MC, Guichard, JP, Vicaut, E., et Yelnik, AP (2007). Influence de la perception subjective visuelle subjective subjective sur le rétablissement de l'équilibre après un AVC. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatrie* 20, 49-55. doi: 10.1136 / jnnp.2006.087791

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Brandt, T., Dieterich, M., et Danek, A. (1994). Les lésions du cortex vestibulaire affectent la perception de la verticalité. *Ann. Neurol.* 35, 403-412. doi: 10.1002 / ana.410350406

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Bronstein, AM (1999). L'interaction de l'information otolithique et proprioceptive dans la perception de la verticalité. Les effets de labyrinthine et de la maladie du SNC. *Ann. NY Acad. Sci.* 871, 324-333. doi: 10.1111 / j.1749-6632.1999.tb09195.x

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Bronstein, AM, Pérennou, DA, Guerraz, M., Playford, D., et Rudge, P. (2003). Dissociation de la verticale visuelle et haptique chez deux patients présentant des lésions nucléaires vestibulaires. *Neurologie* 61, 1260-1262. doi: 10.1212 / 01.wnl.0000086815.22816.dc

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Bronstein, AM, Yardley, L., Moore, AP, et Cleaves, L. (1996). Illusion d'inclinaison à médiation visuelle et posturale dans la maladie de Parkinson et chez des sujets défectueux labyrinthiques. *Neurologie* 47, 651-656. doi: 10.1212 / wnl.47.3.651

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Castori, M. (2012). Le syndrome d' Ehlers-Danlos, le type d'hypermobilité: un trouble héréditaire du tissu conjonctif sous - diagnostiquée avec des manifestations cutané - muqueuses, articulaires et systémiques. *ISRN Dermatol.* 2012, 1-22. doi: 10,5402 / 2012/751768

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Chiba, R., Takakusaki, K., Ota, J., Yozu, A., et Haga, N. (2015). modèles de contrôle de la posture verticale de l'homme fondées sur des données multisensorielles; dans la dynamique rapide et lente. *Neurosci. Res.* 104, 96-104. doi: 10.1016 / j.neures.2015.12.002

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Clark, DJ, Christou, AE, Ring, SA, Williamson, JB, et Doty, L. (2014). La rétroaction somatosensorielle améliorée réduit l'activité corticale préfrontale pendant la marche chez les personnes âgées. *J. Gerontol. Un Biol. Sci. Med. Sci.* 69, 1422-1428. doi: 10.1093 / gerona / glu125

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Clayton, HA, Jones, SA, et Henriques, DY (2015). La précision proprioceptive est altérée dans le syndrome d'Ehlers-Danlos. *Springerplus* 4: 323.doi: 10.1186 / s40064-015-1089-1

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Dankerl, P., Keller, AK, Häberle, L., Stumptner, T., Pfaff, G., Uder, M., et al. (2016). Effets sur la posture par différentes stimulations neuromusculaires afférentes et semelles proprioceptives: évaluation rasterteréographique. *Prosthet. Orthot. Int.* 40, 369-376. doi: 10.1177 / 0309364614554031

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

De Vignemont, F. (2010). Schéma corporel et image corporelle-avantages et inconvénients. *Neuropsychologia* 48, 669-680. doi: 10.1016 / j.neuropsychologia.2009.09.022

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Dijkerman, HC, et De Haan, EH (2007). Processus somatosensoriels préservant la perception et l'action. *Behav. Cerveau. Sci.* 30, 189-201. doi: 10.1017 / S0140525X07001392

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Fukuda, T. (1959). Écriture verticale avec les yeux couverts; un nouveau test de la réaction vestibulo-spinale. *Acta. Otolaryngol.* 50, 26-36. doi: 10.3109 / 00016485909129150

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Galli, M., Rigoldi, C., Celletti, C., Mainardi, L., Tenore, N., Albertini, G., et al. (2011). L'analyse posturale dans les domaines de temps et de fréquence chez les patients atteints du syndrome d'Ehlers-Danlos. *Res. Dev. Disabil.* 32, 322-325. doi: 10.1016 / j.ridd.2010.10.009

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Ghai, S., Driller, MW et Masters, RS (2016). L'influence des vêtements de compression sous le genou sur la proprioception de l'articulation du genou. *Gait Posture* doi: 10.1016 / j.gaitpost.2016.08.008 [Epub avant impression].

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Gurfinkel, VS, Lipshits, MI, Mori, S., et Popov, KE (1981). Stabilisation de la position du corps en tant que tâche principale de la régulation posturale. *Fredonner. Physiol.* 7, 155-165.

[Résumé de PubMed](#) | [Google Scholar](#)

Hijmans, JM, Zijlstra, W., Geertzen, JH, Hof, AL et Postema, K. (2009). La compression du pied et de la cheville améliore le sens de la position articulaire, mais pas la position bipède chez les personnes âgées. *Gait Posture* 29, 322-325. doi: 10.1016 / j.gaitpost.2008.10.051

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Isableu, B., Ohlmann, T., Crémieux, J., et Amblard, B. (1997). Sélection du cadre de référence spatial et de la variabilité du contrôle postural. *Exp. Cerveau Res.* 114, 584-589. doi: 10.1007 / pl00005667

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Jacobs, JV, et Horak, FB (2006). L'intégration proprioceptive-motrice anormale contribue aux réponses posturales hypométriques des sujets atteints de la maladie de Parkinson. *Neuroscience* 141, 999-1009. doi: 10.1016 / j.neuroscience.2006.04.014

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Lacour, M., Barthelemy, J., Borel, L., Magnan, J., Xerri, C., Chays, A., et al. (1997). Stratégies sensorielles dans le contrôle postural humain avant et après la neurotomie vestibulaire unilatérale. *Exp. Cerveau Res.* 115, 300-310. doi: 10.1007 / pl00005698

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Logan, D., Kiemel, T., et Jeka, JJ (2014). Repondération sensorielle asymétrique dans la position verticale de l'homme. *PLoS One* 9: e100418.doi: 10.1371 / journal.pone.0100418

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Lopez, C., Lacour, M., Léonard, J., Magnan, J., et Borel, L. (2008). Comment la position du corps change la perception verticale visuelle après une perte vestibulaire unilatérale. *Neuropsychologia* 46, 2435-2440. doi: 10.1016 / j.neuropsychologia.2008.03.017

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Lord, SR et Webster, IW (1990). Dépendance vis-à-vis du champ visuel chez les abatteurs âgés et les non-abatteurs. *Int. J. Vieillesse.Fredonner. Dev.* 31, 267-277. doi: 10.2190 / 38mh-2ef1-e36q-75t2

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Malfait, F., Francomano, C., Byers, P., Belmont, J., Berglund, B., Black, J., et al. (2017). Le classement international 2017 des syndromes d'Ehlers-Danlos. *Un m. J. Med. Genet. C Semin. Med. Genet.* 175, 8-26. doi: 10.1002 / ajmg.c.31552

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Marigold, DS et Eng, JJ (2006). La relation de la portance asymétrique avec le balancement postural et la confiance visuelle dans l'AVC. *Gait Posture* 23, 249-255. doi: 10.1016 / j.gaitpost.2005.03.001

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Marigold, DS, Eng, JJ, Tokuno, CD, et Donnelly, CA (2004). Contribution de la force musculaire et intégration de l'apport afférent à l'instabilité posturale chez les personnes ayant subi un AVC. *Neurorehabil. Réparation neurale* 18, 222-229. doi: 10.1177 / 1545968304271171

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Massion, J. (1992). Mouvement, posture et équilibre: interaction et coordination. *Programme. Neurobiol.* 38, 35-56. doi: 10.1016 / 0301-0082 (92) 90034-c

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#)

Massion, J. (1994). Système de contrôle postural. *Curr. Opin. Neurobiol.* 4, 877-887. doi: 10.1016 / 0959-4388 (94) 90137-6

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Merfeld, DM, Zupan, L. et Peterka, RJ (1999). Les humains utilisent des modèles internes pour estimer la gravité et l'accélération linéaire. *Nature* 15, 615-618.

[Résumé de PubMed](#) | [Google Scholar](#)

Mergner, T., et Rosemeier, T. (1998). Interaction des signaux vestibulaires, somatosensoriels et visuels pour le contrôle postural et la perception du mouvement dans des conditions terrestres et de microgravité - un modèle conceptuel. *Cerveau. Res. Rev.* 28, 118-135. doi: 10.1016 / s0165-0173 (98) 00032-0

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Mittelstaedt, H. (1983). Une nouvelle solution au problème de la verticale subjective. *Naturwissenschaften* 70, 272-281. doi: 10.1007 / bf00404833

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Mittelstaedt, H., et Glasauer, S. (1993). Illusions de verticalité en apesanteur. *Clin. Investig.* 71, 732-739. doi: 10.1007 / bf00209728

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Nashner, LM (1976). Adaptation des réflexes contrôlant la posture humaine. *Exp. Cerveau Res.* 26, 59-72. doi: 10.1007 / bf00235249

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Niam, S., Cheung, W., Sullivan, PE, Kent, S., et Gu, X. (1999). Équilibre et déficiences physiques après un AVC. *Cambre. Phys. Med. Réhabil.* 80, 1227-1233. doi: 10.1016 / s0003-9993 (99) 90020-5

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Pérennou, DA, Mazibrada, G., Chauvineau, V., Greenwood, R., Rothwell, J., Gresty, MA, et al. (2008). Lateropulsion, poussée et perception de la verticalité dans l'hémisphère: une relation causale? *Cerveau* 131, 2401-2413. doi: 10.1093 / cerveau / awn170

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Peterka, RJ (2002). Intégration sensorimotrice dans le contrôle postural humain. *J. Neurophysiol.* 883, 1097-1118. doi: 10.1152 / jn.00605.2001

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Peterka, RJ, et Loughlin, PJ (2004). Régulation dynamique de l'intégration sensorimotrice dans le contrôle postural humain. *J. Neurophysiol.* 91, 410-423. doi: 10.1152 / jn.00516.2003

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Piscicelli, C., Nadeau, S., Barra, J., et Pérennou, D. (2015). Évaluer la verticale visuelle: combien d'essais sont nécessaires? *BMC Neurol.* 15: 215. doi: 10.1186 / s12883-015-0462-6

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Prieto, TE, Myklebust, JB, Hoffmann, RG, Lovett, EG, et Myklebust, BM (1996). Mesures de la stabilité posturale: différences entre les adultes jeunes et âgés en bonne santé. *EEE. Trans. Biomed. Eng* 4, 956-966. doi: 10.1109 / 10.532130

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Rigoldi, C., Cimolin, V., Camerota, F., Celletti, C., Albertini, G., Mainardi, L., et al. (2013). Mesure de la régularité du balancement postural chez l'homme en utilisant une entropie approximative et une entropie d'échantillon chez des patients présentant un syndrome d'hypermobilité du syndrome d'Ehlers-Danlos. *Res. Dev. Disabil.* 34, 840-846. doi: 10.1016 / j.ridd.2012.11.007

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Rombaut, L., De Paepe, A., Malfait, F., Cools, A., et Calders, P. (2010a). Sens de la position articulaire et sens de la perception vibratoire chez les patients atteints du syndrome d'Ehlers-Danlos de type III (type hypermobilité). *Clin. Rheumatol.* 29, 289-295. doi: 10.1007 / s10067-009-1320-y

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Rombaut, L., Malfait, F., Cools, A., De Paepe, A., et Calders, P. (2010b). Plaintes musculo-squelettiques, activité physique et qualité de vie liée à la santé chez les patients atteints du syndrome d'hypermobilité du syndrome d'Ehlers-Danlos. *Disabil. Rehabil.* 32, 1339-1345. doi: 10.3109 / 09638280903514739

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Rombaut, L., Malfait, F., De Wandele, I., Taes, Y., Thijs, Y., De Paepe, A., et al. (2012). La masse musculaire, la force musculaire, la performance fonctionnelle et la déficience physique chez les femmes avec le type d'hypermobilité du syndrome d'Ehlers-Danlos. *Soins de l'arthrite Res.(Hoboken)* 63, 1584-1592. doi: 10.1002 / acr.21726

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Rombaut, L., Malfait, F., De Wandele, I., Thijs, Y., De Paepe, A., et Calders, P. (2011). L'équilibre, la démarche, les chutes et la peur de tomber chez les femmes avec le type d'hypermobilité du syndrome d'Ehlers-Danlos. *Soins de l'arthrite Res. (Hoboken)* 63, 1432-1439. doi: 10.1002 / acr.20557

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Sobey, G. (2014). Le syndrome d'Ehlers-Danlos - un groupe de conditions généralement mal compris. *Clin. Med.* 14, 432-436. doi: 10.7861 / clinmedicine.14-4-432

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Tarnutzer, AA, Bockisch, C., Straumann, D., et Olasagasti, I. (2009). Dépendance par gravité de la variabilité verticale visuelle subjective. *J. Neurophysiol.* 102, 1657-1671. doi: 10.1152 / jn.00007.2008

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Trousselard, M., Cian, C., Nougier, V., Pla, S., et Raphel, C. (2003). Contribution des indices somesthésiques à la perception de l'orientation du corps et de la verticale visuelle subjective. *Percept. Psychophys.* 65, 1179-1187. doi: 10.3758 / bf03194843

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Van Beuzekom, AD, et Van Gisbergen, JA (2000). Propriétés de la représentation interne de la gravité déduite des estimations de la direction spatiale et de l'inclinaison du corps. *J. Neurophysiol.* 84, 11-27.

[Résumé de PubMed](#) | [Google Scholar](#)

Van der Kooij, H., Jacobs, R., Koopman, B., et Van der Helm, F. (2001). Un modèle adaptatif d'intégration sensorielle dans un environnement dynamique appliqué au contrôle d'une position humaine. *Biol. Cybern.* 84, 103-115. doi: 10.1007 / s004220000196

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Vaugoyeau, M., Hakam, H., et Azulay, JP (2011). Insuffisance proprioceptive et contrôle de l'orientation posturale dans la maladie de Parkinson. *Fredonner. Mov. Sci.* 30, 405-414. doi: 10.1016 / j.humov.2010.10.006

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Yardley, L. (1990). Contribution de l'information somatosensorielle à la perception de la verticale visuelle avec inclinaison du corps et rotation du champ visuel. *Percept. Psychophys.* 48, 131-134. doi: 10.3758 / bf03207079

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Zupan, LH, Merfeld, DM, et Darlot, C. (2002). Utiliser la pondération sensorielle pour modéliser l'influence du canal, de l'otolithe et des indices visuels sur l'orientation spatiale et les mouvements oculaires. *Biol. Cybern.* 86, 209-230. doi: 10.1007 / s00422-001-0290-1

[Résumé de PubMed](#) | [CrossRef Texte intégral](#) | [Google Scholar](#)

Mots clés: vertical subjectif, proprioception, vêtements compressifs, semelles proprioceptives, balancement postural

Citation: Dupuy EG, Leconte P, Vlamynck E, Sultan A, Chesneau C, Denise P, Besnard S, Bienvenu B et Decker LM (2017) Syndrome d'Ehlers-Danlos, Hypermobilité Type: Impact des orthèses somatosensorielles sur le contrôle postural (étude pilote)). De face. *Fredonner. Neurosci.* 11: 283. doi: 10.3389 / fnhum.2017.00283

Reçu le 27 janvier 2017; Accepté: 15 mai 2017;

Publié: 08 Juin 2017.

Édité par:

Alain Hamaoui, Centre Universitaire d'Enseignement et de Recherche Jean-François Champollion, France

Revu par:

Arnaud Saj, Université de Genève, Suisse

Sébastien Caudron, Université de Lorraine, France

Copyright © 2017 Dupuy, Leconte, Vlamynck, Sultan, Chesneau, Denise, Besnard, Bienvenu et Decker. Ceci est un article en libre accès distribué sous les termes de la [licence Creative Commons Attribution \(CC BY\)](#). L'utilisation, la distribution ou la reproduction dans d'autres forums est autorisée, à condition que l'auteur (ou les auteurs) originaux ou le donneur de licence soient crédités et que la publication originale dans ce journal soit citée, conformément aux pratiques académiques acceptées. Aucune utilisation, distribution ou reproduction n'est permise et ne respecte pas ces conditions.

* Correspondance: Leslie M. Decker, leslie.decker@unicaen.fr

