
Le sens de la verticalité par la perception somatosensorielle dans la stabilité posturale

Illustration avec deux études de cas

-Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Psychomotricien-

“Les Personnes âgées (...) conservent leurs sentiments de singularité, de permanence, celui qui permet à un individu de sentir qu’il contient en lui l’ensemble des âges, qu’il est toujours lui même et à la fois différent.”

Personne M.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
<u>PARTIE THÉORIQUE</u>	8
L'ÉLABORATION D'UN SENS DE LA VERTICALITÉ	9
La posture verticale	9
Quelques définitions	9
L'Intégration multisensorielle dans le contrôle et l'orientation posturale	10
Du référentiel géocentrique à la verticalité subjective	12
Une "lutte" face à la gravité	12
Une cohésion avec cette force gravitationnelle	12
Des verticalités ?	13
Verticale Visuelle Subjective (VVS) et Verticale Posturale Subjective (VPS)	13
Quelle place pour la Verticale Haptique Subjective (VHS) ?	14
Mesures de ces verticalités respectives	14
Verticale Visuelle Subjective (VVS)	15
Verticale Posturale Subjective (VPS)	15
Verticale Haptique Subjective (VHS)	16
La somesthésie dans la perception de la verticalité	17
Analyse corticale des données somesthésiques	17
La proprioception	18
Stimulations localisées : constatations variées	18
Les afférences proprioceptives	19
Les organes tendineux de Golgi (OTG)	20
Les récepteurs articulaires ou péri-articulaires	20
Les fuseaux neuromusculaires (FNM)	20
Sens podotactile : les appuis	21
Quel(s) rôle(s) pour les pieds ?	21
Le pied comme point de départ	22
Mécanorécepteurs cutanés	22
L'impact de stimulations ciblées	22
Fusion et pondération des informations sensorielles	23
Diverses sources d'informations sensorielles	23
Structures corticales et sous corticales mises en jeu	24
Au niveau cortical	24
Au niveau sous cortical	24
Des informations hiérarchisées pour une posture stabilisée	25
Primauté visuelle	25
Primauté somatosensorielle	25
Repondération sensorielle	26

Rôle des différentes informations sensorielles et modèle interne	28
Un modèle interne de la verticalité	28
Système "Bottom-Up"	29
Système "Top Down"	30
L'adaptation posturale	31
Boucle courte au niveau segmentaire : le réflexe myotatique	32
Boucle longue : réflexe supra segmentaire	32
Les voies efférentes : le système pyramidal et extrapyramidal	33
Face au déséquilibre : la rigidité posturale	34
LE DÉCLIN DE LA POSTURE VERTICALE LIÉE À L'ÂGE	35
Les causes : pertes sensorielles périphériques et centrales	35
Au niveau central	36
Repondération et compensation sensorielle	36
Au niveau périphérique	37
Le cas du système somatosensoriel	38
La proprioception	38
Le sens podotactile et les appuis plantaires	39
Le tact digital	39
Les conséquences des déficits somatosensoriels	40
Sur la posture	40
Adaptations posturales	40
Présentation posturale	41
Dans la perception de la verticalité	41
Sur les déséquilibres arrières : la rétropulsion	42
En cause : une déviation de la verticale subjective	42
Cercle vicieux de la rétropulsion	43
Évaluation quantitative de la rétropulsion	43
Prise en charge de la rétropulsion	44
Facteurs perturbants la posture	45
La rigidité musculaire	45
Pathologies associées	45
La chute	46
Un point essentiel : les modifications de la marche	47
Une influence de la déficience intellectuelle sur la stabilité posturale ?	48
Une présentation de la déficience intellectuelle (DI)	48
Vieillesse et déficience intellectuelle	49
<u>PARTIE PRATIQUE</u>	<u>50</u>
VISÉE RÉÉDUCATIVE : La rétropulsion chez le sujet âgé	51
Présentation de la structure : la résidence R.	51
La somesthésie dans le réajustement du sens de la verticalité : pourquoi ?	52

Choix des évaluations	52
Pré-requis sensoriels	53
L'évaluation du tact	53
L'évaluation de la proprioception	53
Évaluation de la rétropulsion	53
Évaluation de la verticalité subjective	54
Verticale Haptique Subjective (VHS) et Verticale Visuelle Subjective (VVS)	54
Verticale Posturale Subjective (VPS)	55
Projection du CG dans le PDS	55
Évaluation de l'équilibre statique et dynamique	56
Tinetti	56
Station unipodale	56
Timed Up and Go test (TUG)	57
Appréhension de risque de chutes	57
La somesthésie dans la perception de la verticalité : comment ?	57
La stimulation directe du sens podotactile	58
La stimulation directe des autres entrées somesthésiques	59
L'équilibre sur surface instable	60
Conscientisation du ressenti corporel	61
MISE EN PRATIQUE	62
Madame B.	62
Présentation	62
Évaluations initiales	63
Séance type	66
Évaluations finales	68
Madame P.	70
Présentation	70
Évaluations initiales	70
Séance type	73
Évaluations finales	75
DISCUSSION	77
La verticale subjective : un biais de la verticalité inclinée	77
La rétropulsion : une évaluation subjective	77
La chute : nécessité de données longitudinales	78
Le Tinetti : interrogations et limites	78
La wii board : fluctuation et précision	78
CONCLUSION	80
BIBLIOGRAPHIE	81
ANNEXES	86

Annexe 1 : Matérialisation du polygone de sustentation (PDS)	86
Annexe 2 : Déséquilibre par projection du CG en dehors du PDS	86
Annexe 3 : Schéma de synthèse des composantes fonctionnelles du contrôle postural (Horak, Shupert et Mirka, 1989)	86
Annexe 4 : schéma simplifié des muscles antigravitaires, les extenseurs du corps	87
Annexe 5 : baguette luminescente que le sujet doit ajuster visuellement à la verticale (Bonan et al., 2012)	87
Annexe 6 : dispositif utilisé dans l'évaluation de la Verticale Posturale Subjective (Manckoundia et al., 2007b)	87
Annexe 7 : inclinaisons du corps par vibrations des talons et des têtes métatarsiennes (Roll, 2002).	88
Annexe 8 : systèmes sensoriels (visuel, vestibulaire/labyrinthique, proprioceptifs/ musculo-ostéo-tendineux, et cutané) impliqués dans la régulation des activités posturo-cinétiques (Dupui et Montoya, 2003, par Janin, 2009).	88
Annexe 9 : aires impliquées dans la stabilisation posturale : l'aire pariétale, l'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaire	89
Annexe 10 : Modèle intégré de la représentation de la verticalité	89
Annexe 11 : les différentes altérations du système neuro-sensoriel	90
Annexe 12 : Programme complexe d'entraînement sensoriel	90
Annexe 13 : Les facteurs du contrôle postural influençant la perception proprioceptive chez le sujet vieillissant	91
Annexe 14 : Comparaison des stratégies de mouvement lors du déplacement du CP	91
Annexe 15 : échelle semi-quantitative de rétropulsion, par Manckoundia et al. (2007a)	92
Annexe 16 : cause de décès accidentels chez les âgés de plus de 65 ans (OMS, 1983)	92
Annexe 17 : Item du Bergès Lézine utilisé pour l'évaluation de la proprioception	92
Annexe 18 : Test de Tinetti de 22 items	93
Annexe 19 : Maintien de la station unipodale par tranche d'âge (Sallagoity et Albaret, 2001, par Innocent-Mutel et Martin, 2018)	94
Annexe 20: Falls Efficacy Scale (Tinetti, 1990)	94
Annexe 21 : le Test Moteur Minimum (Camus et al., 2002)	94

INTRODUCTION

Le choix de ce sujet s'est fait suite aux rencontres avec les personnes en situation de handicap vieillissantes, accueillies par l'établissement dans lequel j'effectuais mon stage. En effet, elles présentaient toutes des postures anormales favorisant la survenue de chutes. Or, la chute est un phénomène ayant de graves conséquences, physiologiques comme psychologiques, pour le sujet âgé. De fait, je me suis interrogée sur la perception et la représentation qu'avaient ces personnes de leur posture, ce qui m'a amené à me documenter sur le sens de la verticalité. En recueillant différentes informations sur cette notion, et aux vues des profils que je dégageais chez certains patients, j'ai trouvé intéressant de me pencher davantage sur l'implication de la somesthésie dans la perception de la verticalité, qui est alors devenue le fil conducteur de mon travail.

Enfin, mon questionnement s'est tourné vers l'influence de la somesthésie dans la perception de la verticalité, et ses éventuelles répercussions sur la stabilité posturale.

Ainsi, dans cette rédaction, je commence par présenter la notion de verticalité en explicitant par quels moyens celle-ci s'établit, précisant le "sens de la verticalité", et expliquant la façon expérimentale de le déterminer. Ensuite, je détaille le rôle de la somesthésie dans la perception de la verticalité, en revenant sur les caractéristiques de ce système. Cependant, celui-ci n'intervenant pas seul, j'explique par la suite l'influence des autres sens, notamment au niveau central, amenant la proposition d'un modèle interne sous-tendant la représentation de la verticale. Puis, avant d'évoquer les conséquences de l'avancée en âge sur la posture verticale, et les répercussions d'une représentation faussée de celle-ci, je fais un point sur les mécanismes entrant en jeu dans l'adaptation posturale. Enfin, après avoir décrit brièvement la déficience intellectuelle, présente chez les personnes qui m'ont permis d'illustrer cet écrit, j'explique la manière dont j'ai choisi de les évaluer et de les prendre en charge, compte tenu de ces apports théoriques et des problématiques respectives de ces patientes. Les difficultés rencontrées au cours de ce travail et les moyens permettant de le préciser, viennent clore cette production.

PARTIE THÉORIQUE

L'ÉLABORATION D'UN SENS DE LA VERTICALITÉ

La posture verticale

Quelques définitions

La posture se définit comme la position de l'ensemble des segments du corps les uns par rapport aux autres, à un instant donné, en tenant compte de la pesanteur. En effet, lors de la station debout, l'Homme tient son corps à la verticale par rapport à la gravité. La résultante des forces gravitationnelles qui agissent sur les diverses parties du corps s'exercent en un point précis appelé centre de gravité (CG), par lequel passe une verticale imaginaire (figure 1), qui correspond à la ligne de gravité du corps. Les forces externes et internes s'appliquent donc sur le système que forme le corps au niveau du CG, mais aussi au niveau du centre de pression (CP)¹, qui est le point d'application de la force résultante de réaction au sol (Gasq, 2016, figure 2).

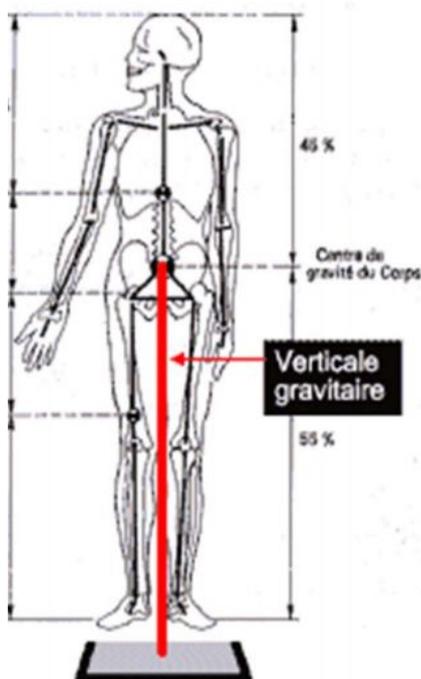


Figure 1

La verticale gravitaire imaginaire



Figure 2

Quand les vecteurs du CG (flèche verte) et du CP (flèche bleue) ne sont plus alignés, une accélération horizontale est communiquée au CG, responsable d'un déplacement de celui-ci.

Pour maintenir le corps en équilibre, le CG se projette au sol, via la verticale gravitaire, dans le polygone de sustentation (PDS) (annexe 1), qui est la base de support du corps, soit la plus petite surface convexe (forme de quadrilatère) obtenue en reliant entre elles les limites

¹ Le CP, qui matérialise la force de réaction du sol sous les pieds du sujet, est déterminé par une plateforme de force qui localise son point d'application et mesure son intensité.

extrêmes des points d'appuis du corps. Le PDS est donc variable selon la position des appuis au sol. On se rend finalement compte, que dans les conditions d'un équilibre quasi-statique, les variations du CP sont corrélées à celles du CG (Blaszczyk, 2008, cité par Le Goïc, 2013), et que les lois de l'équilibre sont respectées lorsque le CG se projette à l'intérieur du PDS. Si la projection s'effectue à l'extérieur, il y a déséquilibre (Borelli, 1680, Dyson, 1977, cités par Le Goïc, 2013) (annexe 2).

L'Intégration multisensorielle dans le contrôle et l'orientation posturale

Horak, Shupert et Mirka (1989) définissent un contrôle postural adéquat comme consistant à maintenir le CG du corps au-dessus de la base de support fournie par les pieds. Ils précisent qu'aucun système sensoriel ne spécifie directement la position du CG, mais qu'elle est obtenue grâce aux multiples informations sensorielles périphériques concernant les mouvements du corps : par rapport à la surface de support, les segments corporels entre eux (système proprioceptif), l'espace extra-personnel (système visuel), ainsi que l'accélération linéaire et angulaire de la tête (système vestibulaire). Par exemple, le balancement du corps vers l'avant autour des chevilles (Figure 3, à gauche) est associé au déplacement en avant du CP des pieds (surface de support), la dorsiflexion de l'articulation de la cheville et l'étirement des muscles gastrocnémiens/soléaires (système proprioceptif), aux flux d'informations visuelles à travers la rétine périphérique vers l'arrière (système visuel), et à l'accélération angulaire de la tête signalée par les canaux semi-circulaires et l'inclinaison vers l'avant signalée par les otolithes (système vestibulaire).



Figure 3 : stratégies pour parer les déséquilibres

A gauche : stratégie de chevilles

Au milieu : stratégie de hanches

A droite : pas de protection

En effet, pour Joassin, Bonniaud, Barra, Marquer et Perennou (2010), trois systèmes sensoriels différents règlent les comportements d'équilibration: le système vestibulaire, le système visuel et le système somesthésique (proprioceptif et tactile) dont les informations respectives sont intégrées et traitées par la moelle épinière, le tronc cérébral et les mécanismes corticaux dans le système nerveux central (SNC), afin de permettre la sélection de réponses posturales appropriées en fonction de l'environnement. De fait, lorsque les

sujets changent d'environnement sensoriel, ils doivent peser de nouveau leur dépendance relative à chacun des sens. Dans un environnement "naturel", les personnes en bonne santé se fient aux informations somatosensorielles de manière prépondérante (70%), visuelles (10%) et vestibulaires (20%). Cependant, lorsqu'elles se trouvent sur une surface instable, elles augmentent la pondération sensorielle en informations vestibulaires et visuelles à mesure qu'elles diminuent celles relatives aux entrées somatosensorielles. Cette possibilité de repondération des informations sensorielles, sur laquelle je reviendrai plus tard, permet ainsi le maintien de la stabilité de l'individu lorsque celui-ci passe d'un contexte sensoriel à un autre. Ainsi, Horak (2006) précise que le contrôle postural est une "compétence complexe basée sur l'interaction de processus sensorimoteurs dynamiques" (annexe 3). Cette compétence permet par exemple au sujet, d'engager un pas de protection, lorsque le déplacement du CG traverse les frontières du PDS (figure 3 à droite). Ce traitement complexe permet à l'Homme de définir son orientation posturale, soit d'aligner les différentes parties de son corps (notamment son tronc et sa tête), par rapport à la gravité, aux surfaces de support, à l'environnement visuel et aux références internes. C'est cette orientation posturale qui permet au sujet de positionner son corps dans l'espace et de fournir un cadre de référence à ses interactions avec l'environnement. Ainsi, l'intégration et le poids relatif des informations provenant des différents systèmes sensoriels dépendent des objectifs de la tâche de déplacement et du contexte environnemental. C'est également grâce à ce système complexe d'intégration, que l'équilibre postural, impliquant la coordination de stratégies de mouvements visant à stabiliser le CG, est possible lors de perturbations initiées par soi-même ou provoquées par l'extérieur. La stratégie de réponse spécifique choisie dépendra finalement des caractéristiques du déplacement postural externe, mais également des attentes, des objectifs et de l'expérience de la personne. Par exemple, les ajustements posturaux anticipés, qui ont lieu avant le mouvement volontaire des membres, permettent de maintenir la stabilité posturale en compensant les forces déstabilisatrices associées au mouvement d'un membre (Horak, 2006).

Finalement, la représentation du corps dans l'espace et le contrôle postural sont assurés par la détection de la position et du mouvement de la tête et du corps, la pondération des entrées sensorielles selon leur utilité relative comme références d'orientation, la représentation interne des limites de stabilité posturale, et l'intégration de l'information sensorielle selon les performances motrices du sujet (Horak et al, 1989).

Du référentiel géocentrique à la verticalité subjective

Une “lutte” face à la gravité

La commande motrice doit piloter efficacement la musculature striée squelettique pour assurer la cohésion des segments corporels les uns par rapport aux autres, malgré la force gravitationnelle (Janin, 2009). En effet, pour maintenir sa position orthostatique, l'Homme utilise ses muscles antigravifiques, que sont les muscles extenseurs du corps (annexe 4). Son tonus est alors régulé par les afférences posturales qui lui permettent d'orienter son corps de façon optimale et de minimiser les oscillations corporelles autour de cette orientation : les différentes parties du corps s'organisent entre elles pour déterminer la posture correspondant à un état d'équilibre. De fait, maintenir une posture ou l'adapter aux contraintes environnementales, implique de prendre en compte, non seulement les contraintes internes du corps (masses des différents segments), mais également les contraintes externes (gravité, stabilité des appuis au sol et de l'environnement).

Une cohésion avec cette force gravitationnelle

Perennou et al. (1998) définissent la gravité comme cadre de référence absolu, puisque la perception de la verticalité du corps est normalement très précise chez l'Homme. En ce sens, dans leur étude, Bonan et al. (2012) montrent que chacun peut déterminer la verticale gravitaire avec une erreur de moins de 2,5 degrés : toutes les valeurs données sont proches les unes des autres et de la verticale gravitaire. De plus, la majorité des sujets ne montrent aucune hésitation dans la tâche de détermination de la verticalité. En effet, Barra et Pérennou (2013) indiquent que ce “sens de la verticalité” serait une aptitude de l'être humain à percevoir explicitement la direction de la verticale, à élaborer une représentation mentale de verticalité, et à utiliser cette représentation pour s'orienter ou orienter une partie de son environnement spatial. Ainsi, le référentiel géocentrique, basé sur la verticale gravitaire, permet la construction d'une verticale subjective (Mittelstaedt 1983, Ohlmann 1988, cités par Le Goïc 2013), traduite pas la position que prend spontanément le corps par rapport aux forces de l'environnement. L'Homme se réfère alors à une représentation interne de la verticalité, construite et réactualisée sur la base de l'intégration de diverses informations multisensorielles, bien que certaines afférences soient plus particulièrement impliquées (Le Goïc 2013). Bonan, Damphousse, Leblong et Rauscent (2012) considèrent le sens de la verticalité comme étant l'un des référentiels spatiaux fondamentaux pour l'élaboration des représentations mentales de la position du corps et de ses différents segments dans l'espace, et pour le contrôle postural. En effet, parmi les principaux référentiels spatiaux,

nous comptons le référentiel gravitaire (sens de la verticalité), les référentiels allocentrés (environnement visuel) et les référentiels égocentrés (matérialisés par l'axe du corps). Parmi eux, le référentiel gravitaire est le seul à être un invariant, permettant l'alignement des différents systèmes de coordonnées utilisées par le SNC.

Des verticalités ?

Comme nous venons de le voir, le sens de la verticalité correspond à l'aptitude de l'Homme à s'orienter par rapport à la verticale, confrontant sa situation au milieu, et stabilisant ainsi sa référence corporelle selon le contexte. Chez les sujets sains, la perception de la verticale propre à chaque individu, ou "verticale subjective" (VS), est alignée sur la verticale objective déterminée par le vecteur gravitaire (Le Goïc, 2013). Elle s'appuie pour cela sur des informations vestibulaires, visuelles et somesthésiques (Bonan et al, 2012), et notamment celles fournies par les gravicepteurs² (Joassin et al. 2010; Mittelstaedt 1992, 1998, cité par Bringoux, Nougier, Marin, Barraud et Raphel, 2003) et les afférences tactiles plantaires et proprioceptives (Barbieri et al. 2007; Manckoundia, Pérennou, Pfitzenmeyer et Mourey 2007a). Cependant, divers protocoles montrent, en sollicitant différentes modalités sensorielles, qu'il existe trois représentations de la verticalité qui se distinguent : la verticale posturale, la verticale visuelle et la verticale haptique. La pondération sensorielle de chacune peut varier selon la tâche mais aussi selon l'individu : le type perceptif "Dépendant au champ" utilise principalement la vision, tandis que les "Indépendants au champ" se réfèrent plutôt au système vestibulaire et/ou somesthésiques dans la perception de la verticale (Witkin 1950, Luyat et al. 1997; cités par Le Goïc, 2013). Ainsi, le mode de perception de la verticale, et par la suite, la perception de l'orientation du corps dans l'espace, varie non seulement selon les situations, mais également selon les individus.

Verticale Visuelle Subjective (VVS) et Verticale Posturale Subjective (VPS)

Bisdorff, Wolsley, Anastasopoulos, Bronstein et Gresty (1996) expliquent qu'il peut exister une dissociation marquée entre la VPS et la VVS, soit que différents mécanismes et voies sous-tendent ces deux perceptions. Ils citent Mittelstaedt (1992) qui a observé que des sujets ordinaires peuvent ajuster leur corps à l'horizontale avec précision, mais ne parviennent pas à régler la VVS de manière véridique. De plus, chez des sujets normaux, tandis que des stimuli de mouvements visuels inclinent la VVS dans la direction du mouvement, la VPS reste intacte. Horak (2006) appuie que la perception de la verticalité peut avoir plusieurs représentations neurales, ou que la perception de la verticalité visuelle

² récepteurs situés dans les organes viscéraux au niveau du tronc

semble indépendante de la perception de la verticalité posturale, avec une étude montrant que seule la VPS était inclinée chez les personnes présentant une hémiparésie due à un AVC. Finalement, Bisdorff et al. (1996) indiquent que la VVS peut être influencée de manière importante par des mécanismes vestibulo-oculaires, oculaires et somatosensoriels, tandis que la VPS serait plus réfractaire aux stimulations et aux dysfonctionnements vestibulo-oculaires, et accorderait plus d'importance à la détection viscérale des forces de gravitation agissant sur le corps, et des indices proprioceptifs sensibles à l'inclinaison. En effet, Bronstein (1999), par des expériences menées avec des sujets présentant une perte vestibulaire unilatérale, indique une VVS inclinée vers le côté de la lésion, mais aucun biais d'inclinaison observé pour la VPS : ici un lien évident entre système vestibulaire et VVS est fait, tandis que la VPS semble préservée malgré le dysfonctionnement.

Quelle place pour la Verticale Haptique Subjective (VHS) ?

Les résultats de deux expériences menées par Regia-Corte, Luyat, Darcheville et Miossec (2004), indiquent des similarités des systèmes visuel et haptique dans la perception de la verticale. Leurs expériences concernent l'extraction d'informations permettant de juger si une surface, plus ou moins inclinée, permet une posture verticale stable. L'analyse des résultats de la première expérience, présentant des textures rugueuses et lisses, a révélé une corrélation positive significative entre les deux systèmes perceptifs. Cependant, pour la seconde expérience montrant des textures fortement contrastées, les résultats indiquent une certaine spécificité de ces systèmes. De fait, il est possible qu'une information amodale soit extraite par les systèmes visuel et haptique, mais que d'autres informations, respectivement spécifiques à ces deux systèmes, soient également utilisées, et par conséquent, susceptibles de générer des différences.

Finalement, ces différentes constatations suggèrent que les modalités visuelles, vestibulaires et somesthésiques véhiculent des messages différents et parfois contradictoires sur la verticalité.

Mesures de ces verticalités respectives

Il semble possible de déterminer la perception de la verticale subjective, en tant que résultat de l'intégration d'informations visuelles, vestibulaires et somesthésiques. Les données obtenues sont alors susceptibles d'être divergentes puisqu'il n'y a pas de concordance systématique entre les différentes mesures de la verticalité. Cependant, lorsque que toutes

les modalités sont altérées (perturbation multimodale), cela indique un trouble majeur (Bonan et al., 2012).

Verticale Visuelle Subjective (VVS)

La VVS peut être testée en évaluant la capacité de l'individu à aligner une baguette lumineuse (annexe 5) sur la verticale gravitationnelle, alors que toutes les informations visuelles environnantes ont été éliminées (obscurité). Par exemple, dans l'expérience de Anastasopoulos, Haslwanter, Bronstein, Fetter et Dichgans (1997), des sujets ordinaires pouvaient aligner la baguette près de la verticale gravitaire ($-1,2 \pm 2,0^\circ$), tandis que la VVS de patients atteints de lésions vestibulaires périphériques aiguës, déviait fortement vers le côté de la lésion ($12,2 \pm 11,9^\circ$). De fait, pour Anastasopoulos et al. (1997), la verticale visuelle est calculée sur la base d'informations oculaires, mais également vestibulaires. En outre, pour Bonan et al. (2012), la perception de la VVS dépendrait exclusivement de l'intégration des informations vestibulaires provenant des otolithes, même si des informations proprioceptives fiables pourraient la rendre moins incertaine.

Verticale Posturale Subjective (VPS)

La VPS est évaluée avec le "paradigme de la roue" (Manckoundia et al., 2007b) : on demande au sujet, assis dans un dispositif permettant une inclinaison saggitale (annexe 6), d'indiquer lorsqu'il perçoit son corps aligné à la verticale, sans l'aide de la vision. Pour cela, le patient est maintenu en particulier au niveau de la tête et du tronc, et la procédure consiste à incliner la personne entre -30° et 30° , puis la ramener lentement (2° par seconde) vers l'autre côté. Le sujet doit alors se manifester verbalement quand il estime être revenu à la verticale. Dans l'expérience de Anastasopoulos et al. (1997), utilisant ce dispositif sur des sujets sains, les jugements de la VPS étaient véridiques ($-0,3 \pm 2,7^\circ$). De plus, Joassin et al. (2010) ont repris ce paradigme de la roue pour comparer des sujets paraplégiques avec des sujets témoins, et ont obtenus des indices d'orientation similaires chez les témoins et les paraplégiques, même si l'incertitude de détermination de la VPS était plus grande chez les individus paraplégiques. Ces résultats suggèrent, qu'en position assise, les entrées afférentes du tronc et des épaules sont les plus importantes pour la perception de la VPS en position assise, puisque si elles sont fiables, aucun biais de perception n'est enregistré. Perennou, Amblard, Leblond et Pelissier (1998) ont, quant à eux, montré que les signaux vestibulaires et ceux du cou convergent et interagissent dans plusieurs structures du cerveau impliquées dans l'orientation du corps et sont donc étroitement liés aux signaux graviceptifs provenant du tronc et du pelvis, permettant ainsi une estimation de la VPS.

Bonan et al. (2012) indiquent également que l'entrée vestibulaire serait susceptible d'améliorer la perception de la VPS, mais que le circuit proprioceptif reste le principal intervenant dans sa détermination grâce à différents récepteurs somesthésiques : les récepteurs cutanés, tendinomusculaires et viscéraux. En outre, ils citent Pérennou et al. (2008) indiquant que le circuit cérébral en jeu, que je détaillerai plus loin, serait le thalamus et le cortex primaire somesthésique, car il existerait une relation étroite entre le degré d'inclinaison de la VPS et la présence d'une lésion au niveau de l'aire somesthésique primaire et du thalamus.

Verticale Haptique Subjective (VHS)

La VHS peut également s'évaluer avec une baguette, mais le sujet est dans le noir complet, c'est à dire qu'il n'utilise que son sens haptique pour orienter la baguette à la verticale (Manckoundia et al., 2007b). Cependant, je n'ai pas trouvé d'études appliquant ce protocole, autres que celle appliquée aux sujets en rétropulsion que je présenterai dans la partie dédiée à ce sujet. De fait, j'ai ici posé l'hypothèse qu'on cherchait à évaluer l'intervention du système somatosensoriel, via la sensibilité tactile, dans la perception de la verticalité. En effet, comme je le détaillerai plus loin, il a déjà été démontré que les indices tactiles de la main peuvent donner des informations sur l'orientation du corps (Gentaz, 2005; Mireault 2003), permettant d'en réduire les oscillations autour de la verticale gravitaire.

Finalement, le poids de chaque entrée sensorielle dans la détermination de la verticale varie en fonction du sujet, de l'environnement et de la tâche à accomplir. Cependant, une confiance excessive vis-à-vis du système visuel apparaît chez les personnes âgées, et d'après ce que nous venons de voir, la vision sous tend exclusivement la représentation de la VVS, très sensible aux divers changements de l'environnement. De fait, une stimulation ciblée permettant de limiter la dépendance visuelle dans le maintien de l'équilibre, m'a paru intéressante. Or, le système somatosensoriel semble influencer les trois représentations de la verticale que nous avons détaillées, et notamment la VPS. Ainsi, pour illustrer mes propos, j'ai choisi de développer la somesthésie comme moyen de suppléer la vision. Je reviendrai plus précisément sur les raisons de ce choix dans la partie pratique de mon écrit.

La somesthésie dans la perception de la verticalité

Étymologiquement, la somesthésie désigne les sensations (aisthêsis) du corps (sôma), c'est-à-dire l'ensemble des perceptions conscientes éveillées par la stimulation des tissus (cutanés, musculaires, tendineux ou articulaires) (Janin, 2009) ainsi que les sensations thermiques et nociceptives. Ces perceptions peuvent être classées en deux modalités particulièrement impliquées dans le contrôle postural : la proprioception issue de l'appareil musculo-ostéo-tendineux et la sensibilité tactile (Le Goïc, 2013). Elles sont provoquées par la stimulation de formations réceptrices variées, reliées aux axones de divers neurones afférents (Agache, 2001, cité par Janin, 2009).

Analyse corticale des données somesthésiques

Après stimulations des récepteurs somesthésiques, que je détaillerai plus loin, puis conduction nerveuse des potentiels ainsi créés, Janin (2009) explique que les informations somesthésiques sont intégrées à différents niveaux du SNC : segmentaire, sous-cortical et cortical. Plus précisément, Leroy-Malherbe (2018) indique que les informations qui concernent la proprioception consciente³ (toucher, pression, vibration, position des membres et du corps) sont véhiculées par les voies dorsales (lemniscate et spinothalamique, illustrées dans la figure 4) de la moelle jusqu'au cortex somesthésique primaire (aires 3a et 3b), où elles sont mémorisées et peuvent participer à la formation d'une image corporelle et au contrôle du tonus musculaire et des mouvements, avant d'être projetées vers les aires somesthésiques associatives ou secondaires (surtout au niveau du carrefour pariéto-temporo-occipital en connexion avec le système limbique). Les différentes aires somesthésiques primaires présentent des spécialisations différentes : l'aire 3a, par exemple, est liée à la détection de la texture, de la forme et de la taille d'un objet. Les aires somesthésiques secondaires jouent un rôle essentiel dans la perception et l'interprétation des relations spatiales entre les objets, la perception du schéma corporel, et l'apprentissage des tâches impliquant la coordination du corps dans l'espace (Bioulac et al., 2004). En effet, ces aires permettent de faire le lien entre les différentes perceptions (ce qui est vu et ce qui est touché par exemple) : elles mettent en relation différentes stimulations par une intégration complexe des informations somesthésiques et des autres sources sensorielles.

³ D'autres informations d'origine somesthésiques peuvent remonter vers les centres supérieurs par les voies de la sensibilité inconsciente, que nous ne développerons pas ici.

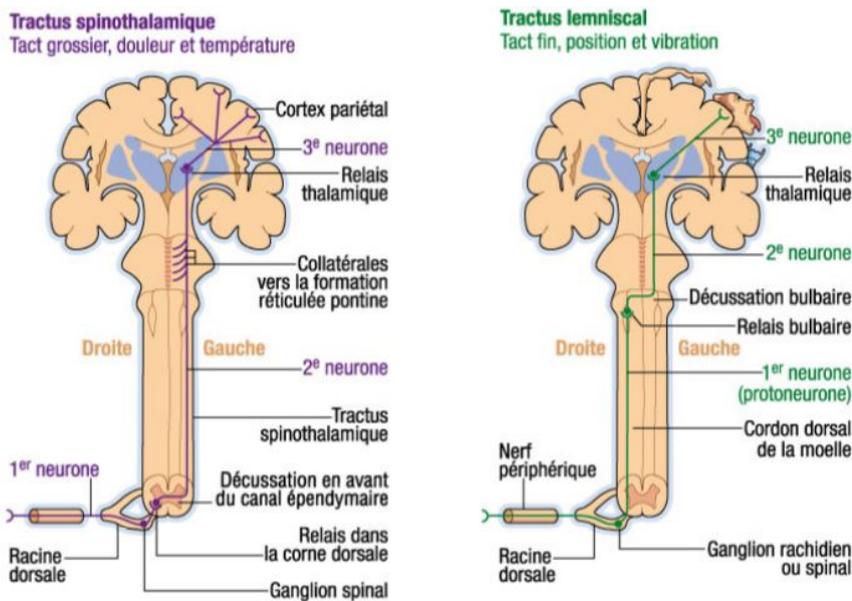


Figure 4 :
Illustrations des
voies
spinothalamique et
lemniscale, et leurs
projections
corticales

La proprioception

Le schéma corporel s'élabore sur le ressenti de nos organes, os, muscles, et des sensations qui leurs sont associées, créant ainsi une représentation complète de notre corps et la possibilité de mouvoir l'ensemble (Personne, 2013). Cette faculté de perception du corps par la position et les mouvements des membres dans l'espace, est appelée "proprioception". Gasq (2016) distingue la proprioception dite "périphérique", déterminant les positions et déplacements du rachis et des segments corporels entre eux, du système vestibulaire relevant les positions et déplacements du massif céphalique dans l'espace. Cependant, les informations proprioceptives engagent une représentation interne du corps qui reste globale, et dont l'adaptabilité se reflète dans l'intégration multisensorielle au niveau cortical, particulièrement sollicitée pour l'orientation posturale et la stabilisation. En effet, l'influence des informations proprioceptives intervient sur l'excitabilité du cortex moteur (détection et acheminement de l'information), sur l'activité du cortex pariétal (représentation du corps dans l'espace) et sur le cortex préfrontal (l'attention) (Leroy-Malherbe, 2018).

Stimulations localisées : constatations variées

Pour Le Goïc (2013), l'étude de la contribution spécifique de la proprioception dans le contrôle postural peut être menée en étudiant l'effet d'une pathologie (comme la neuropathie sensorielle) sur l'activité posturocinétique, ou bien en effectuant, par le biais d'une vibration musculaire mécanique, une stimulation imitant l'allongement musculaire. Selon la localisation du muscle stimulé, le résultat sur la posture est différent : l'application de

vibrations aux muscles des membres pelviens provoque des réactions correctives de l'ensemble du corps dans un sens opposé au mouvement perçu, alors qu'au-dessus du bassin, la réaction se fait dans le même sens (Kavounoudias, Gilhodes, Roll et Roll 1999; Ledin et al. 2003, cités par Le Goïc, 2013). Pour certains auteurs (Bloem et al. 2002, cités par Le Goïc, 2013; Kavounoudias et al. 1999), ceci s'explique par le rôle fonctionnel attribué aux messages proprioceptifs provenant de segments corporels différents : fonction de régulation pour ceux provenant de la partie inférieure du corps (s'opposant à la déstabilisation), et fonction d'orientation du corps pour ceux de la région cervicale. Dans tous les cas, ces techniques de vibrations utilisées pour étudier l'influence de la proprioception, confirment que les capteurs proprioceptifs interviennent dans la régulation de l'équilibre et de l'orientation posturale, car ils fournissent au SNC des informations sur la position des différents segments du corps, contribuant à actualiser le schéma corporel. Ainsi, la perception du corps, et donc de la posture verticale, dépendrait largement du système proprioceptif, et Kavounoudias et al. (1999) précisent que les informations proprioceptives provenant des muscles des chevilles et du cou seraient utilisées préférentiellement pour le contrôle de l'équilibre et l'orientation du corps. Cependant, Do et al. (1998, cité par Joassin et al. 2010) indiquent que les premières réponses motrices contribuant à la reprise de l'équilibre proviennent non pas du système proprioceptif des membres inférieurs ou du système vestibulaire, mais plus probablement de récepteurs situés au niveau abdominal ou lombaire. En effet, Mittelsteadt (1996, cité par Joassin et al. 2010) indique que les récepteurs de pesanteur situés dans le tronc, fournissent les signaux sensoriels de graviception responsables de la perception de la verticalité du corps, affirmant ainsi l'importance de l'entrée sensorielle du tronc dans la perception de la verticale.

Les afférences proprioceptives

Ce sont les récepteurs sensoriels myotendineux et articulaires du corps qui recueillent et transmettent les informations relatives à la posture et aux mouvements (Janin, 2009). En effet, les principaux récepteurs entrant en jeu dans la proprioception, car permettant de coder la position et les mouvements autour de chaque articulation, sont les récepteurs tendino-musculaires : les fuseaux neuromusculaires, les organes tendineux de Golgi et les récepteurs articulaires. Ces récepteurs ont tous, comme nous allons le voir, un rôle prépondérant dans la régulation du tonus, essentielle au maintien d'une posture verticale.

Les organes tendineux de Golgi (OTG)

Les OTG sont situés au niveau des zones de jonction myo-tendineuse. Ils sont les récepteurs de la tension exercée sur le tendon par le muscle (passive quand elle est liée à l'étirement, et active quand elle est liée à la contraction) et les capteurs des variations de force de la tension musculaire active. Les OTG sont extrêmement sensibles puisqu'une force de quelques milligrammes suffit à les activer et entraîner une dépolarisation permettant d'informer le SNC (Jami, 1992, cité par Janin, 2009). De plus, ces récepteurs jouent un rôle prépondérant dans l'entretien et la régulation du tonus musculaire, car ils sont à l'origine du réflexe myotatique inverse, inhibant les motoneurones alpha.

Les récepteurs articulaires ou péri-articulaires

Les récepteurs articulaires sont des mécanorécepteurs situés dans les structures articulaires (ligaments et capsules) qui fournissent au SNC des informations relatives à l'angle de l'articulation, à l'accélération du mouvement et à l'intensité de la déformation causée par la pression. Ils comprennent les récepteurs de Ruffini et les corpuscules de Pacini, sur lesquels je reviendrai plus loin, ainsi que les corpuscules de Golgi-Mazzoni.

Les fuseaux neuromusculaires (FNM)

Les FNM sont des récepteurs sensoriels répartis dans la partie charnue du muscle strié. Ce sont des structures constituées de 4 à 15 fibres musculaires intrafusales, dont la partie centrale est reliée aux terminaisons axonales périphériques de neurones afférents excitant les motoneurones alpha responsables des contractions musculaires. Le principal rôle des FNM est proprioceptif : ils renseignent le SNC, par les voies de la sensibilité consciente, sur la vitesse et la longueur d'allongement du muscle (Richard et Orsal, 2000, cités par Janin, 2009). En effet, en déterminant les caractéristiques d'allongement du muscle, les FNM permettent un codage permanent de la position et des mouvements autour de chaque articulation (Gasq, 2016), et leur mise en jeu lors de l'allongement musculaire est à l'origine d'un réflexe monosynaptique, essentiel au maintien du tonus postural. Leroy-Malherbe (2018) considèrent finalement les FNM comme "points centralisateurs des nombreuses afférences véhiculées par les différents mécanorécepteurs, permettant donc un feedback important", lui conférant ainsi un rôle d'intégrateur. En outre, on trouve au niveau des pieds, des récepteurs cutanés à adaptation lente (plutôt répartis sur les bords latéraux de la cheville), qui peuvent prendre le relais des FNM lors de déséquilibres involontaires : dans cette situation, les FNM ont un rôle de régulateur puisqu'ils vont permettre à une information d'en remplacer, en renforcer, ou en moduler, une autre (Thomas, 1997). Finalement, par ces

multiples fonctionnalités, le FNM permet de maintenir un “équilibre parfait”, où le CP et le CG sont parfaitement alignés.

Sens podotactile : les appuis

Les récepteurs tactiles sont spécifiques à des stimuli, tels que les pressions ou les vibrations exercées sur la peau, selon leur sensibilité qui repose sur des structures sensorielles réceptrices localisées dans les différentes couches de la peau. Le pied abrite ainsi 80% des récepteurs de tout le membre inférieur, ce qui lui confère une place importante au niveau du cortex somesthésique primaire, et un sens proprioceptif quatre fois plus élevée que celui de la jambe (Gurfinkel et al. 1994, 2004, cités par Le Goïc, 2013), en donnant des indications sur la façon dont le poids corporel s'exerce sur les deux soles plantaires. Alors, dans sa posture érigée statique et dynamique, l'Homme dépend pour plusieurs raisons, de ses pieds et de leur positionnement.

Quel(s) rôle(s) pour les pieds ?

Le système podal intervient dans la régulation des activités posturo-cinétiques comme effecteur, mais également comme point de départ d'afférences renseignant sur les contacts et les pressions plantaires. Le Goïc (2013) cite plusieurs auteurs ayant mis en évidence l'importance des informations podotactiles dans le contrôle de la posture, grâce à l'anesthésie (Diener et al. 1984; Do et al. 1990; Meyer et al. 2004; Thoumie et Do, 1996) et l'hypothermie (McKeon et Hertel, 2007). En effet, à l'application de ces protocoles, un accroissement significatif de l'instabilité posturale a été observé, similaire à celui obtenu lorsque l'on modifie la surface d'appui en introduisant une ambiguïté (de la mousse par exemple). Dans ce sens, Do et al. (1990) indiquent que les informations issues des mécanorécepteurs cutanés de la sole plantaire, renseignent le SNC sur les limites de stabilité de la base de sustentation et de l'état du contact du pied au sol. En effet, le maintien de la posture dépend de la réaction au sol, soit la force de pression, déterminée par le CP. Ainsi, en modulant les informations issues de la sole plantaire, il serait possible d'induire des modifications musculaires et posturales du reste du corps.

Finalement, tout déplacement du corps met en jeu les structures propres à la somesthésie proprioceptive (FNM, OTG, récepteurs articulaires) et podotactiles (mécanorécepteurs de la sole plantaire), envoyant des informations au SNC qui élabore les stratégies musculaires nécessaires au maintien de l'équilibre. De fait, dans le contrôle postural, le système podal

représente à la fois la base d'appui, l'interface sensorielle entre le sol et le SNC, et la sortie du système de stabilisation (Villeneuve, 2010).

Le pied comme point de départ

La peau du pied se compose principalement de la sensibilité tactile superficielle et discriminative, et de la sensibilité tactile profonde protopathique. Chacune de ces modalités disposent de récepteurs périphériques qui transmettent leurs messages au cortex somesthésique de l'hémisphère cérébral opposé, après que les informations aient été filtrés et modulés à différents niveaux.

Mécanorécepteurs cutanés

Les récepteurs cutanés sont classés en trois catégories selon leur capacité à coder quantitativement et temporellement le stimulus : ils peuvent être à adaptation rapide (réaction à l'application du stimulus), à adaptation lente (réaction pendant toute la durée de l'application du stimulus) et à adaptation très lente (récepteurs du chaud) (Janin, 2009). Leroy-Malherbe (2018) indique qu'au niveau du pied, parmi ces récepteurs, on trouve : les disques de Merkel (réagissant à la pression locale et continue d'un objet), les terminaisons de Ruffini (renseignant l'intensité des déformations prolongées), les corpuscules de Meissner (codant les déformations dynamiques et permettant une localisation et une reconnaissance tactile précises) et les corpuscules de Pacini (renseignant sur les déformations vibratoires et les accélérations).

L'impact de stimulations ciblées

Janin (2009) se base sur les travaux de l'équipe du professeur Roll (annexe 7), dans lesquels on observe qu'une stimulation de la zone cutanée plantaire, visant à augmenter la pression (ce qui survient réellement lorsque le corps s'incline), induit un déplacement du CP dans la direction opposée, afin de compenser le déséquilibre (Kavounoudias et al., 1998, 1999, Roll et al., 2002; cités par Janin, 2009). Ces résultats suggèrent que, par exemple, la stimulation du pied droit à l'origine d'un message sensoriel informant le SNC de l'inclinaison du corps du côté droit, a pour conséquence de décaler le corps vers la gauche afin de conserver l'équilibre postural. Effectivement, dans tous les cas de stimulations, les réponses posturales observées étaient de sens opposé au site stimulé. Ainsi, l'augmentation de pressions localisées sur les mécanorécepteurs, provoque une régulation posturale par inclinaison du corps, ou déplacement du CP, dans le sens opposé à la stimulation, afin de conserver l'équilibre.

Finalement, le système sensori-moteur, en formant une “boucle” (figure 5), que je détaille dans la partie qui suit, permet de conserver une stabilité posturale au plus proche de la verticalité gravitaire.

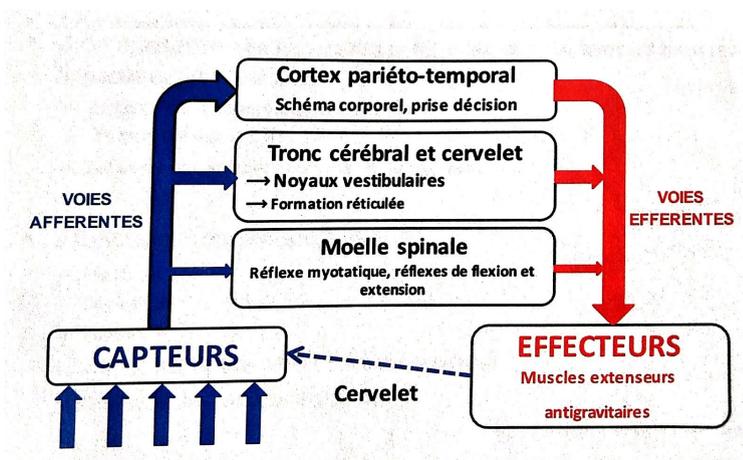


Figure 5 : boucle d'intégration sensori-motrice (Gasq, 2016)

Fusion et pondération des informations sensorielles

Diverses sources d'informations sensorielles

La stabilisation de la posture statique et dynamique fait intervenir différents systèmes récepteurs conduisant leurs informations respectives au SNC, qui, en intégrant ces données afférentes de manière hiérarchisée, permet l'entretien et la régulation de l'activité musculaire (Janin, 2009). Cependant, pour que cette régulation soit la plus efficace possible, il faut qu'à chaque instant, le SNC soit parfaitement renseigné sur les modifications environnementales du monde extérieur et sur celles provenant de l'organisme. Cette régulation est donc multimodale, puisqu'elle résulte de l'intégration permanente des informations transmises par quatre systèmes récepteurs principaux (annexe 8) :

- l'appareil vestibulaire (ou labyrinthique) qui informe sur la gravité et les changements de vitesse par codage de la position de la tête dans l'espace,
- la vision qui permet de planifier les déplacements et déterminer l'orientation spatiale par création du flux visuel (la vision centrale analyse les objets fixes et la vision périphérique détecte les mouvements),
- le système proprioceptif de l'appareil locomoteur (muscles, tendons et articulations) qui permet de connaître la position des segments corporels les uns par rapport aux autres et dans l'espace, et
- la sensibilité cutanée, et notamment le sens podotactile permettant d'apprécier les forces de réaction du sol.

Ainsi, ces récepteurs, en participant au codage de l'information sensorielle, interviennent tous dans les activités posturo-cinétiques.

Structures corticales et sous corticales mises en jeu

D'une manière générale, le phénomène de multimodalité sensorielle autorise des substitutions sensorielles permettant au système postural de s'adapter à de nombreux contextes. Les stratégies posturales sont déterminées par le SNC à un haut niveau (annexe 9), implémenté à un niveau plus bas (cervelet, ganglions de la base, formation réticulée), par la mise en jeu de synergies motrices agissant sur un ensemble (squelette et tensions musculaires) structuré pour maintenir l'équilibre.

Au niveau cortical

Le cortex pariétal reçoit les informations permettant de déterminer la position du corps dans l'espace, le cortex prémoteur intervient en dictant au cortex moteur une position optimale pour un mouvement donné, et l'aire motrice supplémentaire influe sur la planification et l'initiation des mouvements selon les expériences passées (Pérennou, 2012).

Au niveau sous cortical

Le cervelet et les ganglions de la base régulent les ajustements posturaux en agissant par anticipation (feedforward) et par rétroaction (feedback). Pour cela, ils reçoivent du tronc cérébral, une copie de l'information concernant la position des membres et la tension musculaire, et en provenance du cortex, une copie de l'information efférente, ce qui leur permet d'effectuer un réajustement si nécessaire. En effet, les ganglions de la base ont un rôle dans la régulation spatiale du mouvement et de la posture, ainsi que dans la mise en jeu des ajustements posturaux anticipateurs, notamment en assurant une bonne répartition du tonus musculaire. Le cervelet a quant à lui un rôle de coactivateur, puisqu'il met en jeu les groupes musculaires agonistes et antagonistes. De plus, il reçoit de nombreuses afférences et envoie de nombreuses efférences, ce qui lui confère un rôle de comparateur entre les informations sensorielles et les informations centrales. Ainsi, il peut modifier le message moteur avant le début du mouvement : il réorganise les informations et module les réponses des réflexes posturaux et du tonus neuromusculaire. Enfin, entre en jeu la formation réticulée, structure nerveuse du tronc cérébral, indispensable à la réalisation des ajustements posturaux anticipateurs. Elle est divisée en deux parties : la formation réticulée excitatrice (d'origine pontique) et la formation réticulée inhibitrice (d'origine bulbaire) qui exercent des actions antagonistes sur l'ensemble des noyaux moteurs (Barraud, 2003).

Des informations hiérarchisées pour une posture stabilisée

Lorsque les informations posturales des différents systèmes de perception sont redondantes et concordantes, elles sont intégrées automatiquement au niveau sous cortical. Cependant, il peut y avoir un conflit sensoriel si elles sont discordantes en arrivant au niveau des centres intégrateurs. Dans ce scénario, le système primant alors sur les autres n'est pas le même selon les auteurs.

Primauté visuelle

Il est plutôt répandu que, dans la hiérarchie des informations sensorielles disponibles pour la régulation posturale, l'information visuelle est dominante. En effet, pour Gasq (2016), dans le maintien postural, c'est au capteur visuel que nous faisons le plus confiance. De fait, quand les informations qu'il envoie sont erronées, nous sommes déséquilibrés, et dans un second temps, les systèmes proprioceptifs et vestibulaires permettent une correction qui évite la chute : le contrôle postural est alors rétabli en occultant les afférences visuelles non fiables et en se recentrant sur les autres afférences.

Primauté somatosensorielle

Pour Leroy-Malherbe (2018), la proprioception joue un rôle inhibiteur sur le système vestibulaire. Mais plus généralement, les afférences somatosensorielles sont estimées comme étant les plus importantes dans la régulation posturale. En effet, les réajustements posturaux sont majoritairement dépendants des informations somesthésiques dont les fibres afférentes véhiculent rapidement l'information, et quand ces dernières sont endommagées, les réponses posturales sont différées et la réponse au sol est retardée : le CG bouge plus vite et plus loin et revient en position initiale plus lentement (Le Goïc, 2013).

Le système podal

Pour Janin (2009), le SNC accorde plus de poids à l'information sensorielle podale en ce qui concerne les déplacements du CP, pour lesquels deux systèmes de régulation : la boucle courte (réflexe local) et la boucle longue (contrôle central pour ajuster le tonus et les oscillations du CP), que je détaillerai plus tard, sont activés conjointement.

Le système digital

Les résultats de Mireault (2003) montrent un effet stabilisateur du toucher (dans son expérience, le sujet, en station debout, pose son index sur une plaque pour se stabiliser) sur la posture, par l'atténuation significative (30-40%) des oscillations posturales (Clapp et Wing

1999, Jeka, 1997, Jeka et Lackner, 1994, cités par Mireault, 2003), qui s'avère plus importante que celle apportée par la vision (10% d'oscillations posturales en moins) dans la direction antéro-postérieure pour les essais sur surface instable. Le fait d'ajouter la perception tactile digitale semble en fait augmenter l'attention portée à la sensibilité somesthésique d'une manière plus générale. En effet, pour servir de référence afin de percevoir l'alignement du corps dans l'environnement, les signaux sensoriels provenant de la pulpe du doigt sont couplés à l'information proprioceptive du membre supérieur (Lackner 2001, cité par Mireault 2003), ce qui facilite le contrôle du tronc dans l'espace (Jeka et lackner 1994, 1995, cités par Mireault 2003), et permet une meilleure stabilisation posturale.

Indices tactiles passifs plus généraux

Rogers, Wardman, Lord, et Fitzpatrick (2001) ont mené une étude démontrant que les indices tactiles passifs provenant d'autres régions du corps peuvent être utilisés pour réduire l'oscillation posturale. D'après eux, l'amélioration de la stabilité produite par une entrée tactile supplémentaire serait d'une ampleur similaire à celle produite par la vision ou l'entrée sensorielle des pieds. En effet, les effets des signaux tactiles passifs sur la stabilité en position debout, ont été évalués chez des sujets avec différents profils (de jeunes adultes en bonne santé aux sujets âgés de 80 ans). Le balancement du corps a été mesuré sur sol dur et sur tapis en mousse, avec ou sans stimulus appliqué au niveau de la jambe ou de l'épaule. Les résultats montrent que ces stimuli, plus efficaces appliqués à l'épaule qu'à la jambe, ont réduit significativement les oscillations corporelles (moyenne de 24,8%), notamment lors de situations plus propices aux déséquilibres.

Finalement, de nombreuses afférences sensorielles sont importantes selon les situations, et d'après ces auteurs, diverses entrées somesthésiques peuvent influencer la stabilisation posturale. Ainsi, différents mécanismes interviennent pour permettre à l'individu d'organiser ces informations, et de ce fait, sa réponse posturale.

Repondération sensorielle

Jeka, Oie et Kiemel (2000) indiquent trois catégories de comportements résultant de la combinaison de différents signaux sensoriels dans le système nerveux: l'amélioration, la dégradation et la moyenne. On parle d'amélioration lorsque les signaux provenant de sources sensorielles différentes partagent les mêmes caractéristiques, et que la combinaison de leurs signaux potentialise la réponse comportementale. La dégradation a lieu quand la combinaison de stimuli conduit à une diminution du gain, c'est à dire que deux

informations sont contradictoires, et dans ce cas, le système nerveux résout le problème en calculant une moyenne.

De manière expérimentale

Jeka et al. (2000) citent une étude de Stein et al. (1989), dans laquelle des chats ont été entraînés à se diriger vers une récompense spécifiée à différents points par stimuli visuel et auditif. Les stimuli coïncidant dans l'espace et dans le temps ont considérablement augmenté le pourcentage de réponses correctes. Cependant, lorsque ces stimuli coïncidaient dans le temps mais indiquaient des localisations spatiales différentes, les chats marchaient à un point situé directement entre les deux stimuli : ils se sont déplacés à un endroit résultant de la moyenne des emplacements spatiaux des deux stimuli. Le système nerveux a créé cet emplacement, qui ne s'applique pas directement à l'un des emplacements spécifiés par les stimuli visuels ou auditifs.

Appliquée au contrôle postural

Dans le même esprit, deux études ont mis en évidence la possibilité de faire la moyenne de deux signaux sensoriels dans le contrôle postural humain (Jeka et al. 2000; Oie, Kiemel et Jeka, 2002). Pour cela, Jeka et al. (2000) indiquent que la fusion des informations provenant des différents systèmes sensoriels nécessite une transformation, afin qu'elles puissent toutes être prise en compte. Par exemple, la vision fonctionne avec un cadre de référence lié à l'environnement et le système vestibulaire avec des coordonnées centrées sur la tête : la combinaison de leurs informations impliquent donc le passage dans un référentiel commun. Après cette transformation, la moyenne effectuée par le système nerveux sera alors le résultat comportemental de l'intégration d'informations multisensorielles discordantes. En effet, des entrées visuelles non fiables perturbent la posture (Nashner et Berthoz, 1978, Vidal et al., 1982, cités par Jeka et al. 2000), ce qui suggère que le système nerveux ne peut ignorer les informations sensorielles disponibles, même si elles sont inexactes, et qu'elles vont donc être intégrées. La repondération permet ainsi au système nerveux de se concentrer surtout sur les éléments pertinents en rejetant les informations sensorielles qui sont présentes mais peu fiables. Oie et al. (2002) évoquent une autre situation : lorsque le nombre d'entrées sensorielles disponibles change, par exemple en supprimant les entrées visuelles en fermant les yeux, le poids sensoriel des informations visuelles diminue considérablement, et la repondération doit également alors avoir lieu. Ces différentes observations impliquent que le système nerveux soit capable de repondérer en permanence les entrées sensorielles à mesure que nous nous déplaçons dans

l'environnement et subissons des changements, même légers, au niveau des entrées sensorielles. En effet, quand ce n'est pas le cas, on observe des difficultés dans l'équilibre et le contrôle postural liées à cette mauvaise réorganisation des informations visuelles, proprioceptives et vestibulaires (Guitard, Basse, et Albaret 2005).

Rôle des différentes informations sensorielles et modèle interne

Le système vestibulaire code les accélérations linéaires (otolithes) et angulaires (canaux semi-circulaires) subies par la tête dans les trois dimensions de l'espace. Les otolithes, détectant les accélérations linéaires, se comportent comme un « fil à plomb » codant l'accélération (direction) gravitaire. Cette propriété fait du système vestibulaire le candidat principal d'un "sens de verticalité". Mais la prééminence de la contribution vestibulaire dans la détermination de la verticale, a progressivement laissé sa place à la notion de modèles internes (Barra et Pérennou 2013).

Un modèle interne de la verticalité

En condition quasi-statique, le modèle interne interprète les oscillations posturales comme des écarts par rapport à une position de référence. Il permet ainsi la perception et le contrôle du mouvement, en se fondant sur les informations apportées par les différentes modalités sensorielles, se réactualisant en permanence selon ces informations dont il organise les interactions (Le Goïc, 2013). En effet, un modèle interne de la verticalité suppose des règles et des propriétés d'intégration de différentes afférences sensorielles, et la perception de la verticale a été principalement modélisée comme une organisation "bottom-up" intégrant les informations visuelles, somesthésiques et vestibulaires. Cependant, des études récentes ont rapporté que la construction d'un modèle interne de verticalité ne serait pas un processus d'intégration multi-sensoriel automatique, mais correspondrait à un mécanisme plus complexe incluant des influences "top-down" telles que la conscience de l'orientation corporelle et la représentation spatiale. Dans leur revue de littérature, Barra et Pérennou (2013) expliquent que la perception de la verticalité est influencée par la position du corps, qui, en intégrant les informations visuelles, vestibulaires et somesthésiques, implique des mécanismes "bottom-up" avec une pondération centrale des informations sensorielles, également modulée par des processus cognitifs de haut niveau, soit des processus "top-down" (annexe 10).

Système "Bottom-Up"

Comme nous l'avons explicité plus tôt, des dissociations entre les différentes modalités de la verticale (visuelle, haptique et posturale) sont possibles. Leur existence atteste ainsi de l'indépendance et de la complémentarité des modalités visuelles, vestibulaires et somesthésiques dans l'élaboration du sens de verticalité, dont l'information est traitée dans des zones cérébrales communes ou spécifiques (figure 6). En effet, Le Goïc (2013) explique que les afférences somesthésiques se projettent sur le thalamus (noyaux ventro-postéro latéral et médian) et terminent sur le cortex somesthésique primaire (Aires 3a, 3b, 1 et 2 de Brodmann); les afférences visuelles sont transportées jusqu'au thalamus (corps genouillés latéraux) puis sur le cortex visuel primaire; et les afférences vestibulaires se projettent directement sur les noyaux vestibulaires et le vestibulo-cervelet puis sont relayées vers le thalamus et le cortex vestibulaire (région postérieure au cortex somesthésique primaire et région comprise entre le cortex somesthésique et le cortex moteur).

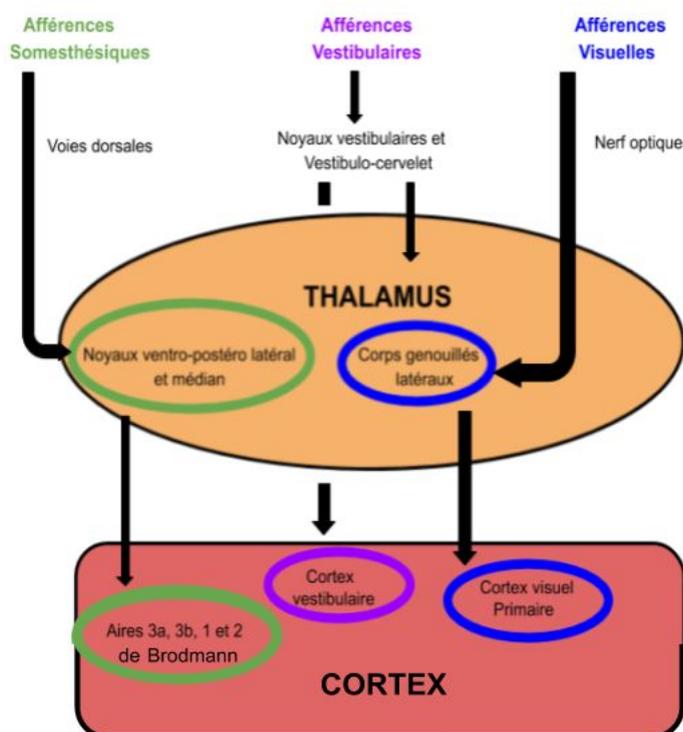


Figure 6 : Les afférences du processus "bottom-up" du modèle interne de verticalité, et leurs projections sous corticales et corticales

Barra, Marquer, Joassin, Reymond, Metge, Chauvineau et Pérennou (2010) citent Wertheimer, qui, dès 1912, a montré que le sens de verticalité était multi-sensoriel et nécessitait la représentation de la direction gravitaire à un niveau cognitif. Son étude, qui consistait à incliner une pièce entière en tangage, provoquant une déviation de la perception de la verticale subjective en direction de l'inclinaison de la pièce, montre le rôle important

des informations visuelles et somatosensorielles dans la perception de la verticalité. Près d'un siècle plus tard, Barra et al. (2010) montrent comment les graviceptions vestibulaires et somesthésiques sont synthétisées dans le cerveau principalement grâce au thalamus postérolatéral, ce qui fournit l'une des premières preuves directes de l'existence d'un modèle interne de verticalité. Ils révèlent également les bases neurales de l'effet Aubert⁴, et montre que les informations somesthésiques jouent un rôle important dans la représentation de la verticalité. En effet, lorsque les signaux somesthésiques et vestibulaires sont congruents, les informations somatosensorielles peuvent améliorer la stabilité de la représentation verticale et peuvent représenter un signal graviceptif de secours en cas de perte vestibulaire (Barra et al., 2010). Cependant, lorsque ces signaux ne sont pas congruents, le cerveau élabore tout de même une représentation précise et stable de la verticalité, en effectuant un compromis entre les directions données par les différents systèmes de coordonnées, comme nous l'avons vu précédemment avec le phénomène de repondération sensorielle (Jeka et al. 2000; Oie, Kiemel et Jeka, 2002).

Systeme "Top Down"

En 2012, Barra, Pérennou, Thilo, Gresty et Bronstein, soutiennent que la position du corps influence la perception de la verticalité. En effet, leur étude révèle que la conscience de l'orientation du corps module la représentation de la verticalité : celle-ci s'établit non seulement sur l'intégration sensorielle qui a lieu dans le SNC, mais elle est également élaborée par les processus mentaux, dans lesquels le cortex pariétal et l'insula jouent un rôle important. Dans cette étude, neuf sujets ont été invités à estimer la direction de la verticale visuelle (VV) dans trois conditions expérimentales : une condition contrôle où ils étaient assis droits et conscients de leur position; une condition où ils étaient inclinés mais conscients de cette inclinaison; et enfin, une condition où ils étaient inclinés mais se sentaient droits. Lorsqu'ils étaient inclinés et conscients de leur inclinaison, les sujets présentaient une orientation de la VV similaire mais plus variable que pour la condition contrôle, et quand ils étaient inclinés mais se sentaient debout, la VV était biaisée dans la direction de l'inclinaison du corps sans augmentation de la variabilité. Les auteurs expliquent cette influence de la conscience de l'orientation corporelle, par le fait que les structures cérébrales impliquées dans les perceptions de la verticale et de l'orientation corporelle, sont en partie communes. En effet, la jonction temporo-pariétale et les zones corticales autour du

⁴ Selon cet effet, décrit par Aubert en 1861, si on regarde une ligne verticale dans l'obscurité et qu'on incline fortement la tête, la verticale semble s'incliner du côté opposé.

sillon intrapariétale jouent non seulement un rôle crucial dans la conscience d'être une entité localisée à un endroit précis dans l'espace, mais sont également impliquées dans l'intégration multi-sensorielle et la perception de la verticalité.

Finalement, le modèle interne de la représentation de la verticalité proposé par Barra et al. (2010, 2012, 2013) représente les interactions et les influences qui existent entre les systèmes sensoriel, cognitif et moteur, contribuant à la construction du sens de verticalité. Ils identifient au moins deux processus "bottom-up" : l'un consistant en l'utilisation et la pondération des informations provenant des systèmes sensoriels (visuel, vestibulaire et somesthésique), et l'autre impliquant les informations issues des signaux efférents mis en jeu dans le contrôle dynamique de l'équilibre. Ils indiquent également qu'au moins deux processus « top-down » semblent moduler ce modèle interne : les représentations spatiales (comme la création d'image mentale, la représentation et la transformation mentale d'objets de l'espace) et la conscience de l'orientation corporelle dans l'espace.

L'adaptation posturale

Les différents mécanismes évoqués entrant en jeu dans la verticalité posturale reposent donc sur un pré-requis essentiel : la stabilité posturale. Elle est assurée par le tonus neuromusculaire, qui se définit comme l'état de tension permanent du corps selon le degré de contraction des muscles. Cependant, la répartition de ce tonus n'est pas égale, puisque plus importante au niveau des muscles extenseurs. Ainsi le tonus n'aboutit pas au mouvement mais assure la résistance à la pesanteur, il fixe les articulations dans une position déterminée et maintient la posture lors de l'exécution du mouvement : tout en s'opposant à la force gravitaire, il assure la cohésion mécanique des différents segments corporels (Paillard, 1976). De fait, pour que l'adaptation posturale soit effective, il paraît essentiel que les variations toniques soient effectuées correctement par le corps. En effet, lorsque les afférences détectent une contrainte de l'environnement, c'est le traitement des informations sensorielles redondantes qui va permettre la production et le maintien tonique d'une force musculaire adaptée (Janin, 2009), organisant les différentes parties du corps pour conserver un équilibre. Ici, nous allons expliquer comment le contrôle du tonus est élaboré par le SNC, soit via des boucles courtes et longues, qui assurent un réajustement constant de l'état de contraction des muscles extenseurs et fléchisseurs. En effet, l'intégration d'informations au niveau segmentaire à l'étage (réflexe à boucle courte, comme le réflexe myotatique) ou sur plusieurs étages (réflexe de retrait induit par un message

nociceptif), et au niveau supra-segmentaire (réflexe à boucle longue, comme le réflexe vestibulo spinal), permet la rééquilibration posturale (Le Goïc, 2013).

Boucle courte au niveau segmentaire : le réflexe myotatique

La boucle de contrôle la plus courte est monosynaptique : c'est la boucle myotatique, soit la contraction réflexe d'un muscle qui vient s'opposer à son allongement passif dû à la pesanteur. En effet, cet allongement passif active les FNM qui, par le biais de fibres afférentes (Ia et II), envoie des potentiels d'action à une fréquence proportionnelle à l'allongement et à la vitesse de l'élongation. Les axones de ces fibres gagnent le SNC par les racines rachidiennes dorsales, où ils créent des synapses excitatrices avec les motoneurones alpha au niveau de la corne antérieure de la moelle. Les axones de ces motoneurones quittent le SNC pour créer des synapses neuromusculaires provoquant la contraction du muscle homonyme allongé. Dans le même temps, une collatérale des afférences musculaires, se termine sur les interneurones médullaires inhibiteurs des motoneurones alpha des muscles antagonistes, pour inhiber leur contraction. Ce réflexe s'oppose donc à l'étirement involontaire du muscle, ce qui permet le maintien du tonus musculaire (Gurfinkel et al., 2006, cités par Janin 2009). Cette boucle de régulation à latence courte est donc tout à fait adaptée à l'activité posturo-cinétique : le réflexe myotatique a un rôle déterminant dans l'apparition et le maintien du tonus des muscles posturaux, puisqu'il exerce un rétrocontrôle permanent de la longueur du muscle en position érigée au sein des muscles extenseurs antigravitaires (Gasq, 2016).

Boucle longue : réflexe supra segmentaire

Pour la boucle longue, l'intégration est assurée au niveau supra segmentaire, mettant deux réflexes en jeu : le réflexe vestibulo-spinal et le réflexe réticulo-spinal. Les faisceaux vestibulo-spinaux partent d'un noyau vestibulaire vers les motoneurones α et γ des muscles extenseurs. Ces faisceaux entretiennent le tonus des muscles extenseurs de l'axe du corps: ils l'adaptent en fonction des mouvements de l'extrémité céphalique, puisqu'ils reçoivent des afférences en provenance de l'oreille interne et des propriocepteurs de la musculature para-vertébrale, notamment cervicale. Toutes les réactions à point de départ vestibulaire ont alors pour conséquence une modification du tonus postural (Janin, 2009), et la stabilisation ou l'orientation de la tête dans l'espace (Le Goïc, 2013). En effet, les récepteurs du système vestibulaire (utricules et saccules), qui permettent de préciser la position du corps par rapport au vecteur gravitaire, viennent s'ajouter aux différents récepteurs proprioceptifs, permettant un codage permanent de la position du corps par rapport à la verticale gravitaire

(Gasq, 2016). Ainsi, les propriocepteurs articulaires du rachis cervical (C1 à C4) sont particulièrement importants dans la mise en jeu du tonus musculaire du tronc et des membres lors des changements d'inclinaison du corps (Le Goïc, 2013). Concernant le réflexe réticulo-spinal, le faisceau réticulo-spinal médian de la formation réticulée (d'origine pontique) a une action facilitatrice sur les réflexes gravitaires au niveau de la moelle épinière en agissant sur les muscles extenseurs, et le faisceau réticulo-spinal latéral (d'origine bulbaire), permet au contraire de libérer les muscles antigravitaires des activités réflexes dans lesquelles ils se trouvent impliqués (Le Goïc, 2013), en inhibant les motoneurones des extenseurs et excitant ceux de leurs antagonistes.

Les voies efférentes : le système pyramidal et extrapyramidal

Les voies efférentes, ou motrices, véhiculent les ordres du SNC vers la périphérie, via les systèmes pyramidal et extrapyramidal. Le premier est une voie motrice directe innervant notamment la musculature responsable de l'exécution de gestes fins et précis, mais qui agit aussi un peu sur l'adaptation tonique des muscles au niveau de la racine des membres. Le second est, quant à lui, composé de plusieurs faisceaux descendants qui font un ou plusieurs relais synaptiques dans des structures sous corticales, avant de se terminer sur les corps cellulaires de motoneurones α et γ , permettant ainsi l'adaptation tonique des muscles de l'axe du corps. Les axones des premiers neurones constituant ces faisceaux extrapyramidaux proviennent du cortex frontal et préfrontal, et se terminent dans différentes structures sous corticales (mésencéphale, colliculus supérieur, noyaux vestibulaires et formation réticulée). Certaines de ces voies extrapyramidales sont en relation avec le cervelet, qui compare les données proprioceptives issues de l'acte moteur qui en train de se produire et celles du cortex sur l'acte moteur programmé, afin d'établir une meilleure coordination (Janin, 2009).

Finalement, dans le contrôle postural, l'activité des motoneurones est influencée par trois types d'influx nerveux : les interneurones de la moelle épinière (réflexes spinaux), les commandes venant des aires corticales motrices qui abritent les corps cellulaires des neurones pyramidaux, et les influx venant du tronc cérébral, via le système extrapyramidal (Le Goïc, 2013). Cependant, ces différents niveaux d'intégration anatomique ne sont pas suffisants pour maintenir une position stable et verticale par rapport au sol. En effet, selon les situations, l'individu peut être amené à faire intervenir d'autres mécanismes afin de conserver son équilibre, parmi lesquels on retrouve la rigidité posturale.

Face au déséquilibre : la rigidité posturale

Les informations d'orientation provenant des différents sens ne sont pas toujours disponibles (yeux fermés) ou précises (surface de support instable). De fait, le système de contrôle postural doit s'ajuster de manière à rester en place dans une grande variété de conditions environnementales. Peterka (2002) a étudié ce système en se basant sur le balancement antérieur-postérieur (AP) du corps, en faisant bouger l'environnement visuel et/ou la surface de support chez des sujets sains et chez des sujets présentant une perte vestibulaire bilatérale sévère (PV). Il a observé que, chez les sujets sains, le comportement changeait selon l'amplitude du stimulus : ils semblaient faire davantage confiance aux signaux vestibulaires à mesure que l'amplitude augmentait. Cependant, les résultats des sujets atteints de PV qui ne pouvaient pas effectuer cette repondération, indiquent une augmentation de leur rigidité posturale conjointement à l'amplitude croissante de la surface de support. En outre, la rigidité, dans les conditions où elle était présente, était toujours environ 1/3 plus importante que nécessaire pour résister à la déstabilisation, et ceci même chez les sujets sains. Cependant, le paramètre de rigidité était plus important chez les sujets atteints de PV, ce qui suggère qu'ils pourraient utiliser une raideur accrue pour aider à compenser leur perte. Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que le dysfonctionnement d'un canal sensoriel impliqué dans le maintien de l'équilibre, amène l'individu à augmenter sa rigidité posturale afin de faire face au déséquilibre. D'une manière plus générale, les recherches montrent qu'en augmentant la hauteur de la surface sur laquelle se tient un individu, le contrôle postural de cet individu est modifié. En effet, en position debout, on observe des changements dans les réponses physiologiques, comme une stratégie de raidissement, caractérisée par une diminution de l'amplitude du CP et une fréquence accrue de ses déplacements, ainsi qu'une majoration des ajustements posturaux. On note également des réponses psychologiques, telles que la baisse de confiance en soi, l'augmentation de la crainte de tomber, de l'anxiété, et un sentiment d'instabilité (Adkin, Frank, Carpenter et Peysar, 2000; Huffman, Horslen, Carpenter et Adkin, 2009). On a également observé que, lors de ces expériences posturales, les sujets âgés qui craignaient de tomber effectuaient des déplacements plus importants du CP (Adkin et al. 2000; Maki et al. 1991, cités par Davis, Campbell, Adkin et Carpenter 2009), et que l'anxiété de chute était, dans leur cas, signalée pour des hauteurs nettement plus basses.

LE DÉCLIN DE LA POSTURE VERTICALE LIÉE À L'ÂGE

L'Homme est le seul être à accéder à la verticalité avec une station totalement érigée, stable et ergonomique. Mais cette fonction posturale, est, comme toutes les autres, soumise au vieillissement qui s'exprime sur les composantes biomécaniques et locomotrices, mais aussi neuro-sensorielles (annexe 11). En effet, le vieillissement peut se définir comme l'ensemble des processus moléculaires, cellulaires, histologiques, physiologiques et psychologiques qui accompagnent l'avancée en âge. Il résulte de l'action conjuguée de facteurs génétiques et environnementaux, ce qui le rend très hétérogène selon les individus (Jeandel, 2005). De fait, la dégradation à la fois structurelle et fonctionnelle du système sensori-moteur qui impacte le contrôle postural, peut être aggravée par les pathologies liées à l'âge (Coquisart, 2016). De plus, avec l'avancée en âge, l'intégration centrale des informations est elle aussi modifiée, ce qui entraîne une altération de la représentation interne du corps (Côte-Rey, Pinsault et Richaud 2012). Ces différents facteurs vont donc fortement influencer la verticalité du sujet âgé.

Les causes : pertes sensorielles périphériques et centrales

Des pertes de sensibilité dans les systèmes sensoriels périphériques ont souvent été rapportées chez la personne âgée, et sont considérées comme une conséquence normale du vieillissement (Horak et al. 1989). Les difficultés de perception sont en rapport, d'une part, avec la détérioration des récepteurs sensoriels des systèmes visuel, vestibulaire et proprioceptif et, d'autre part, avec la dégradation de la propagation de l'information, la connexion aux voies centrales, et la perturbation de l'intégration des données (Albaret et Aubert 2001; Coquisart, 2016; Manckoundia et al. 2007a). Pour Manckoundia et al. (2007a) ce sont toutes ces modifications qui conduisent à des troubles de l'équilibre et de la posture. De fait, l'utilisation préférentielle de certaines stratégies peut résulter de la présence ou de l'absence de ces altérations (Albaret et Aubert 2001). En effet, lors de tâches d'ajustements posturaux, les adultes âgés montrent une activation musculaire plus antagoniste et utilisent des stratégies musculaires non observées chez les jeunes adultes, comme la stratégie de hanche (Manchester, Woollacott, Zederbauer-Hylton et Marin, 1989). Finalement, nous allons voir en quoi, chez la personne âgée, la sélection de sources fiables d'informations sensorielles, ainsi que la capacité du SNC à coder et intégrer les informations sensorielles de ces différentes sources, peuvent être altérées.

Au niveau central

Le ralentissement de la vitesse de conduction des nerfs, observé chez les sujets âgés, peut être à la base de difficultés d'équilibre, car il y a création d'un temps de latence au niveau des réflexes, impactant l'anticipation motrice quand les modifications imprévisibles de l'environnement surviennent (Thomas, 1997). En effet, il est admis un ralentissement général des réponses cognitivo-motrices avec l'âge. Or, le ralentissement de la capacité à sélectionner rapidement et précisément les informations utiles, constitue un facteur critique du contrôle postural (Horak et al. 1989). Par conséquent, une lenteur accrue dans le traitement de l'information provenant des systèmes vestibulaire, visuel et somatosensoriel pourrait grandement contribuer à une dégradation de la stabilité posturale.

Repondération et compensation sensorielle

En 1991, Teasdale, Stelmach, et Breunig examinent le comportement de balancement postural de sujets jeunes et âgés dans des conditions visuelles et/ou de support altérées. Les résultats ont montré que la perturbation d'un seul stimulus sensoriel n'était pas toujours suffisante pour différencier les sujets, mais que les deux altérations ensemble avaient un effet sensiblement plus important sur les personnes âgées. En effet, chez elles, une dégradation même légère des informations somatosensorielles, est devenue très préjudiciable à la posture en impactant sérieusement le contrôle de l'équilibre, notamment lorsque la vision était également retirée. Par la suite, l'étude de Oie et al. (2002) vient confirmer que les personnes âgées sont beaucoup plus susceptibles de perdre l'équilibre lorsque deux systèmes sensoriels sont altérés ou supprimés. En effet, dans ces conditions, elles sont incapables de sélectionner et de pondérer de manière adaptée des références d'orientation alternatives, autrement dit, leur système de contrôle postural est dans l'incapacité de se réorganiser lorsque deux sens sont altérés (Diener et al. 1984, cités par Oie et al., 2002). Pour assurer son équilibre, il semble donc que le sujet âgé aie besoin d'au moins deux références sensorielles (Diard et al., 1993, cités par Albaret et Aubert 2001), d'autant plus dans les situations de privation et de conflit sensoriel, comme le désaccord fréquent entre les informations proprioceptives et les informations visuelles (Wipple et al., 1993, Wolfon et al., 1992, cités par Albaret et Aubert 2001).

Les bénéfices de l'entraînement

Avec l'avancée en âge, il est consensuel de dire que la compensation des pertes sensorielles ou des déficiences est moins efficace. Cependant, une étude de Hu et Woollacott (1994) teste les effets de l'entraînement sur la capacité à maintenir la stabilité,

chez les personnes âgées, en les exerçant selon quatre conditions : yeux ouverts/fermés sur une plaque dure/en mousse. Les résultats de cette étude montrent que les sujets âgés pourraient améliorer considérablement leur stabilité posturale dans ces conditions complexes d'entraînement sensoriel (annexe 12), suggérant également que la capacité d'intégration du SNC a été améliorée. En effet, il est possible que les sujets aient pu optimiser les interactions sensorielles au niveau cérébral, où la convergence sensorielle a augmenté à la suite de cette période d'entraînement. Les sujets âgés ont été en mesure de peser à nouveau leurs entrées sensorielles et de sélectionner les informations plus fiables pour le contrôle postural, dans des conditions changeantes : ils chutent moins lorsque les stimuli somatosensoriels au niveau de la cheville et du pied sont minimisés, et restent plus longtemps sur une jambe.

Au niveau périphérique

Dans des circonstances normales, les informations sensorielles fournies par les systèmes visuel, vestibulaire et somatosensoriel sont partiellement redondantes. Du fait de cette redondance, l'équilibre peut être maintenu de manière adéquate, malgré la fermeture des yeux, par exemple. Cependant, chez la personne âgée, même sans pathologie, il existe de multiples preuves de la détérioration des systèmes sensoriels sous-jacents au contrôle postural. En effet, diverses altérations de la morphologie et des fonctions du système nerveux périphérique, comme la perte de fibres nerveuses afférentes associée à une atrophie axonale, sont observées (Verdu et al 2000). De fait, la qualité et la quantité des informations fournies diminuent significativement avec le vieillissement (Teasdale et al. 1991, Simoneau et al. 1999, cités par Le Goïc, 2013). Au niveau visuel, on observe de nombreuses déficiences, comme la perte de sensibilité aux contrastes et aux objets vacillants, une altération des mouvements oculaires de poursuite (Horak et al, 1989), ainsi qu'une diminution de l'acuité visuelle, une restriction du champ visuel, et une mauvaise perception de la profondeur (Alpini et al 2004; cités par Manckoundia et al. 2008). Du côté du système vestibulaire, on constate une diminution de 20% à 40% du nombre de cellules ciliées et de fibres nerveuses vestibulaires chez les sujets en bonne santé de plus de 70 ans (Alpini et al. 2004; cités par Manckoundia et al. 2008). Certaines expériences concluent d'ailleurs que les sujets âgés ne se servent finalement plus ou peu de leur système vestibulaire (Diard et al. 1993, Vitte et al., 1993, Lafont et al. 1995, cités par Albaret et Aubert, 2001). Maintenant, je vais m'attarder sur les détériorations affectant le système somesthésique, sur lequel je compte m'appuyer dans le cadre d'une tentative de rééducation de la verticalité.

Le cas du système somatosensoriel

La proprioception

Touchée par le vieillissement, la proprioception serait en grande partie responsable des chutes chez les personnes âgées (Le Goïc, 2013). Globalement, on note des différences constitutionnelles au niveau des muscles, avec une diminution du nombre de récepteurs ligamentaires et capsulaires associés à une raréfaction des OTG et des FNM (Tavernier et al., 1991, cités par Albaret et Aubert 2001). De fait, la personne âgée ne peut plus localiser aussi précisément les différentes parties de son corps, ce qui rend sa posture souvent instable. L'orientation de sa tête par rapport au corps est elle aussi affectée puisque les propriocepteurs cervicaux, comme les propriocepteurs neuromusculaires, tendineux et articulaires, réduisent en nombre, ce qui représente un obstacle à la mobilisation et peut expliquer les variations de tonus rencontrées (Thomas, 1997). Cependant, la baisse de la sensibilité proprioceptive est avant tout liée au vieillissement des nerfs périphériques (Thoumie, 1999, cité par Le Goïc, 2013), qui se caractérise par une diminution de la vitesse de conduction nerveuse et une diminution des réflexes ostéo-tendineux : par exemple, le réflexe achilléen est absent chez un tiers des sujets de 70 ans. Finalement, Leroy-Malherbe (2018) récapitule que la dégradation du système proprioceptif est dûe, chez le sujet vieillissant, à l'influence de nombreux facteurs impactant la détection de l'information, son acheminement, et l'attention qui lui est portée (annexe 13). Dans ces facteurs, il indique l'altération des fonctions cognitives, comme les processus attentionnels, l'élaboration du schéma corporel et l'intégration des informations sensorielles; l'atteinte des synergies musculaires, majorée par la diminution de la vitesse de conduction, et l'altération des fonctions somatosensorielles liée à la diminution numérique des récepteurs; les déficits sensoriels centraux, telle que la levée de l'inhibition corticale sur les différents systèmes sensoriels dans la tâche d'équilibration posturale (levée de l'inhibition de la proprioception sur le système vestibulaire, négligence des informations vestibulaires au profit des informations visuelles, et augmentation de la contribution des informations visuelles), se traduisant par une perte des mécanismes de repondérations sensorielles; et finalement, les déficits sensoriels périphériques, comme l'altération des propriétés de mécanorécepteurs et des FNM, une moins bonne souplesse articulaire, et une hypopallesthésie distale (pieds qui se déforment et orteils moins souples, voûte plantaire raide...).

Le sens podotactile et les appuis plantaires

Par le biais du réflexe myotatique, la sensibilité podotactile est responsable du tonus des muscles posturaux antigravitaires (Thomas, 1997). Or, les récepteurs de la sole plantaire sont de moins en moins nombreux avec l'âge, et la peau subit des modifications morphologiques (diminution de l'épaisseur, de l'élasticité, modifications de ses composants...), ce qui entraîne une diminution de la sensibilité superficielle, en même temps qu'une diminution de la sensibilité discriminative (en quantité et en qualité), nécessitant un seuil plus important pour percevoir deux stimuli distincts (Albaret et Aubert, 2001; Guitard et al., 2005). Les variations individuelles pour les perceptions tactiles sont très grandes, cependant un certain nombre de caractéristiques sont communes aux sujets âgés : par exemple, le seuil de limen à deux points⁵ pour le gros orteil, passe de 2 mm chez un sujet jeune à 30 mm chez un sujet âgé. En ce sens, on constate chez le sujet âgé, les mêmes modifications des phases de déroulement du pas que dans le cas d'une anesthésie plantaire (Perry et al., 2000, Van der Linden et al., 2007; cités par Janin, 2009) : en diminuant la longueur de l'enjambée lors de la marche, le sujet âgé augmente le temps passé avec les deux pieds au sol, ce qui lui apparaît nettement plus stable (Ferrandez et al 1988, Gillis et al. 1986, Hangen et Black 1986, Murray et al 1969, cités par Albaret et Aubert, 2001).

Le tact digital

Concernant le sens du tact au niveau digital et l'influence de son vieillissement dans la posture, Mireault (2003), appuie son importance dans la stabilité posturale, avec une étude (Smith et al., 1999) démontrant que les sujets âgés, en plus de pertes de perception tactile au niveau de l'index, présentent également des déficits proprioceptifs au niveau du membre supérieur. En effet, lors d'exercices de stabilisation du tronc en position debout, des forces de contact supérieures de l'index sont appliquées sur la plaque par les personnes âgées, ce qui contribue probablement à optimiser le niveau de rétroaction sensorielle dans le but de compenser les pertes sensorielles proprioceptives associées au vieillissement, permettant ainsi à la personne âgée de se stabiliser.

⁵ Distance minimum à partir de laquelle le sujet perçoit deux points distincts lors d'une stimulation cutanée simultanée

Les conséquences des déficits somatosensoriels

Sur la posture

La station debout évolue avec l'âge et se caractérise par une posture en flexion, une rétroversion du bassin et un élargissement du PDS. Les stratégies d'équilibration (de cheville, de hanche, et de pas) face à un déséquilibre sont retardées, moins efficaces et moins adaptées, avec une stratégie de hanche plus prégnante. Ces changements de posture, dûs en partie à la dégradation du système sensorimoteur, amènent des troubles de l'équilibre contribuant à la perte d'autonomie des personnes âgées.

Adaptations posturales

Albaret et Aubert (2001) indiquent que l'équilibre statique, que l'on peut définir comme la faculté à contrôler les oscillations posturales du corps sans déplacements des points d'appui, est moins performant avec l'avancée en âge. En effet, de nombreux travaux de posturographies réalisés avec des plateformes dynamométriques, mettent en évidence que le rapport des oscillations antéro-postérieures (AP) sur les oscillations latérales s'accroît en vieillissant : les sujets âgés présentent des oscillations AP plus marquées que les sujets jeunes, en amplitude et en fréquence (Guitard et al. 2005), tandis que les oscillations latérales sont comparables (Lafont et al., 1991, Ring et al., 1989, cités par Albaret et Aubert, 2001). De plus, Kasahara, Saito, Anjiki et Osanai (2015) ont réalisé une étude dans laquelle des personnes âgées et des jeunes adultes devaient déplacer leur CP autant que possible en position debout. Leurs résultats indiquent que, chez le groupe âgé, le décalage arrière du CP, et avant comme arrière du CG, étaient significativement plus petits que celui du groupe jeune. Plus précisément, pour le groupe âgé, le déplacement en arrière du CP était de 28,9% inférieur à celui du groupe jeune, et significativement plus faible que le déplacement en avant. De plus, les mouvements des genoux et des chevilles étaient différents entre les deux groupes au cours du déplacement du CP en arrière, indiquant des changements de stratégies posturales chez les personnes âgées (annexe 14), pour lesquelles la position verticale du CG était significativement plus basse pendant le décalage du CP en arrière. En effet, la personne âgée effectuerait de cette manière un compromis entre stabilité et mobilité : l'articulation du genou présentait plus de flexion afin d'abaisser le CG pour stabiliser la posture. Finalement, d'après cette étude, l'équilibre chez les personnes âgées serait notamment réduit pour le contrôle postural en arrière, passant par à une stratégie d'abaissement du CG afin de stabiliser la posture debout. Cependant, cette compensation pourrait conduire la personne âgée vers des postures vicieuses.

Présentation posturale

Les modifications de stratégies posturales chez le sujet âgé s'accompagnent d'une posture présentant davantage de rétroversion du bassin et de flexion du genou et de la hanche, induisant une projection plus en arrière du CP, soit un appui davantage sur les talons (Janin, 2009). En effet, dans le cas de troubles des activités posturocinétiques, certains sujets présentent une posture anté- ou rétro-pulsés, dans le but de se sentir plus stable. D'après Janin (2009), la mise en place de stimulations ciblées semblent pouvoir modifier cette inclinaison AP, puisque les stimulations podales visant à modifier localement la pression, influenceraient la distribution du tonus, ce qui améliorerait l'amplitude de flexion du buste et la flexion des genoux, et permettraient peut être de limiter l'inclinaison du corps dans le plan sagittal.

Dans la perception de la verticalité

Manckoundia, Pérennou, Pfitzenmeyer et Mourey (2007a) citent Massion (1992) qui explique que, indépendamment du système sensorimoteur, le contrôle postural est influencé par des références spatiales, comme la verticale subjective. Or, avec l'âge, la perception de la verticale est altérée (Coquisart, 2016), et Barbieri, Gissot et Pérennou (2010) expliquent que les sujets âgés deviennent de moins en moins précis dans sa détermination, et en particulier les sujets très âgés qui font preuve d'une grande incertitude pour indiquer la direction de la verticale avec leur corps. La verticale posturale, principalement régie par les informations somatosensorielles, fournies par les gravicepteurs viscéraux du tronc et par les afférences tactiles et proprioceptives, est la plus touchée par ce déclin (Barbieri et al. 2008, Bronstein 1999, Clark et Graybiel 1963, Mittelstaedt 1998, Perennou et al. 1998, cités par Barbieri et al. 2010). En outre, les principaux systèmes sensoriels et moteurs ainsi que les facultés cognitives impliqués dans le modèle interne de la verticalité proposé par Barra et al. (2012) déclinent avec l'âge. Ainsi biaisé, ce sens de la verticalité peut constituer un facteur de risque de chute : Manckoundia, Mourey, Pfitzenmeyer, Van Hoecke et Pérennou (2007b) ont montré que la perception de la verticalité orientée vers l'arrière chez le sujet âgé pouvait, de fait, être responsable d'un déséquilibre. En effet, les chutes arrières fréquemment observées dans la population âgée résulteraient de cet alignement de la posture érigée sur une verticalité mal évaluée. Finalement, une représentation interne inclinée ou inexacte de la verticalité, entraînant une posture non alignée avec la verticale gravitaire, rend la personne instable, ce qui majore son risque de chutes.

Sur les déséquilibres arrières : la rétropulsion

Manckoundia et al. (2007a) remarque qu'on observe fréquemment des déséquilibres arrières, qualifiés en "rétrouulsion", chez la personne âgée. La rétrouulsion est un trouble postural caractérisé par une position postérieure du CG par rapport à la base du support, et généralement une inclinaison postérieure du tronc. De nombreuses affections somatiques (lésions cérébrales), psychosomatiques (syndrome de désadaptation psychomotrice) ou psychologiques (dépression) peuvent induire cette posture, et un cercle vicieux de chutes en arrière et de perte d'autonomie risque d'en être la conséquence majeure. La rétrouulsion du sujet âgé représente un symptôme très préoccupant en ce qui concerne ses causes, ses conséquences et sa prise en charge. Les mécanismes physiopathologiques conduisant à ce trouble n'ont toutefois pas encore été clairement identifiés. Néanmoins, une détérioration de la verticale subjective pourrait être associée à l'apparition de ce trouble postural.

En cause : une déviation de la verticale subjective

Les perturbations de la perception de la verticale posturale et haptique dans le sens antéropostérieur, ont été recherchées dans le cas de rétrouulsion chez des personnes de plus de 70 ans. Il a ainsi été observé que plus la rétrouulsion était sévère, plus la verticale subjective était déviée à l'arrière, soit un lien entre perception erronée de la verticalité dans le sens antéropostérieur et degré de rétrouulsion. Manckoundia et al. (2007b) ont alors posé comme hypothèse que la rétrouulsion pourrait être provoquée par une inclinaison en arrière de la perception de la verticalité. Ils ont ensuite analysé la relation entre ce déséquilibre arrière, la perception de la verticalité et l'historique des chutes chez 25 sujets âgés. Une échelle ordinale originale (annexe 15) a été utilisée pour quantifier le degré de rétrouulsion, et les verticales posturales (VP) et haptiques (VH) ont été mesurées. Ils ont ainsi obtenu que les scores de l'échelle étaient étroitement liés au nombre de chutes, et que plus la VP était inclinée vers l'arrière, plus le score de l'échelle était élevé. Chez les sujets présentant une importante inclinaison arrière de la VP (environ 15 degrés), l'inclinaison dans la perception de la verticalité était transmodale puisqu'une grave inclinaison vers l'arrière de la VH était également constatée, suggérant une perturbation cognitive élevée dans la construction de la verticale subjective. De plus, l'étude de Barbieri, Gissot, Fouque, Casillas, Pozzo et Pérennou (2008) montrant que des vibrations localisées peuvent induire des chutes en arrière, laisse supposer que des difficultés proprioceptives peuvent largement influencer une représentation de la verticale en arrière, et que les chutes pourraient effectivement être dues à l'alignement de la posture debout sur ce référentiel de verticalité incliné.

Cercle vicieux de la rétropulsion

La chute constitue souvent l'occasion au cours de laquelle l'évaluation médicale permet de diagnostiquer la rétropulsion. Étant d'abord la conséquence de ce trouble postural, les répercussions organiques et psychologiques de la chute en font, par la suite, une de ses causes (Manckoundia et al., 2007a). Il est également important de souligner le retentissement psychologique direct de la rétropulsion, car face à ce trouble, le sujet âgé peut perdre confiance en lui lors de la station debout, et développer une véritable phobie de la posture verticale, le conduisant à une perte d'autonomie progressive entraînant une désadaptation posturale favorisant la dépendance physique. En effet, la personne âgée prenant conscience de la réduction de ses aptitudes physiques, développe un sentiment d'insécurité, se replie sur elle-même, ce qui aboutit à une démotivation, une restriction des activités et une rupture progressive des liens sociaux. Le principal trouble psychosomatique pouvant alors accompagner la rétropulsion est le Syndrome de Désadaptation PsychoMotrice (SDPM), décrit en 1986 par Gaudet et al. sous l'appellation "syndrome de régression psychomotrice", dont la forme aiguë est le syndrome postchute, qui installe le patient dans un véritable cercle vicieux, où la chute est associée à un risque de grabatisation. De fait, il ne faut pas attendre l'apparition d'une rétropulsion pour dépister le risque de survenue d'une chute. En effet, le syndrome postchute, comprend d'une part, des modifications somatiques en position assise (rétropulsion et impossibilité de passage en antépulsion), en position debout (projection du tronc en arrière ou antépulsion du tronc associée à une flexion importante des genoux, et appui podal postérieur avec soulèvement des orteils), et lors de la marche (petits pas avec appui talonnier, élargissement du PDS, flexion des genoux, marche sans temps unipodal ni déroulement du pied au sol, absence de réactions parachutes); et d'autre part, des modifications psychiques qui se manifestent par une majoration de l'angoisse lors des changements de position avec des réactions d'agrippement, une anxiété majeure avec une peur du vide antérieure qui gêne la marche et peut conduire à un refus de verticalisation, ainsi qu'un sentiment d'insécurité et de dévalorisation entraînant un repli sur soi et une diminution des activités (Manckoundia et al., 2007a; Murphy et Isaacs, 1982). Pour ces raisons, le syndrome postchute est une urgence gériatrique, car en l'absence de prise en charge, il peut rapidement évoluer vers un tableau de régression psychomotrice conduisant à une perte d'autonomie définitive.

Évaluation quantitative de la rétropulsion

La rétropulsion est un trouble lourd de conséquences aussi bien sur le plan physique que psychologique et social. Ses causes sont multiples, et on y retrouve souvent un syndrome

postchute auquel s'associe une véritable phobie de la verticalité. Malgré ces enjeux, Côte-Rey et al. (2012) soulignent qu'actuellement seul l'examen de posturographie permettant d'enregistrer la localisation et les déplacements du CP et du CG, permet une évaluation quantitative de la rétropulsion, mais que les autres évaluations sont sinon essentiellement qualitatives. En effet, la Backward Disequilibrium Scale (BDS), échelle d'évaluation spécifique de la rétropulsion, est en cours de validation, et il n'existe sinon à l'heure actuelle aucune échelle permettant de quantifier ce trouble. De fait, Manckoundia et al. (2007a) ont proposé et cherché à faire valider cette échelle semi-quantitative, composée de cinq situations (cotées chacune de 0 à 3 pour un score total pouvant varier de 0 à 15) basées sur les activités de la vie quotidienne que sont la position assise, le passage assis–debout, le passage debout–assis et la position debout (annexe 15).

Prise en charge de la rétropulsion

La prise en charge de la rétropulsion est avant tout pluridisciplinaire (professionnels médicaux, paramédicaux et équipe soignante du quotidien), et doit débiter le plus tôt possible après le diagnostic. La rééducation a pour objectif de normaliser le contrôle du CG tant en statique qu'en dynamique. Pour cela, les exercices de retournements dans le lit et le passage du décubitus à la position assise au bord de lit, en sont une première étape. Ensuite, les exercices d'équilibre en position assise occupent une place importante dans la prise en charge, couplant la stabilisation du tronc avec la capacité à réaliser un mouvement créant un déséquilibre intrinsèque. Dans ce type d'exercices, la projection du tronc en avant ainsi que la stabilisation de la tête dans l'espace sont recherchées pour favoriser le passage assis à debout. Par ailleurs, l'apprentissage du relevé du sol représente un élément important de cette rééducation qui concernent des personnes sujettes à la chute. Il est important que le même type de stimulation soit entrepris par l'ensemble de l'équipe soignante à travers les activités de la vie quotidienne en respectant les schémas moteurs réappris. De plus, un travail psychologique consistant à rassurer et motiver le sujet âgé en rétropulsion ainsi qu'à dédramatiser la situation est également nécessaire, pour lui permettre de reprendre confiance en lui et en ses capacités (Manckoundia et al., 2007a). Finalement, il est avant tout primordial de rechercher la (ou les) cause(s) ayant pu favoriser la rétropulsion, de même que le traitement de cette (ou ces) cause(s) lorsqu'il est possible.

Facteurs perturbants la posture

Cette partie regroupe différents facteurs qui, aggravant la posture, finissent, de par leur évolution, par être des facteurs de déséquilibre, conduisant progressivement la personne à une présentation posturale en rétropulsion.

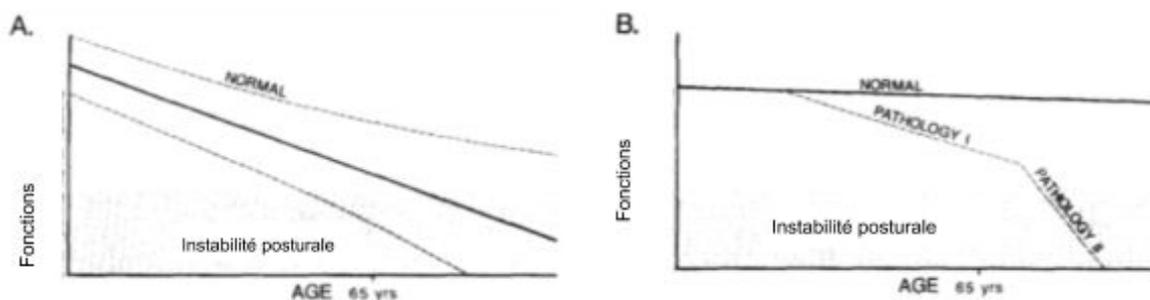
La rigidité musculaire

Au niveau musculaire, Leroy-Malherbe (2018) explique que, chez le sujet vieillissant, on observe une perte de la capacité contractile et une sarcopénie : déficit de 30% de la masse musculaire avec perte de myofibrilles et de protéines contractiles, régression de la capacité à remplacer les cellules lésées, diminution du nombre de motoneurones alpha dans la corne antérieure de la moelle épinière et du nombre d'unités motrices dont la capacité contractile s'amointrit. De plus, les muscles du membre inférieur s'atrophient et l'angle de pennation se réduit pour compenser ce raccourcissement, ce qui induit une diminution de la force. De la même manière, les tendons subissent des modifications structurelles avec diminution de leur raideur, alors compensée par une raideur de l'unité musculo-tendineuse. Justement, pour Manckoundia et al. (2007a) la rétropulsion est associée à une rigidité de l'axe corporel et des membres, qui pourrait être liée à un tonus postural accentué des extenseurs, en raison d'un trouble de l'excitabilité des voies afférentes correspondantes, et de la crainte du vide antérieure liée au syndrome post-chute. Cette rigidité peut d'ailleurs être observée durant la marche, témoignant d'une réduction de l'amplitude articulaire et du ballant.

Pathologies associées

Horak et al. (1989) présentent un modèle (figure 7B) émettant l'hypothèse des effets de l'âge et de la pathologie sur le contrôle postural, et un autre présentant uniquement les effets du vieillissement (figure 7A). Le modèle de la figure 7B est ainsi une extension du modèle de la figure 7A : il illustre l'hypothèse selon laquelle, chez un individu âgé souffrant de déséquilibres, de nombreuses causes sous-jacentes sont susceptibles d'être présentes. En effet, outre le processus de vieillissement, la présence de processus pathologiques, même à un stade précoce, contribue au déséquilibre de l'individu âgé et l'accroît en se combinant aux effets de l'âge. Manckoundia et al. (2007a) relèvent également que les effets de certaines affections chroniques sur la posture vont aggraver ceux du vieillissement physiologique. Ces maladies chroniques peuvent être neurologiques (syndrome de Parkinson), ostéoarticulaires (arthrose), musculaires, visuelles (cataracte, DMLA) ou vestibulaires, et peuvent être associées à certains syndromes gériatriques tels que le SDPM. Finalement, Coquisart (2016) cite comme pathologies principales ayant un

retentissement sur la posture du sujet âgé : le SDPM, la maladie de Parkinson et l'altération cognitive.



Figures 7: Représentations schématiques de l'effet des modifications liées à l'âge sur la stabilité posturale. Dans les deux cas, la zone ombrée "instabilité posturale" montre le degré de déclin nécessaire pour produire une instabilité posturale observable. (A) Les fonctions (trait continu) déclinent en fonction de l'âge uniquement, et l'hétérogénéité du contrôle postural dans la population âgée est illustrée par les lignes en pointillés. (B) L'effet de l'âge seul est représenté par la ligne continue, et l'effet des pathologies est représenté par les lignes en pointillés.

La chute

Selon le rapport de la HAS (2009), "la chute est définie comme le fait de se retrouver involontairement au sol ou dans une position inférieure par rapport à sa position de départ". Elle représente la deuxième cause de décès accidentels dans le monde, et L'OMS (1983) en fait la première cause de décès accidentels après 65 ans (annexe 16). De plus, Le Goïc (2013) cite l'étude de Pavol et al. (1999) indiquant que les femmes tombent 4 fois plus que les hommes, et la New Mexico Aging Process Study (2007) montrant que la peur de tomber augmente surtout chez les femmes, notamment lorsqu'elles ont déjà chutées. Après une première chute, le risque de récurrence est multiplié par 20 et le risque de décès dans l'année qui suit la chute est multiplié par 4. Albaret et Aubert (2001) citent Rubenstein et al. (1988) disant qu'avec l'avancée en âge, les sentiments de manque de stabilité, de vertiges, d'insécurité, et de dépendances lors des déplacements augmentent, et qu'on estime entre 2,7 et 19% des chutes liées à l'instabilité posturale. Ils ajoutent que l'étiologie du manque de stabilité posturale est multifactorielle puisque, comme nous l'avons vu précédemment, les processus dégénératifs de cette fonction touchent les récepteurs sensoriels, les voies nerveuses et les centres intégrateurs. Horak et al. (1989, 2006) illustrent (figure 8) le concept selon lequel l'instabilité posturale chez les personnes âgées implique de nombreux

systèmes physiologiques sous-jacents, affectés à la fois par le vieillissement et les pathologies. Le graphique au centre montre l'augmentation de l'incidence des chutes chez les personnes de plus de 50 ans. Les énoncés, autour, présentent les différents processus en jeu, qui, dysfonctionnels, contribuent à une instabilité accrue. De fait, une réhabilitation efficace de la prévention des chutes, nécessite une meilleure compréhension de ces différents mécanismes, et une identification des déficits propres à l'individu afin de lui proposer une rééducation spécifique.

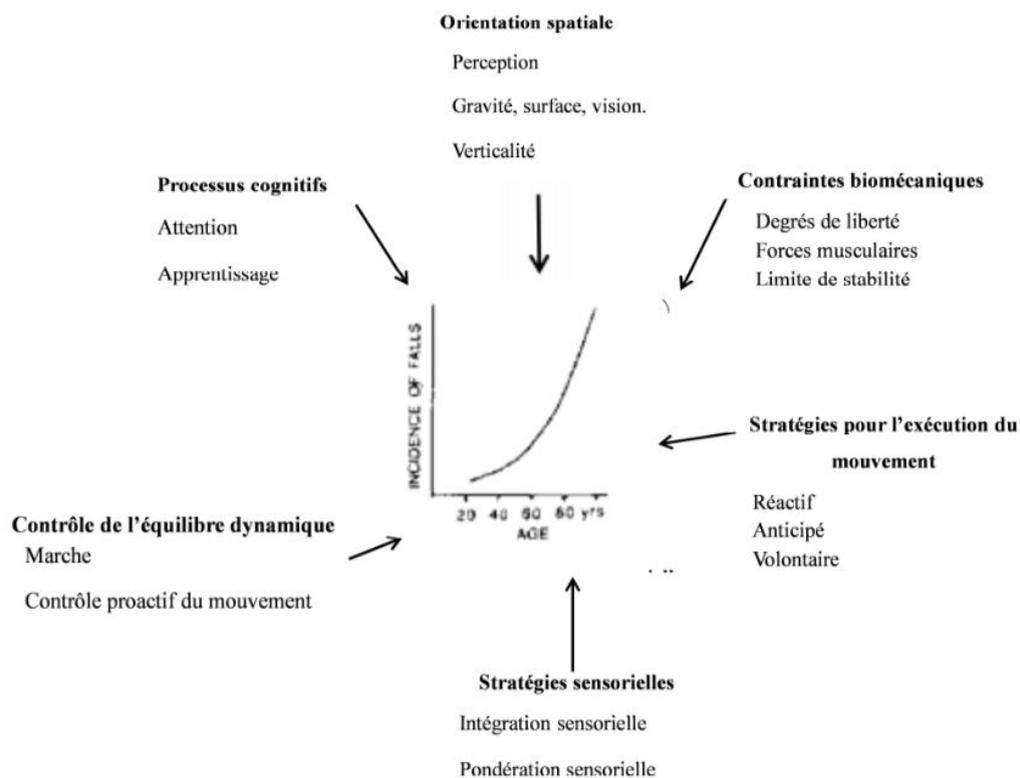


Figure 8 : Ressources nécessaires à la stabilité et à l'orientation posturales (Traduit de Horak et al. 2006)

Un point essentiel : les modifications de la marche

Les anomalies de la marche, conjointement au vieillissement de l'équilibration, favorisent la survenue des chutes (Andrieu et al 1991, Sabin 1982, cités par Albaret et Aubert 2001). En effet, avec l'avancée en âge, la marche est plus coûteuse en énergie, plus lente et moins sûre. Elle s'effectue avec un PDS élargi, une réduction de la durée de phase d'appui unipodal et un allongement de la phase d'appui bipodal, une réduction d'amplitude des mouvements des chevilles, des genoux et de la hanche, ainsi qu'un besoin d'attention à la marche avec le regard fixé au sol près des pieds. Ces différentes modifications observées

lors de la locomotion chez le sujet âgé sont accentuées par les postures vicieuses, et les favorisent également, décuplant ainsi le risque de chutes du sujet.

Finalement, le schéma récapitulatif (figure 8, Horak et al. 2006), ainsi que les observations faites sur les modifications relatives à la marche, concernent un public ordinaire, sans déficit antérieur particulier. Cependant, les deux personnes qui vont illustrer mon écrit sont porteuses de déficience intellectuelle. De fait, il me semble important d'apporter quelques précisions à ce sujet, et notamment d'en indiquer l'impact éventuel sur le risque de survenue de chutes.

Une influence de la déficience intellectuelle sur la stabilité posturale ?

Une présentation de la déficience intellectuelle (DI)

Bussy et des Portes (2008) cite L'American Association of Mental Retardation (AAMR) qui définit le retard mental comme un "fonctionnement intellectuel significativement inférieur à la moyenne, associé à des limitations dans au moins deux domaines de fonctionnement adaptatif. Le retard mental doit se manifester avant l'âge de 18 ans". On retrouve ces mêmes critères dans la définition de la CIM-10, qui ajoute que les capacités intellectuelles et l'adaptation sociale peuvent être améliorées par une formation et une rééducation appropriées, et précise des degrés de retard mental en fonction du QI : retard mental léger pour $50 < \text{QI} < 70$; modéré pour $35 < \text{QI} < 50$; sévère pour $20 < \text{QI} < 35$; et profond pour $\text{QI} < 20$. Le DSM-V apporte trois changements importants dans cette définition: la notion de "déficience intellectuelle développementale" (remplaçant le terme de "retard mental"), les sous types de déficiences non plus seulement liées au QI mais aussi au fonctionnement adaptatif de la personne, et l'apparition du retard global de développement pour les enfants de moins de 5 ans. Épidémiologiquement, deux nouveau-nés sur cent sont atteints de DI, mais la fréquence de cette prévalence est très contrastée, puisque pour les personnes ayant un $\text{QI} < 50$ la prévalence est de 3 à 4 pour mille, quand pour celle avec un QI entre 50 et 70, elle varie de 0,8 à 2,5%. Globalement, 1% de la population mondiale est touchée (Ke et Liu, 2012). Finalement, une prise en compte multifactorielle et pluridisciplinaire de la DI, mettant tout en oeuvre pour maximiser les apprentissages et les capacités d'autodétermination, permet d'améliorer les conditions de vie des patients et de leurs familles.

Vieillesse et déficience intellectuelle

Le processus de vieillissement des personnes handicapées est globalement similaire à celui de la population générale. En effet, Gabbai (2004) indique qu'au sens biologique et physique du terme, un vieillissement précoce s'observe lorsque le handicap mental a une origine génétique (trisomie 21, syndrome de Klinefelter...), dans le cas de DI profonde (encéphalopathie), ou dans les phénomènes d'usure précoce liés aux handicaps moteurs (mais il ne s'agit pas là d'un vieillissement global). Cependant, en dehors de ces cas, on ne peut pas parler de vieillissement précoce dans le handicap mental. L'impression d'un vieillissement précoce tient à la survenue fréquente, chez les personnes présentant une DI, de "phénomènes de régression", entre 40 et 60 ans. Il s'agit alors de situations de désadaptation qui prennent souvent l'aspect de manifestations dépressives avec désinvestissement des activités, fatigabilité, troubles comportementaux, plaintes hypocondriaques ou affections psychosomatiques. Cependant, pour Cox, Clemson, Stancliffe, Durvasula et Sherrington (2010), les chutes chez les personnes ayant une DI se produisent à un âge plus précoce que dans la population en général, et constituent une cause importante de blessures et d'hospitalisations. En effet, dans leur étude, sur 114 participants dont l'âge moyen était de 36,8 ans (allant de 18 à 68 ans), ayant fréquenté une clinique pour personnes présentant une DI, 34% ont chuté au cours des 12 mois précédents, et la grande majorité des chuteurs (84%) ont déclaré s'être déjà blessé suite à une chute. Pour les adultes porteurs de DI, il semblerait donc prudent d'élaborer très tôt des interventions visant à prévenir les chutes. Ainsi, en intervenant sur la stabilité posturale du sujet, via un réajustement de la verticale subjective, on peut espérer agir sur cette tendance à la chute.

PARTIE PRATIQUE

maintenir et restaurer la santé de ces personnes vieillissantes : médecins généraliste et psychiatre, kinésithérapeute, ergothérapeute, orthophoniste, psychomotricien, infirmiers, aide-soignants, et psychologue.

La somesthésie dans le réajustement du sens de la verticalité : pourquoi ?

Comme nous l'avons vu, il semble que différentes entrées sensorielles participent au calcul du vecteur gravitationnel, comme l'entrée somatosensorielle, déterminant très largement la verticale posturale, et la verticalité en général. Or, chez la personne âgée, c'est l'afférence visuelle qui serait utilisée préférentiellement par rapport aux autres afférences sensorielles : le sujet âgé établit une confiance excessive vis-à-vis de ce référentiel. Cependant, la verticale visuelle subjective (VVS) peut être influencée de manière critique par de nombreux mécanismes (vestibulo-oculaires, oculaires et somatosensoriels), auxquels la verticale posturale subjective (VPS) est plus réfractaire (sauf pour les stimulations somatosensoriels). En effet, si la personne présente uniquement un dysfonctionnement visuel, sa VVS sera perturbée, mais pas sa VPS, alors que si elle a des difficultés somatosensorielles, la VPS sera perturbée, mais également la VVS, et certainement aussi sa VHS. En outre, Le Goïc (2013) affirme que, d'une manière générale, les afférences somatosensorielles sont considérées comme étant les plus importantes dans la régulation posturale, et en effet, par les apports théoriques relatés plus tôt, on remarque qu'elles prédominent dans la détermination de la VPS, qu'une partie permet l'élaboration de la VHS, et qu'elles influencent également la VVS. De plus, elles m'ont semblé plus fiables que les informations visuelles, et plus accessibles que les afférences vestibulaires, tant pour la mise en place d'une prise en charge que dans l'élaboration d'une évaluation. De fait, dans le but d'améliorer la représentation de la verticale subjective, se baser sur les informations somatosensorielles, m'a semblé être adapté. Ainsi, dans la prise en charge que j'ai effectué, j'ai cherché à améliorer la perception somesthésique du corps de différentes manières, dans le but de ralentir le déclin de ces sensations, et par la même, de prévenir la dégradation du sens de la verticalité.

Choix des évaluations

Avant de mettre en place une rééducation visant à réajuster le sens de la verticalité par le biais somesthésique, j'ai procédé à l'évaluation de plusieurs patients qui me semblaient présenter une posture en rétropulsion, et que je savais être sujets aux chutes. Ainsi, j'ai tout d'abord cherché à voir si cette prise en charge pouvait leur être adaptée, en effectuant une

évaluation des prérequis somatosensoriels. Ensuite, j'ai déterminé des moyens d'évaluer la rétropulsion et la verticalité subjective. Enfin, j'ai cherché à situer la personne quant à son instabilité posturale et son anxiété de chute, dans le but d'adapter les exercices que je souhaitais proposer.

Pré-requis sensoriels

Afin de procéder à une prise en charge axée sur les modalités somatosensorielles, j'ai souhaité m'assurer de l'intégrité sensoriel tactile et proprioceptive des sujets avec lesquels j'étais susceptible de mettre en place mon protocole. Pour cela, je me suis inspirée de l'évaluation réalisée pour la mise en place du protocole de rééducation de l'équilibre élaboré par Guitard et al. (2005).

L'évaluation du tact

Le sujet a les yeux fermés et 5 matières à explorer avec les mains lui sont proposées. Dans le même temps, son pied explore une autre matière et il doit trouver, en comparant avec les objets qu'il manipule avec ses mains, laquelle est identique à celle qu'il touche avec le pied. Le matériel utilisé pour cela a été : un mouchoir en tissu, la partie brosse d'une brosse à dents, un bout de polaire douce, du papier de verre et un couvercle en métal. Le score obtenu par le sujet va de 0, si aucune matière n'est correctement associée, à 5, si toutes les matières sont correctement associées (soit un point par matière correctement associée).

L'évaluation de la proprioception

La proprioception est testée par la capacité à reproduire avec exactitude une position articulaire préalablement réalisée (Leroy-Malherbe, 2018). Pour cela, le patient a les yeux fermés et se laisse manipuler : l'examineur donne une position à son corps, que le patient doit retrouver ensuite. Ainsi, pour les bras, la position 8 du test d'imitation des gestes de Bergès-Lézine (annexe 17) a été utilisé, et en ce qui concerne les jambes, elles ont été positionnées croisées, jambe droite dessus, à 2 cm du sol. Le sujet obtient ainsi 0, 1 ou 2 points selon qu'il reproduit correctement ou non la position des bras et/ou des jambes.

Évaluation de la rétropulsion

L'appréciation de la rétropulsion est tout d'abord qualitative : le sujet est debout en position naturelle (sur deux pieds, les bras relâchés et le regard droit) et on observe son inclinaison dans le plan sagittal. En effet, la rétropulsion manque d'outil spécifique d'évaluation, puisque les différents tests existants sont utiles dans l'appréciation de ses répercussions, mais n'ont

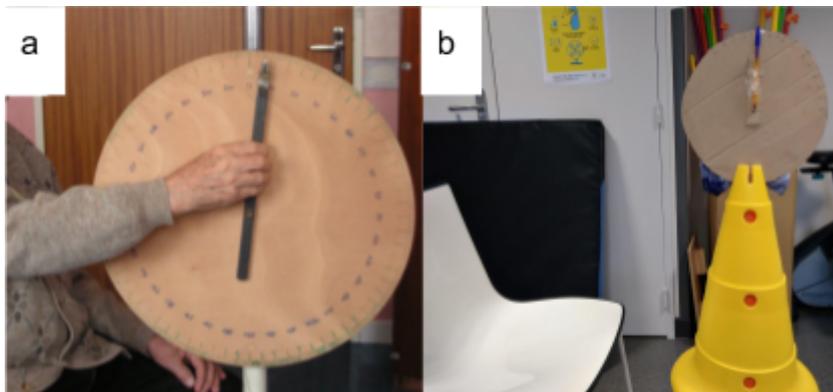
pas pour but de la diagnostiquer quantitativement (Côte-Rey et al.; 2012, Manckoundia et al. 2007a). Or, l'évaluation d'un tel trouble postural nécessiterait un test spécifique quantitatif ou semi-quantitatif. Ainsi, en plus d'être établis en fonction de sa cause et de ses conséquences, les objectifs de prise en charge pourraient être adaptés à la sévérité de la rétropulsion. De fait, Manckoundia et al. (2007a) ont cherché à élaborer une grille d'évaluation semi-quantitative de la rétropulsion, basée sur l'observation de cinq tâches : la position assise, la position debout yeux ouverts et fermés et les passages debout-assis et assis-debout (annexe 15) dont je me suis servie afin d'objectiver mes résultats.

Évaluation de la verticalité subjective

Comme nous l'avons vu dans les explications théoriques, il serait possible de déterminer la perception de la verticale résultant de l'intégration d'informations visuelles, vestibulaires et somesthésiques, en évaluant la verticale visuelle, la verticale haptique et la verticale posturale (Bonan et al, 2012), susceptibles de donner des résultats différents, même si elles sont toutes trois liées. Ainsi, comme nous l'avons détaillé plus tôt, on parle de verticale visuelle (VV) quand on demande au sujet d'ajuster une baguette lumineuse à la verticale, de verticale haptique (VH) quand on lui demande de l'ajuster à la verticale uniquement par exploration tactile, et de verticale posturale (VP) lorsqu'il lui ai demandé d'ajuster son propre corps selon la direction qu'il perçoit verticale en position assise, sans afférence visuelle. Cependant, il est important de rappeler ici, qu'avec l'âge, le sens de la verticale étant altérée (Coquisart 2016), les sujets sont moins précis dans sa perception (Barbieri et al., 2010).

Verticale Haptique Subjective (VHS) et Verticale Visuelle Subjective (VVS)

Pour mesurer la VHS et la VVS, Bonan et al. (2012) utilisent un dispositif particulier (annexe 5), mais Manckoundia et al. (2007b) utilisent un système plus simple pour la VHS : une tige (de 25 cm) pivotant autour d'un axe central qui va être réglée manuellement à la verticale (figure 9a). L'orientation de la tige est inclinée de manière aléatoire entre -30° et $+30^\circ$ et les sujets doivent la régler manuellement à la verticale. Dix essais sont ainsi réalisés (en partant de 10 positions différentes : 5 négatives et 5 positives), leur moyenne donnant la VHS. Dans ma pratique, je me suis inspirée de ce dispositif pour réaliser ces mesures (figure 9b). J'ai ainsi effectué les mesures de la VHS (au degré près) en demandant au sujet d'ajuster le stylo, fixé à la tige du dispositif, à la verticale. Puis, dans le but de mesurer la VVS, j'ai répété le même procédé, en remplaçant le stylo par une baguette phosphorescente. Le sujet était alors assis dans le noir complet et ne pouvait distinguer de son environnement, que la baguette.



Figures 9 :

a. Dispositif permettant de mesurer la VHS (Manckoundia et al., 2007b)

b. Adaptation de ce dispositif dans ma pratique

Verticale Posturale Subjective (VPS)

Pour réaliser cette évaluation, Manckoundia et al. (2007b) installent le sujet dans un dispositif particulier (annexe 6), dans l'obscurité, et l'incline de manière aléatoire dans une position donnée (vers l'avant ou l'arrière, à 10, 15, 20, 25 ou 30°), puis le bascule manuellement dans la direction opposée, à une vitesse d'environ 1,5° par seconde, jusqu'à ce que le sujet signale avoir atteint une position verticale. Dix essais aléatoires sont ainsi réalisés (5 d'avant en arrière et 5 d'arrière en avant), pour lesquels l'inclinaison corporelle est mesurée à l'aide d'un inclinomètre (précision de 0,5°), et la VPS obtenue en faisant la moyenne des 10 valeurs. Cependant, pour ma pratique, je n'ai pas trouvé de moyen adéquat et suffisamment sécurisé, me permettant d'imiter cette évaluation. De fait, j'ai choisi de faire passer aux sujets un questionnaire de Joassin et al. (2010), me permettant, couplé aux mesures de la VVS et de la VHS, d'estimer si la VPS pouvait être faussée ou non. En effet, quand deux représentations de la verticale sont faussées, il semble fort probable que la troisième le soit également. Le questionnaire est quant à lui constitué de cinq items auxquels le sujet répond positivement ou négativement :

- Avez-vous parfois des sensations de vertiges ?
- Assis, avez-vous des sensations différentes les yeux ouverts et fermés ?
- Avez-vous des pertes d'équilibre ?
- Avez-vous des sensations d'instabilité lors de vos transferts ?
- Avez-vous des difficultés à positionner votre tronc dans l'espace ?

Projection du CG dans le PDS

En outre, la verticalité peut être appréciée par la projection du CG dans le PDS (figure 10). Pour cela, j'ai utilisé la wii balance board. Cependant, ce dispositif mesure surtout la

répartition du poids du corps entre les deux jambes, soit un décalage médio-latéral du CG, plus que sa projection dans le plan antéropostérieur. Ce résultat va tout de même nous intéresser puisqu'il mesure de manière objective et précise l'équilibre du sujet.

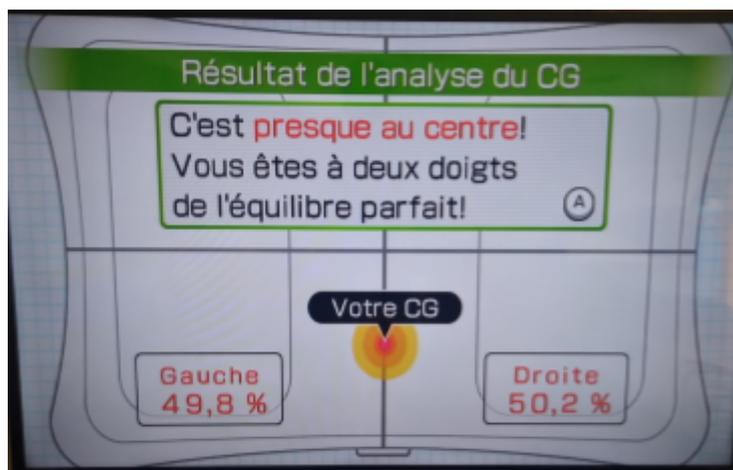


Figure 10 : Projection du CG dans le PDS par la wii balance board (résultat témoin)

Évaluation de l'équilibre statique et dynamique

Tinetti

Dans le but de mesurer le risque de chutes liées aux déséquilibres de manière plus précise, j'ai procédé à la passation du Tinetti, qui m'a également permis d'adapter la prise en charge, et surtout, par la réévaluation, de voir si chercher à réajuster la verticale subjective pouvait influencer l'équilibre statique et dynamique du sujet. De plus, malgré l'intervention significative du facteur psychologique handicapant les sujets ayant déjà chuté, le Tinetti est un outil plus précis que l'échelle semi quantitative de rétropulsion et le matériel avec lequel j'ai effectué mes mesures de la verticale subjective. La grille de ce test (annexe 18) élaborée par Tinetti (1986, 1988), est découpée en deux parties : la première évalue l'équilibre dans différentes positions et conditions, tandis que la seconde s'intéresse à la qualité de la marche et à la stabilité du tronc au cours de celle-ci. Lorsque le score obtenu est inférieur à 24, on estime que le sujet est à risque de chutes, et quand il est inférieur à 18, on le considère à haut risque de chutes.

Station unipodale

Albaret et Aubert (2001) citent Vellas et al. (1997) qui montrent que l'incapacité à maintenir l'équilibre unipodal pendant 5 secondes les yeux ouverts multiplie par deux le risque de chutes graves sur une période de 3 ans. De fait, la durée de maintien de l'équilibre sur un pied est prédictive de chutes, et constitue un test d'équilibre statique des plus employés.

L'épreuve consiste donc à demander au sujet de se mettre sur le pied qu'il veut, et de mesurer la durée maximale de maintien de cette posture sans mouvements des bras ni contact au sol du membre inférieur opposé. Ce test est effectué yeux ouverts et peut être effectué dans un second temps sans afférence visuelle. On peut également comparer les performances du sujet évalué aux performances moyennes de sa classe d'âge (annexe 19).

Timed Up and Go test (TUG)

Ce test consiste à demander au patient de se lever de son siège, rester stable, puis marcher sur 3 mètres avant de faire demi-tour et revenir se rasseoir. Il permet ainsi d'apprécier la qualité du passage assis–debout, de la marche intégrant un demi-tour, et du passage debout–assis. La durée d'exécution normale de cette séquence de mouvements est inférieure à 12 secondes, et au delà, on considère que le sujet est à risque de chutes.

Appréhension de risque de chutes

Afin de mesurer l'appréhension des sujets face aux risques de chutes, qui impacte de manière importante la présence d'une rétropulsion, j'ai utilisé la Falls Efficacy Scale (FES) (Tinetti, 1990) qui permet au sujet de qualifier l'importance de son appréhension dans 10 situations (annexe 20). J'ai cherché à rendre plus simple d'accès cette échelle de chiffres allant de 0 à 10, où 0 indique une confiance totale dans la situation et 10 une anxiété intense, en l'illustrant avec des couleurs et des symboles. En outre, une peur de la chute peut se traduire par une rigidité posturale, interférant avec les ressentis proprioceptifs et kinesthésiques, et impactant la posture. De fait, j'ai également effectué une évaluation du ballant du membre supérieur dans l'objectif d'identifier un éventuel écart tonique entre différentes positions plus ou moins "à risque de chute" : la position allongée (état tonique de base), debout en posture naturelle, debout pieds joints, et debout pieds en tandem ou position unipodale. J'ai coté la réaction tonique à la mobilisation passive sur une échelle subjective allant de 0 à 3, sur laquelle 0 équivaut à un relâchement tonique complet et 3 à une crispation importante.

[La somesthésie dans la perception de la verticalité : comment ?](#)

Ici, je vais préciser le choix des grands axes travaillés dans ce but de rééducation du sens de la verticalité. Pour chaque axe, je vais détailler les exercices mis en place, étant tous orientés vers une amélioration de l'attention portée aux sensations somesthésiques (proprioceptives et tactiles), en espérant que le sujet adopte ainsi une posture plus redressée, l'éloignant de la rétropulsion accentuant le risque de chutes. Globalement les

exercices proposés étaient similaires pour les deux patientes que j'ai été amené à prendre en charge, même si quelques spécificités étaient déterminées selon le profil de chacune, que je développerai en suivant.

La stimulation directe du sens podotactile

La sensibilité plantaire représente une source d'informations essentielle pour l'équilibre, qui est souvent omise par les sujets âgés. C'est pourquoi la stimulation des récepteurs tactiles de la sole plantaire, en réveillant le sens podotactile, peut permettre à un individu d'améliorer ces stratégies d'équilibration. En effet, les exercices de stimulations du pied affinent la reconnaissance des différents types de sol, favorisant ainsi l'anticipation des déséquilibres. En outre, la mise en place de stimulations podales localisées semblent pouvoir modifier l'inclinaison antéropostérieure et influencer la distribution du tonus, améliorant l'amplitude de flexion du buste et des genoux (Janin, 2009). De plus, Hu et al. (1994) observent que les systèmes visuel et vestibulaire ne sont pas en mesure de compenser complètement les modifications apportées aux entrées somatosensorielles des chevilles et des pieds, alors que les informations somatosensorielles semblent pouvoir compenser les altérations des entrées visuelles et vestibulaires. Cette constatation rend l'exploitation du système somatosensoriel d'autant plus intéressant à un âge où l'ensemble des récepteurs des différents systèmes sensoriels du corps voient leur sensibilité, et de fait, leur fiabilité, s'affaiblir.

Mise en place

Au début de chaque séance, une fois que le sujet se sentait assez à l'aise pour enlever ses chaussures, je proposais un temps de stimulations podotactiles. Durant ce temps, j'insistais à différents endroits du pied, ou plus sur un pied que sur l'autre, selon la problématique de la personne. Par exemple, je stimulais plus le talon dans le but d'inciter la personne à prendre davantage appui sur le devant de ses pieds lors des exercices qui allaient suivre. Ainsi, dans cet objectif de stimulations podales, je proposais différents petits exercices qui variaient selon les séances. Je les choisissais en fonction de ce qui avait plu, ou me semblait susceptible de plaire, au sujet. Durant ces exercices, je m'attardais sur les sensations ressenties par le sujet (dur, mou, rugueux, doux, agréable, désagréable...), lui demandant de me verbaliser ce qu'il ressentait, afin de m'assurer qu'il portait bien attention aux stimulations effectuées. Au fur et à mesure des séances, j'ai ainsi fait expérimenter diverses situations aux deux patientes que je voyais :

- Massages des pieds avec mes mains;

- Massages des pieds avec des balles de différentes textures (mousse, tennis, ping pong, plastique dur...) que je faisais rouler en appuyant plus ou moins fort, et éventuellement en demandant au sujet de reconnaître quelle balle était utilisée parmi celles qu'il pouvait, dans le même temps, manipuler avec ses mains;
- Reconnaissance de textures/d'objets avec les pieds (simplement avec les pieds ou par discrimination parmi des objets vus, ou manipulés avec les mains) et description de la matière, la taille, la forme, les sensations...;
- Appui avec un crayon/une balle sur différentes parties du pieds (dessous, devant, derrière, dessus, côtés), en demandant au sujet, qui ne voit pas, de localiser la stimulation, verbalement ou par désignation
- Stimulations "actives" où le sujet se met sur la pointe des pieds, sur les talons, écrase une balle en mousse puis une balle de tennis...

En avançant dans les séances, j'ai aussi pu leur proposer des exercices de stimulations sensorielles plus implicites, en les amenant, pieds nus, à rechercher l'adaptation à différents types de sol, différentes surfaces, variant par leur matière et leur température, en utilisant différentes surfaces d'appuis podales (sol dur, tapis mou, step, rocher d'équilibre...).

La stimulation directe des autres entrées somesthésiques

Joassin et al. (2010) indiquent que les indices tactiles passifs provenant d'autres régions du corps, comme le tronc et les épaules, peuvent être utilisés pour réduire l'oscillation posturale, et ceci avec une ampleur au moins similaire à celle produite par la vision ou une entrée sensorielle des pieds. Ils citent également Mittelsteadt (1996), qui affirme l'importance de l'entrée sensorielle du tronc dans la perception de la verticale. De plus, les signaux sensoriels provenant de la pulpe du doigt, se couplant à l'information proprioceptive du membre supérieur, et augmentant ainsi la perception du tronc, faciliterait le contrôle et la stabilisation de celui ci (Lackner 2001, cité par Mireault 2003). De fait, les entrées sensorielles de la main, du tronc et des épaules, m'ont particulièrement intéressées.

Mise en place

Dans un but d'éveil corporel, et donc d'attention portée aux stimulations somesthésiques de l'ensemble du corps, j'ai expérimenté des temps de massages associés à la relaxation, en m'inspirant de la relaxation de Wintrebert, qui aide au lâcher prise et au relâchement musculaire global. Pour cela, j'aidais le sujet à s'allonger sur un tapis, puis l'amenait à se détendre grâce à sa respiration, avant de mobiliser de façon lente et rythmée, ses mains, ses bras, ses pieds, et ses jambes. Ici, en plus d'éveiller le sens tactile et proprioceptif des

différents endroits du corps, le but visé à plus long terme, serait d'atténuer la rigidité excessive des membres retrouvée chez les sujets chuteurs et en rétropulsion. Ensuite, d'une toute autre manière, durant les parcours moteurs proposés dans la séance, lors de phases d'arrêts déterminées, je stimulais régulièrement les entrées somesthésiques du buste et des épaules par des pressions légères et régulières. De plus, lorsque le sujet se sentait en déséquilibre sur le parcours, et qu'il ressentait le besoin de prendre appui sur ma main, je l'incitais à s'y tenir au minimum en proposant ma main comme un repère pour se stabiliser et non pas comme un appui⁹.

L'équilibre sur surface instable

La rééducation du sens de la verticale passe aussi par l'augmentation de l'attention portée au système somatosensoriel lorsque la personne est sur une surface instable. En effet, dans ces conditions, le sujet a tendance à augmenter la pondération sensorielle en informations vestibulaires et visuelles à mesure qu'il diminue sa sensibilité aux entrées somatosensorielles de surface. Or, chez le sujet âgé, une dégradation, même légère, des informations fournies par le système somatosensoriel est très préjudiciable à la posture, notamment lorsque la vision est retirée (Oie et al., 2002; Teasdale et al. 1991). De plus, la dégradation de la vision étant un phénomène normal de l'avancée en âge, un travail axé sur l'attention portée aux sensations somesthésiques dans le cas de déséquilibres associés aux surfaces instables, semble primordial. Ici, en plus de stimuler la proprioception, j'ai cherché à sensibiliser le sujet quant à l'importance de ses appuis. D'autre part, les exercices d'équilibre en position assise, tout en développant la conscience proprioceptive du sujet, cherchaient à associer la stabilisation du tronc avec la capacité à réaliser un mouvement (par exemple des membres supérieurs), ce qui est important dans le cadre de la rééducation de la rétropulsion où la projection du tronc en avant et la stabilisation de la tête dans l'espace sont difficiles.

Mise en place

Des parcours moteurs avec obstacles et des exercices sur physioball, permettant le développement de différentes stratégies d'équilibration, ont ainsi été proposés. Concernant le parcours moteur, la difficulté des obstacles était graduée avec l'avancée en séances : passage sur tapis mou, step, barres d'obstacles, arrêt dans un cerceau au sol, passage sur

⁹ Ceci étant réservé aux situations où la personne avait déjà réussi l'exercice dans les séances précédentes et dans lesquelles je la savais alors capable de pouvoir réussir sans mon soutien physique.

step posé sur tapis mou, arrêt dans cerceau sur tapis mou, arrêt sur step, arrêt sur step posé sur tapis mou, passage sur rocher d'équilibre, passage sur rocher d'équilibre sur tapis mou... A ces franchissements d'obstacles étaient couplés différentes consignes : arrêt avec fermeture des yeux, focalisation visuelle sur une image (placée à hauteur du regard) dont il faut mémoriser les détails durant le parcours, ramassages d'objets en hauteur ou en bas... Ensuite, le travail sur le physioball consistait dans un premier temps à trouver l'équilibre en étant assis tandis que le ballon était tenu. Dans ce but, il était indiqué au sujet de bien prendre appui sur ses pieds pour se tenir le plus droit possible, et ainsi d'éviter au maximum l'inclinaison du buste vers l'arrière. Au fur et à mesure, la prise était relâchée, pour permettre au sujet de tenir seul. Quand le sujet était à l'aise avec cet exercice, des situations de déséquilibres étaient créées de différentes manières :

- je faisais rouler le ballon et il devait chercher à conserver son équilibre,
- il était demandé au sujet de lui même faire rouler le physioball sous ses fesses
- il était demandé au sujet de ramasser des objets disposés tout autour de lui (sur les côtés, devant et derrière), par terre et sur des plots, et de les lancer dans un panier, l'incitant ainsi à se pencher et prendre davantage appui sur ses pieds.

Conscientisation du ressenti corporel

Le modèle interne de Barra et al. (2012) incluant un processus "top down", indique aussi l'importance de la conscience de l'orientation du corps dans la représentation de la verticalité, signifiant qu'en plus de l'intégration sensorielle, les processus mentaux ont un rôle dans le sens de la verticalité. Cependant, cette conscience corporelle est justement difficile, car l'avancée en âge amène des troubles cognitifs, et accentuent ceux déjà présents chez les personnes porteuses de déficience intellectuelle. De fait, j'ai cherché à prioriser des exercices faisant travailler la conscience somesthésique de manière implicite.

Mise en place

Au début des premières séances, je positionnais la personne dans une certaine posture assise les yeux fermés, et l'invitait à retrouver cette même posture, l'obligeant donc à se focaliser sur ses ressentis corporels. Mais la conscientisation des ressentis tactiles et proprioceptifs était finalement surtout travaillée de manière transversale, durant les différents exercices explicités avant, dans lesquels la personne prenait conscience de la sensibilité et de la mobilité de ses différents segments corporels, comme pendant:

- les stimulations podotactiles,
- la relaxation par mobilisation passive des différents segments du corps,

s'aider de ses bras car la projection de ses épaules au delà de ses genoux était insuffisante.

Verticalité subjective

Pour les tests sur la verticalité, "0" représente la verticale gravitaire, le "-" signifie que la baguette est plus proche de la personne que le "0", et le "+" signifie qu'elle est plus éloignée. Les différentes positions de départ ont été présentées de manière aléatoire.

VHS : Position de départ	30°	25°	20°	15°	10°	Moyenne
Positives	15°	15°	8°	16°	7°	10,1°
Négatives	5°	5°	10°	10°	10°	
VVS : Position de départ	30°	25°	20°	15°	10°	
Positives	-2°	-5°	2°	-10°	-2°	-0,2°
Négatives	10°	0°	-2°	2°	5°	

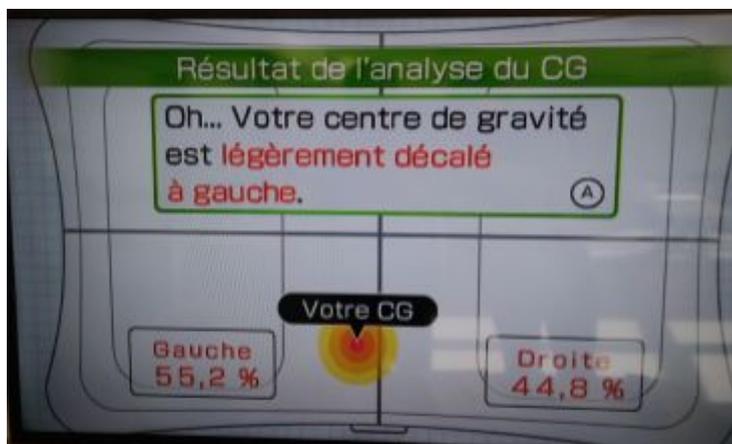
D'après ces résultats, la VHS de madame B. serait déviée de manière importante vers l'avant, et sa VVS serait légèrement orientée vers l'arrière. Cependant, les écarts par rapport à la verticale gravitaire étant ici très importants, on ne peut pas vraiment se fier à la moyenne, mais surtout constater l'importante hétérogénéité des résultats, et le fait que dans les cas de la VHS, ils soient tous orientés vers l'avant, tandis qu'ils sont plus répartis autour de la verticale gravitaire dans le cas de la VVS. Finalement, je retiendrai de ces résultats qu'ils indiquent une verticale subjective éloignée de la verticale gravitaire, et très imprécise.

Questionnaire orientation

Madame B. a répondu oui pour les vertiges, en précisant qu'elle en avait avant de tomber, et oui à la sensation d'instabilité pendant les transferts, mais non pour le positionnement de son tronc dans l'espace, les sensations différentes yeux ouverts et fermés, et les pertes d'équilibre.

D'après ces résultats concernant la verticalité subjective et la rétroimpulsion, même sans données objectives permettant de quantifier la VPS, on peut émettre l'hypothèse qu'elle soit effectivement faussée dans le cas de madame B.

Projection du CG dans le PDS



On constate avec cette image que madame B. prend plus appui sur sa jambe gauche que sur sa jambe droite, ce qui induit un décalage de 5,2% du CG vers la gauche, soit 5% de plus comparativement au résultat témoin.

Tinetti

Madame B. obtient un score de 20 / 32, et non pas sur 35 car l'item consistant à effectuer des poussées sternales n'a pas pu être administré à cause de ses douleurs liées au port du corset. L'équilibre statique obtient ainsi un score de 14/20 et l'équilibre dynamique de 6/9. Pour l'équilibre statique, les items posant le plus de difficultés (ayant obtenu 0) sont l'équilibre debout pieds joints yeux ouverts et yeux fermés, l'équilibre après avoir tourné la tête dans tous les sens, et l'équilibre au moment de s'asseoir. Pour l'équilibre dynamique, il s'agit de la capacité à marcher en ligne droite, la stabilité du tronc et l'espacement des pieds lors de la marche. Avec ces résultats, madame B. est identifiée comme "à risque de chute"

Station unipodale

Elle est tenue une seconde sans aide, avec des signes d'anxiété et de crispation nettement identifiables au niveau du visage, ce qui la situe à -3,4 DS. Mais en se tenant à une table avec les deux mains, elle peut être maintenue plus de 5 secondes, et stable.

TUG

Il est effectué en 16 secondes, ce qui indique que madame B. est à risque de chutes.

Dans les résultats des deux échelles suivantes, les chiffres entre parenthèses correspondent au score obtenu pour l'item concerné.

FES

Avec cette échelle, madame B. indique une anxiété très importante (9) lors des transferts (se relever et s'asseoir sur une chaise), importante au moment de la douche (7) même si un accompagnement durant ce temps la rassure beaucoup (3), et elle n'est pas rassurée non plus quand elle se promène seule dehors (5).

Ballants

L'épreuve des ballants ne révèle pas d'écart significatif entre la position allongée et debout (1). Lors de l'évaluation du ballant en posture pieds joints, qui est effectuée alors que madame B. est maintenue, une légère augmentation de la tonicité se fait ressentir (2), et dans les mêmes conditions pieds en tandem, l'augmentation devient importante (3). Le test n'a pas pu être effectué en position unipodale.

Finalement, madame B. présente une posture en rétropulsion, qui ne l'empêche pas de déambuler, mais occasionne fréquemment des chutes, ce que les différents résultats obtenus reflètent. L'appréhension éprouvée lors de situations de déséquilibres semblent ici bien justifiée, mais majore le risque de chutes déjà présent. De plus, madame B. a une représentation de la verticale qui semble très aléatoire, ce qui rend davantage difficile le positionnement de son tronc dans l'espace, même si elle indique ne pas ressentir de difficultés à ce niveau.

Séance type

Madame B. venait très volontier en séance, c'est un lieu où elle se confiait facilement, ce qui permettait de l'amener à expérimenter beaucoup d'exercices, même ceux qui lui semblaient difficiles au départ et suscitaient de l'appréhension. Mon objectif principal avec elle, qui porte des lunettes suffisantes à la correction de ses problèmes de vue, a été de défocaliser son attention des repères visuels, auxquels les sujets âgés accordent une importance excessive, pour la tourner davantage vers les informations somesthésiques. De plus, le port de son corset la dérangeant, j'ai pensé que l'aider à porter attention différemment à ces sensations pouvaient rendre ce dispositif moins désagréable au quotidien.

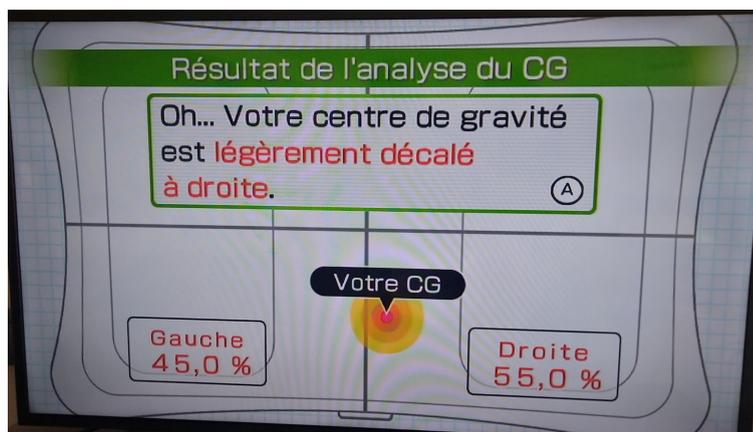
Pour débiter les séances, je proposais à madame B. des stimulations podotactiles systématiquement, car le port du corset l'empêchait de se relâcher et ne la rendait pas disponible pour la relaxation. Ensuite, on expérimentait différents parcours, avec notamment l'idée de maintenir le regard haut et fixe, "en face de soi", focalisé sur une image haut placée, ou de me regarder alors que j'effectuais le parcours juste devant elle pour la

rassurer. J'effectuais ainsi des stimulations verbales à certains endroits du parcours, et notamment à l'arrêt sur certains obstacles, qui avaient pour but d'induire un redressement, l'aidant à terminer le parcours avec une posture plus érigée, et lui permettant également de mieux anticiper les obstacles. En effet, j'ai remarqué une différence de tenue posturale lorsqu'il lui était rappelé de se tenir droite et lorsque cela n'était pas fait, ce qui avait un impact sur la réussite du parcours. Ces stimulations verbales pouvaient aussi être accompagnées de stimulations physiques du buste et des épaules, qui semblaient l'aider à se redresser davantage. Au fur et à mesure de la séance et des répétitions du parcours, madame B. prenait confiance en elle et verbalisait son envie et sa satisfaction de réussir seule : assez rapidement, il était observé une amélioration dans sa stabilisation et sa tenue posturale au moment de franchir les obstacles. De plus, le fait de l'inciter à s'arrêter sur certains obstacles induisait un ralentissement de la marche qui lui permettait d'être plus équilibrée, ce qu'elle remarquait également, le verbalisant à plusieurs reprises. Les exercices sur le physioball étaient aussi très appréciés par madame B. qui avait confiance en ma tenue du ballon, et s'amusait, au fur et à mesure des séances, à créer des déséquilibres. Elle était aussi capable de discuter lorsque je créais moi même les déséquilibres, tout en prenant en compte mes demandes physiques ou verbales d'ajustements posturaux. Lors des dernières séances, nous avons pu effectuer le parcours moteur pieds nus, ce que madame B. a trouvé réjouissant et a réclamé par la suite, verbalisant qu'elle se sentait plus à l'aise ainsi. Les deux dernières séances ont été effectuées avec madame P., ce qui a beaucoup motivé madame B., sensible au regard de son amie, qu'elle montrait beaucoup d'enthousiasme à encourager.

Finalement, avec l'évolution des séances, j'ai pu observé que madame B. était plus à l'aise et répondait plus rapidement aux demandes de redressement du tronc qui lui était faite et qui semblait l'aider à trouver un meilleur équilibre lors des parcours moteurs, tant durant la séance, qu'au fur et à mesure de celles ci. Elle a été très réceptive aux exercices proposés, et a semblé facilité dans ses déplacements, quand, pieds nus, elle a dû porter plus d'attention à ses sensations podotactiles.

désormais positive, même si l'écart à la verticale gravitaire est plus important que lors de l'évaluation initiale.

Projection du CG dans le PDS



On constate sur cette image que madame B. prend désormais plus appui sur sa jambe droite que sur sa jambe gauche, mais que cette différence de répartition entre les deux jambes, qui s'est inversée, s'est réduite de 0,2%.

Tinetti

Madame B. obtient un score de 29 / 32, l'item des poussées sternales n'ayant pas été effectuée pour les mêmes raisons que lors de l'évaluation initiale. L'équilibre statique obtient ainsi un score de 22/24 et l'équilibre dynamique de 7/9. Pour l'équilibre statique, les items posant le plus de difficultés lors de l'évaluation initiale se sont tous améliorés : l'équilibre debout les pieds joints, yeux ouverts comme yeux fermés étaient fermes et stables, l'équilibre après avoir tourné la tête dans tous les sens était stable également, et l'équilibre au moment de s'asseoir s'était amélioré même si l'aide des bras était nécessaire. Pour l'équilibre dynamique, la stabilité du tronc s'est améliorée. De fait, la réévaluation de ce test indique une nette amélioration de l'équilibre de madame B., qui ne serait plus à risque de chutes d'après ces résultats.

TUG

Il est effectué en 15 secondes, soit 1 seconde de moins que lors de l'évaluation initiale, ce qui indique toujours madame B. comme étant à risque de chutes.

Finalement, la prise en charge effectuée avec madame B. semble l'avoir aidée à améliorer sa stabilité posturale, et semble lui avoir permis, si ce n'est d'avoir une posture constamment plus droite au quotidien, de savoir y porter plus facilement attention. Cependant, il est important de prendre en compte dans ces résultats finaux, l'influence du port du corset dans le redressement postural observé chez la patiente.

ouverts, et pour les passages assis-debout et debout-assis, où elle s'aide ou non de ses bras selon les moments.

Verticalité subjective

VHS : Position de départ	30°	25°	20°	15°	10°	Moyenne
Positives	5°	0°	-2°	5°	2°	-0,7°
Négatives	-10°	-5°	0°	-5°	3°	
VVS : Position de départ	30°	25°	20°	15°	10°	
Positives	-3°	-5°	-5°	-3°	-10°	-6,4°
Négatives	-9°	-8°	-6°	-10°	-5°	

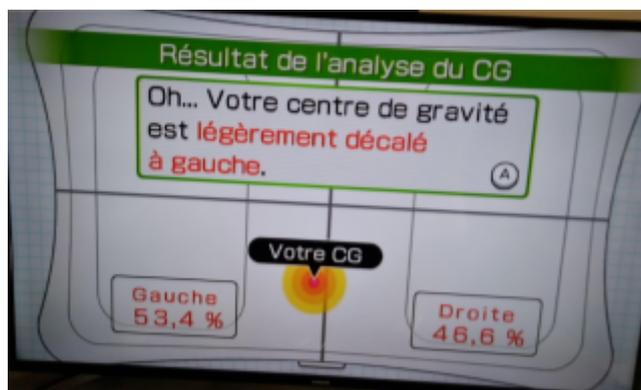
D'après ces résultats, la VVS de madame P. serait déviée de manière assez importante vers l'arrière, et sa VHS le serait légèrement. De plus, ils sont hétérogènes mais restent pour la majorité négatifs, soit, orientés vers l'arrière, et notamment pour la VVS, très certainement influencée par les déficiences du système visuel de madame P.

Questionnaire orientation

Madame P. a répondu oui pour les sensations de vertiges, les pertes d'équilibre et l'instabilité pendant transferts, et non pour le positionnement de son tronc dans l'espace et les sensations différentes yeux ouverts et fermés.

Les résultats concernant la VVS et la VHS semblent indiquer une déviation de la verticalité subjective vers l'arrière chez madame P., qui peut ainsi être extrapolée à la VPS, aussi grâce au questionnaire dans lequel elle a indiqué sentir son tronc droit dans l'espace, ce qui n'est en réalité pas le cas, comme l'indique l'évaluation de la rétropulsion.

Projection du CG dans le PDS



On constate sur cette image que madame P. prend plus appui sur sa jambe gauche que sur sa jambe droite, ce qui induit un décalage de 3,4% du CG

vers la gauche, soit 3,2% de plus comparativement au résultat témoin.

Tinetti

Madame P. obtient un score de 32/35. L'équilibre statique obtient ainsi un score de 24/26 et l'équilibre dynamique de 8/9. Pour l'équilibre statique, les items posant un peu plus de difficultés¹⁰ sont le maintien d'équilibre après avoir tourné la tête dans tous les sens et l'équilibre unipodal. Pour l'équilibre dynamique, il s'agit de la stabilité du tronc. Avec ces résultats, madame P. n'est pas identifiée comme "à risque de chute".

Station unipodale

Elle est impossible sans être tenue, madame P. ne se sent pas du tout capable de le faire. En se tenant à une table avec les deux mains, elle peut cependant être maintenue plus de 5 secondes et stable.

TUG

Il est effectué en 11 secondes, ce qui indique que madame P. est à la limite d'être à risque de chutes, mais n'est pas considéré comme tel avec ce résultat.

Dans les résultats des deux échelles suivantes, les chiffres entre parenthèses correspondent au score obtenu pour l'item concerné.

FES

Madame P. indique une anxiété très importante (9) pour aller répondre à la porte, qui est également importante pour se servir dans les placards (7), et elle n'est pas très rassurée non plus pour s'asseoir ou se lever d'une chaise (3) ou aller aux toilettes (2).

Ballants

L'épreuve des ballants ne révèle pas d'écart significatif entre la position allongée, debout et debout pieds joints (1). Cependant, lors de l'épreuve avec les pieds en tandem, une légère augmentation de la tonicité se fait ressentir (2), et le test n'a pas été effectué en position unipodale.

Finalement, les résultats de ces évaluations indiquent une verticalité orientée vers l'arrière, mais une forte appréhension lors de la passation a surtout été observée, en décalage

¹⁰ les items traitant de l'aide des bras ont été cotés à "2" car celle-ci n'a pas été nécessaire à la patiente pendant la passation, mais il lui arrive cependant d'y avoir recours

important avec les scores indiquant une performance loin d'être médiocre, même si on sait que madame P. a déjà chuté par le passé.

Séance type

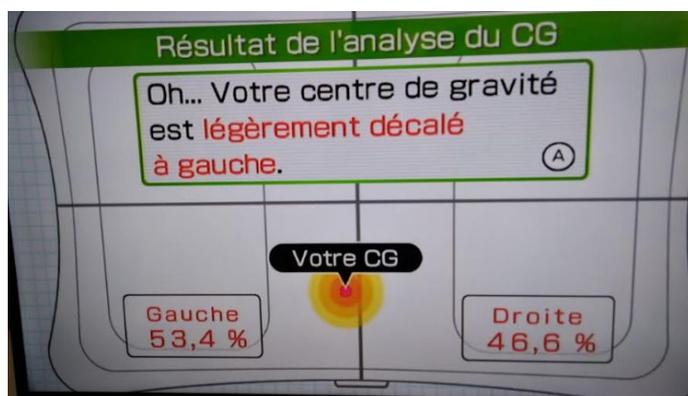
La vision de madame P. étant fortement impactée et n'étant pas un repère fiable pour elle, j'ai pensé que le déclin somesthésique accompagnant l'avancée en âge, serait d'autant plus préjudiciable à sa posture. De fait, le ralentir en stimulant ce système m'a semblé être bénéfique dans un but de stabilisation et de redressement postural. Ainsi, avec madame P., l'objectif des séances était donc de développer, ou au moins de maintenir, la sensibilité et l'attention portée au système somesthésique, sur lequel elle semblait déjà s'appuyer, afin de pallier le manque d'apports d'informations fiables du système visuel.

Au début des premières séances, je lui proposais des temps de massages et de stimulations podotactiles qu'elle appréciait beaucoup, et investissait vraiment. De fait, rapidement, nous sommes passées sur des temps de relaxation plus complets, couplant des massages de pieds avec des mobilisations passives du reste du corps. Le relâchement, systématiquement difficile au début, finissait par s'améliorer, même s'il n'était pas complet, et bien plus difficiles pour les jambes. La fin de cette phase de relaxation au sol était aussi l'occasion pour madame P. de répéter les différentes phases de relevé de sol qu'elle connaissait bien, même si cela lui demandait un effort physique important. Ensuite, on enchaînait sur un parcours moteurs : le premier passage était toujours difficile car elle appréhendait beaucoup. En effet, madame P. avait besoin du soutien de ma main pour le franchissement de certains obstacles, mais au fur et à mesure des passages, elle se tenait beaucoup moins, et ne demandait plus mon aide systématiquement pour les obstacles qui la rendait pourtant anxieuse lors du premier passage. Dans ces parcours, comme avec madame B., j'insistais à certains moments sur le fait de bien se redresser, de s'arrêter sur certains obstacles pour ressentir les sensations au niveau des appuis au sol et dans le buste quand il est droit. Au fur et à mesure des répétitions du parcours, quand je la sentais à l'aise, je lui demandais de lever la tête et de regarder le plafond lors des arrêts, ce qui la déséquilibrait un peu au début, mais qu'elle parvenait mieux à faire par la suite. J'effectuais aussi régulièrement des pressions sur le haut du corps de madame P., ce qu'elle appréciait et qui l'aidait à se redresser davantage. En effet, elle se prêtait volontier à ces exercices, aimant s'arrêter et prendre le temps de ressentir son corps. Souvent, elle regardait loin devant elle, ponctuant ce moment par une grande expiration l'aidant à relâcher l'anxiété procurée par le parcours. Ces moments d'arrêts étaient ainsi, pour elle, également des temps où elle se rassurait pour

repartir plus confiante. Cependant, une fois qu'elle se remettait à marcher, elle retrouvait sa posture inclinée vers l'avant, et même si avec l'avancée en séance elle parvenait à conserver une posture érigée un peu plus longtemps, elle finissait assez rapidement par pencher de nouveau son tronc. Ensuite, quand nous avions le temps, nous faisons quelques exercices avec le physioball, ce que madame P. appréciait et pouvait demander, même si elle avait systématiquement besoin d'un temps d'adaptation car elle n'était pas rassurée au moment de trouver l'équilibre sur le ballon. Ensuite, elle faisait beaucoup d'efforts pour réaliser les exercices proposés qui pouvaient être difficiles du fait de ses séquelles motrices, mais qu'elle tenait, et parvenait, à réussir. De plus, à force de se redresser pour ramasser les objets, madame P. retrouvait plus rapidement l'équilibre sur le physioball, et je n'avais plus besoin de maintenir le ballon constamment.

Lors des dernières séances, avec madame B., madame P. a aussi expérimenté le parcours pieds nus, ce qui s'est avéré difficile pour elle. Elle semblait très impressionnée et des signes évidents d'appréhension étaient présents. Bien qu'elle se soit prêtée à cette expérience sur les encouragements enjoués de son amie, et que le parcours aie été abordé de manière très progressive, en isolant au départ chaque obstacle, madame P. a verbalisé son soulagement au moment de refaire le parcours avec ses chaussures. Effectivement, même si j'ai observé une différence dans la réalisation du premier et du dernier passage du parcours pieds nus, une différence plus nette était observable au moment d'effectuer le parcours avec ses chaussures orthopédiques, après l'avoir réalisé pieds nus. En effet, après avoir retrouvé ses chaussures, elle n'avait plus besoin de me tenir pour les obstacles où elle se sentait déséquilibrée, mais juste de me toucher la main, comme pour se rassurer. Finalement, il semble évident que l'appréhension joue un rôle important dans l'expérimentation chez madame P., et de fait, réitérer cette expérience de manière plus progressive et plus fréquente pourrait lui être bénéfique.

Projection du CG dans le PDS



On constate sur cette image que madame P. prend plus appui sur sa jambe gauche que sur sa jambe droite, de manière similaire à l'évaluation initiale.

Tinetti

Madame P. obtient un score identique à celui de l'évaluation initiale : 32/35. L'équilibre statique obtient toujours 24/26, avec les mêmes observations, sauf pour l'équilibre unipodal, dans lequel on sent une confiance légèrement plus importante, puisqu'il est tenté sans l'aide des membres supérieurs à plusieurs reprises. L'équilibre dynamique est toujours également à 8/9, avec les mêmes difficultés de stabilité du tronc retrouvées.

TUG

Il est effectué en 12 secondes, soit 1 seconde de plus que lors de l'évaluation initiale, ce qui indique madame P. comme étant à risque de chutes.

Finalement, les résultats de madame P. n'indiquent pas de changements flagrants, si ce n'est dans l'évaluation de la VHS qui semble s'être orientée vers l'avant, sans conséquences, ou peu, sur la stabilité posturale en général. De fait, les exercices réalisés avec elle auront au moins servis à maintenir ses capacités d'équilibre.

DISCUSSION

La verticale subjective : un biais de la verticalité inclinée

L'évaluation de la verticale subjective, sans le matériel adéquat, n'a pas été évidente. Après avoir été testé sur un petit échantillon de personnes témoins, le dispositif que j'ai conçu m'a cependant semblé être utilisable pour obtenir des données exploitables. Néanmoins, la précision des résultats sont à considérer avec précaution. En effet, à ma connaissance, le protocole dont je me suis inspirée pour cette évaluation n'a pas été testé chez des personnes atteintes de déficience intellectuelle, ce qui a pu impacter les résultats. De plus, mes résultats semblent, en partie, s'opposer à l'hypothèse de Manckoundia et al. (2007b), indiquant qu'une verticale inclinée vers l'arrière entraîne une rétropulsion : ici, la patiente présentant cliniquement une rétropulsion plus importante, a obtenu une verticale subjective fortement orientée vers l'avant. Néanmoins, la confrontation des résultats obtenus lors des évaluations initiales et finales, et ceci pour les deux patientes, semble indiquer une amélioration de la perception de la verticalité, ce qui va dans le sens des observations cliniques que j'ai pu faire au fur et à mesure des séances. Ces résultats m'ont également amené à m'interroger sur la différenciation de circuits neuronaux sous tendants respectivement la perception de trois verticales distinctes, puisqu'ici, travailler sur le sens somesthésique, et donc plus particulièrement la représentation de la verticalité posturale, semble avoir permis une amélioration de la verticale subjective haptique, mais a également modifié la verticale visuelle subjective dans le cas de madame B. Cependant, les résultats de cette patiente semble plus aléatoire que ceux de madame P., pour qui la VVS est restée quasiment identique. Ceci indiquerait finalement, comme on pouvait le supposer avec les apports théoriques, une influence du sens somesthésique dans la représentation des différentes perceptions de la verticale, tout de même moins importante pour la VVS que pour la VHS. Concernant la VHS, la littérature actuelle ne m'a pas permis d'obtenir de données rigoureuses à ce sujet, et donc de l'exploiter autant que la VVS et la VPS. Finalement, pour préciser mes résultats et déterminer une évolution de la verticale subjective plus rigoureuse chez ces deux patientes, une évaluation de la VPS aurait évidemment été nécessaire.

La rétropulsion : une évaluation subjective

L'évaluation de la rétropulsion étant uniquement qualitative actuellement, je me suis servie de l'échelle conçue par Manckoundia et al. (2007a) qui m'a permis de la préciser. Cependant, n'ayant pas encore été validée, la fiabilité de mes résultats reste fragile, d'autant plus que, durant la phase de réévaluation, j'ai senti que cette échelle restait subjective, et

que la prise vidéo m'aurait aidée à être plus précise. Au départ, je pensais utiliser le Test Moteur Minimum (TMM, annexe 21) évaluant l'équilibre et les répercussions de la rétroimpulsion chez le sujet âgé, mais il s'adresse plutôt à une population pour laquelle la réalisation du test de Tinetti est impossible, soit à un public présentant des troubles de l'équilibre graves associés à une rétroimpulsion importante, ce qui n'était pas le cas des personnes que j'ai rencontrées.

La chute : nécessité de données longitudinales

Le but de cette prise en charge, en cherchant à réajuster la verticalité subjective de ces patientes âgées, était finalement de réduire le risque de chutes auquel elles étaient sujettes. De fait, il aurait été intéressant de relever le nombre de ces chutes, avant, pendant, et après la prise en charge, pour en déterminer un éventuel impact sur ce phénomène. Cependant, la prise en charge n'ayant duré que trois mois et ayant été effectuée moins d'une fois par semaine, j'ai pensé qu'un temps de rééducation plus étendu serait nécessaire à l'obtention de données exploitables concernant les chutes, qui, bien que présentes chez ces patients, n'étaient pas non plus récurrentes.

Le Tinetti : interrogations et limites

Par ailleurs, les résultats que j'ai obtenus lors des passations du test de Tinetti m'ont invités à m'interroger, puisque madame P., qui est sujette aux chutes, a obtenu un très bon score, qui l'exclut de la catégorie des chuteurs. Et, en effet, Pérennou et al. (2005) indique que très peu d'études ont retrouvé une valeur prédictive du test de Tinetti pour le risque de chute, et malgré qu'il évalue avec une grande précision les anomalies de l'équilibre et de la marche du sujet âgé, son score indiquant le sujet comme étant à risque de chutes semble être à prendre avec précaution. De plus, les résultats obtenus lors de mon évaluation initiale et mon évaluation finale pour madame B. présentent un écart très important. Mais, l'importance de cet écart témoigne ici, je crois, non seulement de l'influence du port d'un dispositif particulier par la patiente sur la durée de la prise en charge, mais aussi de l'état émotionnel de celle-ci lors de la passation du test. En effet, madame B. était plutôt fragile lors de la première passation (port du corset depuis peu et séjour à l'hôpital prévu), et était bien plus en forme lors de la réévaluation, ce qui a très certainement influencé ses résultats.

La wii board : fluctuation et précision

Les résultats obtenus lors de l'évaluation et la réévaluation pour madame B. sont assez étonnants : le poids étant plus important de manière non négligeable sur une jambe au

départ, puis sur l'autre à la fin. Cependant, il peut simplement témoigner d'un équilibre réellement très aléatoire chez madame B., puisque les résultats de madame P., indiquent au contraire un équilibre parfaitement identiques lors des deux passations. De plus, ce dispositif avait été testé sur différents témoins dont les résultats étaient semblables au résultat témoin joint à cet écrit. De fait, il aurait été intéressant de réaliser cette évaluation à plusieurs reprises chez les deux patientes, et notamment chez madame B., afin d'en observer l'évolution, et préciser ces résultats.

CONCLUSION

L'étude de la perception de la verticalité par l'Homme semble présenter un intérêt relativement récent. De fait, les constatations des différents auteurs sont encore à l'état de découvertes, ce qui amène des données assez hétéroclites sur le sujet, notamment sur les mécanismes sous tendant le sens de la verticalité : représentations neurales, influences externes et internes... Ici, j'ai donc eu des difficultés à mettre en corrélation les différentes idées disponibles à ce sujet, mais j'ai trouvé très intéressant de les réunir et les confronter. Ensuite, évaluer la verticalité subjective et ses conséquences sur la posture, a été également compliqué, mais cela m'a permis de prendre conscience de la nécessité de la rigueur à avoir lors des phases d'évaluations, et de l'importance de la précision des tests.

Dans le cadre de cette prise en charge, j'ai constaté l'intérêt d'insister sur les phases d'arrêts pendant les parcours moteurs, remarquant que demander au patient de s'arrêter pour se redresser et trouver une stabilité, lui permettait de ralentir sur la suite du parcours. Or, la lenteur a comme conséquence de baisser le seuil de sensibilité lié au mouvement, permettant d'en augmenter sa représentation, et ainsi, de stimuler la conscience corporelle. Dans ce sens, je pense que la pratique adaptée d'arts martiaux comme le taï chi ou le qi-gong, favorisant le mouvement lent et l'attention portée aux afférences proprioceptives et tactiles, pourrait être bénéfique à la posture du sujet âgé présentant un sens de la verticalité erroné. En outre, pour réajuster la verticale subjective par le biais somesthésique, le travail avec un tapis roulant semble être un moyen tout à fait adapté pour potentialiser la prise en charge. En effet, Leroy-Malherbe (2018) indique que la réalisation d'exercices debout sur un tapis roulant active les récepteurs plantaires, ce qui contribue au redressement postural, et Faletto et al. (2017) soulignent ces propos en disant que : "marcher sur un tapis roulant soutenu par un câble vertical est un moyen de recalibrer une verticale en biais. Cette modulation du modèle interne de verticalité est probablement due en partie à une repondération de l'entrée des informations somesthésiques, et à une direction implicite de la verticale de la Terre donnée par le câble qui supporte le corps."

Finalement, les résultats obtenus semblent indiquer une amélioration de la verticale subjective grâce aux stimulations du système somatosensoriel dans le cadre d'une prise en charge psychomotrice, ce qui, dans le cas de madame B., semble également avoir eu un impact sur la stabilité posturale, même si différents facteurs extérieurs ont certainement influencés positivement la posture et l'équilibre de la patiente.

BIBLIOGRAPHIE

- Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G., & Peysar, G. W. (2000). Postural control is scaled to level of postural threat. *Gait & posture*, 12(2), 87-93.
- Albaret, J. M., & Aubert, E. (2001). *Vieillesse et psychomotricité*. Groupe de Boeck.
- American Psychiatric Association. (2013). DSM-5 ®: *manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*. Elsevier Masson.
- Anastasopoulos, D., Haslwanter, T., Bronstein, A., Fetter, M., & Dichgans, J. (1997). Dissociation between the perception of body verticality and the visual vertical in acute peripheral vestibular disorder in humans. *Neuroscience letters*, 233(2-3), 151-153.
- Barbieri, G., Gissot, A. S., Fouque, F., Casillas, J. M., Pozzo, T., & Pérennou, D. (2008). Does proprioception contribute to the sense of verticality?. *Experimental brain research*, 185(4), 545-552.
- Barbieri, G., Gissot, A. S., & Pérennou, D. (2010). Ageing of the postural vertical. *Âge*, 32(1), 51-60
- Barra, J., Marquer, A., Joassin, R., Reymond, C., Metge, L., Chauvineau, V., & Pérennou, D. (2010). Humans use internal models to construct and update a sense of verticality. *Brain*, 133(12), 3552-3563.
- Barra, J., Pérennou, D., Thilo, K. V., Gresty, M. A., & Bronstein, A. M. (2012). The awareness of body orientation modulates the perception of visual vertical. *Neuropsychologia*, 50(10), 2492-2498.
- Barra, J., & Pérennou, D. (2013). Le sens de verticalité est-il vestibulaire?. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 43(3), 197-204.
- Barraud, C. (2003). *Contribution générale à l'étude de la formation réticulée (Formatio reticularis)* (Doctoral dissertation, Toulouse).
- Bioulac, B., Burbaud, P., Cazalets, J. R., & Gross, C. (2004). Fonctions motrices. *EMC-Neurologie*, 1(3), 277-329.
- Bisdorff, A. R., Wolsley, C. J., Anastasopoulos, D., Bronstein, A. M., & Gresty, M. A. (1996). The perception of body verticality (subjective postural vertical) in peripheral and central vestibular disorders. *Brain*, 119(5), 1523-1534.

- Bonan, I., Dampousse, M., Leblong, E., & Rauscent, H. (2012). Intérêts et limites des mesures de verticalité subjective pour l'évaluation des troubles de l'équilibre. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 28(3), 145-152.
- Bringoux, L., Nougier, V., Marin, L., Barraud, P. A., & Raphel, C. (2003). Contribution of somesthetic information to the perception of body orientation in the pitch dimension. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 56(5), 909-923.
- Bronstein, A. M. (1999). The interaction of otolith and proprioceptive information in the perception of verticality: the effects of labyrinthine and CNS disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 871(1), 324-333.
- Bussy, G., & des Portes, V. (2008). Définition du retard mental, épidémiologie, évaluation clinique. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*, 11(4), 196-201.
- Camus, A., Mourey, F., D'Athis, P., Blanchon, M. A., Martin-Hunyadi, C., De Rekeneire, N., ... & Pfitzenmeyer, P. (2002). Test moteur minimum. *La Revue de gériatrie*, 27(8), 645-658.
- Coquisart, L. (2016). G2—Le vieillissement postural et ses conséquences. *Kinésithérapie, la Revue*, 16(170), 42-43.
- Côte-Rey, C., Pinsault, N., & Richaud, C. (2012). La rétropulsion des personnes âgées est-elle un facteur prédictif de chute?. *Kinésithérapie, la Revue*, 12(126), 48-53.
- Cox, C. R., Clemson, L., Stancliffe, R. J., Durvasula, S., & Sherrington, C. (2010). Incidence of and risk factors for falls among adults with an intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(12), 1045-1057.
- Davis, J. R., Campbell, A. D., Adkin, A. L., & Carpenter, M. G. (2009). The relationship between fear of falling and human postural control. *Gait & posture*, 29(2), 275-279.
- De La Santé, O. M. (1993). CIM 10-Classification Internationale des troubles Mentaux et des troubles du comportement : descriptions cliniques et directives pour le diagnostic
- Gentaz, É. (2005). *Percevoir l'espace avec la main: rôle des spécificités du système haptique manuel dans la perception de l'espace*.
- Faletto, D., Odin, A., Assaban, F., & Perennou, D. (2017). Internal model of verticality: Neuromodulation through body-weight support in a tilted virtual environment. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 60, e91-e92.
- Gabbai, P. (2004). Longévité et avance en âge des personnes handicapées mentales et physiques. *Gérontologie et société*, (110), 47-73.

Gaudet, M., Tavernier, B., Mourey, F., Tavernier, C., Richard, D., & Marot, J. P. (1986). Le syndrome de régression psycho-motrice du vieillard. *Médecine et hygiène*, 44(1656), 1332-1336.

Gasq D. (2016). *Physiologie et physiopathologie du maintien postural*, cours magistral 1ère année. Université toulouse III Paul Sabatier

Guitard, S., Basse, I., & Albaret, J. M. (2005). Evaluation de l'efficacité d'un protocole de rééducation de l'équilibre. *Entretiens de Psychomotricité*, 75-86.

Horak, F. B., Shupert, C. L., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiology of aging*, 10(6), 727-738.

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. *Age and ageing*, 35(suppl_2), ii7-ii11.

Hu, M. H., & Woollacott, M. H. (1994). Multisensory training of standing balance in older adults: I. Postural stability and one-leg stance balance. *Journal of gerontology*, 49(2), M52-M61.

Huffman, J. L., Horslen, B. C., Carpenter, M. G., & Adkin, A. L. (2009). Does increased postural threat lead to more conscious control of posture?. *Gait & posture*, 30(4), 528-532.

Innocent-Mutel, D., & Martin, É. (2018). L'évaluation de l'équilibre et de la marche. dans De Boeck supérieur (dir.) *Manuel d'enseignement en psychomotricité : Tome 5-Examen psychomoteur et tests*, 261. Groupe De Boeck.

Janin, M. (2009). *Sensibilité et motricité podales: leur influence sur le contrôle des activités posturo-cinétiques de sujets sains et pathologiques* (Doctoral dissertation, Université de Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse).

Jeandel, C. (2005). Les différents parcours du vieillissement. *Les Tribunes de la santé*, no 7(2), 25-35.

Jeka, J., Oie, K. S., & Kiemel, T. (2000). Multisensory information for human postural control: integrating touch and vision. *Experimental Brain Research*, 134(1), 107-125.

Joassin, R., Bonniaud, V., Barra, J., Marquer, A., & Perennou, D. (2010). Perception somesthésique de la verticale chez le blessé médullaire: étude clinique. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 53(9), 568-574.

Kasahara, S., Saito, H., Anjiki, T., & Osanai, H. (2015). The effect of aging on vertical postural control during the forward and backward shift of the center of pressure. *Gait & posture*, 42(4), 448-454.

Kavounoudias, A., Gilhodes, J. C., Roll, R., & Roll, J. P. (1999). From balance regulation to body orientation: two goals for muscle proprioceptive information processing?. *Experimental Brain Research*, 124(1), 80-88.

Ke X, Liu J. (2012) Intellectual disability. In Rey JM (ed), *IACAPAP e-Textbook of Child and Adolescent Mental Health*. (édition en français; Cohen D, ed.)

Leroy-Malherbe, V. (2018). Posture, équilibre et mouvement: rôle de la proprioception dans la verticalité. *Motricité Cérébrale*, 39(1), 4-12.

Lord, S. R., Clark, R. D., & Webster, I. W. (1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *Journal of gerontology*, 46(3), M69-M76.

Manchester, D., Woollacott, M., Zederbauer-Hylton, N., & Marin, O. (1989). Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *Journal of gerontology*, 44(4), M118-M127

Manckoundia, P., Mourey, F., Pérennou, D., & Pfitzenmeyer, P. (2008). Backward disequilibrium in elderly subjects. *Clinical interventions in aging*, 3(4), 667.

Manckoundia, P., Mourey, F., Pfitzenmeyer, P., Van Hoecke, J., & Pérennou, D. (2007b). Is backward disequilibrium in the elderly caused by an abnormal perception of verticality? A pilot study. *Clinical neurophysiology*, 118(4), 786-793.

Manckoundia, P., Pérennou, D., Pfitzenmeyer, P., & Mourey, F. (2007a). Backward disequilibrium in the elderly: review of symptoms and proposition of a tool for quantitative assessment. *La Revue de médecine interne*, 28(4), 242-249.

Murphy, J., & Isaacs, B. (1982). The post-fall syndrome. *Gerontology*, 28(4), 265-270.

Mireault, A. C. (2003). *Contribution de l'information tactile à la stabilité posturale chez la population âgée* (Doctoral dissertation, University of Ottawa, Canada).

Oie, K. S., Kiemel, T., & Jeka, J. J. (2002). Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cognitive Brain Research*, 14(1), 164-176.

Paillard, J. (1976). Tonus, postures et mouvements. *Physiologie*, 2, 521-728.

Pérennou, D. (2012). Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*, 28(3), 120-132.

Pérennou, D. A., Amblard, B., Leblond, C., & Pelissier, J. (1998). Biased postural vertical in humans with hemispheric cerebral lesions. *Neuroscience letters*, 252(2), 75-78.

Pérennou, D., Decavel, P., Manckoundia, P., Penven, Y., Mourey, F., Launay, F., ... & Casillas, J. M. (2005). Évaluation de l'équilibre en pathologie neurologique et gériatrique. Evaluation of balance in neurologic and geriatric disorders. In *Annales de réadaptation et de médecine physique* (Vol. 48, pp. 317-335).

Personne, M. (2013). *Protéger et construire l'identité de la personne âgée*. Eres.

Peterka, R. J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of neurophysiology*, 88(3), 1097-1118.

Regia-Corte, T., Luyat, M., Darcheville, J. C., & Miossec, Y. (2004). La perception d'une affordance pour la posture verticale par les systèmes perceptivo-moteurs visuel et haptique. *L'Année psychologique*, 104(2), 169-201

Rogers, M. W., Wardman, D. L., Lord, S. R., & Fitzpatrick, R. C. (2001). Passive tactile sensory input improves stability during standing. *Experimental Brain Research*, 136(4), 514-522.

Teasdale, N., Stelmach, G. E., & Breunig, A. (1991). Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *Journal of Gerontology*, 46(6), B238-B244.

Thomas, M. (1997). *Rééducation de l'équilibre axée sur la sensibilité plantaire et la posture chez la personne âgée ayant chuté* (Doctoral dissertation, Université Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse).

Villeneuve P. (2010) Traitement postural et stimulations podales. Dossier : oeil, proprioception et posture, *mains libres*, 6, 261-268.

Résumé :

Cet écrit résulte d'un questionnement sur la perception de la verticalité chez les personnes vieillissantes. En effet, l'installation de postures vicieuses, comme la rétropulsion, majore le risque de chutes ayant de graves conséquences sur l'autonomie du sujet âgé. Ici, l'apport théorique de données de la littérature actuelle, a orienté l'étude de l'influence du système somatosensoriel sur la verticale subjective. Ainsi, à travers deux cas cliniques, il est illustré l'apport d'une prise en charge psychomotrice, qui, par le biais de stimulations somatosensorielles visant le réajustement d'un sens erroné de la verticalité, a pour but de redresser et stabiliser la posture.

Mots clés : perception de la verticalité, rétropulsion, chutes, système somatosensoriel, stabilisation posturale, sujet âgé

Summary :

This writing results from a questioning on the perception of verticality in aging people. Indeed, the installation of vicious postures, such as backward disequilibrium, increases the risk of falls with serious consequences on autonomy of the elderly subject. Here, the theoretical contribution of the current literature's informations, directed the study of the somatosensory system's influence on the subjective vertical. Thus, through two clinical cases, it is illustrated the contribution of psychomotor care, which, through somatosensory stimulations aiming to readjustment of biased sense of verticality, goals to straighten and stabilize the posture.

Key words : perception of verticality, backward disequilibrium, falls, somatosensory system, elderly subject