

POSTURE, EQUILIBRE et QUALITE DE VIE

Professeur François DEMARD

L'homme-debout, fruit de cette lente évolution de l'humanité qui l'a conduit à cette position érigée d'où il peut dominer la nature, ne peut acquérir ou maintenir celle-ci que par la mise en jeu de mécanismes complexes. Ce sont eux qui vont lui permettre, à cause et en dépit de la force gravitationnelle et d'autres contraintes terrestres, de parvenir à ce qu'il est convenu d'appeler le maintien de son équilibre postural et, de là, initier et assurer la locomotion et les déplacements. Posture et mouvement, ces deux fonctions qui nécessitent une régulation fine et permanente de leur équilibre ne sont-elle pas, comme l'illustre si bien l'harmonie du chef-d'œuvre d'Alberto Giacometti « L'homme qui marche », l'essence même de notre condition d'être humain ?

Au temps où les forêts recouvraient la plus grande partie de notre planète, la branche des mammifères qui va évoluer jusqu'à nous, à savoir la famille des grands singes, les hominoïdes, sont tous quadrupèdes mais ils vont se diversifier et apprendre à se tenir et à se mouvoir le corps redressé avec le changement progressif de leur mode de vie. Toumaï au Tchad, une des toutes premières lignées humaines il y a 7 millions d'années serait déjà debout. Ce que montrent aussi, entre 4 et 3 millions d'années les ossements de Little Foot, en Afrique du Sud, et Lucy, en Ethiopie, deux femmes australopithèques, qui marchent debout mais restent toujours arboricoles, notamment pour dormir la nuit à l'abri des prédateurs. Viennent ensuite les fossiles des gorges d'Olduvai et donc, autour de 2,5 millions d'années, les premiers humains. Chez eux, progressivement, l'encéphale devient plus gros, passant de 600 cm³ à 1200 cm³, dépassant le kilogramme, soit 2 à 3 % du poids corporel total, notamment grâce au développement du cervelet et à la croissance continue des réseaux neuronaux. Le crâne osseux, de ce fait, augmente aussi son volume par élévation de la voûte crânienne et un redressement du front. Il aménage, ainsi, pour s'articuler avec la colonne vertébrale, un canal osseux où passe ce prolongement du cerveau qu'est la moelle épinière. Certaines modifications anatomiques du squelette des primates qui marchaient à quatre pattes et avaient une tête relativement petite vont être plus spécifiquement liées à la bipédie, notamment des bras plus courts articulés sur des épaules larges, une colonne vertébrale qui, de forme en C ouvert vers le bas chez la majorité des mammifères, devient proche d'un S, verticalement alignée entre le crâne et un bassin refermé. Ce pelvis rétréci, avec des hanches plus étroites liées à la position debout resserrant le canal utérin est à l'origine de difficultés d'accouchement du fait de la croissance crânienne. Si l'on ajoute, enfin, un pied robuste et à double courbure, c'est l'anatomie d'un marcheur et d'un coureur d'une endurance exceptionnelle.

Pour les 300.000 dernières années, avec Sapiens, les hommes dits modernes ou préhistoriques, sont, donc, véloces, puissants et très probablement capables, comme l'atteste des reconstitutions de course à partir de traces fossiles, de courir très probablement plus vite qu'un Usain Bolt aujourd'hui !

Pour conditionner le bon fonctionnement de ce mammifère devenu bipède qui a, en effet, perdu la stabilité et la vitesse dans le mouvement qui étaient des privilèges que lui conférait la quadrupédie, ces modifications structurelles majeures du squelette, notamment l'alignement sagittal de la colonne vertébrale qui suit au plus près possible la ligne verticale passant par le centre de gravité du corps, visent aussi un but capital pour sa survie : maintenir la tête bien droite, un regard à l'horizon et la possibilité, ainsi d'embrasser le plus large champ visuel possible.

La bipédie a aussi pour conséquence, par la verticalisation de l'articulation entre la colonne vertébrale (au niveau de l'atlas) et la base du crâne (l'occipital) qu'elle provoque, un phénomène connexe mais primordial dans ses conséquences : au niveau du cou, se produit, en effet, une migration anatomique vers le bas, d'environ 7 à 8 cm, du larynx. Ceci va créer, au-dessus du sphincter glottique, des espaces résonnants, au niveau des cavités oropharyngées qui vont alors permettre la modulation des sons produits par l'affrontement des cordes vocales : une voix humaine a, ainsi, pu apparaître il y a quelques 3 millions d'années. Dans un monde à 3 dimensions où ne plus être quadrupède oblige à une conscience du corps dans l'espace, cette fonction vocale va entraîner l'élaboration de la pensée, espace du verbe et creuset de l'imaginaire.

La stature, les pas, la voix et donc le langage, dans cette longue évolution qui accompagne la bipédie, se trouvent, ainsi, de plus en plus liés : ils vont conduire l'homme à la conquête de la Terre.

Tout commence, donc, avec *Homo erectus* et ses successeurs jusqu'à nous, posture et marche de même que langage et pensée étant la base même de notre condition humaine.

Venons-en, d'abord, à quelques aspects physiques, anatomiques et neurophysiologiques traitant, en premier lieu, de la seule posture érigée.

Les lois de la mécanique (la branche de la physique qui, précisément, étudie le mouvement et les forces qui l'initient) indiquent que l'équilibre d'un corps solide rigide est caractérisé par le fait que le moment résultant des forces appliquées, calculé au centre de gravité, est nul.

La première Loi de Newton stipule en effet, principe fondamental de la statique, qu'un corps est en équilibre si l'effet des efforts extérieurs qui s'exercent sur lui est nul.

Le corps humain debout, lui, est un ensemble d'os, d'articulations et de muscles qui peut être assimilé à un système de tiges articulées, c'est-à-dire non un solide rigide mais un

système déformable de solides. Il est constamment soumis à l'action de la pesanteur, seul facteur dont la direction n'a pas varié depuis des millions d'années.

La posture peut se définir comme étant l'agencement des segments corporels les uns par rapport aux autres, et cela, à un moment donné, par rapport à la verticale.

Quelques définitions sont utiles :

- Le Centre de gravité (CG) : c'est le point d'application de la résultante des forces de gravité. Il est situé assez haut, en avant du corps de la 3^{ième} vertèbre lombaire à, environ, 55% de la hauteur du sujet. Il possède une projection sur le sol, assimilée au centre des pressions exercées par les pieds.
- Le Centre de masse (CM) : c'est le point théorique où la masse de ce corps est uniformément répartie
- La Base de sustentation : c'est le polygone obtenu en joignant les points d'appui les plus éloignés, à savoir, chez l'homme debout, la surface de chaque pied et la zone entre les deux pieds affectant, au total, la forme d'un trapèze isocèle.

Pour le maintien de la posture debout et sous le seul effet de facteurs mécaniques, les conditions d'équilibre seront obtenues lorsque tous les centres de gravité segmentaires et les axes de rotation de ces segments corporels sont situés sur la ligne dite de gravité et que cette ligne de gravité se projette à l'intérieur du polygone de sustentation.

Chez l'homme, cette ligne de gravité passe entre les points bilatéraux suivants : l'apophyse mastoïde, l'articulation de la hanche et un point légèrement en avant de l'articulation de la cheville.

Cette posture humaine bipodale est, cependant, de nature instable et ne peut être considérée comme un système parfaitement en équilibre.

En station debout, l'être humain oscille en effet continuellement même lorsqu'il essaie de rester le plus immobile possible. Il est constitué, en effet, de tissus vivants qui vont exercer des forces internes : le cœur bat (il y a recul du cœur à chaque éjection ventriculaire), les poumons se remplissent (l'inspiration, du fait de l'abaissement du diaphragme et l'ampliation de la cage thoracique entraînent un mouvement vers l'arrière du tronc), les muscles se contractent et se décontractent... Ces forces sont d'autant plus déstabilisatrices que l'on considère la haute verticalité du corps, du vertex aux pieds, et la relative petite taille du support que ces derniers apportent au niveau de la base de sustentation.

Ces oscillations posturales sont plus importantes dans le sens antéropostérieur et varient considérablement chez le sujet normal en fonction de divers facteurs tels que la durée de la posture, la réduction de la surface de sustentation (position pieds joints dite de

Romberg) ou avec les yeux fermés. Trois stratégies compensatoires sont possibles pour lutter contre ses oscillations : la stratégie de la cheville, autour de l'articulation tibio-tarsienne, celle des hanches sous forme de flexion-extension et celle du pas rapide, tel que celui que l'on fait lorsqu'on trébuche durant la marche, qui réaligne très rapidement la projection du centre de gravité dans le polygone de sustentation.

Des forces, soit extérieures comme le vent, soit internes et volontaires comme le sont tous les gestes intentionnels engageant des segments corporels (ex : prendre un objet sur une table) ou même de simples gestes réflexes, vont aussi venir s'ajouter à cette déstabilisation. Si nous assimilons le corps à un pendule inversé, nous constatons qu'il est, sans arrêt, déséquilibré, et ce dans toutes les directions, ce qui crée des couples de rotation qui, si rien ne s'y opposait, entraîneraient inéluctablement une chute du corps au sol.

Chacun de ces facteurs déstabilisants entraîne un déplacement du poids du corps, une force passive qui s'applique au niveau du Centre de masse (CM) contrôlée en permanence par un déplacement du Centre de pression (CP), légèrement supérieur et dans la même direction. Prenons l'exemple d'un mouvement de la tête vers l'avant, le vecteur poids se porte vers l'avant. L'alignement est cassé et, pour ne pas tomber, l'individu doit déplacer son CP vers l'avant en mettant plus de pression à l'avant des pieds. De ce fait, il fait avancer le vecteur force de réaction du support, ce qui permet de retrouver une position d'équilibre entre les deux forces. Grâce à ce contrôle postural permanent particulièrement efficace, les êtres humains tiennent debout sans problème

Dans la posture de référence dite « orthostatique » (c'est schématiquement la position du repos militaire), il existe, donc, deux catégories de référentiels, l'un égocentré (le schéma corporel) et l'autre exocentré (lequel repose sur la verticale de la force gravitationnelle), l'équilibre étant la fonction qui permet de maintenir une posture stable en dépit de toutes les circonstances qui tendent à la perturber. Cette activité posturale se traduit par l'immobilisation des pièces du squelette dans des positions déterminées, solidaires les unes des autres, qui compose au corps une attitude d'ensemble : cette attitude exprime la manière dont l'organisme affronte les stimulations du monde extérieur (permanentes ou stables comme la pesanteur mais aussi imprévues, répulsives, menaçantes) et se prépare à y réagir.

Le maintien de la posture nécessite une activité musculaire de base, appelé tonus musculaire pour lutter contre la force de gravité qui tend, en permanence à nous plaquer au sol : en position debout, les hommes sont les êtres vivants qui subissent le plus ce vecteur gravitationnel puisqu'il s'exerce dans le grand axe du corps. Ce rôle revient à certains muscles striés squelettiques qui sont des muscles extenseurs que l'on qualifie d'ailleurs d'antigravitaires. Par leur activité tonique, résultante de l'excitation permanente de chacune de leurs unités motrices (l'unité motrice représente l'ensemble de fibres striées squelettiques innervé par le même motoneurone), ces muscles contribuent au maintien d'une posture choisie ainsi qu'à la consolidation de la position des différents segments articulaires. Une perturbation de l'appui ou des poussées

appliquées sur diverses parties du corps, susceptible de causer une rupture d'équilibre, vont entraîner ainsi des réponses musculaires de compensation qui ne se réduisent pas à un simple enchaînement d'activités réflexes mais dépendent d'une commande centrale parfaitement hiérarchisée.

Une telle organisation posturale relève de deux conceptions générales :

La plus ancienne, le « modèle génétique », est fondée, au début du siècle dernier, sur les travaux de Charles Scott SHERINGTON, un physiologiste anglais, Prix Nobel 1932, qui décrit les premières bases neurophysiologiques explicatives de cette régulation posturale et des mécanismes de maintien de l'équilibre lesquelles stipulent que la posture debout de référence est génétiquement prédéterminée. Cette posture fondamentale relève du tonus musculaire ainsi que de l'action d'une chaîne de réflexes prenant naissance dans divers segments corporels comme la tête, le cou et les membres.

La seconde, dite du « modèle hiérarchique » ou théorie de BERNSTEIN, plus récente, est mieux en adéquation avec des résultats expérimentaux obtenus depuis chez l'animal mais également chez l'homme. Pour celui-ci, la commande de la posture et de l'équilibre fonctionnerait à deux niveaux. :

Le premier processus, supposé être le processus de référence, est encore appelé « schéma corporel ». Il est inconscient et fait appel à des circuits nerveux précâblés spinaux et/ou sous-corticaux impliquant des boucles de régulation sur la base d'une représentation interne de l'orientation du corps dans l'espace. Ce système de référence, très stable, serait fondé sur des facteurs génétiques et sur la mémoire de l'expérience

Le second processus est le processus dit « opératoire » serait responsable des synergies motrices nécessaires pour le maintien d'une posture donnée dans le champ gravitaire ; dans le SNC, l'origine de ces synergies se trouverait au niveau bulbo-spinal, dans le néocervelet, les ganglions de la base, voire même dans le cortex frontal.

On peut considérer que, chez un individu jeune et dans des situations de la vie courante, le maintien de la posture debout est une tâche relativement simple quasi automatique qui ne requiert qu'une faible charge attentionnelle, compatibles avec des tâches associées de nature cognitive (telles, par exemple, discuter ou écouter de la musique). Devant des tâches posturales plus difficiles, comme marcher sur un terrain accidenté, une plus grande contribution des structures corticales impliquées à la fois dans l'attention motrice et dans la représentation interne du corps est exigée et, pour l'exécution de ces mêmes tâches cognitives simples, il y aura un véritable partage des ressources attentionnelles afin que le sujet soit à même de réaliser, simultanément et correctement, les deux tâches, posturale et cognitive. Chez cet adulte en bonne santé, pourra aussi, être constatée une détérioration de la performance posturale dans un paradigme dit de « double tâche » en lien avec, dans le même temps, la réalisation d'une tâche posturale (statique ou dynamique) difficile et une tâche cognitive complexe (calcul mental, mémorisation de mots). Nous y reviendrons lorsque nous évoquerons le vieillissement.

Fruit d'une programmation motrice centrale, la « stratégie posturale » repose, donc, sur l'activité tonique musculaire et ses schémas neuromusculaires préférentiels qui sont destinés à toutes les adaptations, à chaque moment nécessaires pour corriger ou stabiliser la position du centre de gravité. Ces oscillations de corrections permanentes, à visée de réajustement postural, réalisent une compensation dynamique qui se visualise, en clinique humaine, par une exploration simple, la posturographie, qui permet une approche diagnostique performante. On utilise des plates-formes de stabilométrie, fixes ou animées elles-mêmes d'oscillations ou de mouvements, dans lesquelles des capteurs de pression (jauge de contrainte) sont placés aux 4 coins d'un plateau horizontal. Sur le sujet debout, ils vont recueillir les variations de pression perpendiculaire à ce plateau, l'ordinateur calculant le déplacement du centre de pression des pieds sur la plate-forme. Les tapis électroniques, formés sur 4 à 5 mètres de milliers de capteurs de pression activés par la pose du pied, permettent, eux, la mesure spatiale et temporelle (vitesse et cadence notamment) de la marche

Abordons, maintenant, chacune des sources sensorielles qui adressent, à partir de leurs récepteurs spécialisés, des messages au SNC. Elles sont au nombre de trois : la proprioception, la vision et l'appareil vestibulaire.

La PROPRIOCEPTION est définie comme le sens des positions et du mouvement ; son rôle de sensibilité somatique, pourtant majeur, dans la posture a longtemps été sous-estimé car il est, à la fois, difficilement quantifiable et mesuré.

Elle dépend de l'activité de récepteurs somesthésiques plus ou moins profondément situés dans l'épiderme et le derme, et dont la densité varie en fonction du territoire considéré. Ce sont des pressorécepteurs et, surtout, des mécanorécepteurs qui font naître des sensations de contact avec les objets de l'environnement extérieur. Les récepteurs de la plante du pied (récepteurs de Pacini) donnent des renseignements sur la position du corps par rapport au support (et donc par rapport au champ de la pesanteur) faisant ainsi de la sole plantaire une zone capitale pour la régulation posturale, notamment pour déceler les oscillations du corps et, durant la marche, percevoir les irrégularités du sol.

Mais il n'y a pas que ces récepteurs cutanés. Il en existe aussi dans les muscles sous forme de propriocepteurs myoarticulaires. Ce sont soit des fuseaux neuromusculaires sensibles à l'allongement des muscles soit les organes tendineux de Golgi sensibles, eux, à la traction exercée sur le tendon par le muscle, qu'il soit contracté ou étiré. Enfin, il y a des récepteurs articulaires situés au niveau des capsules ou des ligaments.

Une des principales sources de perception de la position du corps et de ses mouvements est donc cette chaîne proprioceptive qui est utilisée par le cerveau humain pour préciser les coordonnées spatiales des objets par rapport au corps et, de ce fait, corrélés, de façon

permanente, l'organisation de l'espace intracorporel par rapport à l'espace environnemental extracorporel.

Au niveau du rachis cervical, ces récepteurs ont un rôle majeur dans la régulation de la motilité conjuguée yeux-tête-cou et, notamment celle de la stabilisation spatiale de la tête : la tête stabilisée associée à la direction de l'axe optique dans l'espace fournie par le regard constituent le référentiel inertiel qui va permettre au cerveau de contrôler l'ensemble de la posture.

L'exploration proprioceptive est, répétons-le, complexe mais il est cependant possible de produire des réponses de ce système à l'aide de stimulations par des vibrations basse fréquence qui s'avèrent potentiellement très diminuées chez le sujet âgé : cela est lié à l'atteinte des capteurs sensoriels périphériques, d'une réduction de la vitesse de conduction nerveuse et de la diminution de la force musculaire.

La VISION est, également, essentielle.

Deux yeux, Droit et Gauche, mobiles dans les orbites selon des mouvements coordonnés parfaitement conjugués, vont, grâce aux photorécepteurs de la rétine (cônes et bâtonnets) capter les informations visuelles qui passeront ensuite par les voies optiques pour atteindre le cortex occipital où elles sont décodées. Elles vont permettre l'orientation dans l'espace, pour l'essentiel en donnant des repères visuels de verticalité. C'est ce « flux visuel », ce déplacement de la scène visuelle sur la rétine, qui permet la perception du mouvement de l'homme dans l'espace tridimensionnel.

La vision peut être appréhendée selon deux aspects, la vision focale (elle répond à la question Quoi ?) oriente l'objet perçu par rapport à l'individu et la vision ambiante (qui répond à la question Ou ?), elle, à l'individu par rapport à son environnement ; les 2 types peuvent être utilisés conjointement et, ainsi, on peut lire (vision focale) tout en marchant (vision ambiante).

Nous pouvons percevoir notre position corporelle dans l'espace grâce à une référence essentielle : elle s'appelle la verticale subjective et elle est l'aptitude à s'orienter dans un environnement spatial selon le vecteur de la pesanteur. Elle est fournie pour l'essentiel par la partie périphérique du champ visuel et, plus ce champ est large, meilleure sera la contribution de l'apport visuel au sens de la verticalité. Deux exemples illustrent ce fait : nous déplaçons notre regard dans l'environnement, les images se déplacent sur la rétine mais l'environnement reste stable et lorsque nous inclinons la tête, les objets paraissent garder leur orientation verticale.

Les muscles autour du globe oculaire contiennent aussi des récepteurs dont les fibres afférentes vont s'ajouter à l'ensemble de la chaîne proprioceptive musculaire qui s'étend de l'œil vers les pieds en vue d'informer le cortex sur cet élément majeur qu'est la direction du regard. Ainsi, la rotation de la tête induit un mouvement compensatoire des yeux par l'existence d'un réflexe vestibulo-oculaire. Tout mouvement de l'œil implique aussi une contraction compensatoire des muscles de la région dorsale du cou.

Retenons cependant que le référentiel majeur utilisé par le cerveau est, plus que la seule vision, la direction du regard. Lorsqu'on tourne autour d'une table, ce ne sont pas les pieds puis le corps qui tournent en premier mais c'est le regard qui va orienter la tête dans la direction voulue avant de guider le corps : la trajectoire locomotrice est toujours anticipée par la direction de la tête.

On sait enfin que la diminution de l'acuité visuelle entraîne une augmentation de l'instabilité posturale, surtout d'avant en arrière, et que la correction du défaut optique, en cas de lunettes mal ajustées ou à foyers multiples, voire une rééducation orthoptique peuvent apporter une nette amélioration des troubles de l'équilibre. La distance entre l'œil et la cible est déterminante et les oscillations du corps peuvent être réduites lorsqu'on fixe un objet proche. Mais elles vont augmenter avec l'éloignement, ce rôle de la vision dans la stabilisation posturale devenant pratiquement nul au-delà de 5 mètres.

Troisième organe sensoriel, mais pas le moindre, le VESTIBULE

Il est situé dans l'organe stato-acoustique de l'oreille interne, le labyrinthe, présent chez tous les vertébrés, avec deux parties : une partie antérieure ou cochlée, dévolue à l'audition et une autre partie postérieure ou vestibule, en charge, lui, précisément de l'équilibration.

L'aptitude à s'orienter par rapport au champ de la gravité qui conditionne la survie des organismes pluricellulaires les oblige à posséder, tous, des récepteurs spécifiques appelés gravi-récepteurs qui vont leur permettre d'évoluer dans l'espace et les contraintes du milieu extérieur. Le principe de base d'un gravi-récepteur n'a guère changé dans l'évolution : il s'agit d'une concrétion calcaire, le statolite, contenue dans une cavité (ouverte ou fermée), qui va jouer le rôle d'une masse inertielle dont le déplacement par rapport au revêtement cilié de cellules sensorielles provoque une stimulation mécanique. Ce système va très progressivement se complexifier pour aboutir, chez les vertébrés, à cet exceptionnel organe vestibulaire, le propriocepteur céphalique sensible aux accélérations linéaires et angulaires de la tête dans l'espace.

Les cellules ciliées qui constituent cet organe sensoriel appelé labyrinthe membraneux sont des récepteurs très spécialisés capable de détecter des mouvements extrêmement faibles : ce sont des mécanorécepteurs qui, dès lors d'un déplacement de quelques nanomètres de leur garniture ciliaire, sont à même d'effectuer la transformation du déplacement mécanique initial en un signal électrique, transduction mécano-électrique

généralisant des potentiels d'action transmises au SNC par les fibres nerveuses afférentes. Celles-ci, environ 18500 axones, vont constituer le nerf vestibulaire.

Ce labyrinthe membraneux, constitué par une quantité identique de cellules sensorielles, est un organe formé, d'une part de l'utricule et du saccule chargés de capter les accélérations linéaires et, d'autre part des canaux semi-circulaires qui vont, eux, être en charge des accélérations angulaires.

Il apparaît dès le 21^{ème} jour de la vie embryonnaire et l'accroissement de taille sera terminé entre le 5^{ème} et le 6^{ème} mois de la vie intra utérine. Il est contenu dans un petit carter ossifié, le vestibule osseux, qui a la forme générale d'un parallélépipède dont la taille est très modeste puisqu'elle n'excède pas 6 à 7 mm de long, 5 à 6 mm de haut et 1,5 à 2 mm de large ! A l'intérieur de cette minuscule boîte osseuse, le labyrinthe membraneux, rempli lui-même d'endolymphe, est entouré d'un autre liquide, de composition chimique différente, la périlymphe.

Les macules, qui constituent l'utricule et le saccule, sont orientées à angle droit l'une par rapport à l'autre, l'une dans un plan horizontal et l'autre, plus petite, orientée verticalement. Elles sont formées d'un épithélium sensoriel fait de cellules de forme cylindrique comportant chacune, à leur pôle apical, une centaine de stéréocils en plusieurs rangées de grandeur croissante à la façon de tuyaux d'orgue et un kinocil, toujours situé derrière la plus haute rangée de ces stéréocils qu'il dépasse largement. L'extrémité de ces stéréocils baigne dans une substance gélatineuse appelée membrane otoconiale car, sur cette membrane, reposent de petits cristaux de carbonate de calcium : les otoconies ou otolithes ont un corps cylindrique et 3 facettes pyramidales à chaque extrémité. Leur taille varie de 1 à 20 microns. Le mécanisme est aisé à comprendre : lors d'une accélération linéaire, du fait de son inertie, la membrane otoconiale tend à rester en place mais glisse sur la macule par une force de cisaillement qui va courber les cils des cellules sensorielles et ce déplacement des stéréocils vers le kinocil excite la cellule (alors qu'un déplacement inverse l'inhibe). Cette déflexion dure tant que persiste une accélération et quand une vitesse constante est atteinte, la force de cisaillement disparaît et, alors, grâce à l'élasticité des cils, la membrane reprend sa position de repos. L'accélération gravitaire s'exerçant dans le grand axe du corps, elle agit en permanence sur les macules mais seules les forces entraînant un angle de déplacement des kinocils sont effectives.

Quant aux canaux semi-circulaires, ils sont au nombre de 3 : horizontal, vertical antérieur et vertical postérieur et ils vont renseigner sur les 3 plans de notre référentiel galiléen. Ils sont tous anatomiquement branchés sur l'utricule avec lequel ils communiquent. Chaque canal contient le même liquide endolympatique et se présente sous la forme d'un arc avec un renflement appelé ampoule, à l'une de ses extrémités. L'épithélium cilié sensoriel se trouve précisément au niveau de cette ampoule, fixé sur un petit repli osseux transversal : il s'agit des crêtes ampullaires, au nombre de trois, composées du même épithélium cilié que celui des macules. Elles sont recouvertes par une masse gélatineuse épaisse, la cupule, qui, elle, ne contient pas de cristaux. Cette

cupule s'étend jusqu'au toit et aux parois latérales de l'ampoule en fermant complètement la lumière du canal. Elle agit comme un amortisseur qui augmente l'inertie des mouvements ciliaires et, de par sa structure non otolithique, il ne peut réagir qu'aux stimulations angulaires et non, comme au niveau de l'utricule et du saccule aux stimulations linéaires. Ce sont les mouvements de l'endolymphe provoqués par des accélérations ou décélérations rotatoires qui vont modifier la position de la cupule dans l'ampoule et donc la fréquence des afférences nerveuses reliées aux cellules ciliées. Mais là également, ces récepteurs, s'ils sont sensibles aux accélérations angulaires, ne fournissent aucune indication lors des rotations à vitesse constante. Ils sont aussi incapables de faire la différence entre une accélération dans un sens donné de rotation et une décélération dans le sens de rotation contraire.

Ces quelques données anatomo-physiologiques vous ouvrent la porte de la compréhension du déséquilibre le plus fréquent observé aujourd'hui en pathologie humaine, le VPB ou vertige paroxystique bénin. C'est l'oto-rhino-laryngologiste Harold SCHUCKNECHT, qui, en 1962, a décrit le phénomène qu'il a appelé cupulo-lithiase : lors d'un changement de position de la tête, toujours le même en règle, des débris otoconiaux en provenance des macules utriculaire et/ou sacculaire, détachés soit spontanément soit par dégénérescence (âge, infections...), vont tomber dans la partie la plus déclive du vestibule, à savoir l'ampoule du canal postérieur induisant un déplacement de la cupule dont l'intensité de la réaction est dépendante de l'importance du dépôt cupulaire. Le patient présente alors un vertige rotatoire violent une dizaine de secondes après la position déclenchante, accompagné habituellement de signes neuro-végétatifs à type de nausées, vomissements, sueurs. Son (seul) traitement est une manœuvre dite « libératoire » décrite en 1980 par Semont et Toupet permettant de faire sortir les débris d'otolithes du canal semi circulaire atteint et de les faire passer du canal vers l'utricule dans une zone riche en cellules de résorption qui les éliminera. Elle consiste, le patient assis sur le divan d'examen, à le coucher dans la position déclenchante, tête orientée vers le haut de 45°, puis le redresser et le recoucher de l'autre côté : il est, ainsi, basculé de 180° dans le plan du canal postérieur et il suffit d'attendre ensuite quelques minutes le vertige accompagné de nystagmus dit de libération qui signe la sortie des débris otolithiques, le critère habituel du succès de la manœuvre et donc de la guérison.

Il est maintenant établi que les 3 canaux semi-circulaires peuvent être atteints et il existe une nouvelle théorie dite de la canalolithiase. Les débris d'otolithes, ici, ne se déposeraient pas directement sur la cupule mais c'est leur déplacement dans le canal lui-même qui serait responsable d'un mouvement liquidien dans l'endolymphe qui, lui, va déformer la cupule. A l'arrêt du mouvement, l'élasticité de la cupule lui permet de retrouver sa position d'équilibre.

Le mécanorécepteur labyrinthique est ainsi doublement stimulé : par des accélérations linéaires, notamment celle de la pesanteur, grâce aux organes otolithiques utricule et saccule d'une part, et par des accélérations rotatoires, générées par un mouvement giratoire dont la vitesse varie dans le temps, mission des canaux semi-circulaires d'autre

part. Or, tout déplacement d'un solide peut se décomposer en la somme d'un mouvement de translation et d'un mouvement de rotation : pour le solide Tête, il en est de même et le fragile appareil inertiel du labyrinthe est précisément là pour réaliser cette décomposition.

Le nerf vestibulaire va rejoindre, au sein du tronc cérébral à la jonction bulbo-pontique, le complexe vestibulaire constitué de 4 noyaux recevant, plus ou moins spécifiquement, les afférences provenant de l'utricule, du saccule et des canaux. Ce qui importe de savoir est que cette zone pontique est interconnectée avec la moelle épinière : il existe un système extrapyramidal constitués de faisceaux vestibulospinaux et réticulospinaux issus respectivement des noyaux vestibulaires et de la formation réticulée du tronc cérébral qui vont se distribuer à tous les étages médullaires et exciter les motoneurones des muscles antigravitaires et inhibant ceux des muscles antagonistes. Connectée aussi avec le cervelet et, bien entendu, le cortex cérébral, le tronc est le véritable centre fonctionnel de la posture statique mais aussi dynamique.

Il existe aussi, situé dans la zone pariétale, un cortex vestibulaire comme l'atteste l'imagerie fonctionnelle (caméra TEP ou IRM) après stimulation labyrinthique et c'est le point de convergence des informations en provenance des capteurs vestibulaires mais aussi, par voie directe ou par des liaisons transcorticales, d'informations d'origine visuelle et somato-sensitive. Il va intégrer tous ces différents signaux avec le rôle d'un cortex associatif. C'est lui qui contribue à la détermination de la référence égocentrique dont nous avons déjà parlé. Se trouvent constituées, ainsi, les deux références verticales, l'une objective, celle du fil à plomb, l'autre subjective, fruit des signaux sensoriels définissant cet espace égocentré qui, après confrontation dans le cerveau, permet, par ses afférences, d'assurer la régulation et le contrôle continu du corps à l'état d'équilibre, qu'il s'agisse de l'équilibre postural statique (debout érigé) ou dynamique (locomotion).

Des perturbations au niveau des informations venant de ces principaux référentiels spatiaux, telle une surestimation visuelle ou une sous-estimation otolitique, peuvent entraîner une mauvaise construction de la verticale subjective. Ceci, au niveau cortical, entrainera soit un déséquilibre, plus ou moins permanent, soit des phobies spatiales. Les névroses phobiques sont caractérisées par une crainte persistante et irrationnelle qui débouche sur un désir contraignant, voire un état de panique avec terreur intense, d'éviter la situation redoutée. L'agoraphobie se caractérise par la peur d'être seul dans des endroits où il serait difficile soit de s'échapper soit de bénéficier de secours en cas de malaise : cela se manifeste dans les transports de masse notamment. A ne pas confondre avec l'acrophobie qui est la peur des hauteurs, qu'ignorent les fameux indiens Mohawks du Canada qui peuvent exécuter, sans peur du vide, des travaux périlleux sans harnais de sécurité dans l'assemblage de ponts ou de buildings. Les instabilités de la posture ou lors de la marche, de nature phobique, sont purement subjectives, souvent accompagnées d'une angoisse de mort imminente. Elles procèdent d'un découplage entre notre référence égocentrique et une référence qualifiée d'exocentrique en lien avec

l'imaginaire, le fruit de l'expérience ou l'appréhension, souvent anticipée, de l'environnement immédiat.

Certaines conditions extérieures, notamment un environnement physique nouveau affronté par le sujet (mer, air, espace) ou la simple utilisation des véhicules pour se déplacer vont, aussi, pouvoir perturber la construction, par le cerveau, d'une représentation cohérente du monde alentour. Des personnes, ainsi, s'adaptent, plus ou moins bien et rapidement, aux situations où peut varier notre capacité de faire le tri entre des informations sensorielles qui deviennent redondantes, qui ne se complètent plus et s'opposent même parfois. Beaucoup, alors, sont à des degrés divers affectés de troubles décrits sous le nom de mal des transports ou cinétose. Le retour ultérieur à des conditions « normales » après une période prolongée d'exposition à ces conditions particulières nécessite d'ailleurs une réadaptation connue sous le nom de mal de débarquement, état d'instabilité qui ne touche pas que les marins au long court ou les cosmonautes revenant sur Terre.

Les limites physiologiques du fonctionnement de nos capteurs sensoriels dans des environnements gravito-inertiels différents de ceux rencontrés au sol et leurs dangers potentiels sont bien illustrées par l'exemple de la « spirale de la mort », une illusion grave entraînant une désorientation du pilote dans des circonstances de vol pourtant banale dans l'aviation moderne. Ce dernier s'est mis, intentionnellement ou non, en virage prolongé à faible inclinaison. Au bout de quelques secondes, il perd la sensation de tourner car le système cupulaire de son labyrinthe postérieur ne répond pas à une vitesse constante. De même, la sensation de se trouver incliné résultant de l'engagement initial disparaît aussi avec le temps, l'utricule indiquant toujours le vecteur gravitationnel au sol de l'avion que ce dernier soit en virage ou en vol rectiligne. Quand il veut arrêter le virage en provoquant une contre rotation pour remettre les ailes à niveau, il ressent l'impression de tourner en sens opposé à celui du virage initial et de même d'être à nouveau incliné du côté opposé à celui où il était lors du premier virage. Pour contrer cette illusion, l'infortuné pilote effectue une contre-rotation dans le sens du virage incliné de départ. L'avion continue donc de tourner et, par réduction de la portance, perd de l'altitude. Pour arrêter cette descente non désirée et regagner l'altitude perdue, il va tirer sur le manche ce qui, manœuvre efficace sur un avion volant les ailes à plat, a pour traduction de resserrer encore le virage. S'il ne se rend pas compte de son erreur, il mène l'avion en virages de plus en plus serrés au sol, d'où la dénomination de spirale de la mort. L'interprétation sereine des données du tableau de bord, couplée à une bonne connaissance de ces illusions sensorielles liées aux indications fallacieuses de nos capteurs sollicités lors du vol, permet, aujourd'hui et fort heureusement, de réduire un tel risque au niveau zéro.

Parlons maintenant du mouvement qui, à l'évidence, est intimement associé avec la posture.

« *La posture suit le mouvement comme son ombre* » disait Sherrington « ...à condition que cette ombre précède le mouvement » ajoutait Bernstein.

La marche est paradoxalement le mouvement à la fois le plus quotidien et le plus complexe de notre répertoire moteur.

La marche normale, mode de locomotion bipède, est une succession de déséquilibres posturaux avec alternance de double appui et d'appui unilatéral : le marcheur garde au moins un pied au sol ce qui le différencie du coureur. Le cycle de marche est stéréotypé et il se définit par, au niveau de chaque membre inférieur, une phase d'appui suivi d'une phase oscillante selon le cycle suivant(en pourcentage de temps) : double appui (10%), appui latéral Dr et balancement du pied G (40%), nouveau double appui (10%) puis appui latéral G avec balancement du pied Dr (40%). Le pas est l'unité de référence et correspond à un cycle séparant 2 appuis successifs du même pied. La longueur moyenne du pas chez l'adulte sain est d'environ 74 cm, avec une fréquence de 113 pas par minute à une vitesse de 1,17 m/sec soit 4 km à l'heure.

L'action de marcher, le mode principal de locomotion de l'homme, n'est pas un simple déplacement en mettant un pied devant l'autre mais une performance motrice élaborée dans un mouvement topo-cinétique orienté vers un but. Ainsi, l'organisation de la marche implique une communication entre les voies ascendantes et descendantes du SNC : selon des séquences stéréotypées, la propulsion du corps va être assurée par la répétition rythmique d'un pattern moteur de base qui gère la coordination des muscles extenseurs et fléchisseurs du membre inférieur. Prenons un exemple, celui de passer de la situation immobile au premier pas : cela correspond à une chute en avant où l'activité musculaire initiale n'est pas une contraction mais un relâchement du muscle antigravitaire précédant l'activation du muscle extenseur (le Tibial antérieur) ce qui permet d'avancer le pied. C'est cette inhibition de la posture qui projette le centre de gravité vers l'avant alors que le centre des pressions, la réaction du sol au niveau de l'appui des 2 pieds, lui, se projette vers l'arrière. Et, durant la marche, le trajet suivi par le centre de gravité va suivre un mouvement périodique complexe, pour l'essentiel, une sinusoïde dans le plan horizontal dont chaque sommet correspond à chaque temps portant.

Ici également, ce sont les systèmes proprioceptifs, visuels et vestibulaires qui permettent au SNC, face à l'environnement extérieur, d'adapter la commande et de réguler le mouvement à partir des informations fournies par leurs capteurs sensoriels. Et par le biais d'un certain nombre d'interactions centrales, la marche représente bien l'association entre la posture et la locomotion.

Sont aussi essentiels les mécanismes de torsion-rotation opposée au niveau des ceintures. Il se produit, en effet, une obliquité du bassin en direction de la jambe tendue vers l'avant alors que l'axe des épaules varie en sens inverse, réalisant ainsi une balance entre ceinture pelvienne et scapulaire. Ce balancement est un automatisme primaire, inné, qui a survécu à la quadrupédie parce qu'il ne gênait pas la bipédie. L'absence de balancement des bras ne compromet d'ailleurs pas l'équilibre de la marche normale. En

revanche, sur une piste étroite (poutre, filin, sangle), le balancement laisse place à l'écartement des bras jouant le rôle de balancier.

La course, elle, est une succession d'appuis alternatifs sur chacun des pieds avec une phase de suspension où il n'y a plus de contact au sol. Plus la course est rapide, plus le pas est allongé. Dans le saut, la perte de contact avec le sol est, elle, unique et plus ou moins prolongée. Nous ne ferons qu'évoquer ces autres modes de locomotions que sont beaucoup d'activités sportives et artistiques, les danseurs, les funambules, le saut acrobatique (trampoline) : elles expriment, toutes, l'extrême diversité des performances d'équilibre dont est capable la machine humaine !

Chez le petit enfant, l'acquisition de la marche représente la première étape importante de son autonomie : la locomotion bipédique l'ouvre vers un monde nouveau et, avec la liberté de se mouvoir, vont débiter ses grandes conquêtes exploratrices. Pour la comprendre, il faut revenir sur quelques données morphologiques et neurophysiologiques.

L'organisation de l'ossature du corps conditionne, au moins en partie, les mouvements susceptibles d'être réalisés : citons l'allongement particulier du fémur, l'organisation du squelette du pied et surtout la stabilisation dans l'espace du bassin qui sont des prérequis déterminants de l'apparition de la marche. Mais c'est dans la tête que tout se passe !

Le nouveau-né humain a un cerveau qui pèse environ 500 grammes mais qui est déjà programmé pour être un cerveau adulte avec ses milliards de neurones. Tout le développement moteur se voit essentiellement déterminé par la maturation rapide (à la cadence de milliers de synapses et de conducteurs entre elles) et l'accroissement du poids de ce cerveau. De ce seul fait, on comprend que le bébé marche quand il doit marcher, comme il parle quand il doit parler. Pour certains, l'environnement ne pourrait modifier ce qui est, ainsi, défini par le programme génétique, notre horloge biologique, alors que, pour d'autres, l'activité motrice nécessiterait également un processus d'apprentissage issu d'une expérience diversifiée et/ou de répétitions dans un environnement propice au développement.

Alors que dans les toutes premières semaines de la vie le bébé a besoin d'une totale protection et assistance, cette maturation progressive et rapide du SNC va lui permettre vers l'âge de 3 mois, au prix d'efforts contrôlés, de maintenir sa tête par l'action des muscles du cou puis, vers 7-8 mois, de se tenir assis par le maintien des muscles du tronc et du bassin et, enfin, d'être debout sans appui par le contrôle des muscles de ses jambes vers 15/16 mois. C'est cette maîtrise progressive qui, dès la station assise, participe à l'acquisition de l'équilibre postural. Ce dernier se poursuit lorsqu'apparaît la station érigée sur 2 pieds, laquelle, évidemment, altère la toute première stabilité posturale du simple fait de la diminution de la surface d'appui couplée à l'élévation du centre de gravité (CG). L'apprentissage puis la maîtrise d'une nouvelle stabilité permet alors à l'enfant d'expérimenter la marche bipédique autonome, c'est-à-dire sans aide et sans

tomber. Parallèlement, sous l'effet de la gravité et accompagnant la bascule en avant du bassin, se constitue au niveau de la colonne vertébrale une première courbure au niveau cervical, qui sera suivie, plus tard, des autres courbures dorsale, lombaire et sacrée. A 3 ans, à partir du référentiel inertiel stabilisé qu'est sa tête, l'enfant commence, toujours en raison du développement de son cerveau, à maîtriser tous ses mouvements et toutes ses positions. A 5/6 ans, sa marche peut être considérée comme mature, semblable à celle d'un adulte, et ce après, donc, 4 à 5 années de marche indépendante et autonome. Complètement libéré de la force de gravitation, il va pouvoir courir, sauter et déjouer tous les obstacles...

Nous tous, plus tard, sommes debout, nous marchons, nous courons, nous évitons les obstacles sans pour autant être pleinement conscient des circuits internes de commande qui permettent cet exploit quotidien.

Nous avons déjà souligné qu'un référentiel majeur utilisé par le cerveau est, plutôt que la vision, le regard considéré en tant que direction de l'axe optique, permettant, comme le dit le grand neurophysiologiste français Alain BERTHOZ, d'aller s'ancrer sur des lieux dans l'espace : la trajectoire locomotrice est, ainsi, toujours anticipée par la direction de la tête. Pour la tête puisse opérer comme « plate-forme stabilisée » comme le dit cet expert, nous avons besoin non pas de « fixer la tête » mais au contraire de la suspendre dans une stabilité indépendante des mouvements du reste du corps. Quant au regard, il a un rôle organisateur dans les modulations du tonus et de l'activité antigravitaire. Tête stabilisée et direction du regard vont alors, pour l'essentiel garantir à la fois notre équilibre et notre orientation.

Comme nous l'avons déjà souligné pour la seule posture, chez un individu jeune et dans des situations de la vie courante, cette maîtrise de la marche s'effectue aussi de façon quasi-automatique au moyen de circuits nerveux précablés qui forment un « modèle » interne dans le cortex avec une représentation centrale du corps et de la performance à réaliser. C'est ce modèle qui, intégrant toutes les informations sensorielles visuelles essentiellement visuelles mais aussi, vestibulaires, tactiles et proprioceptives, va modifier les activités requises pour le maintien de l'équilibre en anticipant tous les ajustements posturaux liés à la planification du mouvement, le tout en prenant en compte le contexte environnemental. Cette représentation interne de l'orientation du corps dans l'espace lors de ses déplacements est une donnée relativement récente dans toute la physiologie de l'équilibre.

Mais marcher, c'est aussi atteindre un but dans l'espace et nous avons des réseaux neuronaux différents pour coder les différents espaces que sont l'espace du corps, l'espace péri-personnel de protection et de défense, l'espace de la préhension, l'espace locomoteur immédiat et l'espace environnemental. Notre cerveau se donne du mal pour arriver à créer une perception unique à la fois de notre corps (le schéma corporel) et de notre relation à l'espace et on sait maintenant que la zone corticale concernée se situe

au niveau de la jonction temporo-pariétale : cette dernière joue, donc, un rôle important pendant la marche dans le guidage de nos relations avec l'espace, en prenant l'environnement lointain comme référentiel car c'est le plus stable.

Nous sommes entrés dans l'immense domaine de la cognition celui, donc, de la pensée et du contrôle des concepts qui sont organisés dans le répertoire cérébral pour être accessible à tous les instants et participer à la réalisation de toute action.

Les fonctions cognitives sont les fonctions intellectuelles qui permettent le comportement en société et qui associent des fonctions instrumentales et de mémoire. Au niveau anatomique, l'ensemble de ses fonctions sollicite différentes régions du cerveau et il y a interconnexion entre celles qui gèrent la motricité, et donc, posture et locomotion, et celles qui gèrent la cognition. Grâce à cette inter connectivité et aux multiples suppléances, le cerveau fonctionne en multiplexage, notamment entre les réseaux neuronaux qui intéressent la posture et ceux dont dépend la gestion des émotions.

Les modèles dits « cognitivistes » vont compléter nos connaissances concernant les différents choix de stratégie d'équilibration en fonction du contexte environnemental. L'existence d'un schéma corporel, construction ontogénétique reposant sur des processus d'apprentissage, autorise une grande flexibilité comportementale pour répondre de façon optimale aux diverses situations rencontrées. L'activité posturale est au cœur de la cognition spatiale.

Grâce à ces modèles sont mis en avant les aspects d'anticipation, à savoir les capacités du SNC à prévoir les conséquences de l'effet mécanique d'un mouvement sur la posture et à corriger en avance les perturbations posturales que ce mouvement produirait en l'absence de contrôle prédictif. Prenons l'exemple, en position debout, de lever un bras. On va avoir l'impression que la seule action motrice est de lever le bras alors, qu'en fait, cette action va être précédée de plusieurs séquences d'activités motrices quelques millisecondes avant le mouvement visible. Ces activations permettent au corps de rester stable et de ne pas tomber en avant qui serait la conséquence logique si l'on suit la projection de centre de gravité.

Un autre exemple, celui du garçon de café, illustre bien également l'existence d'ajustements posturaux anticipés. Le plateau du garçon de café reste bien stable et horizontal en dépit du délestage qu'il effectue en servant ses clients ; mais il perd cette stabilité, le plateau se déplaçant inéluctablement vers le haut, si un individu extérieur le déleste d'une charge sans qu'il le sache.

Parmi les fonctions exécutives qui correspondent aux capacités nécessaires à une personne pour s'adapter à une situation non routinière pour laquelle il n'a pas de solution toute faite, automatique ou immédiate, citons le rôle potentiel en matière de régulation posturale de la mémoire de travail. Celle-ci, à court terme ou immédiate, permet de disposer d'un espace de travail mental, permettant de stocker et de manipuler des informations pendant de courtes périodes lors de la réalisation d'une activité. L'atteinte

de cette mémoire de travail est effectivement associée à la problématique de la marche en particulier dans un environnement où il y a des éléments parasites. Mais la bibliothèque du répertoire cérébral est aussi constituée d'autres différents types de mémoires, dont dépendent nos possibilités de gérer au mieux nos actions et nos besoins de survie et où l'émotion occupe une place essentielle. Nous savons maintenant que le raisonnement et la prise de décision ne peuvent se faire sans l'émotion. Dans les mémoires perceptives, sémantiques et épisodiques, ce sont ces dernières, qui compilent émotions ainsi qu'épisodes de notre vécu, qui semblent la réserve cognitive la plus sélectivement affectée par le vieillissement.

Mais, ce n'est pas tout, la régulation de l'équilibre, tant pour la posture que pour la marche, dépend aussi pour beaucoup de nos processus d'attention. Les modèles cognitivistes orientent, en effet, sur la notion de charge et de partage des ressources attentionnelles lorsque croissent les activités d'équilibration difficile ou lorsque l'activité posturale est associée à une tâche cognitive (parler en marchant par exemple).

La mise en évidence du rôle de cette charge attentionnelle fait l'objet de nombreuses investigations au moyen du paradigme expérimental dit de « double tâche » que nous avons déjà évoqué. L'objectif est d'analyser la performance posturale en simple tâche, statique et/ou dynamique, et de la comparer à celle lorsque le sujet accomplit simultanément une seconde tâche concurrente, qui peut être motrice, sensori-motrice ou, surtout, de nature cognitive (compte à rebours ou calcul mental simple par exemple).

Le processus de gestion d'une double tâche correspond à la capacité à répartir de manière flexible notre attention entre différentes tâches à réaliser. Les performances différentes entre les conditions de simple et double tâche doivent être interprétées comme des interférences dues à une compétition des besoins attentionnels requis pour chacune des tâches ; elles vont dépendre principalement de la capacité du sujet à répartir correctement son attention entre les 2 tâches.

Les sujets jeunes améliorent leur performance posturale en double tâche tandis que les sujets âgés présentent une performance d'autant plus dégradée que la tâche cognitive est difficile. L'explication avancée est que le sujet jeune privilégie la tâche cognitive, laissant les systèmes de contrôle de la posture, que nous avons précédemment décrit, opérer en pilotage automatique, d'où un meilleur contrôle postural. Inversement, la personne âgée privilégie la tâche posturale, vitale pour elle, et y affecte toutes ses ressources attentionnelles. La conséquence est une détérioration du contrôle postural, souvent concomitamment associée à celle de la tâche cognitive.

Ceci nous amène naturellement aux problèmes de qualité de vie engendrés, pour l'essentiel, par les troubles de la marche lors du vieillissement de la fonction d'équilibration.

Les troubles de l'équilibre durant la marche, en pathologie humaine, peuvent être, très schématiquement, distingués en 3 niveaux d'atteinte :

Le niveau inférieur correspond aux atteintes du système musculo-squelettique lui-même (os, articulations), des afférences en provenance des organes sensoriels (atteintes de la vision et troubles vestibulaires) ou à point de départ des réseaux nerveux (neuropathies périphériques) aboutissant à une réduction d'activité et une incoordination des synergies posturales et locomotrices.

Le niveau intermédiaire correspond aux structures médullaires, du tronc cérébral ou du cervelet que l'on rencontre dans les héli et paraplégies, les AVC et la maladie de Parkinson notamment.

Quant au niveau supérieur, le plus complexe, il correspond à des atteintes plus diffuses, dégénératives, tumorales et/ou inflammatoire du cerveau responsables de troubles de la marche difficiles à classer.

Toutes ces pathologies ne peuvent, ici, qu'être évoquées : elles sont un domaine médical dont les procédures et moyens diagnostiques variés ainsi les stratégies thérapeutiques proposées pour chacune de ses maladies nous amèneraient beaucoup trop loin.

Contentons-nous d'aborder le simple vieillissement de la fonction d'équilibration.

Le vieillissement physiologique est, en effet, responsable d'une instabilité statique et/ou dynamique en cause dans l'augmentation, de façon linéaire, de la fréquence des chutes avec l'âge. La prévention de la chute chez les séniors est devenue, aujourd'hui, un véritable enjeu de santé publique.

Une première difficulté réside dans les nuances de la définition elle-même de la chute : pour l'OMS, « *une chute désigne tout évènement au cours duquel une personne est brusquement contrainte de prendre involontairement appui sur le sol ou tout autre surface située à un niveau inférieur* » et pour HAUER, c'est « *une perte brutale et totalement accidentelle de l'équilibre postural lors de la marche...faisant tomber la personne sur le sol...* »

Il ne peut donc y avoir une vraie standardisation des différents types de chutes et cela retentit sur le niveau précis de leur incidence: il est évoqué, en France, chaque année, environ 2 millions de chuteurs !

Même si l'épidémiologie reste donc encore à préciser, on sait que chutent 30% des plus de 65ans et 50% des plus de 85 ans, étant entendu que la moitié des chuteurs ont déjà chuté. Cela correspond à la troisième cause d'arrivée aux urgences. En France, le nombre de chutes accidentelles suivies d'un recours aux urgences hospitalières est estimée, chez les plus de 65 ans, à 450 000 soit 330 000 pour les femmes et 120 000 pour les hommes. Des raisons culturelles sont évoquées pour expliquer cette différence : les activités physiques et sportives, chez les aînés, seraient, ainsi, plus importantes chez les hommes que chez les femmes.

On évoque aussi, souvent pour les opposer, les chutes spontanées et celles relevant d'un malaise mais, bien que significatives à plus d'un titre, ne sont que rarement mentionnées

et prises en compte les chutes évitées, les faux pas ou les pertes d'équilibre récupérées de justesse...

Il convient de distinguer les chutes répétées (au moins 2 chutes en 1 an) car elles sont un indicateur de mauvaise santé ou un marqueur de fragilité au risque de chutes graves d'origine traumatique, avec ou sans fracture, justifiant d'une hospitalisation. La fracture du col du fémur, dans ce dernier cadre, est la plus fréquente, avec, en France, environ 50 000 cas chaque année chez les plus de 65 ans. Quant aux coûts induits par ces chutes graves, il représente, dans ce pays, plus d'un milliard d'euros chaque année.

Une place à part doit, enfin, être réservée aux chutes appelées « critiques » : elles se définissent uniquement par l'incapacité de la personne à se relever du sol. Une chute en apparence mineure peut, ainsi, être fatale en raison de conséquences directes graves telles qu'hypothermie, rhabdomyolyse ou infections respiratoires, liées à ce maintien au sol durant une longue période ; le risque de mortalité à 6 mois est doublé chez ces personnes restées au sol plus d'une heure.

Le taux général de mortalité après une chute augmente avec l'âge passant de 4,7/100000 dans la tranche 45-64 ans à 15,8/100000 entre 65 et 74 ans et 71,6/100000 entre 75 et 84 ans ; ces taux semblent stable depuis plusieurs années.

Autre notion importante à souligner : dans 70% des cas, la marche est l'activité la plus courante au moment de la chute. Or la marche est l'activité qui conditionne largement chez les personnes âgées le niveau d'indépendance (par les activités de la vie quotidienne) et le comportement social (sorties, vie associative...).

La chute va, bien souvent, entraîner un syndrome post-chute, aux conséquences psychosociales graves, caractérisé par une perte de confiance en soi, une crainte de tomber et une modification du schéma de marche. Celles-ci ne relèvent pas d'une origine organique (musculo-articulaire ou autres) mais d'éléments purement cognitifs et émotionnels.

Le vieillissement normal touche, aussi, les effecteurs musculo-articulaires qui est en partie responsables d'une modification progressive du schéma de marche ce qui augmente le risque de chute. La masse musculaire diminue avec l'âge de moitié entre 20 et 80 ans, cette lente baisse portant sur le nombre, la taille et la densité des fibres musculaires qui sont remplacées par du tissu fibreux et graisseux. Cela est susceptible de provoquer, associé aux altérations concernant les informations visuelles, vestibulaires, proprioceptives, cutanéoplantaires notamment, un déconditionnement progressif des capacités motrices. Cela engendre un inéluctable déficit de la capacité d'effort qui est relié aux capacités d'autonomie : maintenir une consommation maximale d'oxygène (Vo_2 max) à un niveau satisfaisant par le sport conserve des capacités à l'effort qui vont retarder l'entrée dans la dépendance.

Depuis le début des années 2000, la démonstration est faite que les troubles de la marche et le déclin cognitif sont liés au sein de réseaux neuronaux partagés, de même,

d'ailleurs, que ceux des émotions et de l'humeur, ce qui a ouvert la voie de l'évaluation des fonctions cognitives dans l'approche, voire, pourquoi pas l'amélioration des troubles de l'équilibre. Promouvoir la prévention de ces chutes, principales causes d'invalidité et de perte d'autonomie, n'est-ce pas un des enjeux majeurs du niveau de QDV des personnes âgées et ce même si l'absence de standardisation des données recueillies, déjà soulignée, complique nécessairement l'évaluation des stratégies proposées ?

Comment évolue notre marche avec l'avancée en âge ?

Il existe une diminution de la longueur des pas et de leur hauteur, responsable des pas trainants, rasants...Les temps d'appui bipodal augmentent alors que ceux de chaque appui unipodal diminuent. Si sont le plus souvent préservés, sur le plan physiologique, à la fois la régularité, la cadence et la trajectoire, il existe une diminution de la vitesse de la marche de l'ordre de 10% de 60 à 70 ans, 20% de 71 à 80 ans et de 30% au-delà.

L'évaluation de ce ralentissement se fait grâce à un test simple de marche habituelle, départ arrêté, sur une distance de 4 mètres : un résultat supérieur ou égal à 1 m/sec correspond à un vieillissement réussi et en dessous de 0,8 m/sec il marque une fragilité et un déclin fonctionnel qui expose à la chute.

Le « *Get up and go Test* » permet aussi cette évaluation du risque. La séquence comporte plusieurs phases successives : assis droit, debout, marche 5 mètres, demi-tour, retour et transfert debout assis. Si elle est réalisée en moins de 20 secondes, elle objective une mobilité satisfaisante et en moins de 14 secondes un faible risque de chute. Par contre, au-delà de 30 secondes, se profile une dépendance pour la mobilité.

Il existe bien d'autres tests, en situation de déplacement, qui vont mesurer un éventuel déclin cognitif associé aux troubles de la marche. La plupart sont basés sur les difficultés engendrées par la double tâche. Citons simplement le test « *Stop walking when Talking* » : lorsqu'on marche à côté d'une personne âgée et qu'on lui parle, elle doit s'arrêter pour répondre aux questions, indiquant par là qu'elle dispose de ressources cognitives limitées. Il a aussi été démontré que les personnes âgées ayant des troubles de la marche avaient un risque beaucoup plus important de développer une démence de ceux qui ont un déclin cognitif mais qui n'ont pas de troubles de la marche.

Il existe, depuis peu, des procédures qui permettent, grâce à un capteur électronique, de collecter les données de chaque pas sous forme d'algorithmes ; chez tous les individus qui ne présentent pas de symptômes orientant vers telle ou telle pathologie, il devient possible de détecter et d'analyser les faiblesses qui, tant au niveau de la perception sensorielle et de l'action physique elle-même (force musculaire, intégrité ostéoarticulaire) que, surtout, pour la cognition, pourraient compromettre l'équilibre de la posture et de la marche. Dans le système NYMBL, établi par le docteur Jean-Pierre

FARCY, le senseur est attaché à la cheville et deux index vont mesurer l'état d'équilibre du sujet : un index physique et un index cognitif.

Pour l'index physique, il faut recourir à des tests simples tels que la durée de maintien de la station unipodale ou le nombre de répétitions de l'exécution accélérée d'un changement de position (assis/debout). Cet index physique, coté de 0 à 100, permet d'établir la condition générale de fonctionnement de l'appareil locomoteur.

Pour coter l'index cognitif, il est proposé de collecter l'algorithme d'une démarche en terrain non accidenté d'une minute. Les trente premières secondes sont libres mais les trente suivantes sont perturbées par une question dont le sujet connaît la réponse (pointure des chaussures, numéro de téléphone personnel). Il permet d'introduire une mesure de l'état de fonctionnement du SNC en déterminant le degré de perturbation qu'une interférence cognitive peut apporter.

La marche, apanage et meilleur témoin de l'habilité de l'homme à contrôler toutes les forces en présence, notamment celles de gravitation, peut être considéré comme le clavier complexe qui objective une bonne santé et, donc, une bonne QDV dans le temps. Pourquoi, dans ces conditions, ne pas accorder à ce double chiffre/index d'équilibre une même valeur d'alerte et de surveillance que celle qui s'applique, par exemple en pratique clinique, aux chiffres de la tension artérielle, elle, si communément mesurée : lorsqu'ils s'élèvent ou se pincent, ils attirent l'attention du corps médical et engendrent, en règle, le déploiement de mesures de prévention et, éventuellement une action thérapeutique.

La marche ne doit donc plus être seulement considérée comme une compétence physique mais plutôt comme une fonction cognitive et même « thymo-cognitive » créant des liens étroits entre humeur et posture. Ainsi : « *Je regarde comment vous marchez pour savoir comment vous allez !* »

Insistons, une fois encore sur les aspects délétères de la double tâche chez le sujet âgé : toutes les ressources attentionnelles se concentrent sur le contrôle de la posture avec une stratégie de « rigidification » et/ou le recours à une canne qui répond à des mécanismes de compensation pour éviter la chute. Concomitamment à cela, l'activité ne se focalise plus sur la performance cognitive qui pourrait, si elle s'améliore, pourtant diminuer ce risque.

Aujourd'hui, sans pathologie identifiée, toute prise en charge en matière de troubles de l'équilibre visera, d'abord et avant tout, à mobiliser l'attention du cerveau pour maîtriser à la fois la tâche automatique et l'autre tâche cognitive, car cette double tâche est précisément l'agent perturbateur de l'équilibre. Les exercices et activités retenus pour cela peuvent être choisis et modulés selon ces deux index décrits. Le défi cognitif, fruit du capital génétique, culturel, émotionnel et environnemental de chacun, demande à la fois concentration et attention, tous deux stimulés par un entraînement régulier. L'objectif ultime est bien de solliciter la neuroplasticité du cerveau et ses permanentes

facultés d'apprentissage par la voie d'une résolution, au fil de différents exercices, de problèmes de complexité croissante.

En matière de QDV, il est, bien sûr, nécessaire de redécouvrir que la marche est un charme et de lever la stupide malédiction « Bête comme ses pieds » ! La marche implique à la fois le corps et le territoire : marcher c'est se souvenir que l'on a un corps. C'est se souvenir, aussi, de la géographie et de l'histoire en arpentant la terre, sa longue histoire et son futur indéfini, à des seules fins d'équilibre et d'harmonie. Marcher, c'est éprouver le monde d'en bas par les pieds et, suivant la rythmique des appuis au sol, se propulser aussi vers le monde d'en haut grâce à la tête qui écoute l'environnement et ausculte le ciel. La marche est le mode de déplacement qui offre le plus de prise à l'individu avec son environnement ; le corps, par une appropriation lente, habite le paysage qui devient sa véritable demeure. La force, et aussi sa faiblesse, du corps en marche rythment en effet l'espace et la frontière entre extérieur et intérieur devient, alors, floue...Lenteur, solitude, éternité, liberté sont des notions nourries par l'expérience du marcheur.

Frédéric NIETZSCHE, dans *le Gai Savoir*, écrit : *...notre ethos est de penser à l'air libre, marchant, sautant, montant, dansant, de préférence sur les montagnes solitaires ou sur les bords de mer, là où même les chemins se font méditatif...*

Pour les citoyens que nous sommes pour beaucoup devenus, la marche s'inscrit au cœur des politiques urbaines et le contexte urbanistique, dès le début des années 1980-90, se veut favorable à son essor : requalification des centres villes, remise au goût du jour des berges et autres fronts d'eau, valorisation des trames vertes, éco quartiers... Les élus locaux, au titre de la protection du patrimoine et du développement des politiques de santé publique, accordent ainsi une grande attention à l'aménagement d'espaces piétons, à la fois moins stressants, plus sûrs et plus ludiques : les trottoirs s'élargissent au dépens de la chaussée ouvrant des possibilités de marche à pied plus ou moins utile, récréative ou ludique même si, à pied, on ne va pas bien loin quand on n'est pas en forme physiquement ou psychologiquement. Cette mobilité dite « active » n'est, pour la plupart de ceux qui la pratiquent, ni véritablement choisie ni complètement subie ; il en résulte, cependant, une autonomie fort utile. En valorisant les principes de proximité et de familiarité, la marche participe d'une nouvelle sociabilité : relations aux autres marcheurs, à la connaissance, au patrimoine architectural et culturel. Elle ménage une reconquête contre l'isolement, un temps d'échange, des liens humains qui peuvent changer les relations sociales. Pourtant reléguée au second plan durant le siècle dernier, au-delà de tous les parcours et sentiers terrestres, la marche revient ainsi sur le devant de la scène scientifique, sociale et évidemment politique et médiatique.

La posture et la marche ont, répétons-le, une influence directe sur la perception de la réalité et elles façonnent le sentiment de soi, de même que le fonctionnement de la pensée. Les connaissances modernes ont réactualisé les bases génétiques de leur régulation à la lumière des modèles cognitivistes. Nous devons souligner l'importance qu'il y a à maintenir cet équilibre- posture car, en cas de fléchissement ou de simple

relâchement, ce sont des pans entiers de rayonnage de notre bibliothèque de perception qui seront perdus entraînant un vieillissement prématuré du cerveau, cercle vicieux à l'origine, lui-même, de nouveaux déséquilibres.

Entreprendre la rééducation de l'équilibre va nécessiter de prendre en considération l'ensemble des systèmes et sous-systèmes intervenant dans la régulation posturale dont on sait que, chez le sujet âgé, ils se caractérisent par une diminution progressive à la fois des capacités d'intégration sensorielles que de celles de leurs fonctions cognitives. Les exercices viseront donc à favoriser les suppléances fonctionnelles (la vision ou la proprioception venant, par exemple, se substituer à une information vestibulaire déficiente) et à associer aux exercices physiques des tâches cognitives ou d'autres tâches motrices ce qui place le sujet en situation de double tâche nécessitant un partage des ressources attentionnelles ou un choix stratégique.

La réalité virtuelle, concept né au début des années 1980, peut beaucoup aider dans cette double approche clinique : il s'agit en effet, d'une simulation informatique, interactive et immersive, qui provoque, dans un monde artificiel, une activité sensori-motrice et une activité cognitive. Plongé dans un monde fictif géré par l'ordinateur, le sujet, totalement désorienté sur le plan sensoriel, va être immergé dans cet espace pour l'observer ou s'y déplacer et aussi interagir, en temps réel, avec quantité d'entités virtuelles variées. La clé de voute de cette approche réside dans cette conjugaison d'actions au niveau sensori-moteur, cognitif et sensoriel. Cela permet d'impliquer le sujet dans des tâches qui ont un sens par rapport à son vécu, son expérience ou ses activités quotidiennes ainsi que de collecter et d'enregistrer ses indicateurs de performance. Il est possible aussi de choisir les interfaces comportementales plus spécifiquement adaptées au niveau de préservation des capacités motrices ou sensorielle de chaque sujet et d'explorer conjointement différents domaines cognitifs, l'attention, la mémoire, les fonctions exécutives (qui correspondent, rappelons-le, aux capacités d'adaptation à des situations non routinière sans solution toute faite, automatique ou immédiate). Enfin, et ce n'est pas un mince avantage, les séances de réalité virtuelle s'adaptent à l'état physique et mental du sujet ainsi qu'à son rythme de progression.

Si l'on considère qu'en 2050, les personnes de plus de 65 ans seront 19 millions soit 28% de la population française, cette RV, dont l'avantage majeur est de coupler, dans le même temps, la rééducation motrice et la rééducation cognitive, sera devenue économiquement réaliste et l'un des moyens largement répandu de prévention des troubles de la marche et des chutes. En attendant les progrès que ne manquerons de nous apporter le monde des NBIC (Nanotechnologies, Biotechnologies, Informatique, sciences Cognitives), pour conserver son équilibration, donc sa propre QDV et hors, bien sûr, tout cadre pathologique, il faut veiller, autant que faire ce peut, à maintenir son intégrité musculo-squelettique par des activités physiques régulières, marche et/ou activité sportive, de recommander toujours des activités intellectuelles, pas nécessairement complexes mais soutenues, lecture ou autres. Double tâche oblige, vous savez, maintenant que, le plus souvent possible, il convient de les associer pour prendre en

compte, ensemble, la composante cognitive et la charge attentionnelle, toujours présentes dans la régulation posturale.

Ces quelques mots de l'écrivain français Julien Gracq ,qui survolent la problématique, peuvent-ils utilement servir de conclusion à ce sommaire survol d'une de nos capacités primordiales ?

« Le rassurant de l'équilibre est que rien ne bouge. Le vrai de l'équilibre, c'est qu'il suffit d'un souffle pour tout faire bouger »