

Posture et santé, un équilibre subtil.

Zbigniew KULIBERDA*, Edmond LE BORGNE**, Cécile VANDAME***

Mai 2020.

Information sur les auteurs:

* Z. Kuliberda (*67300 Schiltigheim-Strasbourg, France*), MKDE, Thérapie manuelle, Imagerie posturale 4D, Recherche et développement en biométrie posturale.

** E. Le Borgne (*44000 Nantes, France*), Posturologue, Imagerie posturale 4D, Biométrie posturale.

*** C. Vandame (*91370 Verrières-le-Buisson, France*), Podologue, Imagerie posturale 4D, Biométrie posturale.

Cet article est destiné à tous les acteurs de la santé publique amenés à prendre en charge les troubles ayant une répercussion au niveau de l'appareil locomoteur.

Quelle que soit la sensibilité du lecteur, de la biomécanique aux neurosciences, de l'énergétique à la macrobiotique ou encore de l'ergologie à l'ergonomie, cette présentation a un but d'information des esprits ouverts et curieux, des esprits qui, par la remise en question de leurs cheminements, font progresser la connaissance de la capacité fonctionnelle de l'être humain.

L'imagerie optique est capable de restituer de manière précise le fonctionnement physiologique de l'appareil locomoteur en position orthostatique. Elle est donc un outil pour la recherche et pour l'étude fonctionnelle. Cette dernière débouchant concrètement sur la mise en place de stratégies de soins pertinentes. Cet article traite de vidéo rasterstéréographie. Ce procédé d'imagerie optique, non invasif et non opératoire dépendant, garantit des résultats fiables et reproductibles dans le respect des critères de sécurité et d'objectivité les plus stricts.

La tentation de classification est toujours au cœur de notre système de santé moderne, mais il faut savoir qu'il existera systématiquement le cas qui ne correspondra à aucune de ces classes. Dans le cadre de la médecine fonctionnelle, cette tentation est peine perdue, pour l'instant. De nombreux auteurs ont proposé une direction qui finalement ne satisfait pas l'esprit du monde de la santé, tant chaque cas est unique.

Il y a cependant un paramètre commun à toutes les personnes qui présentent une déficience posturo-fonctionnelle : la douleur.

Si une posture équilibrée, des chaînes harmonieuses, des articulations sans contrainte sont le gage d'une mobilité normale et d'une intégrité anatomo-physiologique, l'absence de douleur sera l'apanage des personnes correspondant à ce schéma fonctionnel. Il nous faut ici lutter contre notre tendance à vouloir classer le sujet selon des critères ou des comportements qui ne sont pas les siens, n'en déplaise à ceux qui ne pourront s'en satisfaire.

S'il est vrai que tout un chacun a la potentialité de déclencher un état symptomatique, la prévention fait débat, probablement par manque d'expériences, de preuves ou de convictions.

Les pathologies déformantes du rachis ont fait l'objet de plus d'attention, mais combien, encore aujourd'hui ont échappé à toute détection. C'est bien la preuve qu'il est difficile d'établir une règle et que la notion d'harmonie ne correspond pas forcément à un schéma orthonormé mais plus probablement qu'elle découle de la notion d'équilibre pas uniquement mécanique mais fonctionnel, donc d'équilibre de santé.

Tant que les capacités fonctionnelles de l'individu permettent une réponse aux sollicitations sans dépense énergétique excessive, l'équilibre de santé est maintenu puisque la compensation est possible. C'est l'état de décompensation qui devient symptomatique et n'est pas forcément exprimé par des douleurs du système locomoteur.

C'est précisément ce qui rend le diagnostic et les propositions de traitements compliqués puisque généralement le patient consulte à partir du moment où la décompensation atteint un niveau de douleurs qui lui sont devenues insupportables et souvent d'expression mécanique. Ce qui caractérise l'état de décompensation est la récurrence symptomatique. Ce qui décontenance le praticien est que le retour à l'état de compensation n'est pas possible grâce à un acte unique mais dépend d'une stratégie pluridisciplinaire.

Aussi, plutôt que de tenter une énième classification de déficience posturo-fonctionnelle, voici un exposé sur la biométrie par vidéo rasterstéréographie. Par sa méthodologie stricte, elle ouvre une nouvelle voie dans la stratégie de santé. C'est une des lectures de l'équilibre de la santé qui, grâce aux outils modernes, peut être mesuré objectivement avec une reproductibilité fiable. Toutefois, si l'imagerie optique s'avère un complément des plus utiles, elle ne peut en aucun cas se substituer à l'imagerie comme l'imagerie conventionnelle radiographique, scanner, imagerie par résonance magnétique, ... nécessaire au diagnostic des troubles structurels, arthrose, hernie discale, étroitesse canalaire ... ou des pathologies du type tumeurs, maladies rhumatismales, fractures-tassements, L'imagerie optique pourrait prendre sa place dans une décision thérapeutique visant à diminuer les contraintes additionnelles aux pathologies existantes et prend tout son sens dans le cadre des pathologies non spécifiques ou idiopathiques.

La genèse

Envisager une approche de l'organisation fonctionnelle de l'appareil locomoteur par l'imagerie optique demande un support technologique qui permette une visualisation de tout ou partie d'un sujet dans les trois plans de l'espace obtenue à partir d'un enregistrement unique. La photographie classique ne peut répondre à cette exigence puisque les images obtenues sont planes. C'est pourquoi, avec l'avènement du numérique, l'imagerie 3D fait son apparition dès les années 1960.

- Hiroshi Takasaki (*Japon*) publie ses travaux lors de la session d'été de l'Institut de Technologie du Massachusetts en 1970 sur l'imagerie 3D obtenue à l'aide d'un système de topographie par Moiré.
- W. Frobin, et E. Hierholzer (*RFA*) publient leurs travaux lors d'un symposium de l'OTAN à Paris en 1978 sur l'imagerie 3D obtenue à l'aide d'une méthode stéréophotogrammétrique pour la mesure des surfaces corporelles par trame projetée.
- M. Van Poucke, P. Boone et M. Vercauteren (*Belgique*) collaborent avec l'Institut Oxford Metrics Ltd et publient leurs travaux dans SPIE Vol. 672 en 1978 sur l'imagerie 3D obtenue par éclairage structuré (ISIS).
- M. Takeda et K. Mutoh (*Japon*) publient leurs travaux dans Optical Society of America en 1983 sur l'imagerie 3D obtenue suivant un procédé profilométrique par transformée de Fourier.
- Enfin, W. Frobin, et E. Hierholzer (*RFA*) publient leurs travaux dans American Society for Photogrammetry and Remote Sensing en 1991 sur l'imagerie 3D obtenue suivant un procédé de vidéo rasterstéréographie.

Aussi le prérequis à l'obtention de mesures fiables et reproductibles est l'utilisation de procédés non opérateur dépendants et éprouvés tels que la photogrammétrie et l'analyse numérique en rapport avec les constantes morphologiques et squelettiques.

Le XXI^e siècle connaîtra l'utilisation de la photogrammétrie dans le domaine biomédical pour l'étude anthropométrique humaine à des fins de détection, de surveillance et de prévention des pathologies de contraintes, de la même manière que le sonar des sous-marins donna naissance à l'imagerie échographique.

En France, l'imagerie optique prend ses marques progressivement au sein de la médecine fonctionnelle et le marché est doté de constructeurs tels que SAM Instruments, DMS Imaging, Physical Tech et DIERS International. Bien que les acquisitions topographiques proposées reposent sur des méthodes réfléchives ou de photogrammétrie de bonne qualité, le traitement des données morphométriques est quant à lui très contestable selon le système utilisé. Pas de repérage anatomique automatique pour les uns, pas de calculs automatiques de paramètres morphologiques pour d'autres, nécessité de clichés radiologiques simultanés ou de mise en position spécifique du sujet pour certains, ...

La vidéo rasterstéréographie est le procédé d'acquisition optique du relief d'une surface pour lequel l'analyse de la forme du dos, la reconstruction de la géométrie squelettique et le support d'interprétation orthopédique ont été les plus développés. Les résultats, comme pour la scoliose et la cyphose par exemple, montrent une

bonne correspondance avec les images radiographiques, de sorte que ces méthodes de mesure, d'analyse et d'évaluation ont été mises au cœur du système Dicam.

Dicam est un logiciel qui propose un processus totalement automatique et qui, de plus, intègre la contrainte oscillatoire physiologique de la position orthostatique naturelle. Il est le seul logiciel à ce jour capable d'analyser des images vidéogramétriques, plaçant ainsi les propositions de ses concurrents au rang de colifichet. Si l'imagerie optique 3D a permis des observations d'excellentes qualité, la vidéo rasterstéréographie, elle, intègre la dimension temps et ouvre l'ère de l'imagerie 4D qui, appliquée à la médecine fonctionnelle répond au critère de reproductibilité de manière non discutable, gage d'un suivi objectif de l'organisation et des thérapies fonctionnelles de l'appareil locomoteur.

L'aspect scientifique

La **vidéo rasterstéréographie** est un procédé optique qui permet la reconstruction en 3D de la silhouette tronculaire postérieure d'un sujet observé. Un maillage régulier (raster) - représenté par des bandes horizontales alternativement sombres et claires, espacées de 15 mm - est projeté sur le dos du sujet et constitue **l'image 1**.

Une caméra industrielle IDS placée à 80 cm au-dessus du projecteur - dont la fréquence d'acquisition est de 25 images/seconde donc un temps d'exposition de 40 msec - capture la déformation des bandes projetées sur le dos du sujet sous un angle de convergence de 22°. La capture des déformations du raster constitue **l'image 2** nécessaire au principe de stéréographie pour une reconstruction 3D (Frobin, Hierholzer 1981, 1983, 1985) et offre la possibilité de réaliser une série d'images permettant ainsi l'enregistrement d'une séquence de mouvements.

A ce jour, la précision de la reconstruction en 3D est de l'ordre du 10^{ème} de millimètre et du 10^{ème} degré grâce à la caméra dotée d'une résolution de 1280 X 1024 pixels (Format 5:4, 1,3 Mégapixels) par capteur CMOS qui offre une visualisation de la grille de reconstruction conforme (Fig. 1) à la réalité de la surface du dos du sujet.

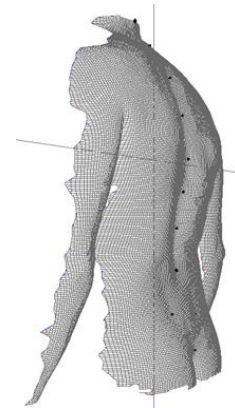


Fig.1

L'analyse de formes caractéristiques, telles que voussures (gibbosités ou surfaces concaves) et dépressions (mélats ou surfaces convexes) de la face postérieure du tronc, permet d'identifier les repères anatomiques en utilisant les principes mathématiques de la géométrie différentielle qui par zone étudiée s'appliquera à plusieurs milliers de points enregistrés.

Les travaux de Frobin et Hierholzer ont permis de déterminer une ligne de symétrie qui partage le dos en deux moitiés avec le moins d'asymétrie possible. Chez un sujet ne présentant pas de déformation du tronc dans le plan frontal, cette ligne de symétrie est verticale ou quasi-verticale et correspond étroitement à la ligne des processus épineux des vertèbres. Dans la scoliose, la ligne de symétrie suit la ligne des processus épineux des vertèbres avec une excellente corrélation (Drerup 1996).

Ainsi grâce au calcul de la ligne de symétrie et à l'analyse de formes caractéristiques, le logiciel Dicam détecte automatiquement des points de repères osseux (Fig. 2) : dans la zone supérieure de la ligne de symétrie, la surface concave la plus marquée correspond à la proéminence dorsale du processus épineux de la vertèbre C7, dans la zone inférieure de la ligne de symétrie et latéralement à celle-ci, les surfaces convexes, droite et gauche, les plus profondes correspondent aux fossettes de Michaëlis qui entretiennent des rapports étroits avec les épines iliaques postéro-supérieures (Drerup et Hierholzer 1987).

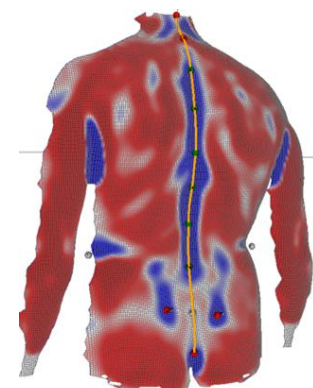


Fig.2

Les divers travaux de Turner Smith sont la base de calcul d'une ligne plus antérieure à la ligne de symétrie qui est nommée ligne des centres vertébraux. Sa position antérieure ou profondeur par rapport à la surface du dos correspond à une constante établie sur des spécimens anatomiques.

La position latérale de la ligne des corps vertébraux (Fig. 3) dans la même étude fut estimée avec les hypothèses suivantes :

- il y a concordance entre la rotation de surface et la rotation de la colonne vertébrale, le facteur K est très proche de 1 (Turner Smith et De Roguin 1984),
- la ligne de symétrie suit la ligne des épineuses,
- les corps vertébraux, pour l'essentiel, ne sont pas déformés par la scoliose,
- la distance P entre le milieu d'un corps vertébral et la surface de la peau est une constante anatomique connue (P varie avec le niveau où est pratiquée la mesure sur la colonne vertébrale et la taille du corps humain mesuré).

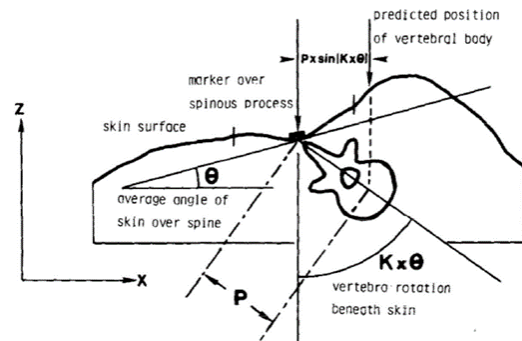


Fig. 3

Si toutes ces conditions sont réunies alors le centre des corps vertébraux est dans l'intervalle P depuis la surface de la peau et dans le prolongement de la perpendiculaire à la rotation de surface augmentée du facteur K.

Ainsi Dicam est en mesure de calculer et construire un modèle vertébral sans intervention d'un opérateur. Le tracé de la ligne sagittale (Fig. 4) du centre des corps vertébraux à chaque niveau du plan horizontal et le calcul de la taille des vertèbres, déterminée en fonction de la distance entre C7 et L4, permet au logiciel d'effectuer une proposition de modélisation finale des volumes vertébraux et de leur positionnement dans l'espace (Fig. 5).

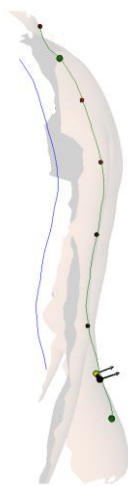


Fig. 4

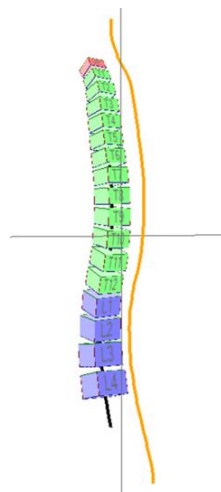


Fig. 5

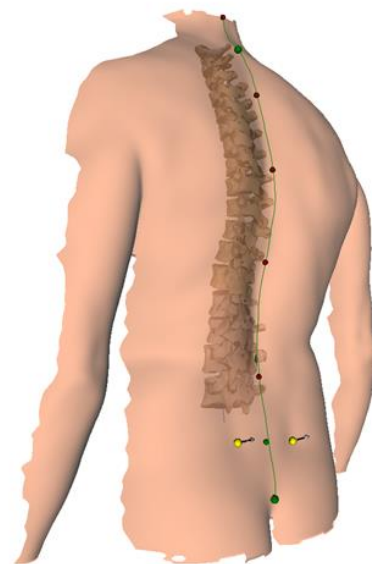


Fig. 6

Le logiciel sélectionne les vertèbres types dans une banque de données contenant des milliers d'images de vertèbre en 3D, pour effectuer une proposition de rapports conformes (Fig. 6).

Méthodologie

Le dispositif équipé d'une caméra HD permet d'effectuer différents types d'enregistrements :

- l'enregistrement dit "Instantané". Son acquisition se fait en 40 msec. Il est essentiellement utilisé pour la calibration outil/patient (hauteur de colonne, distance patient/caméra) avec un affichage quasi instantané du résultat de la reconstruction qui en découle et pour la vérification de la cohérence des paramètres proposés.
- L'enregistrement dit "Posture moyenne". Il est l'essence même de la vidéo rasterstéréographie. Son acquisition se fait en 6 secondes. Cette durée correspond au temps d'une révolution oscillatoire de l'être humain en position orthostatique naturelle. La reconstruction proposée dans un temps quasi similaire à l'enregistrement est l'image la plus proche de la moyenne calculée à partir des 12 images extraites de l'enregistrement toutes les demi-secondes.

Cet enregistrement a notre préférence car il tient compte, pendant la période d'acquisition des données, des modifications de posture liées aux oscillations corporelles en position orthostatique et des mouvements du tronc. Compte tenu de la précision mathématique de l'imagerie optique, cet enregistrement prend tout son sens pour l'analyse comparative des modifications posturales induites physiologiquement ou par divers traitements. De fait, les enregistrements instantanés n'ont pas d'intérêt en médecine fonctionnelle.

La position orthostatique naturelle a également notre préférence puisqu'elle n'introduit aucun biais supplémentaire contrairement à une position orthonormée qui pourrait générer des adaptations. Citons David Gasq: "La position des pieds ne semble pas être un élément déterminant dans la reproductibilité des mesures. Cependant, nous pensons qu'une position proche de la position naturelle (position 17 cm - 14° proposée par McIlroy et al. 1997, figure 5) est plus adaptée qu'une position trop contrainte (McIlroy et Maki 1997)".

- L'enregistrement dit "Oscillations". Seule la vidéo rasterstéréographie le rend possible lors d'une acquisition d'au moins 5 révolutions oscillatoires donc en 30 secondes. La reconstruction proposée, dans un temps d'une vingtaine de secondes, est une vidéo réalisée par juxtaposition de 30 images extraites au début de chaque seconde.

Pour la médecine fonctionnelle, cet enregistrement est du plus grand intérêt. Il est le témoin de l'organisation active du système postural.

Le recueil du signal oscillatoire permet d'évaluer la perturbation de tonicité posturale en liaison avec nos différents capteurs - le système oculomoteur, le système auditif, le système manducateur, la sole plantaire, la sensibilité cutanée et cicatricielle, le système proprioceptif ostéo-articulaire et organique - qui sont autant de voies d'entrées à une modification de l'activité tonique posturale.

L'enregistrement "Oscillations" permet donc de mesurer toutes les variations du signal de l'activité tonique posturale et d'un point de vue biomécanique et biocinétique, il permet la visualisation des mouvements inter-segmentaires du tronc constituant ainsi une innovation majeure. De ce fait, la mesure des variations cinétiques des paramètres tronculaires permettent une approche différente de la synergie biomécanique.

L'outil d'aide clinique

L'être humain est une entité, c'est pourquoi l'approche de son équilibre de santé doit être considérée d'un point de vue systémique où le symptôme, lui, n'est finalement qu'une expression de la perte de cet équilibre.

Aussi, quelle que soit l'organisation posturo-fonctionnelle d'un individu, elle doit-être qualifiée de correcte lorsque celle-ci est indolore. On estime à 10% le nombre de personnes de la population mondiale qui ne présentent jamais de douleurs et donc qui correspondent à ce que l'on pourrait appeler la classe posturo-fonctionnelle idéale et sans contrainte. Ces personnes ont probablement trouvé une réponse pertinente et durable au rapport « sollicitations sur capacités fonctionnelles ».

La moindre dysharmonie pourra générer des contraintes qui perturberont la mobilité tissulaire jusqu'à mettre en péril l'intégrité anatomo-physiologique amenant souffrances et pathologies articulaires, capsulaires, ligamentaires, musculaires, viscérales, Celles-ci s'exprimeront par des tableaux cliniques très variés en fonction de l'importance ou de l'origine de la contrainte mais aussi en fonction du "terrain" soumis à cette même contrainte.

Par terrain, il faut comprendre possibilités biologiques de tolérance qui permettent l'adaptation d'un système face aux modifications de paramètres aux conditions extérieures (sollicitations) et aux conditions intérieures (capacité fonctionnelle). Cette adaptation est générale à l'espèce mais comporte des spécificités propres à chaque individu qui, par son vécu et ses traumatismes, apprendra à compenser des déficits passagers voire permanents par des solutions pertinentes. C'est pourquoi, il est extrêmement délicat de vouloir tenter la moindre classification des pathologies de contraintes, tant elles sont le résultat d'une dysharmonie organisationnelle personnelle.

C'est pourtant ce que recherchent les auteurs perchés au sommet de leur spécialité, sans pour autant démontrer la véracité de leurs propos ni apporter de preuves mesurées objectivement. Il faut reconnaître pour leur défense que le manque d'outils précis n'a permis que des suppositions mais que leur approche en fait des pionniers de l'étude et de la thérapie holistique.

Il n'est pas certain que les schémas de déficiences décrits comme ascendants ou descendants dans la littérature posturologique, permettent de définir, à eux seuls, une stratégie de soins pertinente tant la mixité de ces deux schémas est fréquente chez un très grand nombre de personnes observées. Le biais, très probable de tous ces ouvrages, provient du peu d'observations de sujets en équilibre puisque ceux-ci ne sont pas amenés à consulter. Ce qui est notamment le cas de la plupart des jeunes adultes chez qui les possibilités d'adaptation permettent une compensation asymptotique de plusieurs dysharmonies posturo-fonctionnelles.

Il n'est pas impossible que la collecte de données cliniques et posturométriques précises apporte une chronologie fiable dans un proche avenir, mais il est fort à parier que chaque stratégie de soins aura une chronologie propre à chaque individu.

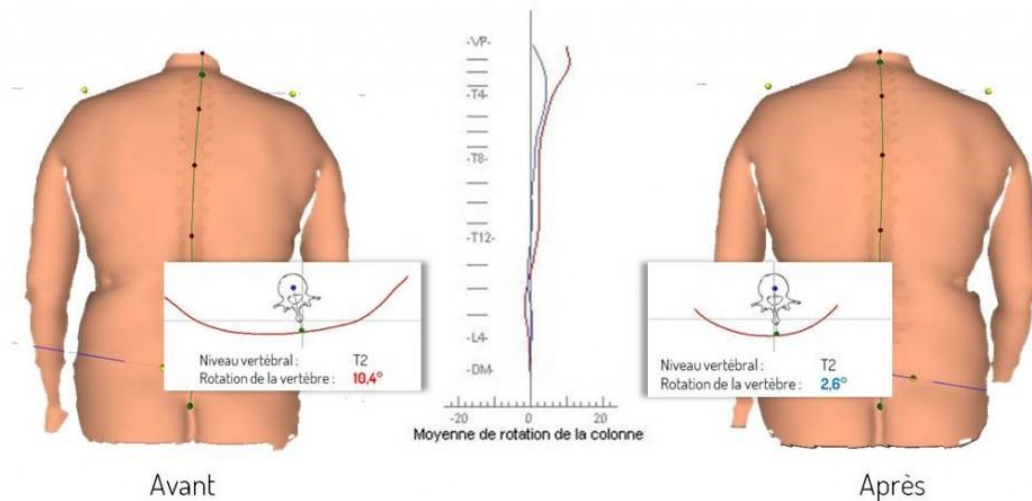
Quoiqu'il en soit, la prise en charge des pathologies de contraintes nécessite une visualisation claire et simple de l'état du moment et, bien entendu, de la répercussion d'un traitement appliqué.

Pour que le lecteur ne soit pas perdu par cette présentation, le but reste de faire découvrir les possibilités d'un procédé, la vidéo rasterstéréographie, en tant qu'outil permettant la visualisation des modifications toniques posturales et qui, probablement deviendra dans un avenir proche, un assistant incontournable à l'élaboration de stratégie de soins.

Nous aborderons dans un premier temps la visualisation possible des modifications posturales moyennes et dans un deuxième temps la visualisation des phénomènes oscillatoires qui animent l'être humain en position orthostatique. Pour être tout à fait complet, nous devrions aborder également l'évolution des différents paramètres mesurables lorsqu'un sujet est en mouvement, lors de la marche ou de la course, puisque le procédé de vidéo rasterstéréographie le permet. Ce sujet fera l'objet d'une autre communication.

Voici donc quelques exemples comparatifs qui permettent d'apprécier les modifications générées par une action sur les entrées posturales.

Influence d'un traitement oculomoteur



Ce sujet sexagénaire a consulté pour des rachialgies, ne ressent plus de dorsalgies mais encore quelques lombalgies intermittentes. Les soins orthoptiques ont permis de stabiliser le traitement kinésithérapique qui, pratiqué jusqu'alors isolément, s'était avéré décevant. La diminution des rotations est la parfaite illustration de la réduction de contraintes chez cette personne.

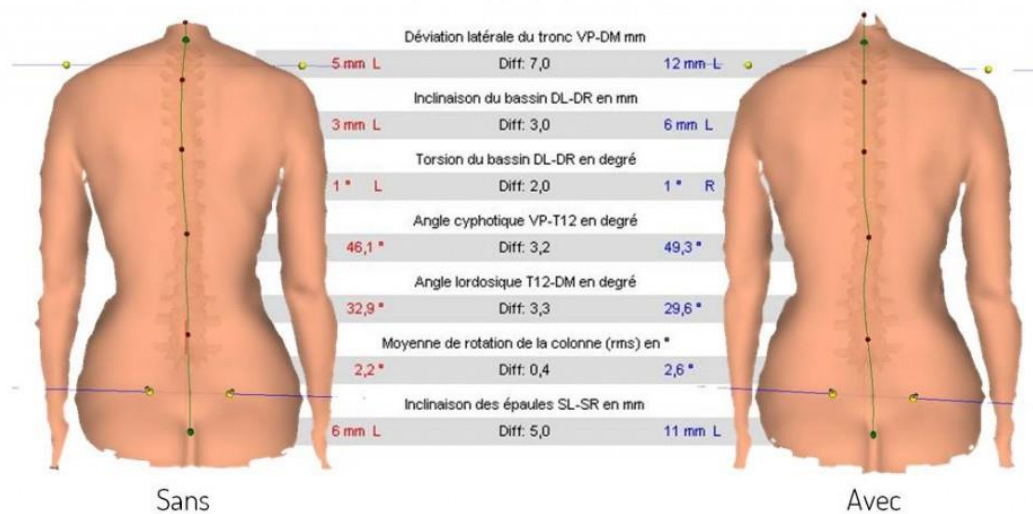
Pour autant, il n'est à ce jour pas démontré qu'un déséquilibre oculomoteur soit responsable d'une contrainte en torsion, alors même que celle-ci est observée couramment.

Il semblerait qu'un traitement orthoptique agisse de manière pérenne dans l'organisation du système posturo-fonctionnel, ce qui en fait un traitement de choix. De plus, il n'est pas rare de constater une levée d'une dysharmonie oculomotrice après 3 à 4 séances de rééducation orthoptique, ce qui permet une réelle économie de la dépense énergétique du système tonique par diminution de schémas d'ajustements qui eux, favorisent des contraintes mécaniques harassantes.

L'asymétrie de tension au niveau des muscles oculomoteurs crée une asymétrie de tension au niveau des muscles du cou et des épaules pouvant s'étendre à l'ensemble des chaînes musculaires. Un défaut de convergence ne se corrige jamais de lui-même, il génère un nouveau schéma corporel qui fonctionnera avec cette dysharmonie mais aussi avec les troubles de la posture qui l'accompagnent et qui évoluera dans le temps vers une pathologie de contrainte.

La découverte d'un déséquilibre oculomoteur se fait souvent lors de consultations pour des douleurs de l'appareil locomoteur (rachialgies, tendinites, arthralgies, ...) lorsque le praticien y est sensibilisé, alors qu'une rupture de convergence se manifeste bien avant par de multiples signes comme les picotements ou brûlures des yeux, la sensation d'avoir du sable dans les yeux, la difficulté à fixer longtemps un objet, une fatigue excessive, une sensation de vision double et aussi, la maladresse, les maux de tête, la difficulté à conduire un véhicule la nuit ou en semi-obscurité ou encore, les difficultés d'apprentissage chez l'enfant.

Influence du port d'une gouttière occlusale supérieure



Voici le cas d'un sujet féminin jeune venu consulter pour des rachialgies rebelles aux traitements symptomatiques. C'est lors de l'anamnèse que la genèse de ces douleurs est clairement établie, quelques semaines après la mise en place d'une gouttière occlusale diurne. La posturométrie comparative montre des modifications flagrantes dans l'organisation posturo-fonctionnelle qui en revanche sont difficilement perceptibles à l'œil nu.

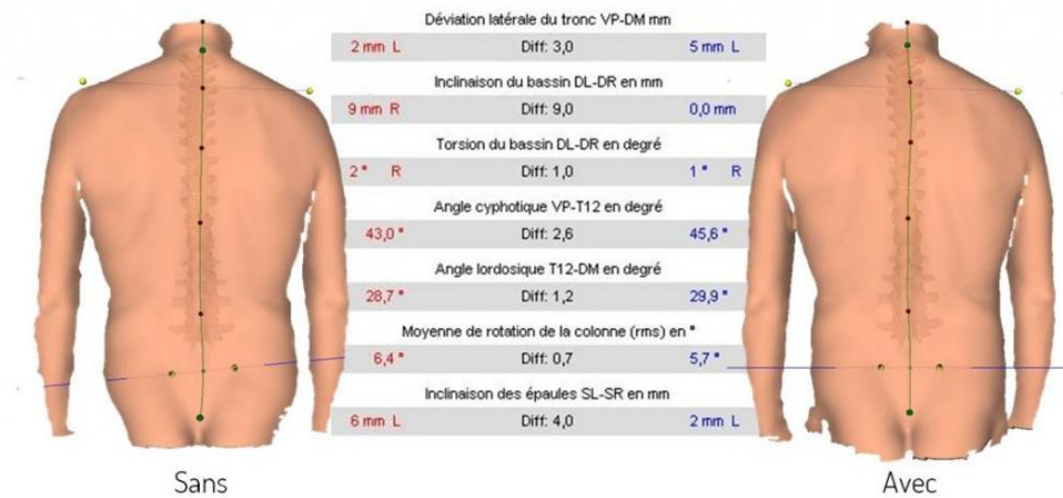
Le rôle de la sphère buccodentaire est considérablement sous-estimé par les praticiens. La mâchoire est une partie intégrante du système tonique postural. L'intégrité de l'appareil manducateur conditionne le bon équilibre entre l'occiput et les vertèbres cervicales et dorsales. Ce système est bien souvent négligé par non connaissance de ses interactions avec la globalité du système musculaire. Aussi, si un traitement occlusal peut déstabiliser le système posturo-fonctionnel jusqu'à générer des contraintes algiques comme dans le cas ci-dessus, il peut s'avérer très utile, lorsqu'il est bien mené et que l'indication est bien posée, pour lever une pathologie de contrainte. Dans de nombreux cas, la décision d'engager un traitement occlusal est motivée par des raisons esthétiques sans pour autant qu'un suivi des effets à distance ne soit effectué. C'est une grave erreur, notamment chez l'adulte, du fait d'une adaptation de la plasticité tissulaire plus réduite par rapport à celle de l'enfant.

Le bruxisme, le clenching, les subluxations des articulations temporo-mandibulaires sont autant de dérèglements qui nécessitent une prise en charge occlusale. D'abord pour des raisons directes, comme le respect de l'intégrité des articulations temporo-mandibulaires qui pourront être le siège de pathologies dégénératives extrêmement handicapantes avec le temps. Puis pour des raisons indirectes, l'expérience et les observations conduisant certains auteurs à leur attribuer une responsabilité dans les migraines, torticolis, névralgies cervico-scapulaires ou troubles de phonation, de déglutition, de digestion,

Il est aussi à noter que l'étude du microgalvanisme lié aux métaux présents dans la cavité buccale est également une évolution importante dans la compréhension de nombreuses pathologies. Son action délétère a été montrée grâce à des appareils susceptibles de mesurer des courants dans la bouche (amalgames) mais aussi entre la cavité buccale et son environnement immédiat (amalgame / boucle d'oreilles, colliers, bagues, bracelets, ...) générant des sollicitations musculaires incongrues.

Ainsi, quels que soient les traitements entrepris au niveau du système manducateur, le suivi posturométrique doit être une obligation. Il assure la possibilité d'anticipation face aux potentielles contraintes à distance. Dans le cas ci-dessus, une action podale par semelles et une action kinésithérapique ou ostéopathique au niveau du tendon central auraient évité des mois de désagrément.

Influence d'un traitement par semelles



Voici le cas d'un sujet de 67 ans qui souffrait de cervicalgies et qui avait une sensation de vrille du tronc. Plusieurs types de semelles ont été fabriqués et c'est finalement une paire de semelles mixtes, moulées et proprioceptives, qui lui a apporté le maximum de confort.

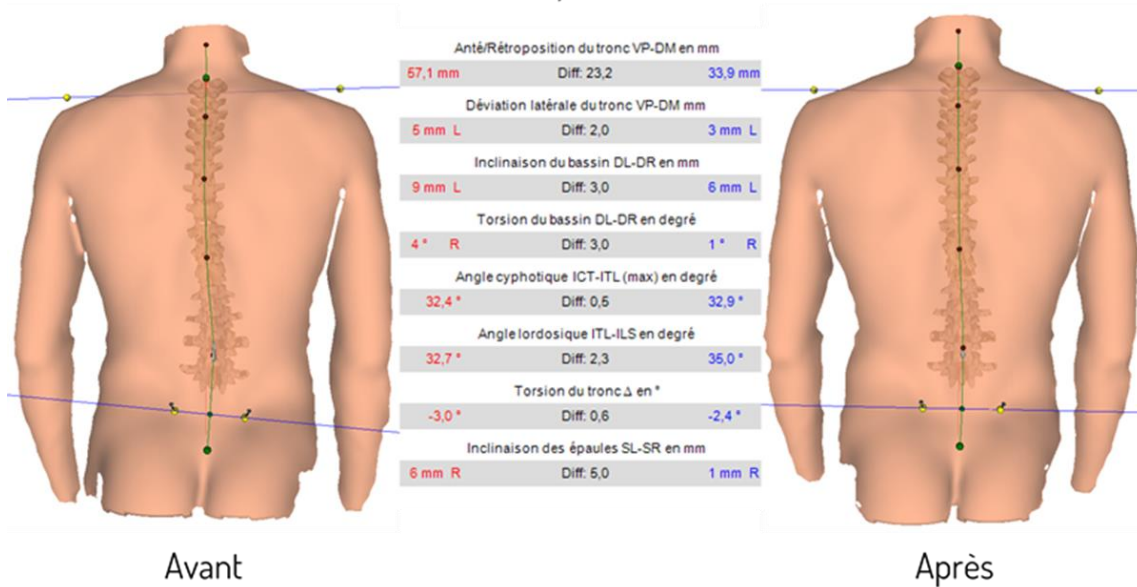
L'influence du système podal sur l'organisation posturo-fonctionnelle est telle que, là encore, il n'est pas simple de définir une règle. Penser qu'il suffit de prescrire une paire de semelles pour éradiquer une lombalgie récurrente est irresponsable.

Les différentes recherches sur la posture démontrent que nos pieds s'adaptent à tout déséquilibre sus-jacent. Le pied, cheville comprise, s'adaptera toujours pour harmoniser l'appui au sol, mais avec le temps le contact au sol peut devenir asymétrique par fixation des structures podales et générer une réorganisation sus-jacente contraignante. Le couple pied-cheville devient ainsi un élément causatif d'un déséquilibre posturo-fonctionnel qu'il s'agira d'aborder par voie cinétique, kinésithérapique ou ostéopathique, pour restaurer les amplitudes tissulaires et par voie de reprogrammation proprioceptive à l'aide de semelles fines et non d'orthèses. Seule une synergie pluridisciplinaire permet une levée de contraintes dont les effets sont parfaitement objectivables par posturométrie comparative.

Lorsque le couple pied-cheville est libre, le système podal n'est pas responsable de l'apparition de contraintes douloureuses. Dans ces conditions, semeler un lombalgique est saugrenu, voire contradictoire, puisque c'est apporter une information inopportune dans une organisation déjà perturbée.

Suivi de soins

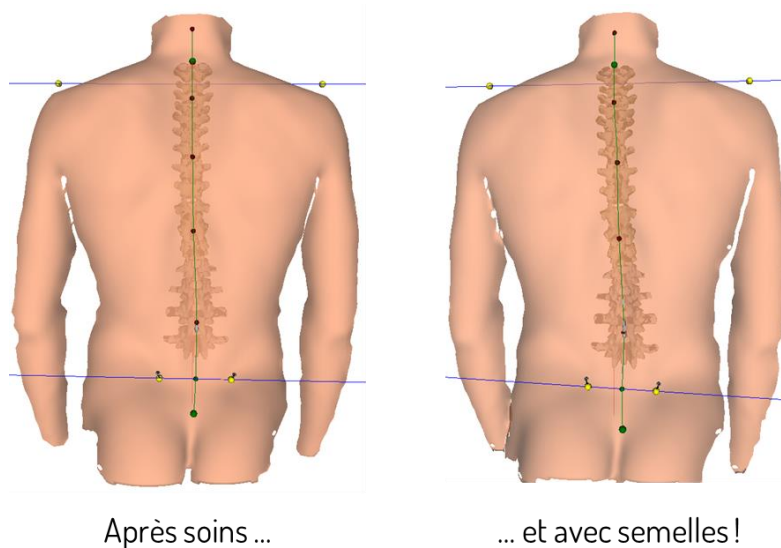
Ici en thérapie manuelle



Traitement effectué chez un sujet sportif lombalgique et pubalgique.

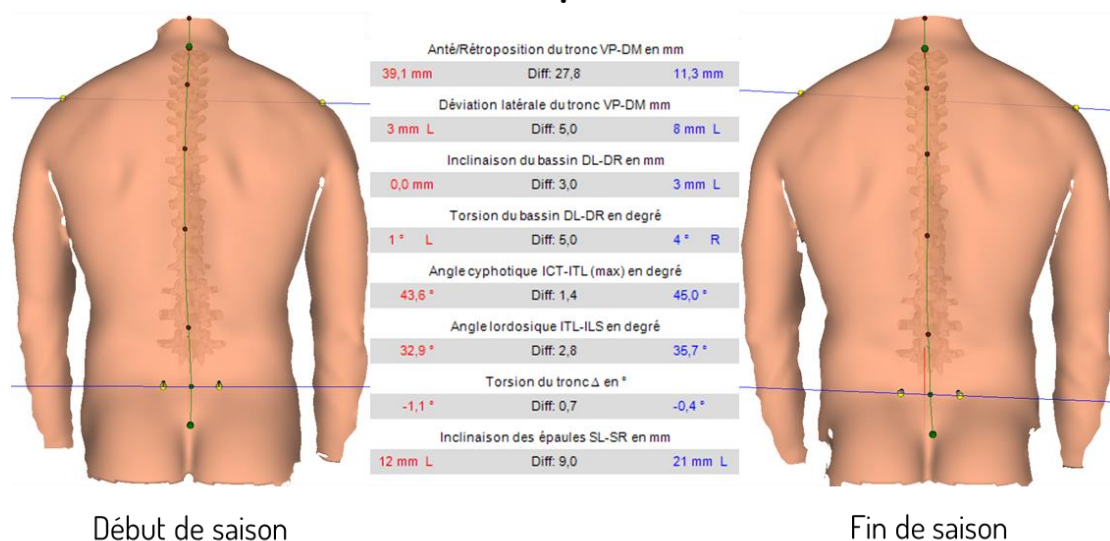
Si la symptomatologie disparaît suite au traitement de thérapie manuelle, la problématique est de maintenir le résultat obtenu. L'avantage de mesures posturométriques objectives est de pouvoir réagir à l'apparition du moindre déséquilibre.

Voici l'exemple trop souvent rencontré d'un traitement dont le suivi est fait avec des outils inappropriés.



Faut-il, encore, s'émouvoir de la récurrence symptomatique chez ce sportif ? Faut-il toujours démontrer l'importance de la qualité d'un traitement ou de sa pertinence ?

Suivi sportif



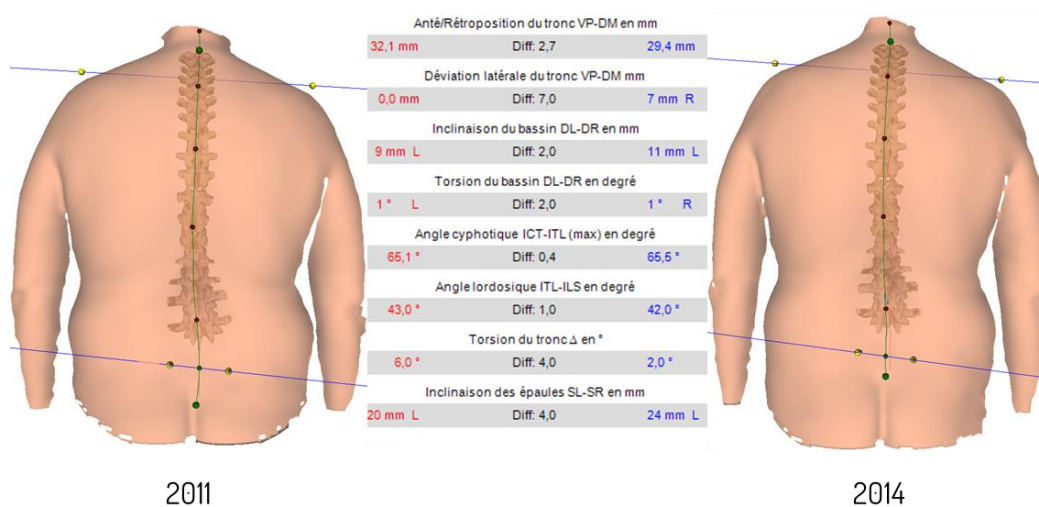
L'une des raisons qui rend le suivi sportif intéressant est que cette population constitue un groupe plutôt homogène par son rythme de travail, de vie et des sollicitations éprouvées. Ici, le cas d'un sujet hockeyeur professionnel évalué en début puis en fin de saison.

La pratique de son sport, les entraînements successifs et les séances de préparation physique génèrent des modifications toniques et posturales évidentes et mesurables.

Toutefois, le cas présenté, qui du reste n'est pas isolé dans l'équipe, met à mal une « croyance » bien répandue dans le monde médical. Ce sportif souffrait de lombalgies importantes en début de saison et, continue à souffrir de la même manière en fin de saison. Le renforcement musculaire ne résoudrait-il donc pas une problématique de lombalgie ? À l'évidence, non ! Et les seuls traitements symptomatiques de l'encadrement médical non plus !

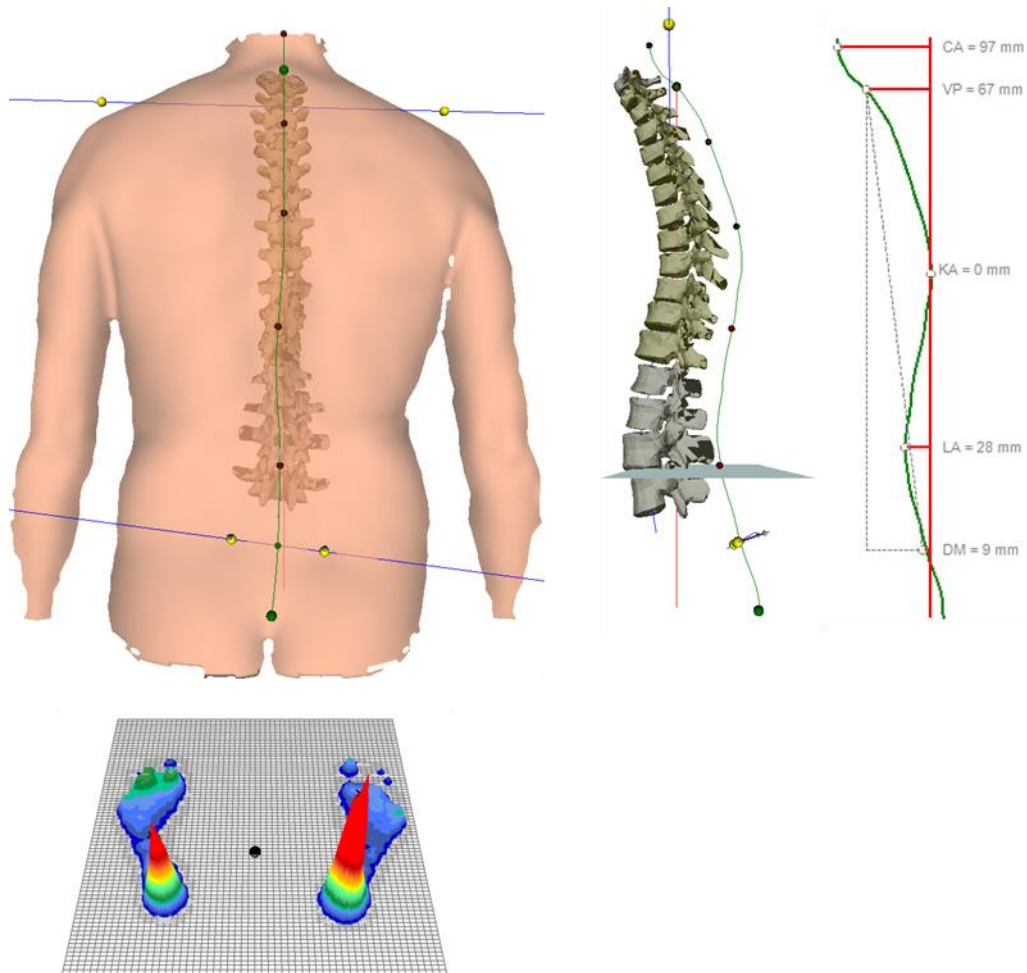
Cet exemple montre combien il est important d'individualiser une stratégie de soins mais surtout combien il est important de considérer une contrainte de manière systémique et holistique.

L'exemple ci-dessous démontre l'absurdité d'un autre dogme. Perdre du poids pour se débarrasser de son mal de dos.



La suggestion de soins orthoptiques et podaux avait été faite suite à l'évaluation en 2011. Celle-ci n'a pas été suivie, les rachialgies sont identiques malgré la perte de poids et les déficiences posturo-fonctionnelles sont strictement les mêmes après trois ans !

Voici, pour terminer, le cas d'un sujet masculin droitier de 43 ans mesurant 178cm et pesant 74Kg.



Le plan frontal montre une bascule homolatérale des ceintures et une légère déformation vertébrale.
Le plan sagittal montre L3 en parfaite horizontalité, mais en revanche un plan scapulaire antérieur avec une flèche lombaire assez faible.
Le Pedoscan montre une répartition asymétrique des charges.

Ce sujet qui, malgré une activité professionnelle prenante, pratique le tennis régulièrement, ne souffre d'aucune douleur ! Il est la parfaite illustration que son organisation posturo-fonctionnelle sans contrainte est très éloignée d'un état orthonormé supposé être gage de l'absence de douleurs.

Cet exemple, qui est loin d'être unique, évidemment pose question.

Quelle eut été la stratégie de soins à adopter si cette personne était venue consulter suite à une rupture de son équilibre ? Il est probable qu'une sur-corrrection aurait été effectuée, générant ainsi d'autres contraintes. Comme il est tout aussi probable que toutes les personnes entrées dans un nomadisme médical ont été victimes d'un « vouloir-faire » aveugle.

Les oscillations en position orthostatique

Chez l'homme debout au repos, le corps n'est jamais immobile ; il oscille en permanence suivant des rythmes particuliers et complexes dont l'amplitude et la fréquence rendent compte du fonctionnement des différents systèmes sensorimoteurs qui placent et maintiennent le centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation en orthostatisme.

On peut enregistrer facilement ces mouvements rendant compte de la régulation posturale, c'est le but de la statokinésimétrie et des techniques dérivées (J.B Baron).

Ainsi depuis de nombreuses années, les physiologistes et biophysiciens travaillent sur le secret de l'information oscillatoire. Elle est silencieuse, ne s'observe pas à l'œil nu et, est très importante à analyser. Elle intrigue depuis la nuit des temps la recherche de la biomécanique humaine. Comment pourrions-nous comparer modestement le relevé oscillatoire entre deux situations ? Nous connaissons l'important travail réalisé par Pierre Marie Gagey sur les plateformes de stabilométrie qui lui a permis d'évaluer la biométrie à travers les oscillations de l'humain.

Au même titre que l'ADN, la biométrie d'un individu est unique et le caractérise. Encore faut-il pouvoir l'analyser pour apporter des réponses sur l'activité tonique posturale. La plateforme stabilométrique, largement utilisée par les podologues, trouve plutôt une place dans le secteur recherche et développement. De Bell à Fournier, les outils de mesure ont évolué grâce aux nouvelles technologies et permettent des enregistrements aussi précis qu'ils sont opaques et peu exploitables pour une pratique quotidienne. Il est possible que la vision du pendule inversé, base des analyses stabilométriques ne soit finalement utile qu'au chercheur. Dans le cursus du DIU de Posturologie Clinique, lors de l'enseignement de la stabilométrie à l'université de Toulouse sous la responsabilité de David Gasq (MCU- PH), il est bien précisé que ce dispositif médical est pour l'instant encore limité à la recherche et fait l'objet de nombreuses publications, mémoires et thèses.

Nous devons à nos maîtres, qui ont été des précurseurs pour l'évaluation posturale et la méthodologie d'examen, une immense reconnaissance. La vidéo rasterstéréographie est le seul procédé qui permet de mesurer les oscillations. Sans remettre en cause les fondements de la posturologie, cette technologie offre la possibilité de tirer des conclusions sur l'activité tonique posturale du sujet. La visualisation des mouvements inter-segmentaires permet l'analyse des contraintes mécaniques en jeu. Elle est d'un abord plus compréhensible et directement utile au praticien, donc au patient qui est l'acteur principal d'une stratégie de soins.

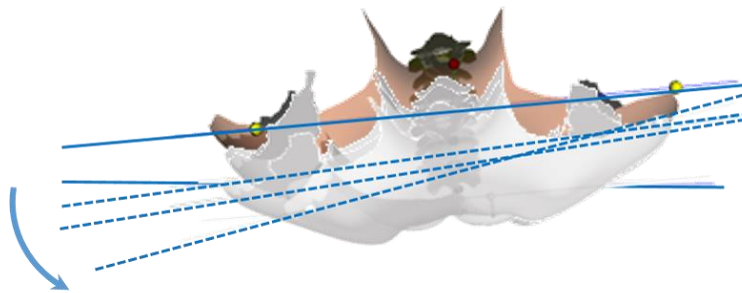
Les enregistrements oscillatoires sont faits sur un cycle de 30 secondes, permettant d'avoir une bonne représentation des fréquences de mouvements. Dans le cadre d'études, ce cycle peut être augmenté selon les souhaits de l'opérateur.



Oscillations antéro-postérieures (vue du dessus).

La visualisation et la mesure de différents paramètres dans les trois plans de l'espace lors des oscillations du tronc, simultanément aux mouvements du centre de pression au sol, sont donc désormais possible. Si le plan frontal et le plan sagittal font l'objet d'études attentives, le plan horizontal reste le tendon d'Achille des études posturales et pour cause, les outils permettant des mesures fiables et non opérateur-dépendantes ne sont pas légions. Raimondi en 2010, déjà, évoquait la possibilité que la vidéogrammétrie soit l'unique réponse proposée, d'une excellente fiabilité. Par conséquent, il est inutile de chercher le moindre standard, seuls les examens du type vidéogrammétrie combleront le vide des bases de données.

Les contraintes mécaniques générées par les rotations vertébrales sont redoutées, parce que l'on ne connaît pas concrètement l'action d'un traitement sur leurs amplitudes et encore moins les éventuelles réactions compensatrices après correction. D'où la prudence de certains auteurs quant aux traitements des scolioses par exemple.



Variations de la rotation des ceintures et de la torsion du tronc, une visualisation qui ouvre considérablement le champ des possibles en termes d'études.

Concernant le plan sagittal, il n'est pas rare de découvrir qu'une personne n'oscille pas uniquement sur ses chevilles, oscillation économique décrite dans les travaux de recherche. Dans certains cas, les mouvements en C7 sont plus amples qu'au niveau du bassin, voire de sens opposé, nous amenant à penser qu'un sujet est plus animé d'ondulations que d'oscillations. Les études cliniques à venir nous montreront si tel est le cas pour tous, sujets sains compris, ou s'il s'agit d'un signe de dérèglement du système posturo-fonctionnel.

Quant au plan frontal, la statokinésimétrie permet l'observation d'une oscillation latérale sans précision sur les segments responsables des variations du centre de pression.

Aussi, nous vous proposons un résultat documenté et qui ne reste qu'un exemple.

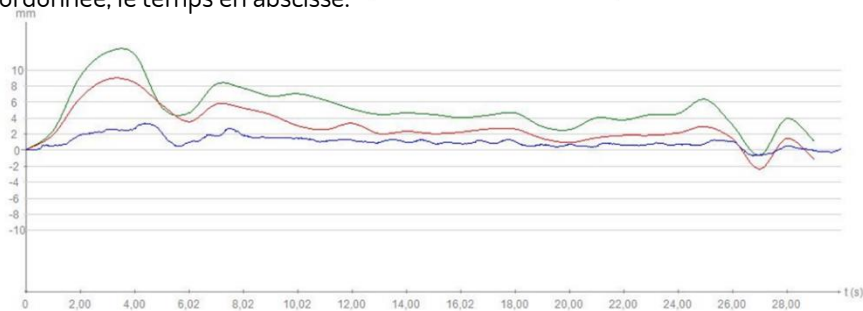
Nous avons sollicité 2 sujets quinquagénaires en bonne forme physique pratiquant une activité professionnelle plutôt sédentaire et une activité sportive plutôt soutenue. Le premier, A, souffre régulièrement de rachialgies, le second, B, ne souffre d'aucune douleur. Nous leur avons proposé à chacun d'effectuer deux enregistrements. Le premier enregistrement en position orthostatique naturelle, le second en position orthostatique avec semelles.

Le choix d'une paire de semelles réside dans le fait que ce soit un objet stable facile à utiliser contrairement à une paire de lunettes ou une gouttière occlusale qui, toutes deux, nécessitent un réglage. Précisons que la paire de semelles est de fabrication industrielle, que la même paire de semelles est utilisée chez les 2 sujets et, précisons surtout que l'expérience n'a pas pour but d'évaluer l'efficacité de l'orthèse, mais que celle-ci est menée pour mettre en évidence une éventuelle modification de l'activité tonique posturale.

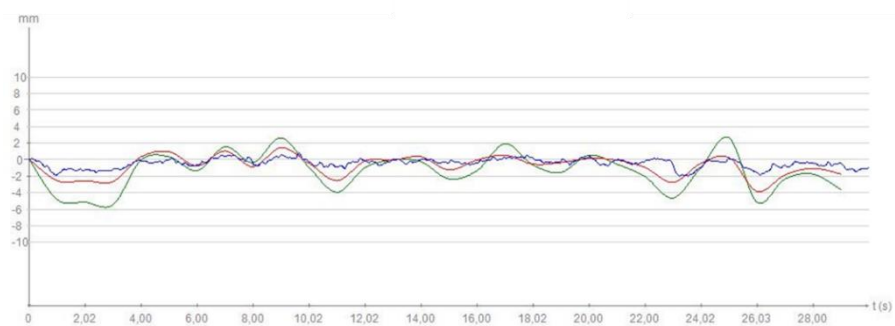
Les paramètres choisis pour cette présentation sont la visualisation graphique des oscillations antéro-postérieures, les mouvements de la ligne des épines iliaques postéro-supérieures (EIPS) dans le plan frontal et la variation sagittale de l'angle de cyphose et de l'angle de lordose qui permet d'observer le mouvement du tronc dans sa verticalité.

Les mouvements antéro-postérieurs

La ligne bleue représente les mouvements du centre de pression du corps au sol, la ligne rouge représente les déplacements au niveau L5 et la ligne verte représente les déplacements au niveau C7. L'amplitude est en ordonnée, le temps en abscisse.



Sujet A en position orthostatique naturelle.

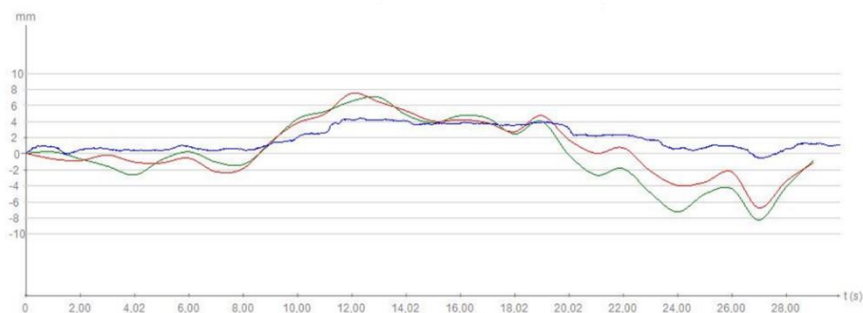


Sujet B en position orthostatique naturelle.

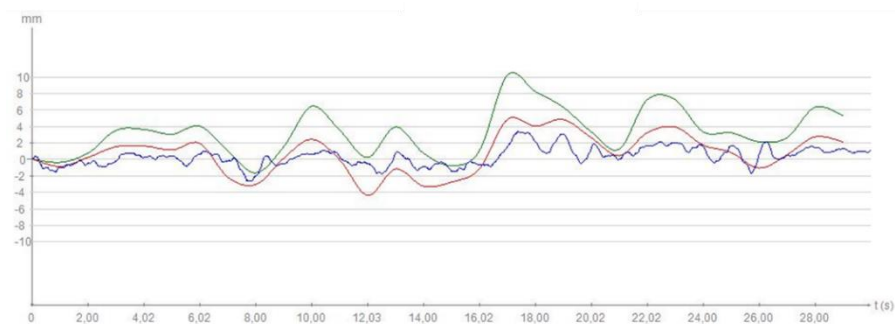
Vous pourrez remarquer que le signal est bien présent et représente clairement les oscillations.

Nous savions tous que dans l'analyse anatomo-morphologique, la différence de l'activité tonique posturale est permanente entre les humains, il nous est possible désormais de la mesurer ce qui éclairera le débat de l'existence réelle ou possible d'une référence.

Voici maintenant les enregistrements de ces mêmes paramètres chez les mêmes sujets équipés de semelles.



Sujet A en position orthostatique avec semelles.

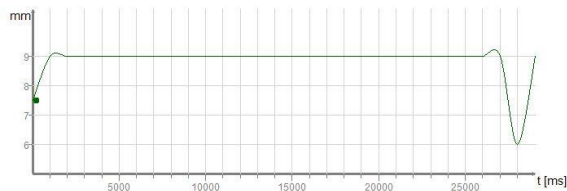


Sujet B en position orthostatique avec semelles.

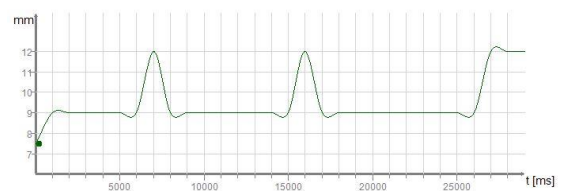
L'interprétation de ces graphiques n'étant pas l'objet, le lecteur peut aisément observer l'existence d'une différence de l'activité tonique entre les deux situations pour chacun des sujets.

Les mouvements de la ligne des épines iliaques postéro-supérieures (EIPS)

La ligne du graphique montre le mouvement de l'EIPS la plus mobile par rapport à l'autre. De fait, une ligne parfaitement droite représente un bassin sans mouvement, qui pourrait être qualifié de stable alors même que la ligne des EIPS peut ne pas être horizontale en posture moyenne.

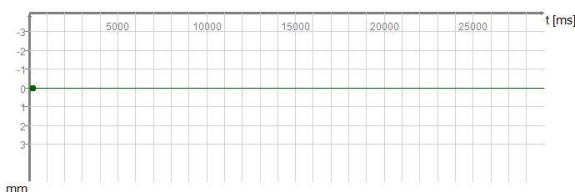


Sujet A sans semelles

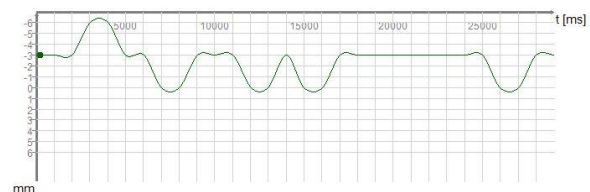


Sujet A avec semelles

Pour le sujet A, le graphique de la situation avec semelles montre l'apparition d'élévations de l'EIPS droite par rapport à l'EIPS gauche toutes les 10 secondes. Le bassin est devenu moins stable.



Sujet B sans semelles



Sujet B avec semelles

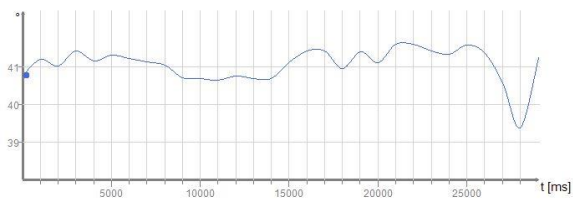
Pour le sujet B, le graphique de la situation avec semelles montre l'apparition d'élévations de l'EIPS gauche par rapport à l'EIPS droite assez fréquentes. Le bassin est devenu instable.

Notons que les variations du signal sont d'une amplitude de l'ordre de 6 millimètres et de ce fait imperceptibles à l'œil nu. Leur présence, ou absence, constitue un élément important de l'organisation personnelle de l'activité tonique posturale et de la réponse donnée aux stimuli.

Les mouvements des courbures sagittales

Si nous avons choisi de vous présenter ces paramètres, c'est parce que nous connaissons tous leur importance et leur rôle lors d'une activité en mouvement. Lors d'un examen clinique, ou d'un examen radiologique, la valeur angulaire de la cyphose dorsale et celle de la lordose lombaire n'est utilisée qu'à titre descriptif comme si elle était figée. La vidéo rasterstéréographie nous apporte une nouvelle dimension : les variations de ces paramètres chez le sujet en position orthostatique qui peuvent être comparées aux mouvements verticaux du piston d'un amortisseur. Une perturbation de ces paramètres peut, par exemple, orienter le thérapeute vers la présence de dérangements intervertébraux qui empêcheront une action efficace lors d'un traitement à partir d'autres entrées posturales.

Variation de la cyphose

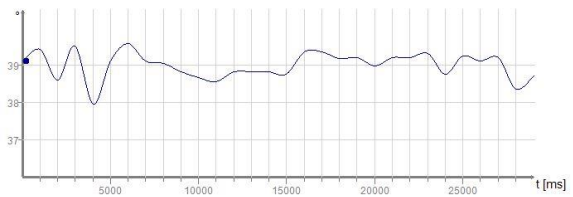


Sujet A sans semelles

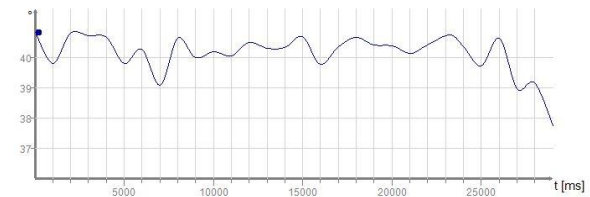


Sujet A avec semelles

Variation de la lordose

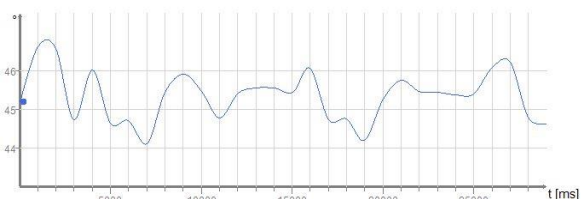


Sujet A sans semelles

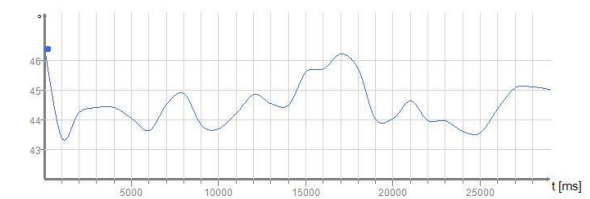


Sujet A avec semelles

Variation de la cyphose

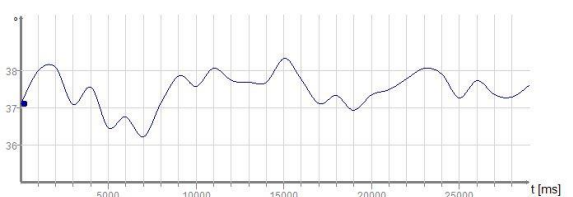


Sujet B sans semelles

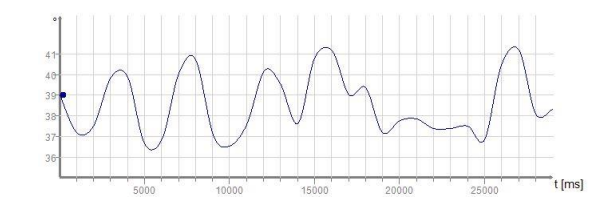


Sujet B avec semelles

Variation de la lordose



Sujet B sans semelles



Sujet B avec semelles

Là encore les variations sont évidentes, en fréquence et en amplitudes. Notons surtout que leur rythme est bien supérieur à celui du rythme respiratoire et qu'il ne peut donc lui être attribué. Relevons également que l'on pourrait penser qu'il existe une certaine synchronicité dans les variations de la cyphose et de la lordose. Ces enregistrements prouvent le contraire et mettent en évidence le caractère individuel de l'organisation de l'activité tonique posturale.

Conclusion.

La vidéo rasterstéréographie, par sa méthodologie stricte, ouvre une nouvelle voie dans la stratégie de santé et la lecture de l'équilibre de santé mesuré objectivement avec une reproductibilité fiable. Cet outil ne dispense pas le praticien d'une solide connaissance dans les domaines tels que l'anatomie, la biomécanique, les neurosciences, la biophysique,

La prise en charge holistique, pour amener une proposition d'une stratégie de soins, ne peut s'affranchir ni d'une anamnèse ni d'un examen clinique maîtrisé. Mais quelle que soit cette stratégie, elle ne peut elle-même s'affranchir de contrôle. Et c'est précisément pour ce contrôle qu'un outil est indispensable. Mais que le lecteur ne s'y trompe pas : ne peut être qualifié d'outil, qu'un procédé qui permet une comparaison fiable donc non opérateur-dépendante. Quand un dispositif d'imagerie optique autorise la comparaison à partir du calcul moyen de deux situations (vidéogrammétrie) et non à partir la comparaison de deux images instantanées prises aléatoirement dans le cycle oscillatoire (photogrammétrie), alors celui-ci peut être qualifié d'outil.

Le monde de la santé l'intègre petit à petit, les enseignants du DIU de Posturologie Clinique ont validé le premier mémoire introduisant l'imagerie optique 4D comme outil pertinent pour cet art en 2019 (Edmond Le Borgne). La posturologie est transversale, elle va créer la richesse de nos réflexions. Les neurosciences, discipline qui travaille sur la modification posturale en fonction des différents capteurs, sont au cœur de cette présentation. Ainsi comme dans de nombreux domaines, il fallait que la posturologie puisse signer une évolution. Qui aurait pu prévoir qu'un jour un dispositif médical non irradiant soit capable de recueillir des oscillations et des valeurs angulaires fiables ? Et qu'à partir d'une analyse morphométrique nous puissions obtenir des mesures utilisables dans le domaine de la biomécanique et des neurosciences, en vue d'une exploitation par différents professionnels de la santé ?

La vidéo rasterstéréographie ne peut en aucun cas se substituer à l'imagerie pratiquée en radiologie, elle est un complément indicateur de grande valeur pour la médecine fonctionnelle. Quel que soit l'acteur de santé (médecine fonctionnelle, kinésithérapeute, ostéopathe, posturologue, orthoptiste, podologue, dentiste, orthodontiste, occlusodontiste, ergothérapeute, ergonomes, spécialiste du sport, des neurosciences, ...) il n'échappera pas à la nécessité d'objectiver. Le patient exige la compréhension, nous devons nous plier à cette volonté plutôt légitime. N'oublions pas que la compréhension renforce nettement l'adhésion aux traitements proposés et au suivi médical qui lui, est gage de la qualité des soins à venir.

Détecter et mieux comprendre, c'est aussi garantir un mieux-être et éviter un engrenage négatif pour l'individu et la collectivité. La biométrie posturale est un examen qui contribue à l'effort de maîtrise du coût social et financier de la santé publique. Elle est une solution qui a sa place dans le cadre des actions préventives, correctives et/ou curatives de la médecine d'aujourd'hui et qui s'inscrit en tant que technologie d'information et de communication pour la médecine de demain.

Nous avons tous un rôle à jouer, celui de partager nos évolutions technologiques n'est sans doute pas le moindre.

Bibliographie.

Ouvrages sur la technologie

- M. Betsch et al.: The rasterstereographic-dynamic analysis of posture in adolescents using a modified Matthiass test, in: *European Spine Journal* Nr. 43, 2005, S. 331–341.
- Carr, A.; Jefferson, R.; Turner-Smith, A. (1989). Surface stereophotogrammetry of thoracic kyphosis. *Acta Orthop Scand.* 04, 60(2), 177-180
- Conversation with Paolo Raimondi on vertebral rotation, recorded in October 2010. Faculty of Sports Sciences of the University of Aquila.
- Drerup, B. (1982). Measurement of kyphosis using moiré topography. *Biostereometrics '82 / SPIE* 361, 101-110
- Drerup, B. (1984). Principles of Measurement of Vertebral Rotation from Frontal Projections of Pedicles. *Journal of applied Biomechanics* 17, 923-935
- Drerup, B.; Hierholzer, E. (1987). Movement of the human pelvis and displacement of related anatomical landmarks on the body surface. *Journal of applied Biomechanics* 20, 971-977
- Drerup, B.; Hierholzer, E. (1996). Assessment of scoliotic deformity from back shape asymmetry using an improved mathematical model. *Clin. Biomech.* 11, 367-383
- Duval-Beaupère G, Schmitt C, Cosson Ph. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis. *Ann Biomed Engineer* 1992;20:451–62.
- Frobin, W.; Hierholzer, E. (1978). Rasterstereography: A stereophotogrammetric method for the measurement of body surfaces using a projected grid. *Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers* 166, 39-44
- Frobin, W.; Hierholzer, E. (1981). Rasterstereography: A photographic method for measurement of body surfaces. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Nr 47, S. 1717-1724 PMC 6853417
- Frobin, W.; Hierholzer, E. (1982). Calibration and model reconstruction in analytical close-range stereophotogrammetry. Part I: Mathematical fundamentals. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 48, 67-72
- Frobin, W.; Hierholzer, E. (1983). Automatic measurement of body surfaces using rasterstereography. Part II: Analysis of the rasterstereographic line pattern and 3-D surface reconstruction. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 50, 1443-1452
- Frobin, W.; Hierholzer, E. (1986). Mathematical representation and shape analysis of irregular body surfaces. *Biostereometrics '82 / SPIE* 361, 132-139
- Frerich J, Hertzler K, Knott P, Mardjetko S. Comparison of Radiographic and Surface Topography Measurements in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *Open Orthop J.* 2012;6:261-265.
- Graf H, Hecquet J, Dubouset J. Approche tridimensionnelle des déformations rachidiennes. *Rev Chir Orthop* 1983 ; 69 : 4074-416.
- Guigui P, Levassor N, Rillardon L, Wodecki P, Cardinne L. Physiological value of pelvic and spinal parameters of sagittal balance: analysis of 250 healthy volunteers. *Rev Chir Orthop* 2003 ; 89 : 496-506.
- L. Hackenberg et al.: Rasterstereographic back shape analysis in idiopathic scoliosis after posterior correction and fusion, in: *Clinical Biomechanics* Nr. 18, 2003, S. 883–889
- Hierholzer, E.; Lüxmann, G. (1982). Three-dimensional shape analysis of the scoliotic spine using invariant parameters. *Journal of applied Biomechanics* 15, 595-598
- Patrick Knott, PhD, PA-Ca, *, Peter Sturm, MD, Baron Lonner, MD, Patrick Cahill, MD, Marcel Betsch, MD, Richard McCarthy, MD, Michael Kelly, MD, Lawrence Lenke, MD, Randal Betz, MD, Multicenter Comparison of 3D Spinal Measurements Using Surface Topography With Those From Conventional Radiography Spine Deformity 4 (2016) 98e103, USA.
- Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic Incidence: a fundamental pelvic parameter for three dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998;7:99-103.
- Liljenqvist, U.; Halm, H.; Hierholzer, E.; Drerup, B.; Weiland, M. (1998). 3- dimensional surface measurement of spinal deformities with video rasterstereography. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.*;136(1), 57-64
- M Mangone, P Raimondi, M Paoloni. Vertebral rotation in adolescent idiopathic scoliosis calculated by radiograph and back surface analysis-based methods: correlation between the Raimondi method and rasterstereography. *Eur Spine J* 2013;22:367-71.

- Mardjetko S, Knott P, Rollet M, Baute S, Riemenschneider M, Muncie L. Evaluating the reproducibility of the formetric 4D measurements for scoliosis. *Eur Spine J.* 2010;19:241-242.
- Schulte TL, Hierholzer E, Boerke A, Lerner T, Liljengvist U, Bullmann V, Hackenberg L. Raster stereography versus radiography in the long-term follow-up of idiopathic scoliosis. *J Spinal Disord Tech.* 2008;21(1):23-28.
- Tabard-Fougère A, Bonnefoy-Mazure A, Hanquinet S, Lascombes P, Armand S, Dayer R. Validity and Reliability of Spine Rasterstereography in Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis. *SPINE.* 2016;42(2):98-105.
- Takasaki, H. (1970). Moiré topography. *Appl Opt.* 1970 06 1;9 (6), 1467-1472
- Turner-Smith, A.; Harris, J.; Houghton, G.; Jefferson, R. (1988). A method for analysis of back shape in scoliosis. *Journal of applied Biomechanics* 21 (6), 497- 509
- Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J.* 2002;11:80-87.
- Weiss HR, Seibel S. Can surface topography replace radiography in the management of patients with scoliosis ? *Hard Tissue* 2013 Mar 22;2(2):19.
- Xenofoss, S.; Jones, C. (1979). Theoretical aspects and practical applications of moiré topography. *Phys. Med Biol.* 03; 24(2), 250-261

Ouvrages sur la posture

- BARON J.B statokinésimétrie (étude de la posture verticale humaine) *Ann.Kinésithér.*1982, 9,377.388
- Gagey P.M. Baron J.B., Ushio N. (1980) Introduction à la posturologie clinique. *Agressologie*, 21, E, 119-124
- Gagey ABC de la Stabilométrie
- Gagey, P.M., et B. Weber. 2004. *Posturologie. Régulation et dérèglements de la station debout.* édition. Paris: Masson.
- Gagey PM (2016) Specifications of the Clinical Stabilometry Platform « ADAP_Normes13 ». *MTPRehabJournal*, 14: 332-341
- GASQ David Quelle utilisation des données stabilométriques en pratique clinique ? *Revue ADP* 2015
- Hamaoui Alain Posture, équilibre, mouvement : rôle de la mobilité du tronc sur la capacité posturo-cinétique November 2016 *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology* 46(4-5):237 DOI: 10.1016/j.neucli.2016.09.004
- McIlroy, W.E., et B.E. Maki. 1997. « Preferred placement of the feet during quiet stance: development of a standardized foot placement for balance testing. » *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 12 (1): 66-70.
- Le Borgne Edmond *Posturologie-Imagerie Optique Posturale* DIU de Posturologie Clinique 2019
- Thoumie Philippe rôle des afférences périphériques des membres inférieurs dans le rattrapage de l'équilibre. étude expérimentale et clinique /; sous la direction de Simon Bouisset / [s.l.] : [s.n.], 1993
- *Pratique en posturologie clinique*, Ouvrage conçu à l'origine par B. Weber † (1927 - 2013) coordonné par Françoise Zamfirescu, PM Gagey, Ph Villeneuve et A Scheibel.