

L'homme debout : le rachis et son plan horizontal, scolioses. La scoliose est une "maladie" du plan horizontal : le secret pour comprendre les 3 dimensions

The standing man : scoliosis and horizontal plane deformity. The best way to understand 3D in orthopedics

J Dubousset

Académie Nationale de Médecine

Mots clés

- ◆ Station érigée
- ◆ Scolioses
- ◆ 3 Dimensions

Résumé

En examinant les bassins obliques paralytiques en 1972, il m'est apparu évident que les radiographies ne montraient que « l'ombre chinoise » de la réalité. L'ignorance des études de profil dans la scoliose nous poussaient avec Henri Graf et René Perdrille à proposer le sujet du profil des scolioses comme thème du Groupe d'Études des Scolioses (GES) de Montréal en 1979. Les premières reconstructions 3D informatisées faites avec J Hecquet, présentées à la SRS (Scoliosis Research Society) de Chicago en 1980 et dans le RCO (Revue de Chirurgie Orthopédique) de la même époque démontrant parfaitement l'importance du plan horizontal sont restées lettre morte tant en France qu'ailleurs, bien que les frères Ducroquet en aient parlé une décennie avant « la marche et les boîtiers ».

Il a donc fallu plus de 30 ans pour comprendre que notre « Homme debout », lorsqu'il se déformait en scoliose, lâchait le contrôle de son plan axial (horizontal) que ce soit pendant l'enfance (scolioses ascendantes) ou à l'âge adulte (scolioses descendantes). D'ailleurs ce plan horizontal est toujours de nos jours le plus mal contrôlé aussi bien dans les traitements orthopédiques (non sanglants) que chirurgicaux des déformations rachidiennes.

L'évaluation statique et dynamique du patient, aussi bien que fonctionnelle (préthérapeutique ou postopératoire) ne peut, de nos jours, que s'effectuer dans les trois dimensions. Elles tournent autour de la chaîne de l'équilibre et du cône d'économie de ladite station érigée à laquelle toute la séance est consacrée.

Il faut espérer que l'imagerie moderne debout, comme avec EOS (bien différente de celle donnée avec les reconstructions scanner 3D qui pour l'instant sont couchées et très irradiantes) fasse de plus en plus prendre conscience aux chirurgiens orthopédistes que toute la réalité de la fonction érigée, quel qu'en soit le niveau (pieds, genoux, hanches, rachis...) ne peut s'étudier que debout et en 3D en se rappelant toujours que les résultats ne peuvent que s'envisager qu'avec l'épreuve de la quatrième dimension : le temps.

Keywords

- ◆ Standing position
- ◆ Scoliosis
- ◆ The 3D in orthopedics

Abstract

It is extremely difficult to put in mind of the physician or orthopedic surgeons such concept, because they have forgotten that X-rays are only giving a « Chinese Shadow » or a projection in 2D of an object (the skeleton) built in 3D. All proof are given to demonstrate it as for mild scoliosis in a child as for degenerative spine. Especially the view of the top « Bird or Eagle » view clinically or after 3D reconstruction in standing position as it is realized thanks to the EOS imaging system is very demonstrative and open new ways to multiple new measurements, new approach for prevention, or new techniques for treatments.

La station érigée « bipède » pour l'homme debout, « assise » pour l'homme paralysé, est le propre de l'espèce humaine, la conserver ou la rétablir est la mission de l'orthopédie.

Rappelons nous qu'il n'y pas de scolioses chez les quadrupèdes et que la pinéalectomie chez le poussin de deux jours entraîne une scoliose dans plus de 70 % des cas. Cette même pinéalectomie effectuée sur un animal quadrupède ne déclenche aucune scoliose.

Une remarque importante lorsque l'on parle de l'homme debout est que l'on confond souvent aussi bien dans le langage que dans l'écriture l'alignement rachidien qui est donc une notion « statique » avec l'équilibre qui est une notion « dynamique ». Une imagerie telle que celle donnée par le

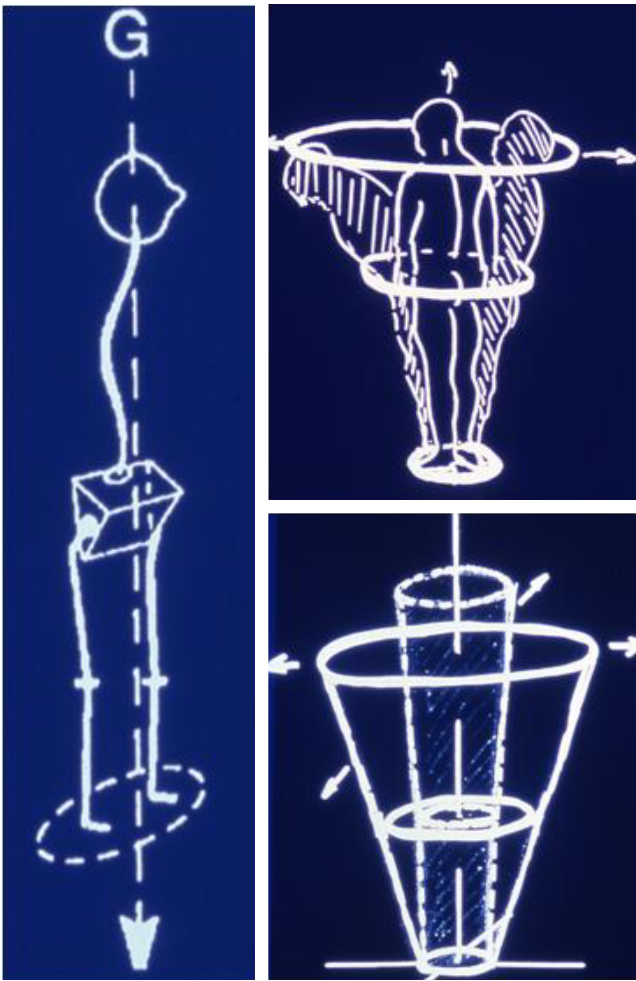
système EOS même avec ses reconstructions 3D donne l'alignement, c'est statique. Pour l'équilibre il faut se rappeler que la station debout soit disant immobile ne l'est pas et qu'il y a en permanence des petits mouvements du tronc autour de la ligne de gravité du corps, qui témoignent de cette recherche permanente de l'équilibre, qui se passent en réalité de manière conique autour d'une base fixe représentée par le polygone de sustentation lui-même créé par la surface d'appui des deux plantes des pieds.

Avant l'ère des radiographies (Roentgen 28/12/1895) tout le monde pensait en 3D, comme en témoignent les magnifiques gravures anatomiques du squelette normal ou pathologique de l'époque, tout autant que les machines permettant de tracer

Correspondance :

Jean Dubousset
23 bis, rue des Cordelières, 75013, Paris
E-mail : jean.dubousset@wanadoo.fr

Figure 1. « Chaîne de l'équilibre » et le « Cône de l'économie musculaire ».



des images de la surface corporelle dans les trois dimensions de l'espace. C'est en 1972 au cours de la préparation de la réunion du Groupe d'Études de la Scoliose de 1973, que, en revoyant les « bassins obliques paralytiques », il m'est apparu que la comparaison de ce que me montrait la radiographie et ce que mes yeux voyaient directement sur le malade, démontrait clairement que la radiographie ne montrait que « l'ombre chinoise » et donc la projection planaire d'un bassin déformé dans les trois dimensions. La seconde déduction de cette observation était que le bassin dans son ensemble pouvait être assimilé à une seule vertèbre que j'appelais dès lors la « vertèbre pelvienne ». Celle-ci était déplacée dans l'espace comme m'importe quelle vertèbre du reste du rachis de cette scoliose avec bassin oblique.

Le concept de « vertèbre céphalique » (représenté par le crâne tout entier) apparaissait tout aussi évident lorsque l'on étudiait les séquelles des laminectomies cervicales ou cervico-thoraciques déclenchant des cyphoses parfois impressionnantes et où l'on voyait le patient cherchant désespérément à retrouver un regard horizontal, en créant des déformations rachidiennes dites « en col de cygne ». De même certains patients porteurs de myopathies congénitales ayant développé des déformations rachidiennes majeures en lordose avec bascule antérieure du bassin avaient besoin de leur main pour soutenir leur tête qui partait en arrière, du fait de la faiblesse des muscles et du mauvais alignement. Il suffisait de corriger le *flexum* des hanches et la lordose rachidienne pour que la tête revienne en position d'« équilibre », libérant la main de secours. Le poids de ce crâne avec son contenu confirmait bien ce concept de vertèbre « céphalique » pesante jouant au

sommet de l'empilement rachidien un rôle de « pendule inversé », ce qui réalise la « chaîne de l'équilibre »

En 1974 ma rencontre instructive avec Pol Le Cœur a aussi été déterminante lorsqu'il m'a montré un squelette monté des labos d'anatomie tenant seul debout sur les pieds quelques dixièmes de seconde grâce à deux lames de caoutchouc fixées devant les articulations des hanches, et deux ficelles inextensibles fixées entre face post des condyles fémoraux et calcaneums.

Dès lors apparaissaient évidents à mes yeux le concept de « cône d'économie énergétique », donc musculaire, à condition que « la chaîne de l'équilibre » second concept important, soit parfaitement bien alignée. (Fig. 1)

Et c'est en dynamique que l'on voit bien apparaître l'importance de cette vertèbre pelvienne dans le plan horizontal avec le « Pas Pelvien » de Ducroquet (1965) au cours de la marche, avec le mouvement en sens inverse de la ceinture scapulaire, démontrant bien que pour l'être humain debout, la plus grande partie des adaptations, compensations et finesse de l'ajustement physiologique de l'appareil locomoteur se passe au niveau du plan horizontal.

Importance du plan horizontal dans les scolioses

Il y a bien longtemps que les « vieux auteurs » avaient compris l'aspect 3D des déformations scoliotiques et avaient essayé de représenter la Torsion comme déformation principale. Nous pouvons citer Shaw, Adams, Sommerville et Roaf et P Stagnara avec son plan d'élection et plus près de nous R Perdrille avec l'appareil ingénieux qu'il a appelé torsiomètre pour approcher la mesure de la torsion sur une radiographie. Personnellement, avec Madame Duval-Beaupère en 1973 nous avons défini la dislocation rotatoire du rachis (cyphose entre deux lordoses) que l'on aurait mieux fait d'appeler « siphon » car difficile à imaginer dans l'espace avant les reconstructions 3D à partir des coupes de scan bien développées seulement vers la fin des années 80. Mais cela nous avait permis de comprendre la pathologie des cypho-scolioses (cyphoses hyper-rotatoires/fausses cyphoses ne traduisant que la forte rotation axiale des vertèbres) et les cyphoses jonctionnelles (vraies cyphoses entre deux lordoses). Il n'est que de prendre entre ses mains un spécimen de scoliose importante pour bien comprendre que la scoliose est en fait une affection du plan horizontal, qui se manifeste très bien dans ce plan par la gibbosité si on envisage un instant une coupe imaginaire transversale passant par son apex.

L'avènement des computers dès la fin des années 70, va marquer une étape importante dans cette compréhension du plan horizontal de l'empilement scoliotique. En 1977 avec Henry Graf, jeune interne de Strasbourg, nous nous rendons au centre Pompidou à Paris pour rencontrer un jeune informaticien, Jérôme Hecquet (qui travaillait à créer des formes nouvelles à l'ordinateur pour les artistes graphiques) et lui demandons s'il pouvait à l'aide de deux radiographies orthogonales (face et profil) d'une scoliose essayer de nous en faire une reconstruction 3D. Ce qui fut fait d'abord en linéaire (une petite ligne représentant chaque corps vertébral disposée dans l'espace) puis un schéma plan d'une vertèbre stylisée, puis un schéma volumique de chaque vertèbre, dont on prenait les références sur chaque radiographie grâce à des points de repères précis (angles des corps, position des pédicules, etc.). Ceci nous donnait déjà une représentation toute nouvelle dans l'espace de la colonne vertébrale qui correspondait exactement avec les spécimens anatomiques que nous avions examinés de la même façon. En particulier la vue du dessus nous est apparue essentielle montrant bien le caractère unique de cet empilement vertébral dans le plan horizontal avec ses courbures exprimant torsion et contre torsion (Fig. 2).

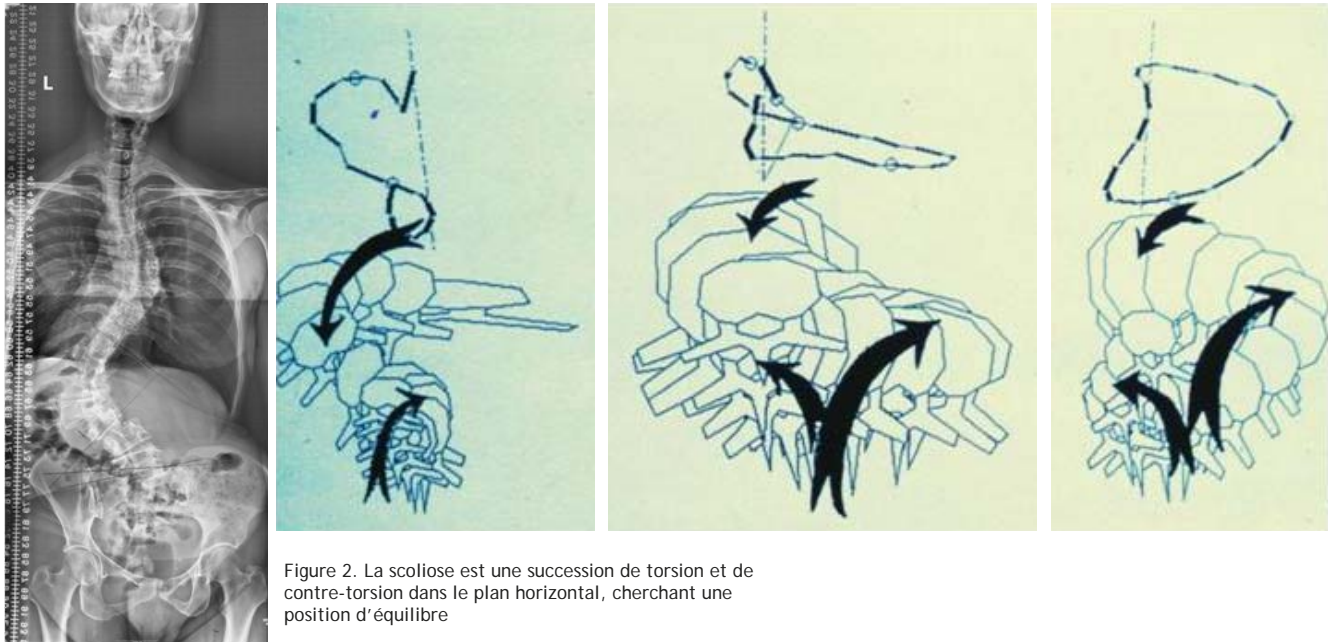


Figure 2. La scoliose est une succession de torsion et de contre-torsion dans le plan horizontal, cherchant une position d'équilibre

Ceci nous amenait après une étude des scolioses infantiles à déterminer des caractères morphologiques tridimensionnels propres à prévoir leur pronostic évolutif d'aggravation ou de régression (1). On amenait la preuve 3D en permettant de la représenter facilement dans l'espace du phénomène du vile-brequin que j'avais décrit quelques années auparavant.

L'examen clinique d'une scoliose idiopathique (2) démontre bien ce caractère « plan horizontal » de la déformation par la mesure de la gibbosité. La reconstruction 3D de la progression aussi bien des scolioses dites de développement ou « ascendantes » (pendant l'enfance) que des scolioses dégénératives ou descendantes (pendant l'âge adulte, qu'elles soient secondaires à celles de l'enfance ou « *de novo* ») le démontre de façon encore plus éclatante.

Le principe de la rotation axiale de la tige dans la stratégie de réduction avec l'instrumentation CD réside là encore dans un réalignement de face, de profil vus sur les radiographies classiques, mais aussi dans le plan horizontal du sujet toujours

difficile à appréhender par l'imagerie alors qu'elle est évidente en clinique, mais maintenant bien visible dans les reconstructions 3D pré et post opératoires, en particulier par la vue du dessus facilement obtenue avec l'imagerie EOS (4).

C'est une des raisons essentielles au départ, qui avec la notion de « chaîne de l'équilibre » nous a poussé fortement à proposer le développement du système d'imagerie 3D EOS. C'est bien cela qu'exprime la vision biomécanique de la torsion scoliotique : translation horizontale autour d'un axe hélicoïdal (Fig. 3). Et on le constate bien lors de la description de la mesure de l'index de pénétration rachidien en particulier au niveau du thorax (5) avec cette pénétration du squelette vertébral dans le thorax traduisant lordose et rotation axiale et envahissant le thorax dans le plan horizontal avec ses conséquences de restriction volumétrique parfois majeures pouvant même aller dans des cas extrêmes jusqu'à la compression de l'arbre respiratoire (bronches ou tachée) par les corps vertébraux *protus*.

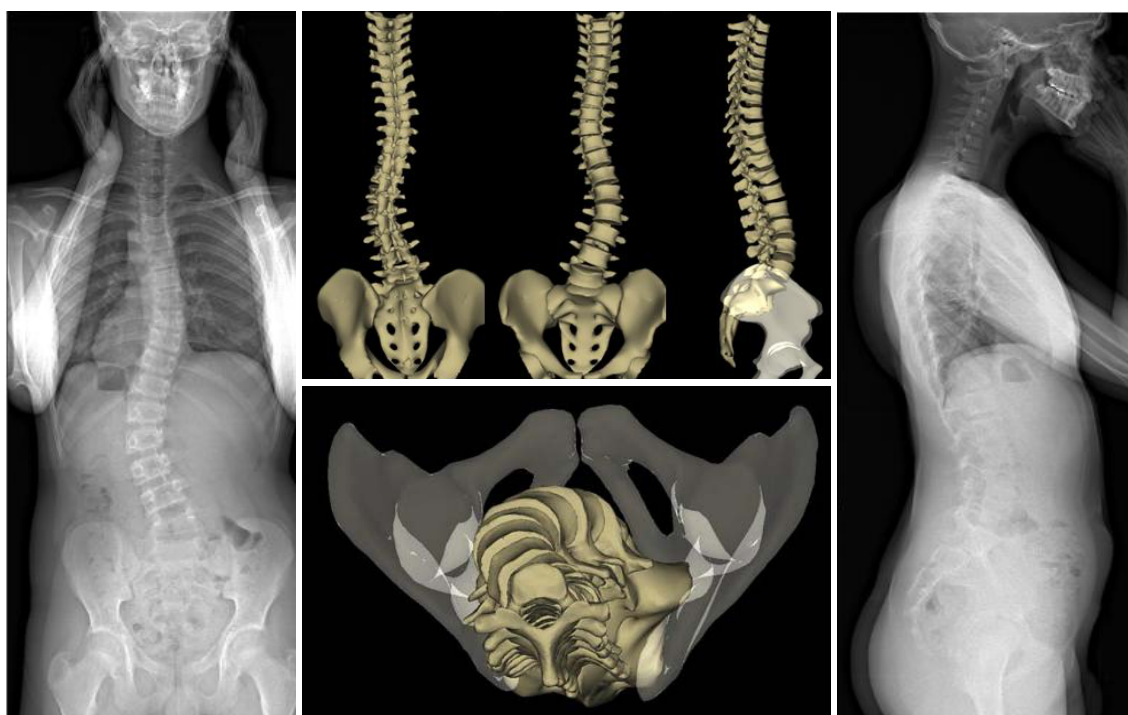


Figure 3. Imagerie 3D EOS d'une scoliose lombaire, montrant bien torsion et contre-torsion dans la vue du dessus.

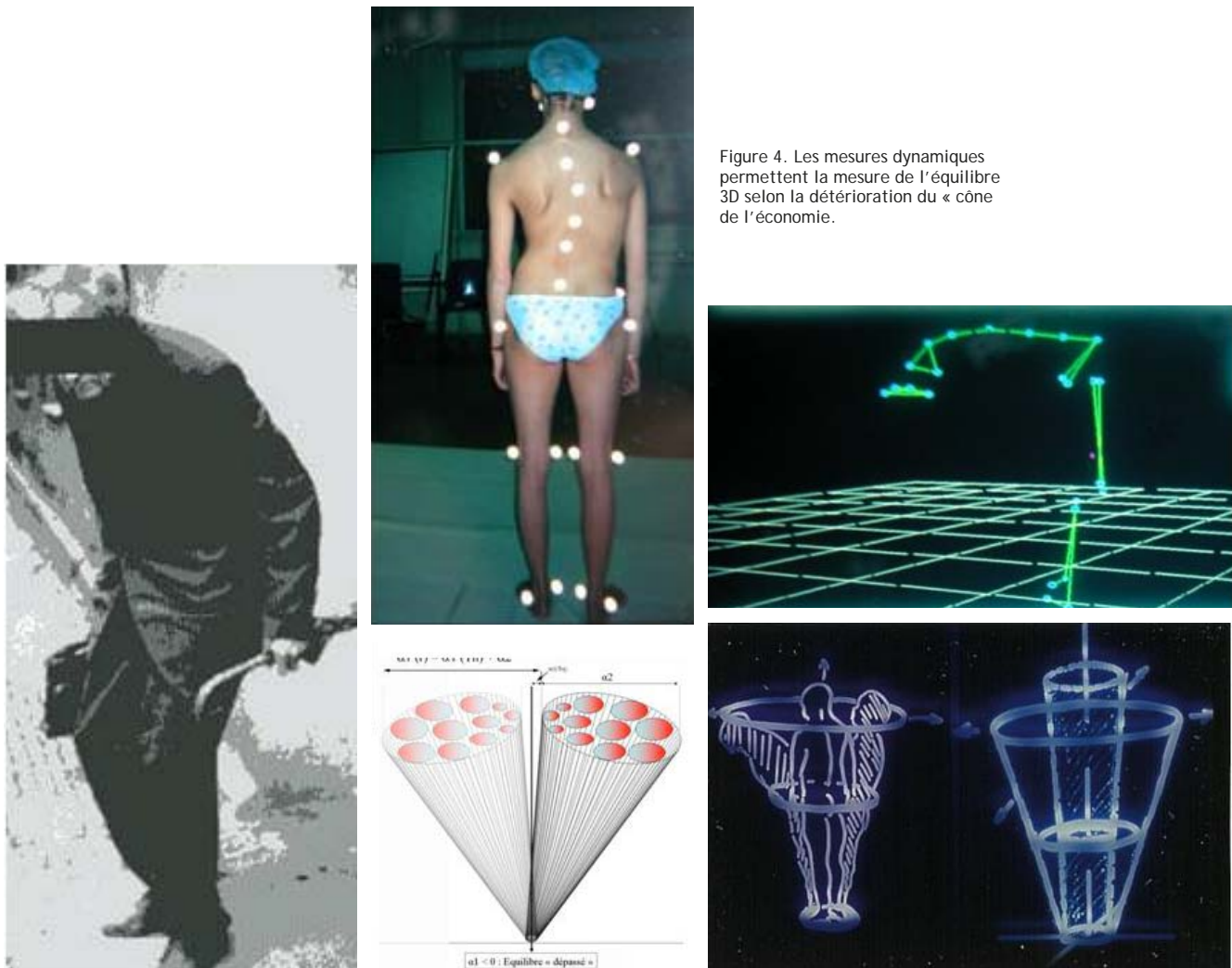


Figure 4. Les mesures dynamiques permettent la mesure de l'équilibre 3D selon la détérioration du « cône de l'économie ».

Pour connaître l'efficacité d'une réduction d'une scoliose par corset ou par chirurgie la reconstruction 3D pré et post corset, ou pré et post opératoire n'a pas son pareil même si les mesures 3D en sont encore à leur établissement à la place des mesures classiques (3) comme le simple angle de Cobb dont tout le monde s'accorde maintenant à reconnaître ses limites. Il faut s'apprendre à lire et mesurer tout ce que nous donne cette projection de l'alignement vertébral vu du dessus. La mesure du vecteur vertébral proposé par T Illes en est une des approches quantifiée possible.

De même le retentissement respiratoire d'un corset peut être mesuré par les épreuves fonctionnelles respiratoires mais la raison mécanique de la constriction thoracique par le corset peut parfaitement être démontrée par la vue du dessus du thorax avec et sans corset grâce à la soustraction numérique du squelette vertébral en ne conservant que le squelette costal. Tout ceci pouvant être mesuré et quantifié est d'un grand intérêt pour les appareilleurs qui fabriquent ces orthèses rachidiennes.

L'importance de la dynamique du plan horizontal se manifeste par la mesure et la compréhension du concept du cône de l'économie.

En effet si les mesures effectuées avec l'imagerie moderne telle EOS image, renseignent correctement sur l'alignement statique, l'équilibre n'est vraiment étudié que par des mesures dynamiques, réalisées en 3D par des systèmes avec mar-

queurs externes non invasifs et plusieurs caméras enregistrant simultanément le mouvement et/ou la marche par exemple (Fig. 4). On obtient ainsi le déroulement dans l'espace du mouvement étudié mais aussi le temps nécessaire à son accomplissement. On peut aussi coupler ces renseignements dynamiques à la reconstruction 3D volumétrique statique et aux enregistrements simultanés des pressions plantaires grâce aux plates formes de force qui peuvent être incluses dans l'appareil d'imagerie. On peut ainsi définir un équilibre économique propre à chaque individu à n'importe quel moment de la vie, au fur et à mesure du vieillissement, et aussi en pré et post opératoire. Ces mesures quantifiées au cours du vieillissement permettent de déterminer l'apparition du déséquilibre et son évolution, ce qui permet de prendre les décisions thérapeutiques adéquates, parfois chirurgicales avant que la dégradation des constantes vitales ne rend cette éventuelle chirurgie plus risquée.

C'est en quelque sorte une sorte de bilan fonctionnel de l'équilibre que l'on devrait réaliser comme on suit son état cardiaque ou métabolique tout au long de la vie. D'ailleurs on peut le corréliser à un bilan fonctionnel clinique basé sur des exercices simples chronométrés mettant en jeu force physique, vitesse et coordination.

En effet pour moi, l'équilibre dynamique dans l'espace est la clé de la longévité de l'unité fonctionnelle rachidienne opérée ou non opérée, à savoir des mouvements dans les trois dimensions permettant compensation et rattrapage. Par exemple avoir en postopératoire une amplitude en flexion, en extension et en inclinaison latérale les plus symétriques possibles pour le disque sous jacent à une instrumentation avec arthrolyse vertébrale.

Il aura fallu plus de 30 ans pour comprendre que lorsque le rachis se déformait en scoliose, il « lâchait » son plan horizontal, ce qui mettait ses muscles érecteurs rachidiens mécaniquement en situation d'incompétence, expliquant une bonne partie des effondrements en cyphoscoliose lombaire si souvent observés dans les formes dégénératives.

Rappel succinct basal de la fonction des muscles entourant le rachis

Les deux fonctions majeures des muscles péri-rachidiens selon leur but et leur localisation sont d'une part **une fonction « ficelle ou ressort »**, d'élongation contraction qui vont donner la **mobilité** d'un segment par rapport à l'autre, et d'autre part **une fonction « ballon »**, la contraction du muscle emprisonné à l'intérieur d'un compartiment aponévrotique ou ligamentaire inextensible, va mettre en tension tous ces éléments en donnant ainsi la **stabilité** à la construction rachidienne. Le rôle de ces fascias, aponévroses, ligaments doit être fortement mis en relief. Grâce à l'énergie fournie par les muscles, ces formations passives sont mises sous tension et transmettent une résultante très active. On connaît bien l'importance de la pression intra abdominale pour la stabilité lombaire.

Deux exemples :

- Que se passe-t-il en cas de scoliose idiopathique, quelle en est l'évolution spontanée ? Tout est question d'équilibre 3D statique et dynamique et des muscles : une scoliose double majeure bien équilibrée en 3D avec de bons muscles aura un pronostic stable à long terme. Au contraire une scoliose à prédominance lombaire et avec déséquilibre, asymétrie des efforts au sol, aura un pronostic défavorable à long terme aussi bien pour la scoliose elle-même que pour ses conséquences de douleurs et de fonction ;
- Dans cet exemple, il s'agit d'un malade âgé de 70 ans qui présente une scoliose dégénérative en cyphoscoliose lombaire très invalidante fonctionnellement et douloureuse, traitée parfaitement, pour ce qui est de l'alignement, par une ostéotomie trans pédiculaire L2 et une arthrodèse longue T3/L3. Malgré l'excellent résultat en ce qui concerne l'alignement, celui sur l'équilibre ne pourra être jugé que par l'indolence si elle est obtenue et par la mobilité 3D restante des zones non fusionnées situées au dessus et au dessous de la zone instrumentée, témoins d'une possibilité dynamique de compensation ou d'exécution d'une tâche rachidienne.

Référence

1. Graf H, Hecquet J, Dubousset J. Approche tridimensionnelle des déformations rachidiennes. Application à l'étude du pronostic des scoliose infantiles. Rev Chir Orthop Réparatrice Appar Mot 1983 ; 69 : 407-16.
2. Dubousset J. Reflexions of an orthopaedic surgeon on patient care and research into the condition of scoliosis : Jour Pediatric Orth 2011 ; 31 suppl : S1-8.
3. Dubousset J et al. Modélisation du rachis et de la moelle épinière. Bull Acad Natl Med 2012 ; 1 : 1831-42.
4. Dubousset J, Charpak G, Lavaste F, Skalli W. Nouvelle imagerie 2D/3D pour l'appareil locomoteur avec basse dose de radiations et position debout : le système EOS. Bull Acad Natl Med 2005 ; 189 : 287-97.
5. Dubousset J et al. Les scoliose thoraciques, déformations exo et endothoraciques, l'index de pénétration rachidien. Rev Chir Orthop -2002 ; 88 : 9-18.