

STATIQUE RACHIDIENNE DANS LE PLAN SAGITTAL : LE NORMAL, LE PATHOLOGIQUE, LES PIÈGES DE L'IMAGERIE

J.-M. VITAL, N. AUROUER, I. OBEID

L'équilibre sagittal (E.S) de la colonne vertébrale doit s'étudier de la tête aux pieds. La position du bassin conditionne celle de la colonne lombaire : la rétroversion de profil, bascule en arrière des crêtes iliaques, réduit la lordose lombaire, l'antéversion (bascule inverse) l'augmente.

Le déséquilibre dans le plan sagittal se fait toujours vers l'avant : l'axe vertical abaissé à partir des conduits auditifs externes (CAE) est déporté vers l'avant ; pour corriger ce déséquilibre antérieur, le bassin se rétroverse pour faire avancer les têtes de fémur sous cet axe vertical, ce qui entraîne une hyperextension des hanches ; l'étape suivante est la flexion des genoux qui ramène le tronc vers l'arrière.

Nous décrirons d'abord les moyens d'explorer l'E.S, puis les principales pathologies rachidiennes retentissant sur l'E.S pour terminer par les pièges à éviter dans la mesure de l'E.S.

LE NORMAL

Définition de quelques angles

M^{me} Duval-Beaupère [1] et Itoi [2] ont décrit des angles pour positionner le tronc, le bassin et les membres inférieurs. Selon la première :

L'incidence pelvienne (IP)

L'incidence pelvienne (IP), angle qui caractérise la morphologie du bassin, est formé par une droi-

te reliant le milieu des têtes fémorales et le milieu du plateau de S1, et une deuxième droite abaissée au milieu du plateau de S1, perpendiculaire à ce plateau. Elle a une valeur moyenne de 52° ; une petite incidence est corrélée à de faibles angles de cyphose thoracique et de lordose lombaire (type statique de Delmas), une grande incidence à de grands angles (type dynamique de Delmas).

L'angle de version pelvienne (VP)

L'angle de version pelvienne (VP) positionne le bassin : il est constitué par la verticale passant par les têtes fémorales et la droite reliant les têtes de fémurs et le milieu du plateau de S1 ; il est en moyenne de 12° et augmentera en cas de rétroversion.

La gîte sagittale en T9 positionne le tronc

La vertèbre T9 est considérée par Duval-Beaupère comme le centre de gravité du tronc. Cet angle est constitué par la verticale abaissée sur les têtes de fémur et la droite reliant les têtes de fémur au milieu du corps de T9. L'angle est en moyenne de 11° ; il aura tendance à diminuer voir à s'inverser dans les déséquilibres antérieurs graves, mais il reste longtemps constant.

L'angle pelvi-fémoral décrit par Mangione [3]

L'angle pelvi-fémoral décrit par Mangione positionne les hanches : il est formé par l'axe du

fémur et la droite reliant le centre des têtes de fémurs et le milieu du plateau sacré ; il est normalement de 180° et peut atteindre 190° en cas d'hyperextension des hanches.

L'angle fémoro-tibial décrit par Itoi [2]

L'angle fémoro-tibial décrit par Itoi [2] est constitué par les axes des diaphyses tibiale et fémorale, et il est normalement de 0° ; il devient positif s'il y a flexion des genoux.

Les conditions d'appréciation de l'E.S

Elles doivent être strictes. Si on veut réellement apprécier le déséquilibre, il faut supprimer les moyens de compensation du sujet et notamment la flexion des genoux (fig. 1). Ceci est beaucoup plus difficile et même impossible pour la rétroversion du bassin. Les mains peuvent reposer sur le dossier d'une chaise, un pied à sérum en s'appuyant à hauteur du pubis, au niveau des clavicules ou au niveau des malaires pour mieux dégager le rachis cervical, en le dégageant ainsi de la superposition des bras (fig. 2). Si on veut inclure le crâne (ou "vertèbre crânienne") et le rachis cervical, il faut une position de référence proposée par Peng [4] et Solow [5] : le sujet doit fixer ses pupilles dans un miroir situé en face de lui.

Le système EOS, selon Charpak, permet dans cette position de référence (genoux étendus – regard à l'horizon) d'obtenir des radios parfaitement reproductibles de la tête aux pieds. Une plate-forme de gravité (appareil qui sert à reconnaître la projection de l'axe de gravité de l'individu au garde-à-vous sur cette plateforme) utilisée pendant la prise du cliché de profil permet de déterminer l'axe de gravité moyen.

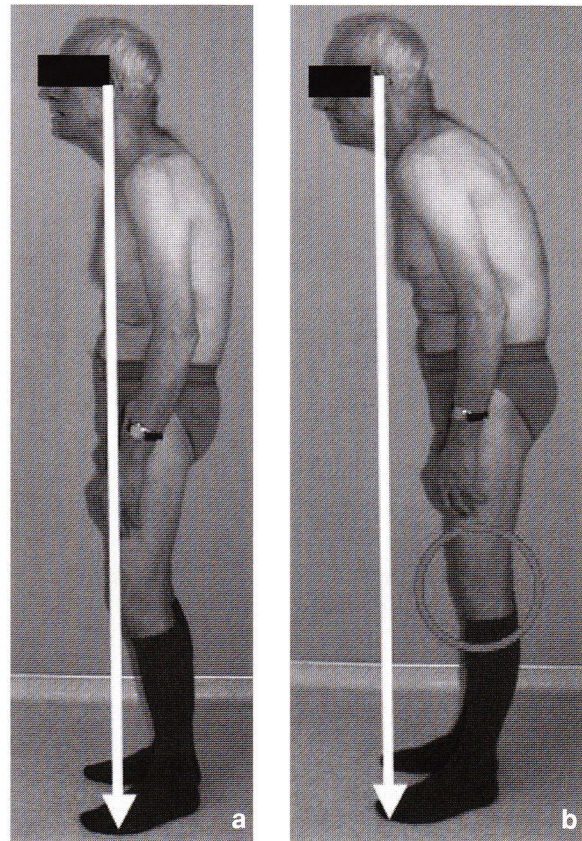


Fig. 1 : Importance du contrôle et de la suppression du fléchissement des genoux :
a) Position naturelle, genoux fléchis, dans une cyphose arthrogénique.
b) Position corrigée, genoux étendus ; le déséquilibre antérieur augmente.

Evaluation de l'E.S. global (fig. 3)

- La "C7 plumblin" des Anglo-Saxons mesure la distance entre la verticale abaissée à partir du milieu de C7 et le bord antérieur du plateau sacré.
- Nous préférons étudier la distance entre la verticale abaissée à partir des CAE et les têtes de fémur (TF). Gangnet *et coll.* [6] ont démontré sur 30 volontaires sains que cet axe tombait à

peine en arrière des TF (de 7 mm en moyenne) : on peut, en simplifiant, considérer en clinique que s'il y a un alignement sur la verticale des CAE et des TF, il n'y a pas de déséquilibre antérieur.

- Roussouly *et coll.* [7] ont décrit un angle entre la ligne reliant le milieu de C7 et le milieu du plateau de S1 et la verticale abaissée sur le dernier point ; cet angle a la même signification que la C7 plumbine mais a le désavantage de travailler sur un sujet "décapité", sans appréciation de la colonne cervicale.

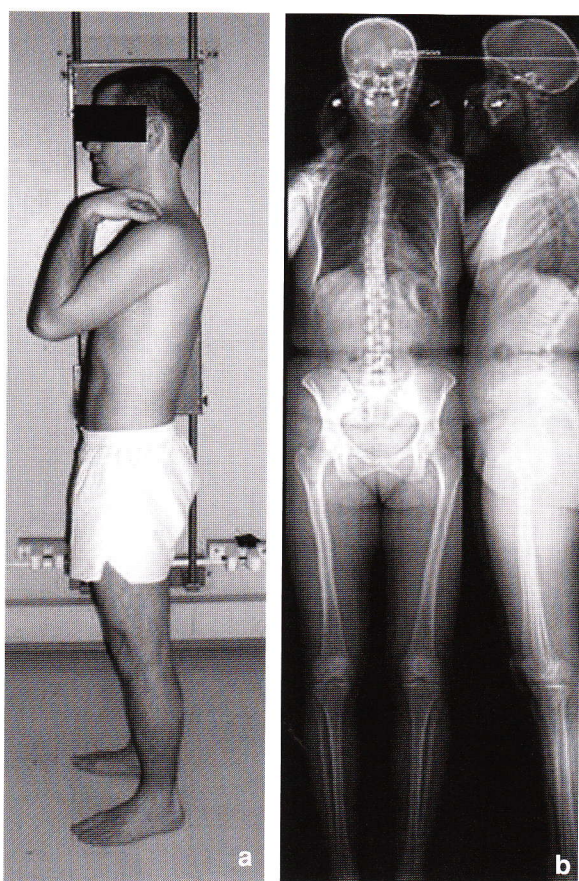


Fig. 2 : Les positions de référence reproductibles :
 a) Mains sur les clavicules
 b) Mains sur les malaires pour mieux dégager le rachis cervical, dans l'appareil EOS.

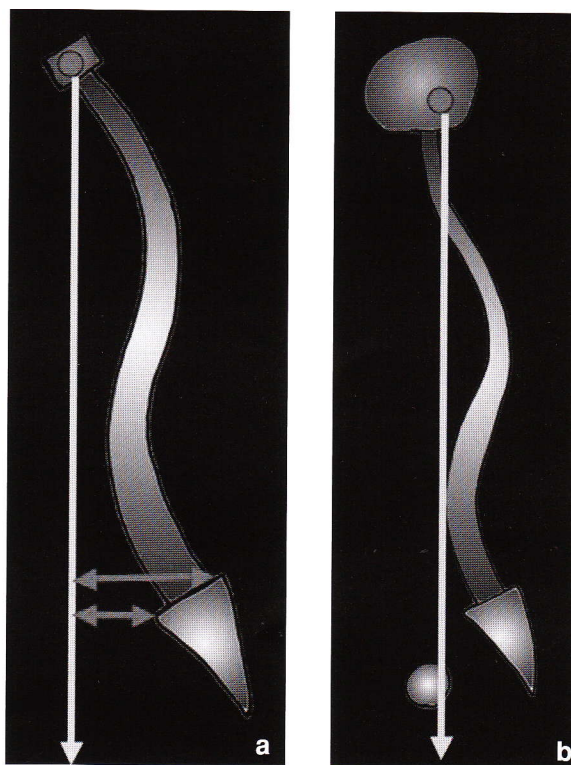


Fig. 3 : Evaluation globale de l'équilibre sagittal :
 a) "C7 plumbline" des Anglo-Saxons
 b) Distances - conduits auditifs externes (CAE) - têtes de fémurs (TF).

Avec les différents angles et distances décrites, on peut schématiquement décrire 3 types d'équilibre (fig. 4).

L'équilibre idéal ou économique

L'équilibre idéal ou économique, où la verticale abaissée à partir des CAE passe par les TF avec une VP normale pour l'IP du sujet.

L'équilibre compensé

L'équilibre compensé par une rétroversion du bassin et parfois une flexion des genoux : grâce à ces deux phénomènes de compensation, les CAE et les TF restent encore sur la même verticale.

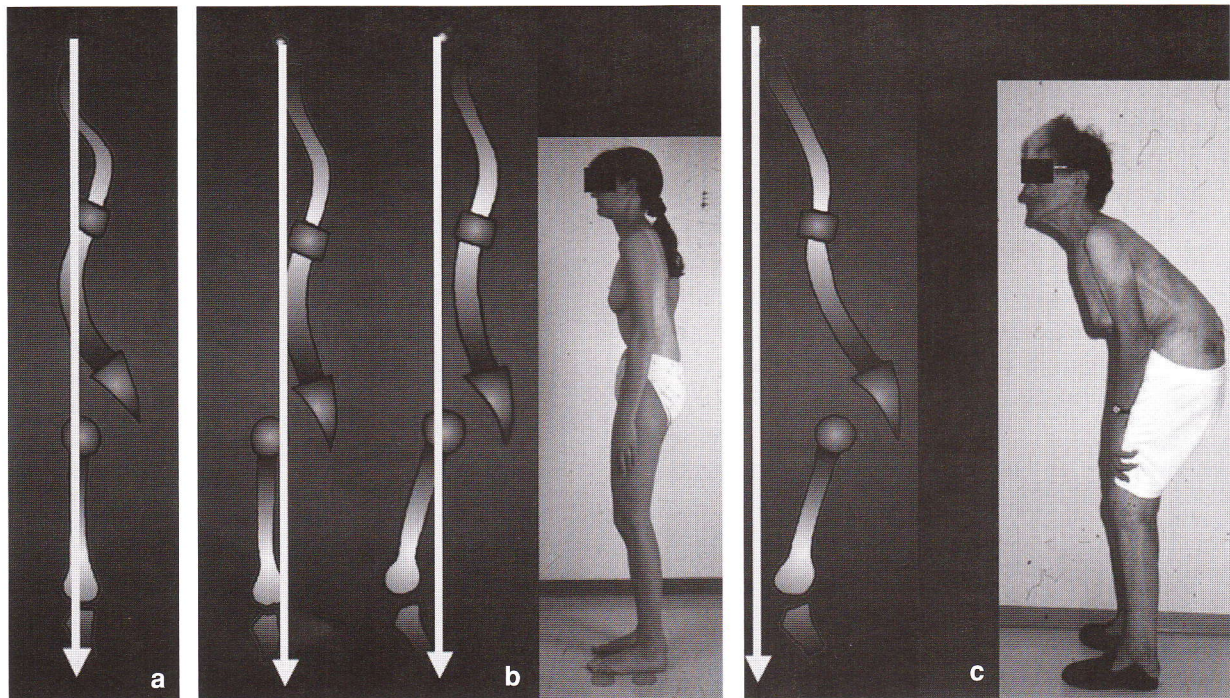


Fig. 4 : Les 3 types d'équilibre sagittal :

- a) Équilibre idéal.
- b) Équilibre compensé par une rétroversion du bassin et parfois une flexion des genoux.
- c) Déséquilibre antérieur où, malgré rétroversion du bassin et flexion des genoux, l'axe vertical abaissé à partir des CAE tombe en avant des TF.

Le déséquilibre antérieur

Le déséquilibre antérieur qui se traduit par un déport des CAE en avant des TF en dépit d'une rétroversion du bassin, d'une hypertension des hanches et d'une flexion des genoux.

Roussouly *et coll.* [7]

Roussouly *et coll.* décrivent 4 types de profils qui ne sont pas pathologiques, mais qui peuvent entraîner selon le cas des pathologies discale ou articulaire postérieure. Du type 1 au type 4, l'IP augmente, la lordose lombaire augmente. Le type 1 expose à la surcharge discale et le type 4 à la surcharge articulaire postérieure.

LES PATHOLOGIES

Les spondylolisthésis lombaires bas

Quelle que soit leur cause, lyse isthmique ou arthrose postérieure, ils se caractérisent par une IP élevée et donc une lordose lombaire marquée.

Dans le spondylolisthésis par spondylolyse, l'hyperlordose explique la prédisposition à la rupture isthmique de L5 (ou plus rarement de L4) sous l'effet coupe-cigares répété. Dans le spondylolisthésis dégénératif, la surcharge des articulations postérieures dépasse leur capacité de verrouillage postérieur, ce qui explique que le glissement s'initie dans ces colonnes articulaires.

Dans les spondylolisthésis dysplasiques qui s'expriment pendant la croissance, les phénomènes sont plus complexes ; il existe un défaut de formation des arcs neuraux, donc une faiblesse du verrou postérieur (sagittalisation et atrophie des articulaires L5-S1, spina bifida, isthmes allongés). Une dysplasie secondaire, due aux lois de croissance de Delpech, entraîne une déformation trapézoïdale du corps de L5 et l'apparition d'un dôme sur le plateau supérieur du sacrum qui est anormalement plat. Le bassin est lui-même insuffisamment développé avec des ailes iliaques réduites en surface et un sacrum dont la concavité antérieure est amoindrie. Le déséquilibre antérieur est initié par une cyphose lombosacrée qui peut être mesurée par l'angle lombosacré de Bradford et Dubouset entre le plateau supérieur de L5 et le bord postérieur de S1 ; la fermeture de cet angle en dessous de 90° constitue un facteur pronostique bien plus précis que le degré de glissement. Le tronc, au-dessus de cette cyphose lombosacrée, se positionne en hyperlordose pour maintenir une gîte sagittale en T9 constante. La rétroversion du bassin est évidemment le moyen de rattrapage utilisé par l'enfant : il va dans le sens de la fermeture de l'angle lombosacré et n'évite pas, dans les formes graves de spondyloptose, le véritable encastrement du tronc dans un bassin rétroversé. La correction chirurgicale de cette cyphose lombosacrée conduit à une réduction en hauteur de la lordose lombaire et à une réapparition de la cyphose thoracique (fig. 5).

La cyphose arthrogénique ou dégénérative

Elle constitue la caricature des phénomènes du vieillissement de la colonne lombaire. Elle peut être associée à un phénomène scoliotique, mais, dans sa forme pure sans rotation associée, la pathogénie associe des pincements discaux lombaires bas, une hypertrophie des articulations postérieures et des processus épineux entraînant

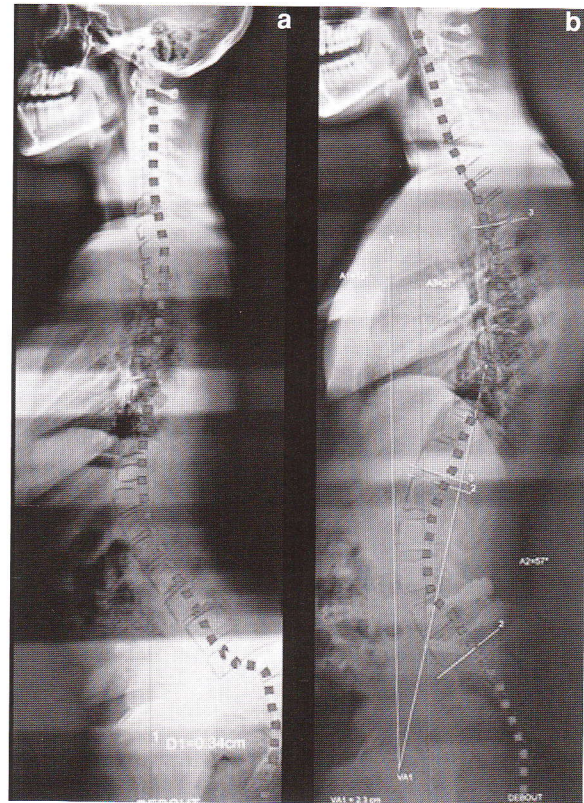


Fig. 5 : Equilibre sagittal dans le spondylolisthésis dysplasique :

- a) Sur le cliché peropératoire on note la cyphose lombosacrée et la lordose globale lombaire et thoracique.
- b) Sur le cliché postopératoire on note la correction de la cyphose lombosacrée, la lordose lombaire plus courte et la cyphose thoracique qui réapparaît.

un encombrement postérieur et des difficultés de l'extension lombaire que le sujet évitera d'ailleurs puisque, dans cette position, les racines de la queue-de-cheval sont comprimées (fig. 6a).

Les muscles postérieurs extenseurs sous-utilisés subissent une dégénérescence graisseuse qui touche le multifidus dans la région lombo-sacrée (fig. 6b) mais aussi dans la région thoraco-lombaire (fig. 6c), ce qui est plus rare. Ils présentent aussi des lésions liées à une anomalie du métabolisme mitochondrial, sous forme de fibres "en cible" (core targetoids) et "en haillons" (ragged red fibers).

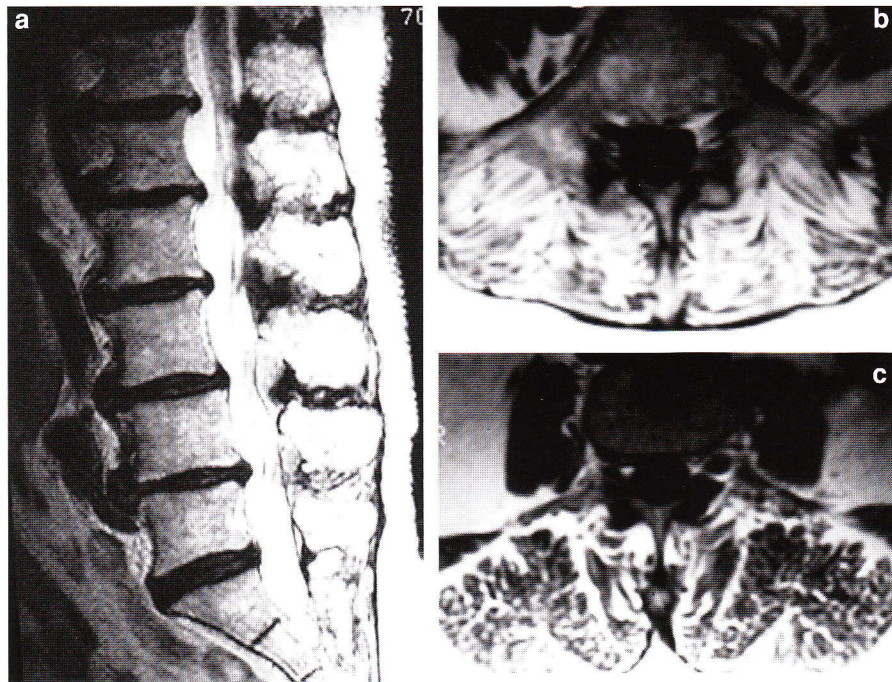


Fig. 6 : Equilibre sagittal dans la cyphose arthrogénique :

- a) Sur la coupe sagittale en IRM on note les pincements discaux et l'effet d'encombrement sur les arcs postérieurs.
- b) Sur la coupe axiale en région lombosacrée il existe une dégénérescence graisseuse des muscles de type HADAR 3 (plus de la moitié de la surface musculaire est graisseuse).
- c) Sur la coupe axiale en région thoracolombaire on note une dégénérescence exceptionnelle à ce niveau.

Un facteur postural lié à un travail prolongé en position penchée en avant est souvent reconnu, ainsi que des troubles du contrôle postural dus au vieillissement.

Les dos plats postopératoires

Ils compliquent les arthrodèses instrumentées lombaires ou lombosacrées étendues, lorsque l'installation du patient a été trop cyphosante, ou l'instrumentation insuffisamment lordosante, ou que la colonne discale antérieure n'a pas été suffisamment étayée, ou encore par suite des lésions des muscles extenseurs, inévitables dans les abords postérieurs.

Le traitement chirurgical passe par des ostéotomies de soustraction, soit étagées articulaires postérieures, soit corporéales (fig. 7). Des logiciels de calculs préopératoires permettent de faire le choix entre ces techniques qui, dans les cas les plus complexes, peuvent être associées.

Les camptocormies

Il s'agit d'une inclinaison sévère du tronc en avant (à 45° ou plus) se réduisant complètement en position allongée. Les causes en sont dominées par la maladie de Parkinson. Le déséquilibre antérieur est souvent associé à un déséquilibre coronal qui rend encore plus difficile les possibilités de compensation par le patient. L'évaluation doit se faire par le bilan cité plus haut auquel on ajoutera des clichés de réductibilité, notamment en décubitus.

La spondylarthrite ankylosante (S.P.A.)

Elle entraîne des déformations sévères et caricaturales, avec la raideur en plus. Les coxites souvent associées et la cyphose cervicale spécifique aggravent la situation. Dans cette pathologie, on mesure en particulier l'angle cervico-thoracique et l'angle entre l'axe du regard et l'horizontale. La chirurgie fait appel à des ostéotomies lombaires

ou cervicothoraciques : elle n'a pas l'ambition de ramener à un équilibre même compensé, elle cherche à horizontaliser le regard du patient.

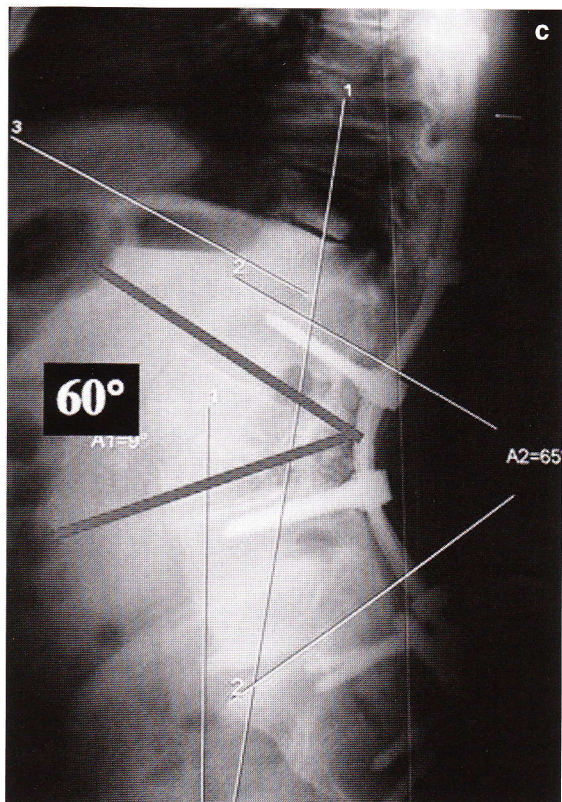
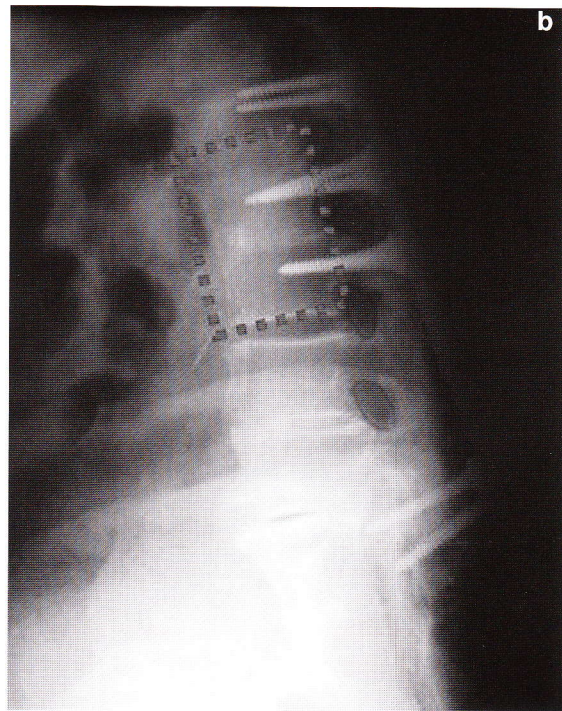
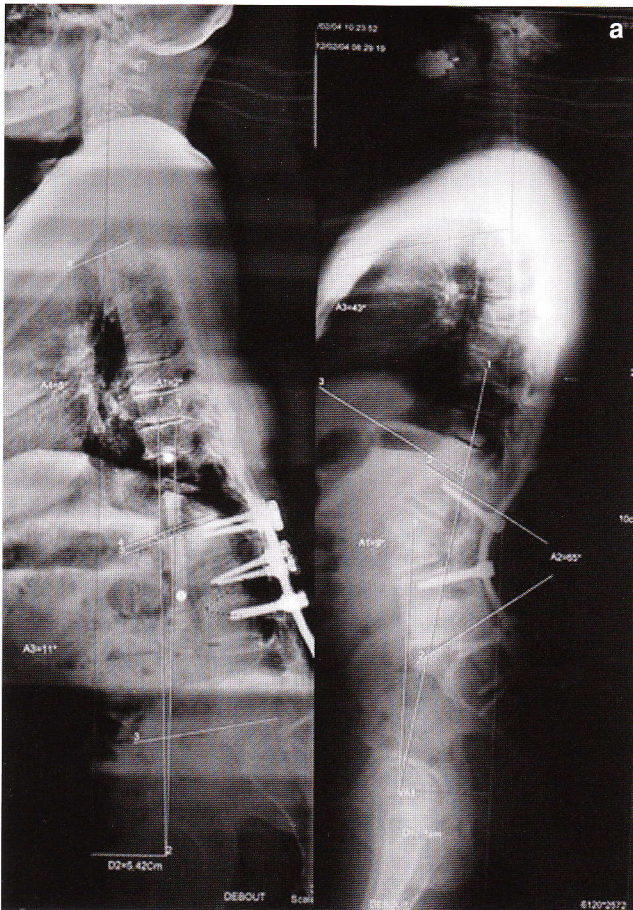


Fig. 7 : Ostéotomie de soustraction corporeale transpédiculaire pour correction de dos plat postopératoire :
a) Cliché global préopératoire.
b) Cliché global postopératoire.
c) Cliché centré préopératoire.
d) Cliché centré postopératoire : l'angle de correction de 60° a pu être obtenu car l'ostéotomie s'est faite sur 2 vertèbres fusionnées.

COMMENT ÉVITER LES PIÈGES DANS LA MESURE DE L'ES ?

Position de référence reproductible

Il faut tout d'abord s'assurer d'une position de référence reproductible. Le principal piège serait de sous-estimer le déséquilibre antérieur en n'ayant pas corrigé la flexion des genoux. La position de référence des mains sur les malaires est la plus reproductible et la moins gênante pour visualiser la colonne cervicale.

Le sujet doit fixer ses pupilles dans un miroir pour avoir une référence de position de la tête et du cou.

La mesure de l'angle d'incidence est discutable dans deux situations

- En cas de spondylolisthésis par spondylolyse avec dysplasie, la présence du dôme sacré et l'abaissement du coin antérieur du plateau sacré sous l'inclinaison de L5 rendent difficile la définition géométrique du plateau sacré. Jackson *et coll.* [8] et plus récemment Legaye [9] ont proposé de remplacer le milieu du plateau sacré par son coin postérieur, moins atteint par la dysplasie (angle fémoro-sacré postérieur de Legaye).
- En cas d'anomalie transitionnelle lombo-sacrée, il vaut mieux mesurer l'IP non pas sur le plateau

de S1 (IP en S1) mais sur celui supérieur de L5 (IP en L5).

De nouveaux angles doivent probablement être pris en compte

- Lazennec *et coll.* [10] ont souligné l'intérêt de la mesure de la version du col du fémur, conditionnée par celle de la version pelvienne.
- Plus récemment Hovorka *et coll.* [11] ont insisté sur l'angle de réserve d'extension des hanches qui dépend de la souplesse des articulations coxo-fémorales et des muscles sous-pelviens.

Le dernier piège serait de croire que l'ES ne peut être étudié que sur un cliché statique de profil même pris dans les conditions idéales citées plus haut

L'étude de la marche aussi est indispensable. Elle permet de reconnaître le vrai retentissement fonctionnel du trouble statique. Longueur du pas, cadence, vitesse sont de multiples paramètres qui peuvent être étudiés.

Lee *et coll.* [12] ont incriminé la bascule du bassin en antéversion ("pelvic tilt") et donc la chute du tronc en avant lors de la marche, probablement par insuffisance du grand fessier, comme un facteur de mauvais pronostic dans le résultat des ostéotomies lombaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DUVAL-BEAUPÈRE G., SCHMIDT C., COSSON P. 1992. A barycentometric study of sagittal shape of spine and pelvis : the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng.* 20: 451-62.
- [2] ITOI R. 1991. Roentgenographic analysis of spine in special osteoporotics. *Spine* 16 : 750-6.
- [3] MANGIONE P., SENEGAS J. 1997. Sagittal balance of the spine. *Rev Chir Orthop* 83 (1): 22-32.
- [4] PENG L., COOKE M.S. 1999. Fifteen-year reproducibility of natural head posture. A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116 : 82-5.
- [5] SOLOW B., TALLGREN A. 1971. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand* 29 : 591-607.
- [6] GANGNET N., POMERO V., DUMAS R., SKALLI W., VITAL J.M. 2003. Variabilité du positionnement du rachis et du pelvis par rapport à la ligne de gravité : étude tridimensionnelle par stéréo-radiographie et plate-forme de force. *Surg Radiol Anat* 25 : 424-33.
- [7] ROUSSOULY P., GOLLOGLY S., BERTHONNAUD E., DIMNET J. 2004. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30 (3): 346-53.
- [8] JACKSON R.P, KANEMURA T., KAWAKAMI N., HALES C. 2000. Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain. *Spine* 25 : 575-86.
- [9] LEGAYE J. 2007. The femorosacral posterior angle: an anatomical sagittal pelvic parameter usable with dome-shaped sacrum. *Eur Spine J* 16 : 219-25.
- [10] LAZENNEC J.Y., ROUSSEAU M.A., RIWAN A., GRAVEZ F., GORIN M., MORA N., BOYER P., NOGIER A., LASNE M., SAILLANT G. 2005. Relation hanche rachis : conséquences fonctionnelles, applications aux arthroplasties totales de hanche. Dans le complexe lombo-pelvien de l'anatomie à la pathologie, J.Y. Lazennec. *Sauramps Médical, Montpellier* pp. 115-45.
- [11] HOVORKA I., ROUSSEAU P., AMORETTI N., CHALLALI M., JULIA M., CARLES M., DAIDERI G., BRONSARD N., BOILEAU P. 2007. Extension reserve of the hip in the relation with spine. In *Spine Concepts 2007* sous la direction de I. Hovorka et J.P. Farcy. *Sauramps Médical Montpellier* pp. 93-102.
- [12] LEE C.-S., LEE C.-K., KIM Y.-T., HONG Y.-M., YOO J.-H. 2001. Dynamic sagittal imbalance of the spine in degenerative flat back. Significance of pelvic tilt in surgical treatment. *Spine* 26 : 2029-35.