

Équilibre sagittal et applications cliniques

Jean-Marc Vital *, Olivier Gille, Nicolas Gangnet

Unité de pathologie rachidienne, hôpital Pellegrin, Tripode, 33076 Bordeaux cedex, France

Reçu et accepté le 9 septembre 2003

Mots clés : Équilibre sagittal ; Scoliose idiopathique ; Cyphose arthrogénique ; Spondylolisthésis isthmique ; Dos plat postopératoire

Keywords : Sagittal balance ; Idiopathic scoliosis ; Arthrogenic kyphosis ; Isthmic spondylolisthesis ; Postoperative flat back

1. Autres approches des rapports anatomiques de la ligne de gravité

À côté du procédé sophistiqué de la barycentrométrie décrit par Mme Duval Beaupère et qui informe sur la localisation du point d'application du poids corporel segmentaire supporté par chaque étage vertébral jusqu'au fémur, et sur ses rapports avec le rachis, une approche moins précise mais plus facile à mettre en œuvre recourt à l'usage de la plateforme de force, qui fournit les coordonnées frontale et sagittale du poids corporel supporté par les pieds du sujet debout sur cette plateforme.

Toutes ces méthodes supposent une exacte mise en concordance des référentiels du système de mesure de la gravité d'une part et de mesure radiologique d'autre part, pour espérer étudier les relations anatomiques de ces points d'application de la pesanteur.

Gangnet [1] a plus récemment étudié le rachis et le bassin en 3D chez 34 sujets normaux avec étude des clichés de face et de profil étudiés selon un procédé stéréoradiographique avec ici aussi une plateforme de gravité. L'axe de gravité du tronc se projette comme l'avait noté Madame Duval Beaupère légèrement en arrière des têtes de fémur (Fig. 1.). L'axe conduit auditif externe (CAE) – centre des têtes de fémur (CTF) est à peu près vertical avec des variations de 30 mm. Il existe ainsi un décalage de face vers la droite de 7,6 mm de l'axe de gravité dans le plan coronal. Des logiciels spécifiques appliqués à ces deux séries cliniques permettent d'affiner les mesures d'angles.

Contrairement à ces auteurs, Vaz et Roussouly [2], sur 100 volontaires normaux ont trouvé un axe de gravité tombant en moyenne de 9 mm en avant des têtes fémorales.

Nous allons maintenant décrire certaines pathologies rachidiennes dans lesquelles ont été appliqués les critères de l'équilibre sagittal décrits par Madame Duval Beaupère : ce sont la scoliose idiopathique, les cyphoses dégénératives, les lombalgies chroniques et les anomalies de la charnière lombosacrée, le spondylolisthésis de L5 sur S1 par lyse ou par allongement isthmique ; nous terminerons en application thérapeutique par la description des possibilités de calcul préopératoire avant de réaliser une ostéotomie de correction.

2. Les pathologies rachidiennes

2.1. Les scolioses idiopathiques

La diminution des courbures sagittales des scolioses idiopathiques est depuis longtemps une préoccupation suffisante pour avoir justifié une table-ronde du GES à Montréal en 1979 (Graf, Dubouset, Hecquet).

Mais dès les années 1960, Roaf [3] à partir de la mesure de la longueur du rachis scoliotique au niveau des corps en avant d'une part et au niveau des lames en arrière d'autre part, avait souligné la plus faible longueur postérieure et concluait à un déficit de croissance postérieure.

Les travaux de Dickson [4], ont confirmé que les segments scoliotiques ont tendance à aplatir les courbures sagittales (hypocyphose thoracique donc dos plats voire dos creux) et hypolordose lombaire. Dans un segment scoliotique, chaque vertèbre est en extension par rapport à ses voisins, cette hyperextension globale déplace les contraintes vers l'arrière ce qui explique comme l'a bien démontré Perdrille [5] que

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jean-marc.vital@chu-bordeaux.fr (J.-M. Vital).

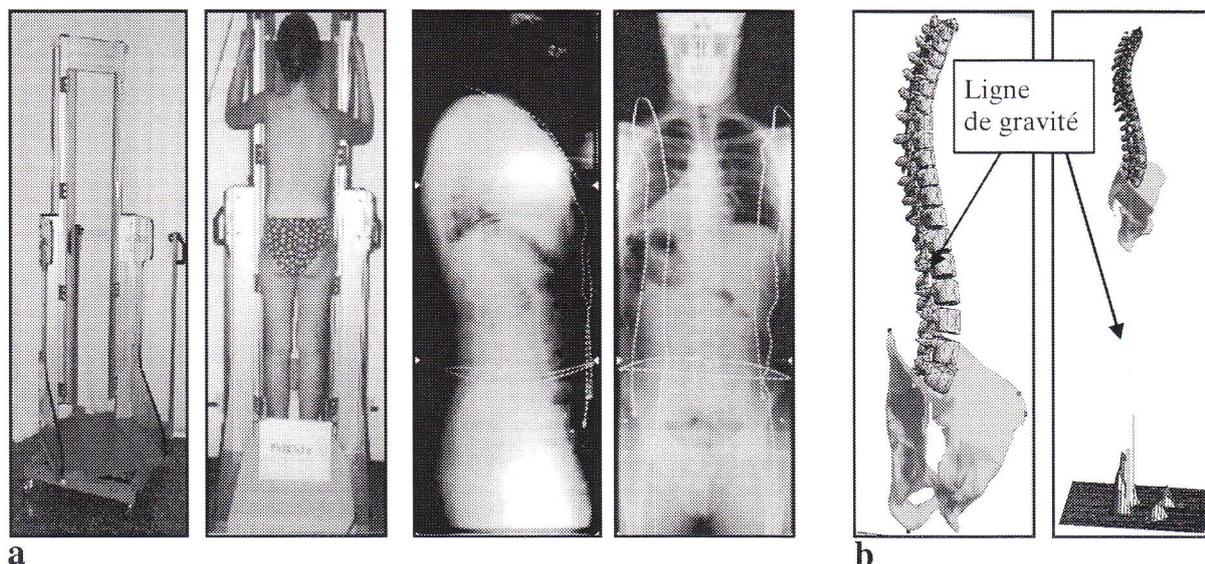


Fig. 1. Recherche de l'équilibre sagittal par stéréoradiographie et reconstruction 3D (Gangnet).

Fig. 1a. Installation avec plateforme de gravité et clichés stéréoradiographiques.

Fig. 1b. Résultat : projection moyenne de l'axe de gravité.

les vertèbres scoliotiques sont plus hautes en avant qu'en arrière. Les cyphoses sont jonctionnelles entre deux segments scoliotiques et existent du fait du changement des sens de rotation.

Les scolioses évolutives se caractérisent au niveau thoracique par cette torsion qui réalise un enfoncement de la colonne vertébrale dans la cage thoracique : la lordoscoliose thoracique constitue l'aspect caricatural de cette déformation avec un dos qui est beaucoup plus creux que scoliotique.

Dans ces dos creux il peut y avoir compression des bronches et atélectasie ; à un moindre degré le dos creux ou plat contribue à diminuer l'expansion thoracique respiratoire. Par ailleurs ces dos plats ou creux sont peu sensibles au traitement orthopédique. Tous ces aspects anatomiques ont bien été décrits par Ohlen [6] qui confirme, dans le cas des scolioses thoraciques, la diminution de la cyphose thoracique et de la lordose lombaire mais il n'y a pas dans cette série de corrélation entre l'angle de la scoliose et les angles mesurés en kyphométrie et en inclinométrie.

Dans les scolioses lombaires et thoracolombaires de l'adulte, Legaye [7,8] a trouvé une propension à un déplacement vers l'avant des centres de masse dans les formes évolutives, par rapport aux sujets normaux ou porteurs de scolioses non douloureuses.

2.2. Pathologie dégénérative discale lombaire basse

Fiere [9] a comparé dans la table-ronde du GES sur les troubles de l'équilibre sagittal à Nice en 2000, les angles d'incidence pelvienne, de version pelvienne, de pente sacrée, de lordose lombaire et cyphose thoracique chez 100 sujets sains et 60 patients opérés de hernie discale.

Dans ce dernier groupe l'incidence pelvienne est plus faible, la version pelvienne plus importante, la pente sacrée, la lordose lombaire et la cyphose thoracique plus faibles, un peu comme si ces patients porteurs de hernie discale avaient un morphotype statique.

Dans cette même table-ronde nous avons étudié 17 patients, souffrant de lombalgie ou de sciatique, présentant une anomalie de charnière c'est-à-dire une sacralisation de L5 ou une lombalisation de S1. Grâce à un comptage précis des vertèbres avec un cliché sur grande cassette de face de T1 au sacrum, il a été reconnu dix sacralisations et sept lombalisations. Dans la série on note que l'incidence pelvienne, la lordose lombaire et la cyphose thoracique sont plus faibles en cas de lombalisation de S1 qu'en cas de sacralisation de L5.

2.3. Les cyphoses arthrogéniques

Il s'agit d'affection particulière touchant les sujets âgés et arthrosiques au niveau lombaire. Sur le plan nosologique il existe plusieurs facteurs associés : pincements discaux qui vont parfois perdre plus de 10° par niveau, hypertrophie des articulaires postérieures et des lames entraînant un phénomène d'encombrement postérieur, insuffisance musculaire notamment des extenseurs comme le multifidus qui dégénère sur un mode graisseux mais qui présente sur le plan histologique des anomalies mitochondriales comme on les observe dans certaines myopathies ; le facteur professionnel sur lequel a insisté Takemitsu [10] avec attitude penchée en avant prolongée (comme chez les agriculteurs) n'a été retrouvé que 12 fois sur 25 dans une série de cyphoses arthrogéniques que nous avons bien explorées sur le plan de l'équilibre sagittal. En réalité, Takemitsu a comparé deux populations de fermiers : un groupe travaillant selon des méthodes ancestrales,

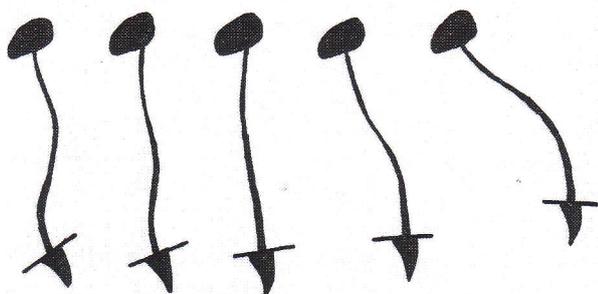


Fig. 2. Différents profils de cyphose dégénérative décrits par Takemitsu [25] : on notera que plus le déséquilibre antérieur augmente, plus le sacrum se verticalise. La position des membres inférieurs n'est pas prise en compte.

penchés en avant pendant des journées de travail de 10–12 heures et présentant dans 14 % des cyphoses arthrogéniques et un groupe travaillant avec des méthodes modernes et ne présentant des cyphoses que dans 5,2 % des cas. Cet auteur décrit différents types de profils (Fig. 2).

Dans notre série de 25 cas de cyphoses arthrogéniques, l'incidence pelvienne est de 56°, la lordose lombaire moyenne de 36° ce qui est plus faible que la valeur normale, la cyphose thoracique moyenne est de 38° et enfin la version pelvienne moyenne de 29°, valeur très supérieure à la normale. Un test isocinétique a permis de comparer la force des extenseurs et fléchisseurs du tronc, celle des psoas et des grands fessiers et enfin celle des quadriceps et ischiojambiers. Sur dix cas, par rapport à une série de sujets normaux, le rapport fléchisseurs du rachis/extenseurs du rachis est significativement plus important, le rapport psoas/grand fessier est significativement plus important et il n'y a pas de différence entre cyphotiques et sujets normaux pour le rapport ischiojambiers/quadriceps.

Des anomalies discoarticulaires arthrosiques sévères avec pincements discaux antérieurs et hypertrophie articulaire postérieure compliquées d'insuffisance des extenseurs de la colonne et des grands fessiers conduisent à un déséquilibre antérieur avec déport compensé par une rétroversion du bassin et quand l'extension des hanches est atteinte par une flexion des genoux (Fig. 3) ; s'il y a le moindre déport sur le côté associé au déport antérieur le trouble statique devient très sévère.

2.4. Spondylolisthésis isthmiques de L5

2.4.1. Classifications

Depuis 1976, la classification de Wiltse, Newman et Mac Nab [11] décrit le type 1 dysplasique ou malformatif caractérisé par une anomalie de formation de l'arc postérieur, principalement des articulaires supérieurs de S1 ; l'isthme est allongé et parfois peut se fracturer ; on distingue le sous-groupe A où les articulaires L5-S1 ont un interligne frontal, le sacrum est dysplasique et où il y a spina bifida et le sous-groupe B avec des articulaires sagittales pourront évoluer plus facilement vers la cyphose lombosacrée.

Le type 2 ou isthmique pur comprend le sous-groupe A avec lyse isthmique acquise pendant l'enfance selon la théorie trophoblastique de Roy Camille [12] avec fracture de fatigue de l'isthme pris comme dans un coupe-cigare par l'articulaire inférieure de la vertèbre sus-jacente et l'articulaire supérieure de la vertèbre sous-jacente. Les sollicitations sportives en hyperextension font passer la fréquence de la lyse de 6 % dans la population normale à 30 % chez les sportifs de haut niveau. Dans le sous-groupe B, il y a allongement isthmique considéré par les auteurs comme une fracture consolidée.

Dans le sous-groupe C, il y a fracture aiguë après traumatisme violent.

Le type 3 correspond aux spondylolisthésis dégénératifs par insuffisance arthrosique des articulaires et du disque L4 L5 le plus souvent.

Le type 4 correspond aux spondylolisthésis par lésions destructrices de l'arc postérieur (tumeur primitive ou secondaire) et enfin le type 5 aux spondylolisthésis iatrogéniques par décompression trop déstabilisante.

La classification de Marchetti et Bartolozzi [13] est plus pratique : elle comprend le type 1 dit « developmental » (c'est-à-dire survenant pendant la croissance) avec d'une part la lyse isthmique acquise précocement et d'autre part l'allongement associé à une dysplasie de l'arc postérieur (spina bifida, anomalie d'orientation des articulaires) ; entre la lyse pure et l'allongement pur, toutes les formes existent. Les auteurs opposent les formes à faible et à grand déplacement où il existe une importante dysplasie antérieure avec dôme sacré et vertèbre L5 trapézoïdale.

Le type 2 est dit acquis avec rupture de l'isthme à l'âge adulte soit de façon aiguë (type 2c de Wiltse), soit sous forme de fracture de fatigue de survenue rare à l'âge adulte. Le type 3 est iatrogène, le type 4 pathologique et le type 5 dégénératif.

2.4.2. Dans le spondylolisthésis par lyse isthmique

Avant même l'utilisation des mesures de Mme Duval Beaupère, beaucoup d'auteurs comme Marnay [14], Roy Camille [12] avaient remarqué que les porteurs de lyse isthmique avaient une lordose lombaire plus importante que la normale et s'intégraient dans le type dynamique de Delmas avec de fortes courbures rachidiennes. Par la suite la plupart des auteurs mesurant l'incidence pelvienne dans les lyses isthmiques ont noté la prédominance des grandes incidences (Boisauvert [15], Mangione [16]), (Roussouly) [17]. Cette grande incidence corrélée à une grande lordose lombaire accentue les contraintes en cisaillement : c'est encore une fois la rançon de la bipédie. During [18] en 1985 a noté chez les sujets porteurs de spondylolisthésis une diminution de l'angle pelvisacré, complément de l'incidence pelvienne et un axe de gravité postérieur par rapport à des sujets sains.

Si le glissement fait suite à la lyse, il y aura le plus souvent tendance à une bascule en cyphose de L5 sur S1 dans le plan sagittal avec d'un côté inclinaison vers le bas du corps de L5

et de l'autre verticalisation de S1 donc rétroversion du bassin : ce phénomène est secondaire et a pu être analysé comme le couple charnière par T. Marnay [14] rapport entre D_1 distance reliant le centre de S2 et le point abaissé sur l'horizontale à partir du milieu du disque L5-S1 et D_2 distance entre ce même centre du disque L5-S1 et la projection sur l'horizontale des têtes de fémur. Le bassin est antéversé si le couple est supérieur à 1 ; il est rétroversé si le couple est inférieur à 0,8 (Fig. 4a).

Schwab et Farcy [19] décrivent l'indice sagittal de version pelvienne où le milieu du disque L5-S1 est remplacé par le milieu du corps L5, ce qui évite les erreurs dues à la déformation du plateau de S1 qui pose d'ailleurs un réel problème dans toutes ces mesures radiologiques de spondylolisthésis évolués (Fig. 4b).

Parmi les mesures radiologiques de cette cyphose lombosacrée en rapport encore une fois avec une rupture d'équilibre conduisant à une bascule vers l'avant de L5 et à la verticalisation du sacrum, le calcul de l'angle de cyphose

lombosacrée de Speck [20] est le plus simple : cet angle est tracé entre le plateau supérieur de L5 et le disque S1S2 bien visible chez l'enfant n'ayant pas fini sa croissance. Antoniadis [21] a récemment étudié la configuration du sacrum chez 45 patients porteurs de spondylolisthésis de L5. La cyphose sacrée mesurée entre le plateau supérieur de S1 et le plateau supérieur de L4 paraît augmentée dans les formes graves. Cette cyphose s'exprime aussi entre S1 et S2. Dans cette bascule du bassin en rétroversion qui est là finalement pour maintenir un équilibre visant à ramener le centre de l'extrémité céphalique (conduit auditif externe) à l'aplomb des têtes fémorales, la participation des muscles n'est pas négligeable. La rétroversion va entraîner une diminution de la contraction des grands fessiers et sera fixée par une rétraction des ischio-jambiers.

2.4.3. Dans le spondylolisthésis dysplasique

Peu d'études ont été réalisées sur l'équilibre sagittal. Curylo [22] décrit une indice de dysplasie postérieure tenant

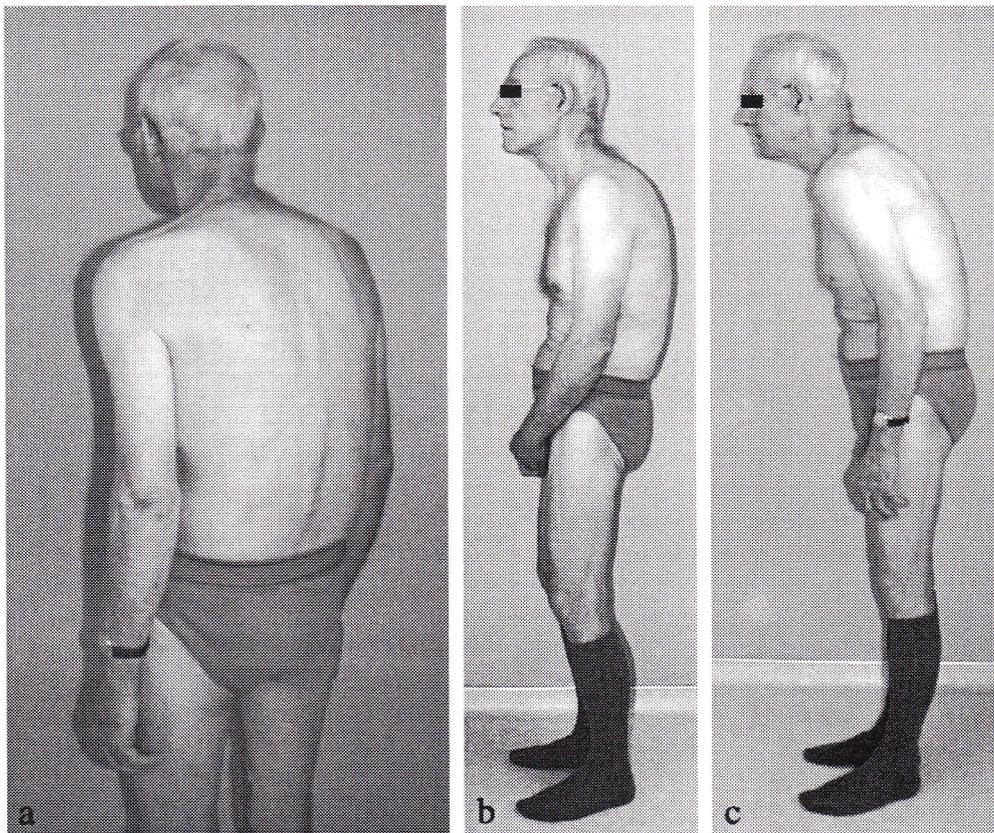


Fig. 3. Clinique et bilan radiographique d'un cas de cyphose arthrogénique.

Fig. 3a. Vue de trois-quarts montrant la pente de lordose lombaire, le défaut du galbe des fessiers.

Fig. 3b. Vue de profil « naturelle » : les hanches sont en hypertension, les genoux sont fléchis.

Fig. 3c. En extension de genoux, le déséquilibre antérieur s'aggrave.

Fig. 3d. Radio de profil pratiquée en 1994.

Fig. 3e. Radio de profil pratiquée en 2001 : on notera l'aggravation des pincements discaux.

Fig. 3f. Le cliché en extension ne corrige pas la cyphose.

Fig. 3g. Cliché de profil sur grande cassette montrant la rétroversion pelvienne et le déséquilibre antérieur.

Fig. 3h. L'IRM sagittal montre les pincements discaux inférieurs.

Fig. 3i. L'IRM axiale montre la dégénérescence graisseuse sévère.

Fig. 3j. Contrôle postopératoire après ostéotomie de soustraction.

compte du degré de malformation des épineuses, des lames et des articulaires. Hanson [23] oppose les spondylolisthésis à faible et à grand déplacement ; dans ce dernier groupe correspondant le plus souvent à des formes dysplasiques l'incidence est statistiquement plus grande que dans le groupe à faible déplacement où l'incidence est déjà supérieure à la normale. De la même façon sur une série de 15 cas de spondylolisthésis de type 1 de Wiltse ou de Marchetti, nous avons noté une incidence pelvienne moyenne supérieure à la normale (78°) qui caractérise un bassin large. Le sacrum dans cette série à grand déplacement nous a paru anormalement plat. Depuis les travaux d'Abitbol [24], on sait qu'un bassin large d'homidé est associé à un sacrum incurvé. L'angle sacrococcygien mesuré entre la médiane appliquée en S1 et la médiane appliquée en S5 est en moyenne de 89° sur une série de spondylolisthésis par lyse isthmique (type 2 de Wiltse) (Marty [25]). Dans notre série il est beaucoup plus faible (moyenne de 58°). Tout se passe comme s'il y avait une anomalie dans la croissance du bassin avec un anneau pelvien qui est trop large pour un sacrum trop vertical : ceci entraîne un déport des têtes fémorales très en avant du corps de L5 et donc une obligation de bascule du tronc en avant, en ptose (Fig. 5).

2.4.4. Dans le spondylolisthésis dégénératif

Les travaux de Boisauvert [15] ont démontré qu'il existait aussi une incidence pelvienne supérieure à la normale, condi-

tion anatomique qui finalement est assez défavorable comme nous allons le voir dans le chapitre suivant sur les dos plats postopératoires, mais sans dysplasie de S1 et S2.

3. Applications thérapeutiques : les calculs préopératoires dans les corrections des dos plats lombaires, le plus souvent postopératoires

Les arthroèses instrumentées postérieures et étendues exposent aux dos plats très gênants pour le patient qui ne peut plus se redresser. Il existe de nombreuses causes à ces dos plats postopératoires : défaut d'installation avec une colonne lombaire qui n'est pas assez cambrée, instrumentation insuffisamment lordosante, destruction des muscles postérieurs qui sont extenseurs.

Pour corriger ces dos plats on peut discuter d'une chirurgie de reprise : elle se fera par voie postérieure avec ablation du matériel métallique puis ostéotomie soit étagées au niveau des arcs postérieurs qui ont été greffés soit à ce seul niveau corporel par soustraction d'un coin à base postérieure et sommet qui atteint le mur antérieur de la vertèbre (Fig. 6) ; l'angle de cet ostéotomie peut atteindre au maximum 40° sur une vertèbre bien carrée, voire 45° si on arrête l'ostéotomie un peu en arrière du mur antérieur.

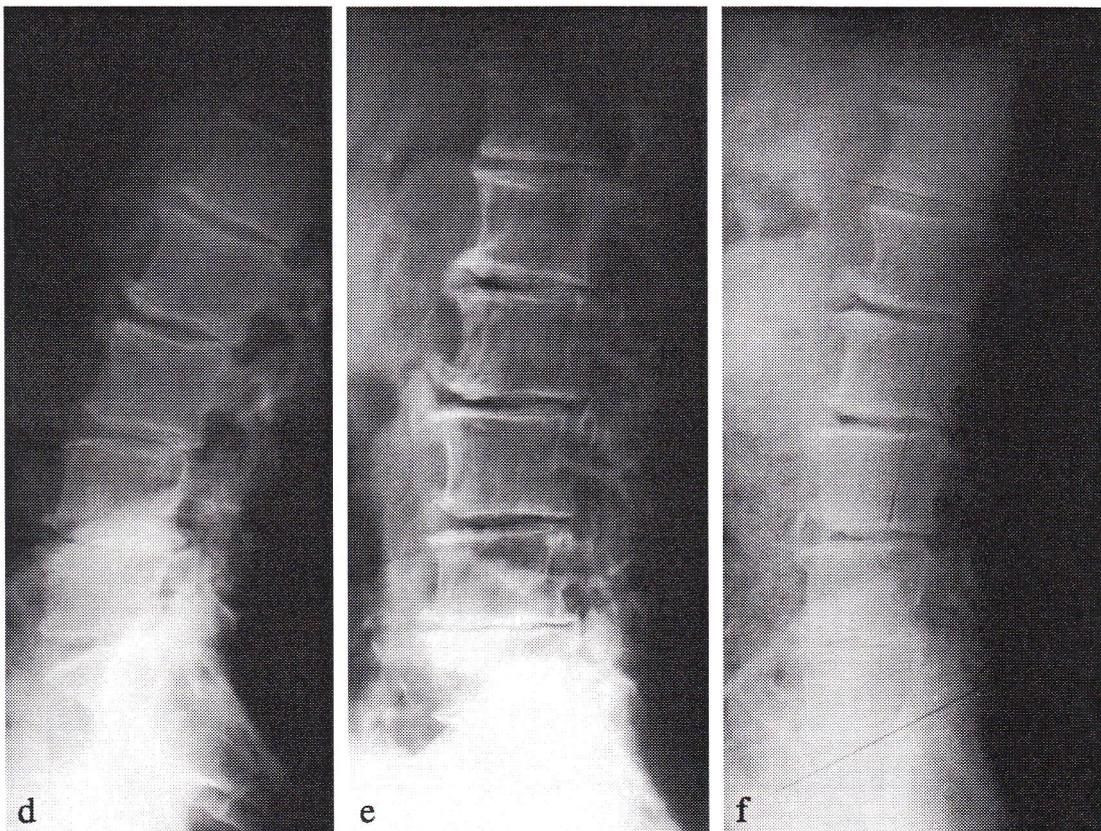


Fig. 3 (suite).

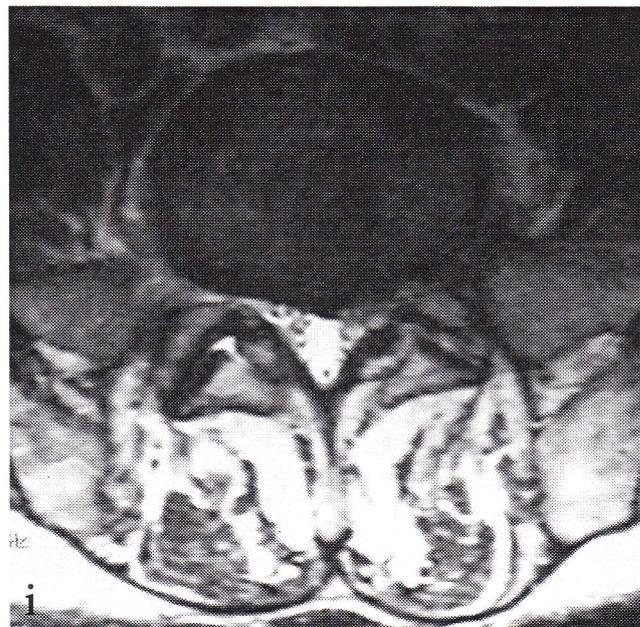
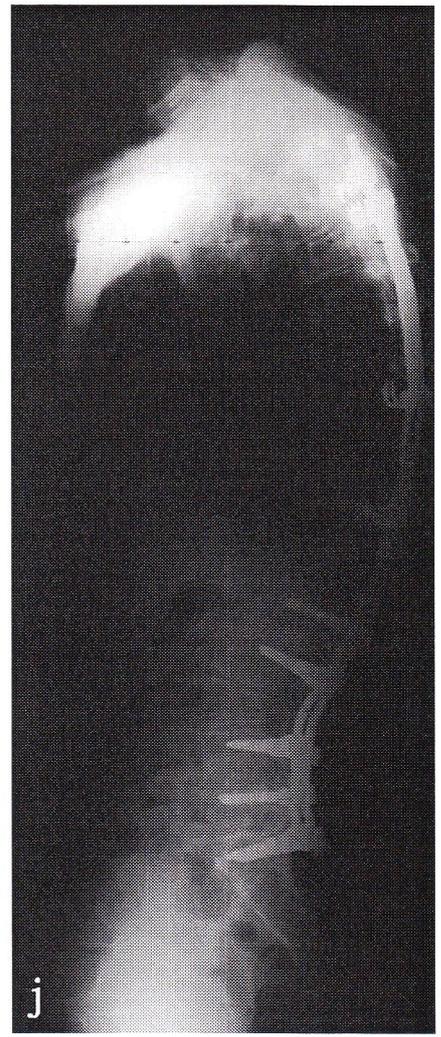


Fig. 3 (suite).

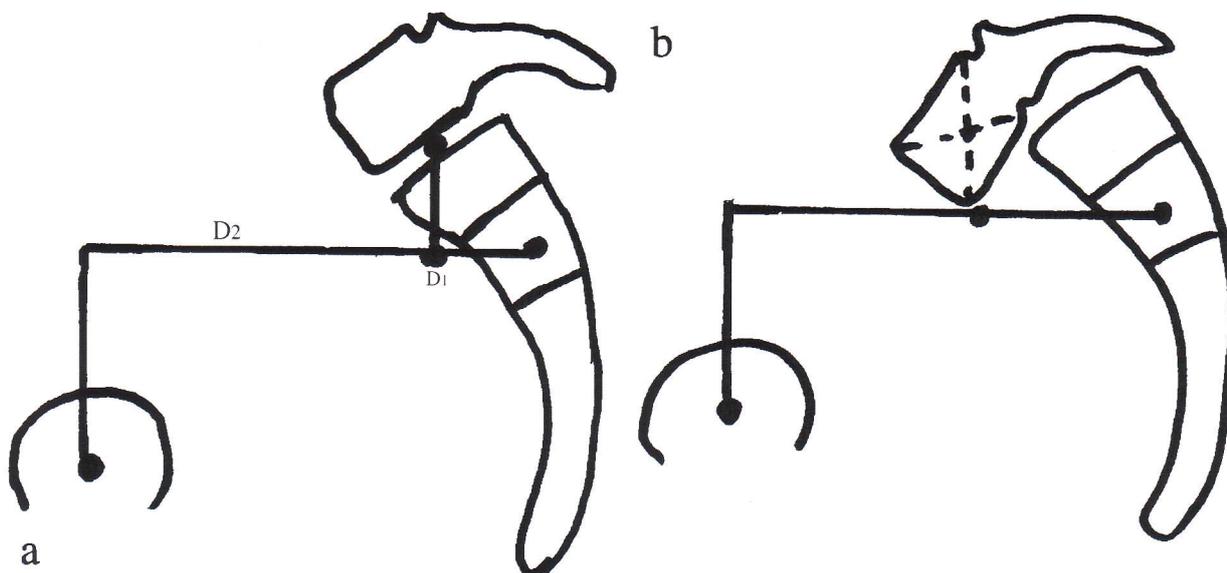


Fig. 4. Le couple charnière de Marnay(4a) et l'indice sagittal de version pelvienne de Schwab et Farcy (4b).

Fig. 4a. Le couple charnière de Marnay est égal au rapport D_1/D_2 , D_1 est la distance reliant le centre de la deuxième pièce sacrée et le point abaissé sur l'horizontale à partir du milieu du disque L5 S1, D_2 la distance entre ce même centre du disque et la projection sur l'horizontale des têtes de fémur.

Fig. 4b. L'indice sagittal de version pelvienne de Schwab et Farcy est égal au rapport entre « a » distance de S2 et le milieu de L5 abaissé sur l'horizontale et « b » la distance entre le centre de S2 et la projection des têtes fémorales sur l'horizontale.

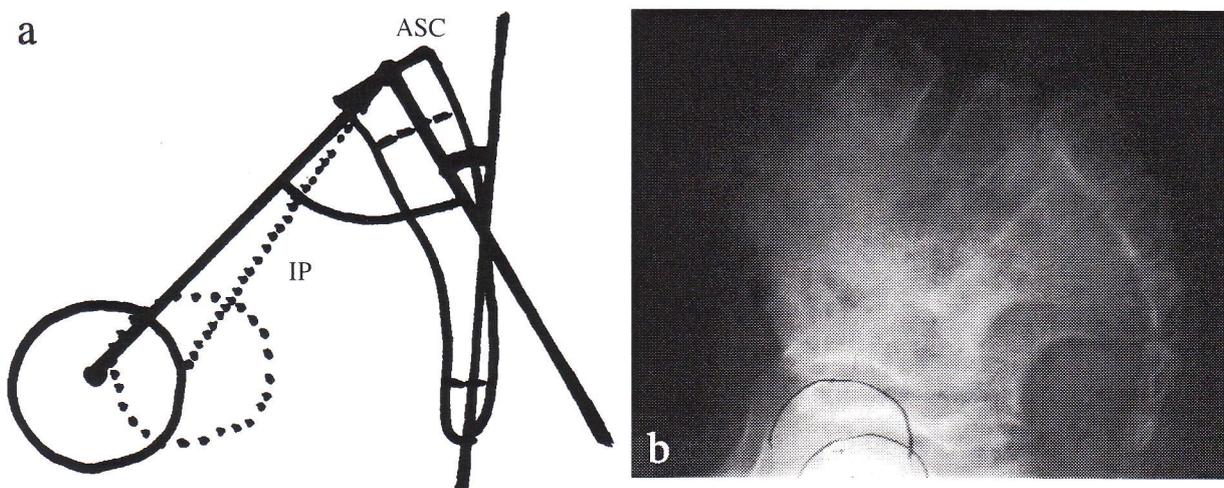


Fig. 5. Dans les spondylolisthésis dysplasiques à grand déplacement l'angle sacrococcygien (ASC) est faible par rapport à l'incidence pelvienne (IP).

Quand l'ostéotomie a été réalisée, le patient est redressé sur la table et une nouvelle ostéosynthèse est pratiquée avec une meilleure lordose. Pour chaque patient, à partir du cliché de profil sur grande cassette numérisée, on peut simuler la correction ; on peut aussi essayer d'obtenir une correction idéale avec en obtention postopératoire une version pelvienne normale (12°) et une gîte sagittale en T9 normale (10°). On peut être moins ambitieux et accepter un équilibre non pas idéal mais compensé notamment par une rétroversion pelvienne. Plus l'incidence pelvienne est grande plus

l'angle de lordose lombaire est important et plus l'angle d'ostéotomie devra être important. En terme de correction d'un dos plat pour ostéotomie une grande incidence constitue un élément compliquant l'acte chirurgical.

Le niveau d'ostéotomie doit être pris en compte ; plus il est bas plus le sujet sera ramené en arrière. Techniquement l'ostéotomie est plus facile en L3. Finalement grâce au programme développé par l'équipe des Professeurs Lavaste et Skalli du laboratoire de biomécanique de l'ENSAM de Paris, on peut simuler toutes les possibilités de corrections par

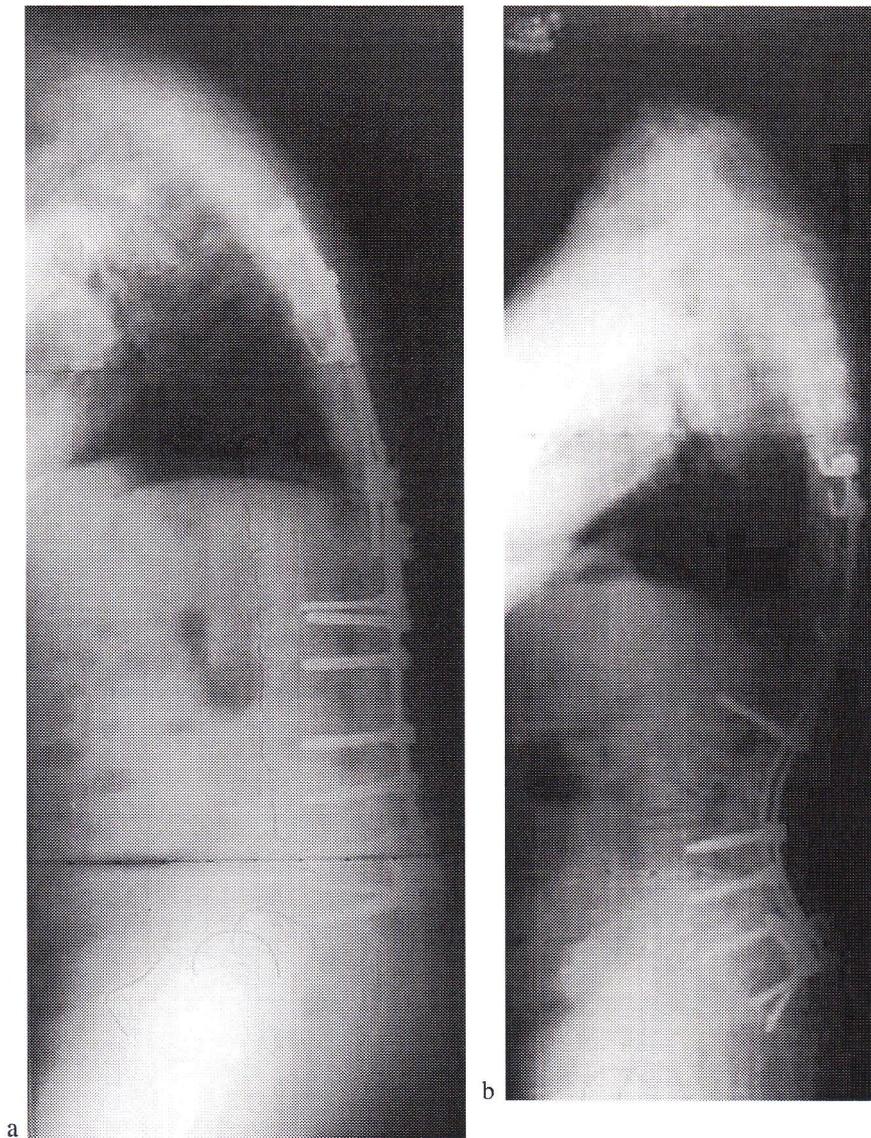


Fig. 6. Ostéotomie de L3 pour dos plat post-opératoire.
Fig. 6a. Radio de profil pré-opératoire. Fig. 6b. Radio de profil post-opératoire.

ostéotomie corporelle ou étagée (8 à 10° par niveau) pour retrouver un équilibre idéal ou compensé. Le chirurgien choisira selon les possibilités techniques en refusant certaines propositions qui sont irréalisables.

Références

- [1] Gangnet N, Pomero V, Dumas R, Skalli W, Vital JM. Variability of the spine and pelvis location with respect to the gravity clinic: a 3D stereoradiographic study using a force platform. *Surg Radiol Anat* 2003;25:424–433.
- [2] Vaz G, Roussouly P, Berthonnand E, Dimnet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J* 2002;11:80–7.
- [3] Roaf R. The basis anatomy of scoliosis. *J Bone Joint Surg* 1966;48 B: 786–9.
- [4] Dickson RA, Lawton JO, Archer IA, Butt WP. The pathogenesis of idiopathic scoliosis: biplanar spinal asymmetry. *J Bone Joint* 1984;66 B: 8–15 1.
- [5] Perdriolle R, Vidal J. Étude de la courbure scoliotique : importance de l'extension et de la rotation vertébrale. *Rev Chir Orthop* 1987;67:25–34.
- [6] Ohlen G, Aaro S, Bylund P. The sagittal configuration and mobility of the spine in idiopathic scoliosis. *Spine* 1988;13:413–6.
- [7] Legaye J, Duval Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Anatomical and barycentric three-dimensional conditions of adult lumbar and thoracolumbar scoliosis. Three dimensional analysis of spinal deformities. IOS Press; 1995. p. 259–63.
- [8] 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.
- [9] Fiere V, Mota H, Berthonnaud, Roussouly P. Discal herniation pelvic incidence and spinopelvic balance: a correlation study. *Eur Spine J* 2001;10(suppl. 1):51.
- [10] Takemitsu Y, Harada Y, Iwahara T, Miyamoto H, Miyatake Y. Lumbar degenerative kyphosis. Clinical, radiological and epidemiological studies. *Spine* 1988;13:1317–26.
- [11] Wiltse LL, Newman PH, Mac Nab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop* 1976;117:23–9.

- [12] Roy Camille R. Spondylolisthésis. Conférence d'enseignement de la Sofcot. Paris: Expansion scientifique française; 1986. p. 89–101.
- [13] Marchetti PG, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. *The Textbook for Spinal Surgery*, 2. Philadelphia, PA: Lippincott Raven; 1997. p. 1211–54.
- [14] Marnay T. Équilibre du rachis et du bassin. Cahiers d'enseignement de la Sofcot. Paris: Expansion scientifique française; 1988. p. 281–313.
- [15] Boisaubert B, Montigny JP, Duval Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Incidence, sacrum et spondylolisthésis. *Rachis* 1997;9:187–92.
- [16] Mangione P, Sénégas J. L'équilibre rachidien dans le plan sagittal. *Rev Chir Ortho* 1997;83:22–32.
- [17] Roussouly P, Assi C, Schiavi A, Vaz G, Dimnet J. Critères sagittaux de la lombalgie. La chirurgie du rachis lombaire dégénératif. Sauramps 1998:146–53.
- [18] Doring J, Goudfrooij H, Keesen W, Beeker ThW, Crowe A. Toward standards for posture. Postural characteristics of the lower back system in normal and pathologic conditions. *Spine* 1985;10:83–7.
- [19] Schwab FJ, Farcy JP, Roye DP. The sagittal pelvic tilt index as a criterion in the evaluation of spondylolisthesis. *Spine* 1997;22:1661–7.
- [20] Speck GR, Mc Call IW, O'Brien JP. Spondylolisthesis: the angle of kyphosis. *Spine* 1984;9:6.
- [21] Antoniadis SB, Hammergerg KW, Dewald RL. Sagittal plane configuration of the sacrum in spondylolisthesis. *Spine* 2000;25, 9:1085–91.
- [22] Curylo LJ, Edwards CE, Dewald RW. Radiographic markers in spondyloptosis. Implications for spondylolisthesis progression. *Spine* 2002;18:2021–5.
- [23] Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, Lenke LG. Correlation of pelvic incidence with low and high grade isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2002;18:2026–9.
- [24] Abitbol MM. Sacral curvature and supine posture. *Am J Phys Anthropol* 1989;80:379–89.
- [25] Marty C, Boisaubert B, Descamps M, Montigny JP, Hecquet J, Legaye J, Duval Beaupère G. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 2002;11:119–25.