

# Évaluation radiologique préopératoire des déformations vertébrales

J.-M. VITAL, L. BOISSIÈRE, C. CORREA, O. GILLE, I. OBEID



L'évaluation radiologique préopératoire des déformations vertébrales doit permettre de répondre à plusieurs questions :

- Quelle est l'étendue de la fixation intervertébrale ou arthrolyse ?
- De combien faut-il corriger les courbures pour obtenir le meilleur équilibre à la fois coronal et sagittal ?
- Où faut-il décompresser en cas de scoliose, principalement chez l'adulte en cas de radiculaire ?

Nous verrons qu'il faut travailler avec un panel de moyens radiologiques comme les radiographies, le scanner, l'IRM, mais que l'on peut maintenant s'appuyer sur des logiciels permettant de faire des prévisions préopératoires très précises ou sur des moyens encore plus "modernes" se basant toujours sur une acquisition radiographique, mais permettant par exemple d'obtenir des pièces vertébrales en 3D ou des implants vertébraux sur mesure.

Enfin, nous terminerons sur l'avenir qui repose sur l'évaluation non pas strictement radiologique et donc statique, mais plus dynamique avec, en particulier, l'étude de la marche.

## ÉVALUATION RADIOLOGIQUE STATIQUE DU PATIENT DEBOUT

Cette dernière ne peut plus se faire par clichés séparés des différents segments thoracique ou lombaire. Il faut absolument travailler sur des vues globales en charge de la colonne de face et de profil et le système EOS (EOS Imaging, France) est

incontestablement le meilleur, puisqu'il permet d'obtenir une acquisition automatique et combinée de face et de profil de l'ensemble du squelette de la tête aux pieds, au prix d'une très faible irradiation. Cette évaluation peut se faire en 2D, mais aussi en 3D grâce à une reconstruction informatisée. Si on compare les rapports intervertébraux observés sur les images 3D EOS et ceux obtenus en tomodensitométrie, on voit beaucoup mieux les dislocations avec EOS puisque l'examen est réalisé debout. La vue de dessus en 3D est tout à fait intéressante pour analyser les dislocations (fig. 1) et l'utilisation de vecteurs proposés par Illés [1] permet au mieux de reconnaître la position des vertèbres les unes par rapport aux autres.

L'alternative à l'utilisation de l'EOS est celle des systèmes capteurs plans qui évaluent l'ensemble de la colonne de face et de profil, mais qui donnent moins d'informations sur l'état des membres inférieurs.

L'analyse de la position de ces membres inférieurs est essentielle pour comprendre les mécanismes de compensation dans les cas notamment de déséquilibre antérieur de la colonne vertébrale. On peut en effet reconnaître une rétroversion du bassin et une éventuelle flexion des genoux qui est le deuxième moyen de compensation d'un déséquilibre antérieur important [2] (fig. 2).

Le cliché de profil peut être pris en position dite "naturelle" où ces éléments de compensation (rétroversion du bassin, flexion des genoux) sont utilisés par le patient pour se tenir en équilibre ou en position dite "corrigée" où on impose au patient d'étendre les genoux, ce qui permettra d'apprécier le véritable déséquilibre antérieur. Le Huec [3] a pris en compte

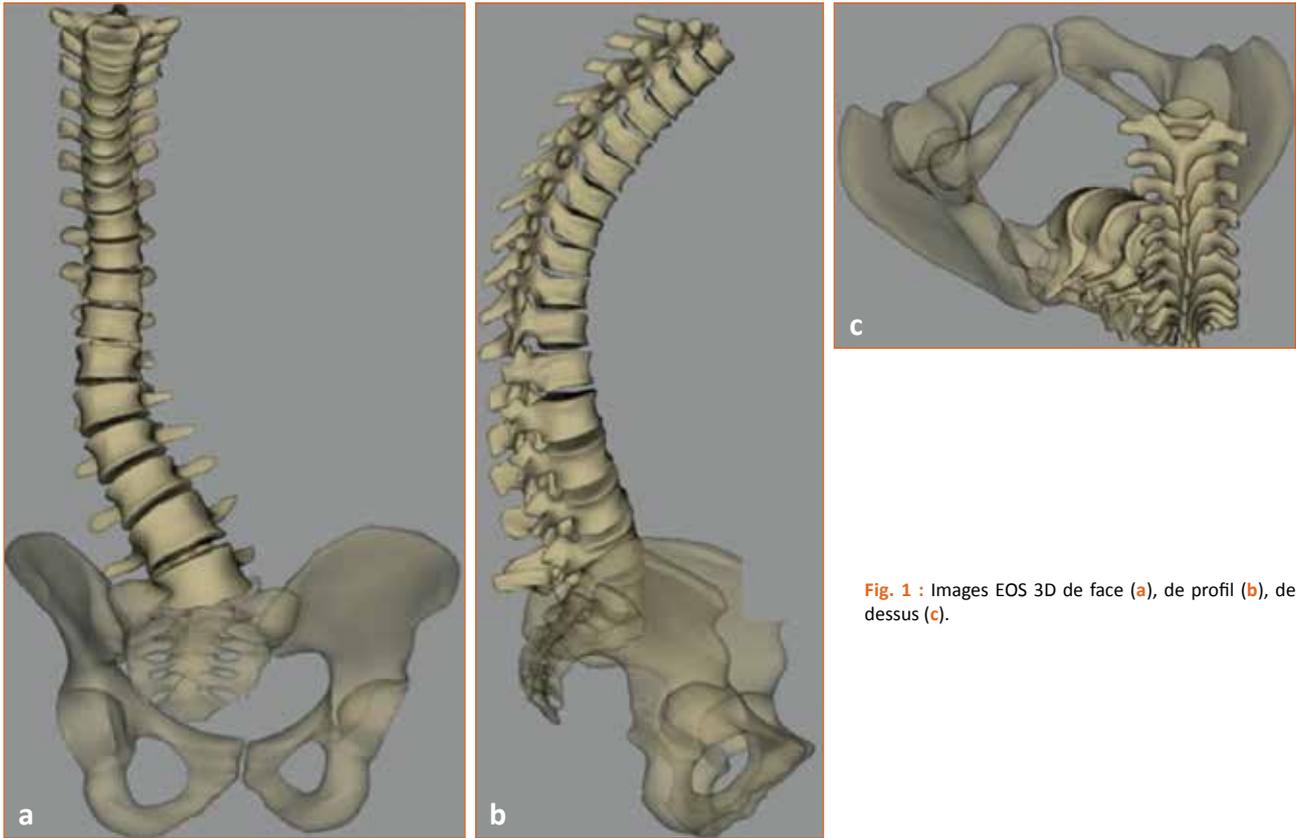


Fig. 1 : Images EOS 3D de face (a), de profil (b), de dessus (c).



Fig. 2 : Mécanismes de compensation sur la position "naturelle" (a), vrai déséquilibre (b).

ces facteurs de compensation dans sa formule FBI (*Full Balanced Integrated*) où apparaissent la C7 plumbligne (qui positionne C7 par rapport au sacrum), la version pelvienne et l'angle de flexion du fémur.

Nous ne décrivons pas ici dans le détail l'ensemble des angles qui peuvent être mesurés principalement sur le cliché de profil, dominés par l'incidence pelvienne (qui évalue la largeur du bassin et qui conditionne la valeur de la lordose lombaire), la version pelvienne, les angles de cyphose thoracique et de lordose lombaire qui doivent être mesurés sur les vertèbres les plus inclinées dans le plan sagittal et non pas systématiquement sur les vertèbres T11-T12 et L1-S1.

S'il est recommandé de déterminer une position de référence permettant une évaluation reproductible et comparable, certains paramètres tels que le Global Tilt permettent de s'affranchir partiellement de cette variabilité de position, car il évalue simultanément l'équilibre vertébral et l'équilibre pelvien [4] ; le Global Tilt est en effet égal à la somme de la version pelvienne

qui positionne du bassin et du tilt de C7 qui positionne la colonne vertébrale par rapport à la verticale (fig. 3).

Nous insisterons sur l'intérêt d'évaluer la position du crâne au-dessus de la colonne, comme l'ont fait Steffen [5] et Amabile [6], intégrant la colonne cervicale, et donc le crâne, dans l'équilibre vertébral global à la condition que cette colonne cervicale très mobile soit placée dans une position reproductible, les yeux se projetant dans un miroir (fig. 4). Il faut alors étudier la position des *conduits auditifs externes* (C.A.E.) qui correspondent au centre de gravité du crâne et celle des *têtes fémorales* (T.F.). L'axe vertical C.A.E.-T.F. est un axe quasiment naturel et permanent. Ce n'est que dans les très grands déséquilibres antérieurs, malgré les phénomènes de compensation décrits, que l'on verra la verticale abaissée à partir des C.A.E., tomber en avant des T.F.

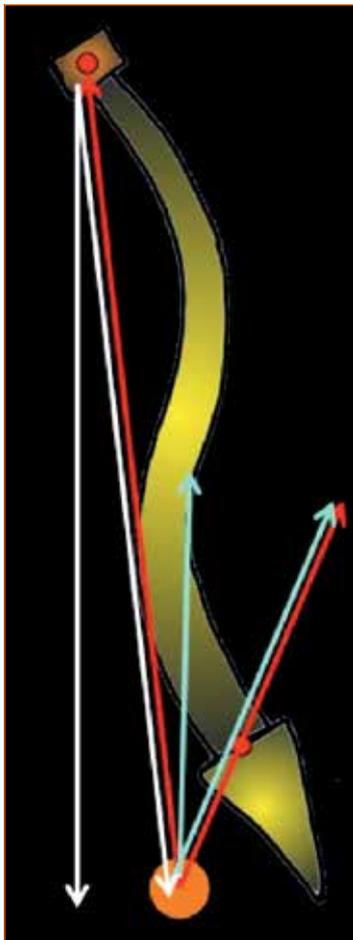


Fig. 3 : Le global tilt (en rouge) est égal à la somme de la version pelvienne (en vert) et du tilt vertical de C7 (en blanc) [4].

## CLICHÉS RADIOLOGIQUES EN CORRECTION

Ils comprennent des clichés en position allongée qui permettent de reconnaître une certaine réductibilité de la courbure et des clichés dits "dynamiques".

Les clichés dynamiques les plus classiques sont réalisés en position allongée de face selon la technique dite des "bending" droit et gauche en inclinant la colonne au maximum, notamment du côté opposé à la convexité et en verrouillant bien le bassin.

Certaines équipes ont développé des techniques de tractions qu'elles ont d'abord réalisées en position debout comme le propose Büchler [7]. Hamzaoglu [8] compare dans son article un certain nombre de méthodes de correction des scoliozes :

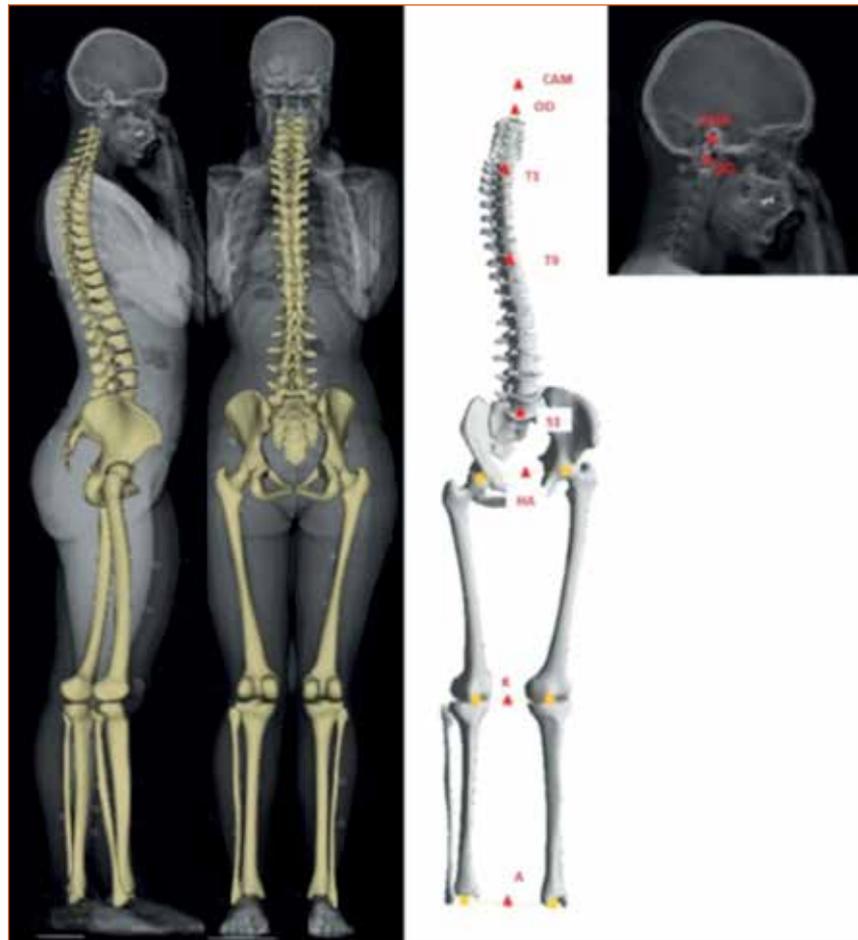


Fig. 4 : Équilibre global intégrant le crâne et les C.A.E. (ou C.A.M.) (d'après Amabile [3]).

- le cliché en traction, non pas debout, mais allongé,
- les clichés en inclinaison droite et gauche,
- les clichés avec utilisation du billot (ou fulcrum) : il s'agit d'un cliché de face sur un sujet couché sur le côté avec correction obtenue par un billot placé du côté de la convexité.

Cet auteur insiste sur l'intérêt du cliché en traction, mais sous anesthésie générale (A.G.), qui se rapproche le plus de la correction opératoire obtenue, sachant que l'instrumentation vertébrale complètera cette correction due à la traction et à l'A.G.

Si tous ces clichés dynamiques cherchent à évaluer la réductibilité de la courbure (de façon un peu simplifiée, on estime qu'une courbure est réductible si on obtient 30 % de diminution des angles de Cobb), ils permettent aussi de déterminer le niveau inférieur d'arthrodèse en région lombaire ; pour certains, un disque avec des plateaux mobiles dans les 2 sens opposés sur les bending droit et gauche ne doit pas être arthrodésé. L'appréciation du degré de réductibilité est indispensable pour programmer l'importance et le type de résection osseuse grâce à des gestes d'ostéotomies réalisées sur des colonnes vertébrales enraidies.

Si le billot (ou fulcrum) peut être utilisé pour l'étude de la réductibilité des scolioses, il est surtout très utilisé pour l'étude de la réductibilité des cyphoses sur un cliché de profil. Le cliché sur billot peut aussi être essentiel pour déterminer le niveau d'instrumentation le plus bas dans le cadre d'une correction de cyphose de maladie de Scheuermann. En effet, on considère que l'instrumentation doit se poursuivre jusqu'à la vertèbre qui est horizontalisée à la partie basse de la cyphose sur ce cliché avec billot.

## TOMODENSITOMÉTRIE

C'est un examen qui est moins régulièrement demandé dans le bilan préopératoire, mais qui sera quasi-systématique en cas de scoliose congénitale pour une meilleure appréciation des anomalies osseuses corporeales et/ou de l'arc postérieur.

L'examen peut avoir un intérêt pour apprécier la fusion, la pseudarthrose sur une colonne vertébrale

déjà opérée, ou le positionnement des implants [9]. Il permet de mieux apprécier les zones de rigidité et donc les zones à libérer chirurgicalement.

Cette tomodensitométrie a aussi un intérêt pour mesurer la taille des pédicules vertébraux qui sont, à l'heure actuelle, de plus en plus instrumentés, et notamment pour voir si le vissage est possible au niveau des pédicules de la concavité plus fins que ceux de la convexité (fig. 5).

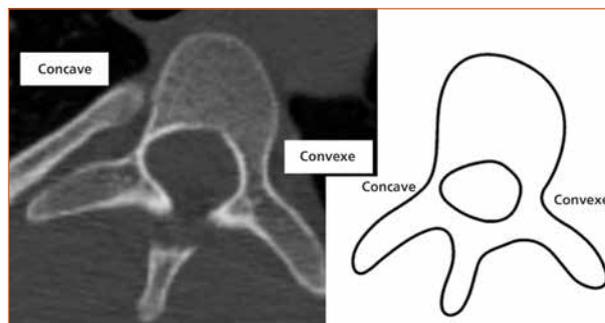


Fig. 5 : Évaluation des pédicules concaves en tomodensitométrie.

## IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (I.R.M.)

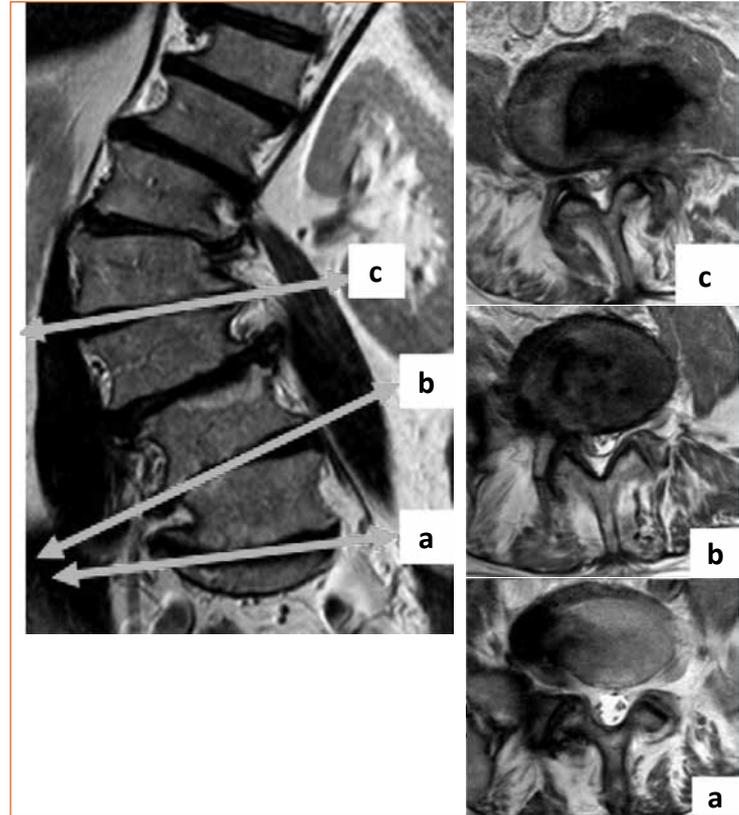
L'I.R.M. est demandée pour reconnaître d'éventuelles anomalies intracanales dans le cas de scolioses congénitales ou de scolioses avec signes neurologiques faisant craindre une lésion médullaire ou radiculaire.

Cette I.R.M. est indispensable dans le bilan des radiculalgies sur scoliose dégénérative ou idiopathique évoluée à l'âge adulte. On retrouvera sur les coupes, principalement axiales et coronales, des compressions dans les récessus ou les foramens intervertébraux. On sait que cette compression est la plus souvent observée dans la concavité lombosacrée sous la convexité d'une scoliose lombaire ou thoracolombaire (fig. 6, 7).

Cette I.R.M. permettra aussi d'apprécier l'état des disques intervertébraux, quelquefois pincés, déshydratés, avec parfois la présence d'un signal inflammatoire de Type Modic 1, poussant à étendre l'arthrodèse au-delà de ce niveau.



**Fig. 6 :** Coupe coronale d'I.R.M. montrant une compression foraminale gauche dans la concavité lombosacrée.



**Fig. 7 :** Coupes axiales d'I.R.M. montrant une compression foraminale à droite en L5-S1 (a) et L4-L5 (b), et à gauche en L2-L3 (c).

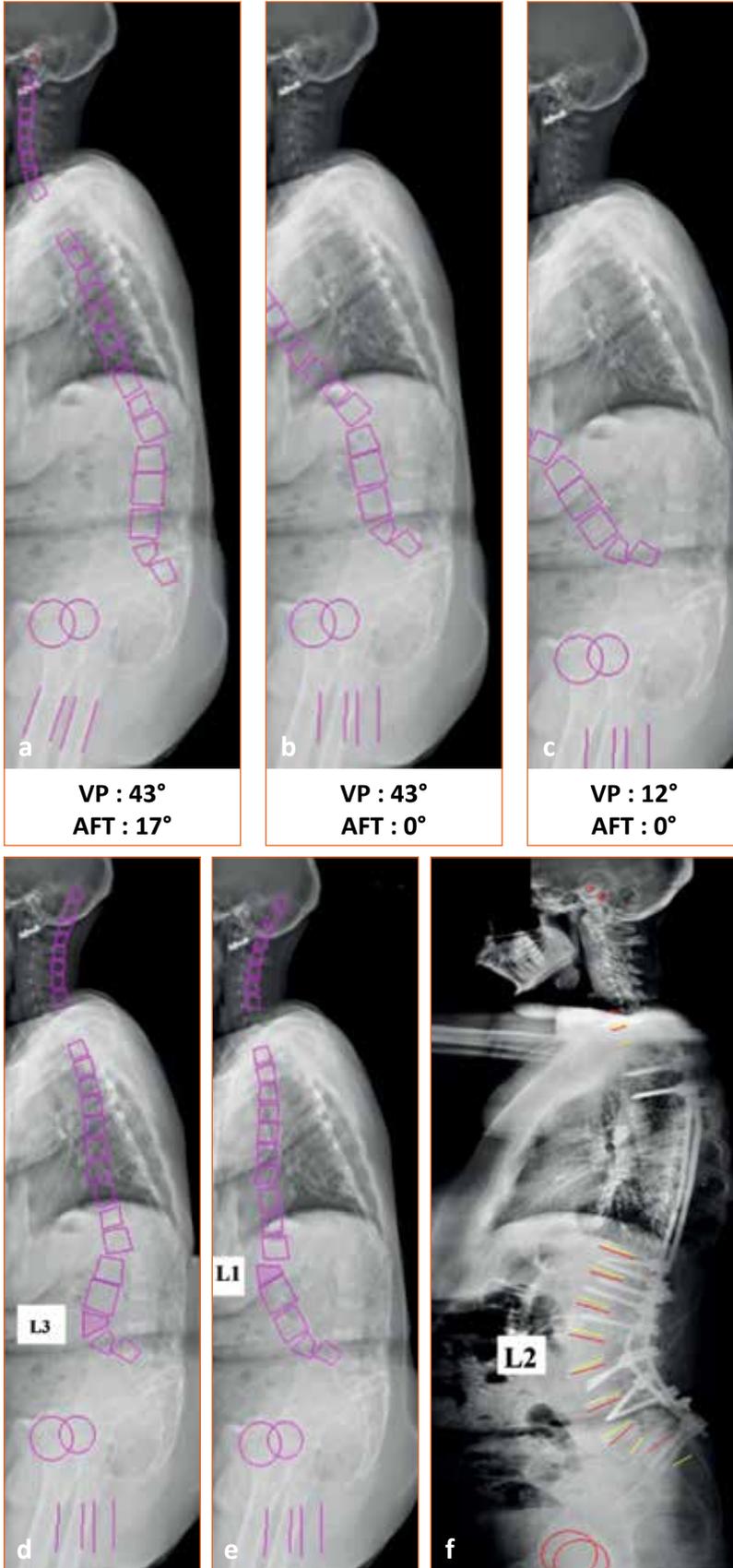
Enfin, cela est moins connu, l'I.R.M. permet d'apprécier indirectement la réductibilité des courbures, que ce soit dans le cadre des scolioses (Sharma) [10] ou dans le cadre de la maladie de Scheuermann (Kaiser) [11].

## CALCULS PRÉOPÉRATOIRES

L'utilisation de logiciels se développe de plus en plus pour assurer une amélioration des mesures faites sur les simples radiographies et pour faire des calculs préopératoires en simulant les chirurgies de correction, notamment les ostéotomies vertébrales [12].

Pour ces simulations, il a été réalisé initialement des calques. Très vite, on a vu apparaître des logiciels dédiés à l'analyse, principalement de la colonne vertébrale de profil, comme les logiciels Surgiview® [14], Surgimap® [13, 15] ou KEOPS®.

Dans le service, Aurouer [14] a bien décrit les différents types de calculs pour réaliser des ostéotomies transpédiculaires (O.T.P.) ou des ostéotomies postérieures étagées ou multisegmentaires. Grâce à ce logiciel Surgiview®, on peut envisager les différentes possibilités de correction selon l'angulation et le niveau de l'O.T.P. ou le nombre et le niveau des ostéotomies postérieures étagées. Ce calcul se fait à partir d'un déséquilibre évalué après avoir supprimé les possibilités de compensation, mais il n'est réellement applicable en pratique pour l'O.T.P. que si la colonne vertébrale est tout à fait rigide (fig. 8). Dans le cas d'ostéotomies multisegmentaires, il faut aussi imaginer que la colonne antérieure est libre, ce qui n'est pas toujours le cas ; ceci rend le calcul plus imprécis que dans le cas d'une O.T.P. (fig. 9). Steffen a même pu, grâce au système EOS 3 D, calculer de façon très précise la correction obtenue par une O.T.P. asymétrique et simuler la position exacte des ostéotomes pour réaliser ce geste asymétrique (fig. 10, 11).



**Fig. 8** : Calcul préopératoire pour une O.T.P. (d'après Aurouer [14]).

- a) cliché de profil en position naturelle avec rétroversion pelvienne (version pelvienne, VP = 43°) et flexion des genoux (angle fémorotibial AFT = 17°).
- b) la flexion des genoux est corrigée (AFT = 0).
- c) la rétroversion est corrigée (VP = 12°) ; on est devant le vrai déséquilibre antérieur sans compensation et sur lequel il faut faire les calculs.
- d) simulation du résultat obtenu par une O.T.P. en L3.
- e) simulation du résultat obtenu par une O.T.P. en L1.
- f) résultat final obtenu avec une O.T.P. en L2.



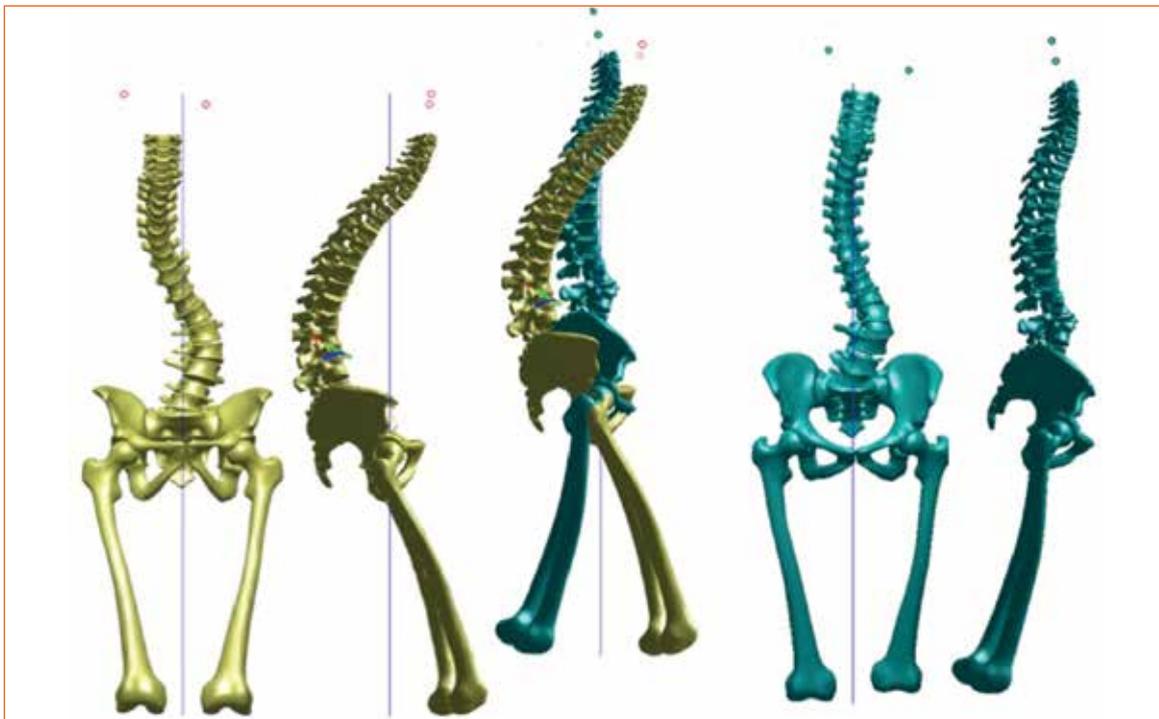
**Fig. 9 :** Calcul préopératoire pour des ostéotomies multisegmentaires (O.M.) (d'après Aurouer [14]).

a) profil en violet avec suppression des phénomènes de compensation.

b) simulation d'O.M. en L1-L2 + L2-L3.

c) simulation d'O.M. en L1-L2 + L2-L3 et L3-L4.

d) simulation d'O.M. en L1-L2 + L2-L3 + L3-L4 et L4-L5.



**Fig. 10 :** Calcul préopératoire d'une O.T.P. de L3 asymétrique ; en jaune : préopératoire, en vert : postopératoire.

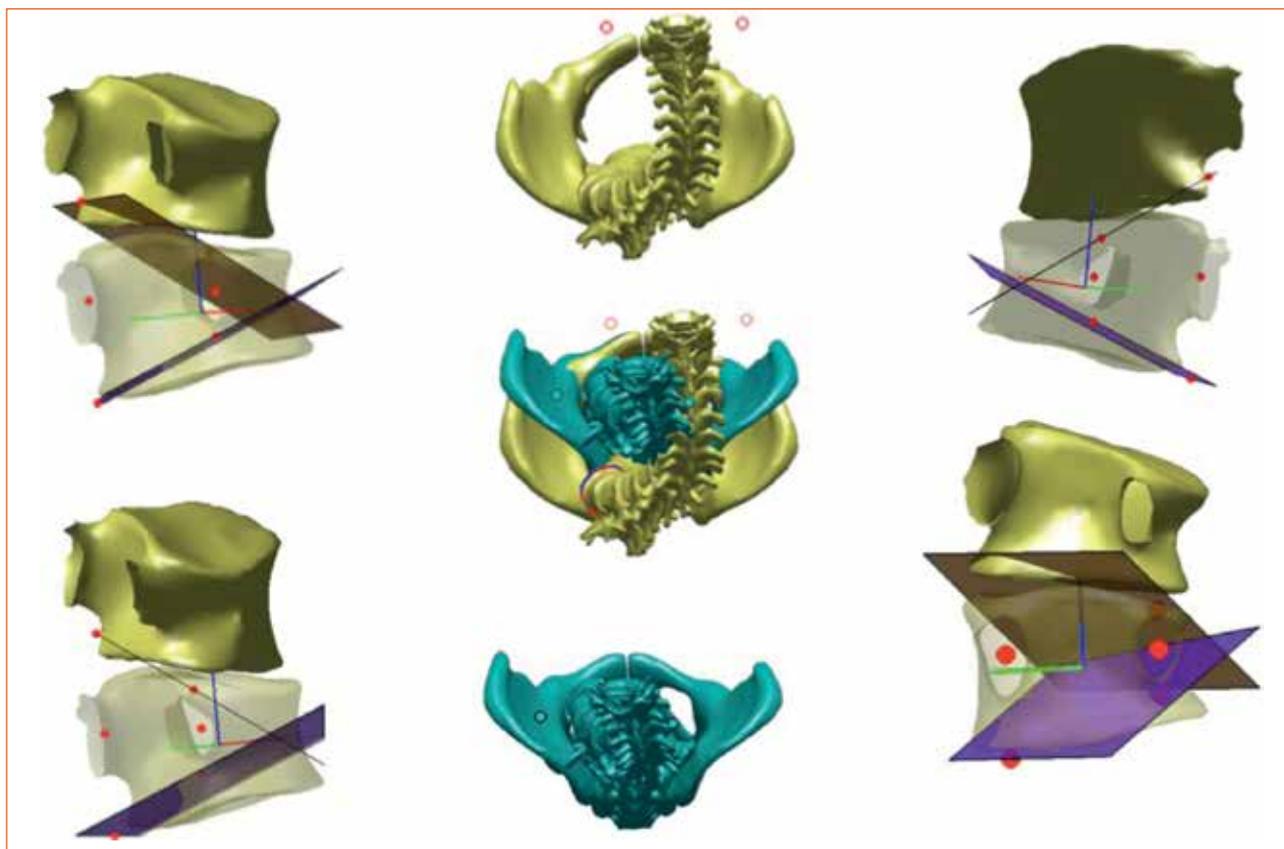


Fig. 11 : Calcul préopératoire d'une O.T.P. asymétrique avec positionnement des ostéotomes.

Plus récemment, Merrill [15] a reproduit cette méthode pour l'O.T.P.

Dans ces calculs préopératoires, le problème est que l'on se base souvent sur des références angulaires concernant les patients sains, notamment en termes de lordose lombaire et de cyphose thoracique. Ceci a pu entraîner des corrections trop importantes de la lordose lombaire et fait apparaître des cyphoses aux

limites supérieures du montage (PJK ou proximal junctional kyphosis ou encore cyphose jonctionnelle proximale). De nombreux articles [16, 17, 18] expliquent en partie ces anomalies récemment découvertes, notamment par le fait que la correction de la lordose lombaire était trop importante par rapport au référentiel, non pas d'un sujet sain, mais d'un sujet âgé traité pour ce déséquilibre sagittal (tableau 1 et fig. 12).

Tableau 1 : Variations de l'alignement sagittal selon l'âge (d'après Lafage [18]).

Tranches d'âge	Version pelvienne (°)	IP-LL (°)	C7 Plumbligne (mm)
< 35	11,0	-10,5	-30,5
35-44	15,4	-4,6	-5,5
45-54	18,8	0,5	15,1
55-64	22	5,8	35,8
65-74	25,1	10,5	54,5
≥ 74	28,8	17	79,3



Fig. 12 : Exemple d'une cyphose proximale jonctionnelle (P.J.K. des Anglo-Saxons) cerclée de rouge en (b), par excès de lordose en (a) si on considère la lordose à l'âge avancé de cette patiente et reprise chirurgicale en (c).

## MATÉRIEL CHIRURGICAL SUR MESURE

De nombreuses méthodes découlant de l'imagerie, notamment 3D, permettent d'obtenir des pièces anatomiques intéressantes en cas de déformation vertébrale complexe afin de pouvoir raisonner en préopératoire, mais aussi en peropératoire [19] ; elles permettent aussi d'obtenir des viseurs, notamment pour le vissage pédiculaire souvent complexe dans la déformation vertébrale [20, 21].

Ces techniques permettent également d'obtenir des pièces vertébrales sur mesure [22] (fig. 13) et, plus récemment, des tiges préformées au profil idéal [23, 24] (fig. 14).

Nous terminerons ce chapitre d'évaluation préopératoire non pas sur de la radiologie pure, mais sur l'étude de la marche. En effet, ce chapitre d'évaluation dynamique du sujet dans les troubles statiques, notamment sagittaux, nous paraît essentiel.

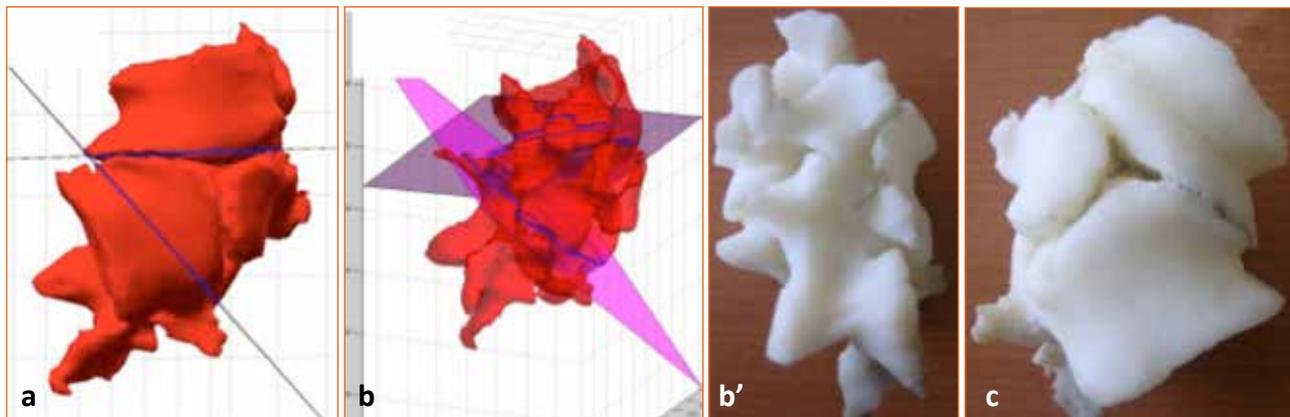


Fig. 13 : Segment vertébral encadrant une hémivertèbre obtenue en imprimante 3D. Vue latérale gauche (a), vues postérieures (b, b'), vue antérieure (c).

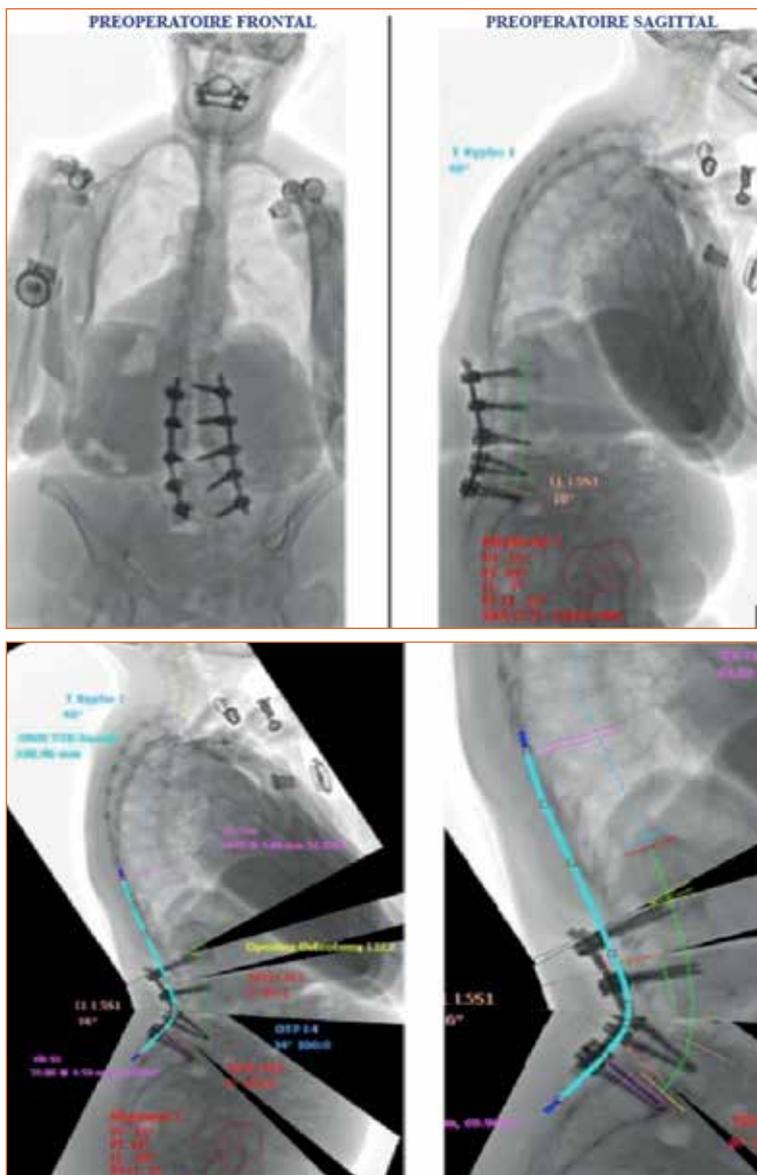


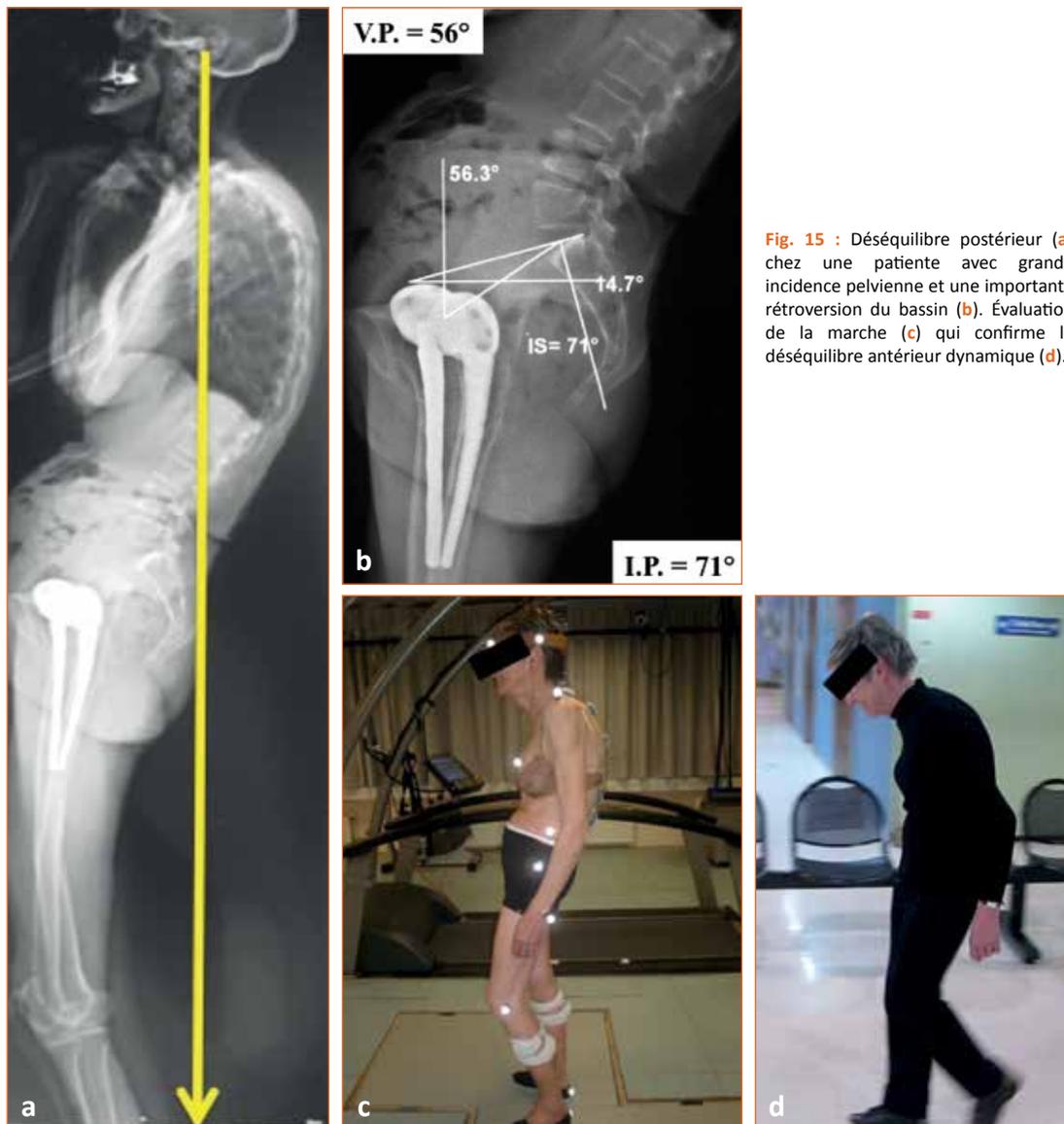
Fig. 14 : Exemple d'une tige prégalbée dans le traitement d'un dos plat postopératoire [23 et 24].

## ÉVALUATION DE LA MARCHÉ

Les radiographies statiques de la colonne entière ne représentent pas les phénomènes rencontrés au cours du mouvement. Lee [25] a ainsi très bien démontré que le déséquilibre antérieur sur dos plat postopératoire était beaucoup plus net en étudiant la marche que sur des clichés statiques de profil, probablement par insuffisance musculaire des grands fessiers qui n'arrivent pas à maintenir lors de la marche l'extrême rétroversion du bassin. Les phénomènes compensatoires en statique sont poussés au maximum, mais disparaissent en dynamique [26].

On a même vu des patients calés en hyperrétroversion, comme assis sur leur bassin, avec la verticale abaissée à partir des C.A.E. tombant en arrière des T.F., basculer en avant pendant la marche et être améliorés par des ostéotomies lombaires lordosantes (fig. 15).

L'analyse dynamique de la colonne vertébrale lors de l'activité de marche est complexe et passe par une association de mesure du positionnement des segments dans l'espace au moyen d'une analyse cinématique associée à une analyse des activités musculaires des muscles du tronc (erector spinae et abdominaux) et des fessiers (notamment le gluteus maximus) (fig. 16).



**Fig. 15** : Déséquilibre postérieur (a) chez une patiente avec grande incidence pelvienne et une importante rétroversion du bassin (b). Évaluation de la marche (c) qui confirme le déséquilibre antérieur dynamique (d).

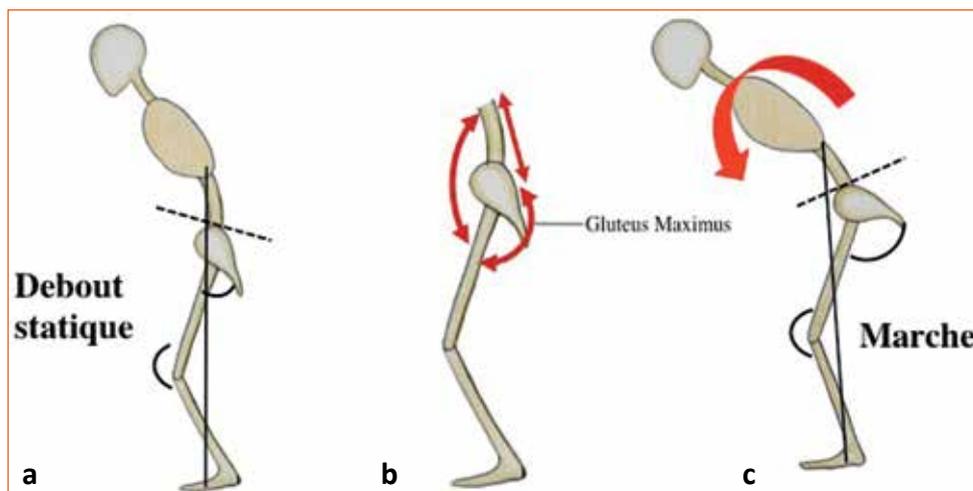


Fig. 16 : durant la marche, il y a augmentation du déséquilibre antérieur, car le gluteus maximus ne maintient plus la rétroversion du bassin [25].

L'analyse cinématique se réalise au moyen de capteurs réfléchissants (marqueurs Set) disposés sur des surfaces osseuses de référence choisies par l'expérimentateur. Leurs positions sont enregistrées en permanence par une série de caméras infrarouges et analysées par un logiciel dédié pour décrire précisément leur position dans les trois plans orthogonaux de l'espace (x, y, z). En plus des amplitudes de mouvement, on peut déterminer un cycle de marche qui débute par le contact talonnier jusqu'au contact talonnier controlatéral. Ainsi, on peut aussi déterminer les paramètres de marche tels que la vitesse, la largeur, la longueur et la régularité du pas [27, 28].

L'analyse musculaire est réalisée au moyen d'EMG de surface dont les capteurs sont couplés à l'analyse cinématique pour faciliter l'association entre mouvement et activité musculaire d'un groupe dédié.

La chirurgie de correction a un impact favorable sur l'amélioration des paramètres de marche avec une corrélation positive avec la restauration d'un équilibre vertébral sagittal [29]. Néanmoins, ils restent différents de ceux chez le sujet sain, malgré une chirurgie de correction et sont encore plus dégradés s'il s'agit d'une chirurgie de reprise [30].

L'étude des paramètres de marche en postopératoire est un marqueur objectif des effets de l'intervention, complémentaire de l'évaluation radiologique même complète comme décrite plus haut [31].

En conclusion, nous retiendrons que :

- les clichés obtenus par le système EOS (ou par des radios capteur plan) sont indispensables pour évaluer la déformation vertébrale dans son ensemble et en charge ;
- la réductibilité de la déformation peut être appréciée par de nombreuses techniques dépendant des écoles ; elle aide à la prévision de la correction espérée et des niveaux à instrumenter ;
- l'I.R.M. permet de reconnaître l'état des disques lombaires, là aussi pour fixer le niveau inférieur d'arthrodèse, et de diagnostiquer la compression radiculaire le plus souvent située dans le creux de la concavité lombosacrée ;
- la tomodensitométrie est moins utilisée en dehors des scolioses congénitales ; elle permet de mesurer la taille des pédicules, notamment thoraciques concaves ;
- la tendance actuelle est d'utiliser des logiciels qui permettent une mesure plus précise des angles et surtout de faire des calculs préopératoires, notamment dans les indications d'ostéotomies ;
- l'imagerie autorise l'obtention de pièces vertébrales 3D ou d'implants sur mesure ;
- enfin, l'étude de la marche, bien que moyen non radiologique vrai, nous paraît indispensable pour évaluer le retentissement dynamique de la déformation, notamment dans les déséquilibres antérieurs du sujet âgé.

## Références

- [1] ILLES T, TUNYOGI-CSAPO M, SOMOSKEÖY S. Breakthrough in three-dimensional scoliosis diagnosis: significance of horizontal plane view and vertebra vectors. *Eur Spine J* 2011; 20(1): 135-40.
- [2] FERRERO E, LIABAUD B, CHALLIER V, LAFAGE R, DIEBO BG, VIRAS S, LIU S, VITAL JM, ILHARREBORDE B, PROTOPSALTIS TS, ERRICO TJ, SCHWAB FJ, LAFAGE V. Role of pelvic translation and lower-extremity compensation to maintain gravity line position in spinal deformity. *J Neurosurg Spine* 2016; 24(3): 436-46.
- [3] LE HUEC J C, LEIJSEN P, DUARTE M, AU-NOBLE S. Thoracolumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique. *Eur Spine J* 2011; 20 (suppl 5): S669-S80.
- [4] OBEID I, BOISSIERE L, YILGOR C, LARRIEU D, PELLISSE F, ALANAY A, ACAROGLU E, PERZ-GRUESO F J, KLEINSTÜCK F, VITAL JM, BOURGHLI A Global tilt: a single parameter incorporating spinal and pelvic sagittal parameters and least affected by patient positioning. On behalf of European Spine Study Group ESSG. *Eur Spine J* 2016; 25: 3644-39.
- [5] STEFFEN JS, OBEID I, AUROUER N, HAUGER O, VITAL JM, DUBOUSSET J, SKALLI W. 3D postural balance with regard to gravity line: an evaluation in the transversal plane on 93 patients and 23 asymptomatic volunteers. *Eur Spine J* 2010; 19: 760-7.
- [6] AMABILE CELIA, PILLET H, LAFAGE V, BARREY C, VITAL JM, SKALLI W. A new quasi-invariant parameter characterizing the postural alignment of young asymptomatic adults. *Eur Spine J* 2016; 25: 3666-74.
- [7] BÜCHLER P, DE OLIVERIA ME, STUDER D, SCHUMANN S, ZHENG G, SCHNEIDER J, HASLER C. Axial suspension test to assess pre-operative spinal flexibility in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 2014; 23: 2619-25.
- [8] HAMZA OGLU A, TALU U, TEZER M, MIRZANLI C, DOMANIC U, GOKSAN B. Assessment of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2005; 30: 1637-42.
- [9] VITAL JM, BOISSIERE L, BOURGHLI A, CASTELAIN JE, CHALLIER V, OBEID I. Osteotomies through a fusion mass in the lumbar spine. *Eur Spine J* 2015; 24 (suppl 1): S107-11.
- [10] SHARMA A, POUTAHERI S, SAVAGE J, KALFAS I, MROZ TE, BENZEL EC, STEINMETZ MP. The utility of preoperative magnetic resonance imaging for determining the flexibility of sagittal imbalance. *Neurosurgery* 2017 Aug 3. doi: 10.1093/neuros/nyx431.
- [11] KAISER R, BEHRBALK E, WALSH M, WALDAUF P, PEREZ ROMERA AB, MEDHIAN H. Can MRI predict flexibility in Scheuermann Kyphosis patients? *Clin Spine Surg* 2017; 30(7): E938-E41.
- [12] GUPTA M, HENRY JK, SCHWAB F, KLINEBERG E *and al*. Dedicated spine measurement software quantifies key spino-pelvic parameters more reliability than traditional picture archiving and communication system tools. *Spine* 2016; 41: E22-E7.
- [13] LAFAGE R, FERRERO E, HENRY JK, CHALLIER V, DIEBO B, LIABAUD B, LAFAGE V, SCHWAB F. Validation of new computer-assisted tool to measure spino-pelvic parameters. *Spine J* 2015; 15(12): 2493-502.
- [14] AUROUER N, OBEID I, GILLE O, POINTILLART V, VITAL JM. Computerized preoperative planning for correction of sagittal deformity of the spine. *Surg Radiol Anat* 2009; 31: 781-92.
- [15] MERILL RK, KIM JS, LEVEN DM, MEAIKE JJ, KIM JH, CHO SK. Preliminary algorithm using spine measurement software to predict sagittal alignment following pedicle subtraction osteotomy. *Global Spine Journal* 2017; 7(6): 543-51.
- [16] SEBAALY A, RIOUALLON G, OBEID I, GROBOST P, RIZKALLAH M, LAOUISSAT F, CHARLES YP, ROUSSOULY P. Proximal junctional kyphosis in adult scoliosis: comparison of four radiological predictor models. *Eur Spine J* 2017 Apr 28. doi: 10.1007/s00586-017-5111-x.
- [17] SEBAALY A, GROBOST P, MALLAM L, ROUSSOULY P. Description of the sagittal alignment of the degenerative human spine. *Eur Spine J* 2017 Nov 24. Doi: 10.1007/s00586-017-5404-0.
- [18] LAFAGE R, SCHWAB F, GLASSMAN S, BESS S, HARRIS B, SHEER J, HART R, LINE B, HENRY J, BURTON D, KIM H, KLINEBERG E, AMES C, LAFAGE V. Age-Adjusted Alignment Goals Have the Potential to Reduce PJK. *International Spine Study Group Spine* 2017; 42(17): 1275-82.
- [19] WILCOX B, MOBBS RJ, WU AM, PHAN K. Systematic review of 3 D Printing in spinal surgery: the current state of play. *J Spine Surg* 2017; 3(3): 433-43.
- [20] LI X, ZHANG Y, ZHANG Q, ZHAO C, LIU K. Clinical application of a drill guide template for pedicle screw placement in severe scoliosis. *Acta Orthop Bras* 2017; 25(2): 67-70.
- [21] SUGAWARA T, HIGASHIYAMA N, KANEYMA S, SUMI M. Accurate and simple screw insertion procedure with patient-specific screw guide templates for posterior C1-C2 fixation. *Spine* 2017; 42(6): E340-E6.
- [22] CHOY WJ, MOBBS RJ, WILCOX B, PHAN S, PHAN K, SUTTERLIN III CE. Reconstruction of thoracic spine using a personalized 3D-printed vertebral body in adolescent with T9 primary bone tumor. *World Neurosurg* 2017; 105: 1032.
- [23] BARREY C, FIERE V, LAFAGE V, VITAL JM, ARMOIRY X, BERTHILLIER J. Surgical treatment of spinal deformity with sagittal balance using patient-specific rods: a multicenter, controlled, double blind randomized trial. National PHRC 2014 Hospices civils de Lyon France. [www.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/xls/resultats\\_PHRC-N\\_2014](http://www.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/xls/resultats_PHRC-N_2014).
- [24] SOLLÀ F, BARREY C, BURGER E, CLECK CJ, FIERE V. Patient specific rods for surgical correction of sagittal imbalance. *Submitted to Eur Spine J* 2017.
- [25] LEE CS, LEE CK, KIM YT, HONG YM, YOO JH. Dynamic sagittal imbalance of the spine in degenerative flat back: significance of pelvic tilt in surgical treatment. *Spine* 2001; 26: 2029-35.
- [26] SHIBA Y, TANEICHI H, INAMI S, MORIDAIRA H, TAKEUCHI D, NOHARA Y. Dynamic global sagittal alignment evaluated by three-dimensional gait analysis in patients with degenerative lumbar kyphoscoliosis. *Eur Spine J* 2016; 25: 2572-9.
- [27] DE SEZE MP, GUILLAUD E, SLUGACZ L, CAZALETS JR, REHABIL J. An examination of camptocormia assessment by dynamic quantification of sagittal posture. *Med* 2014; 46: 1-8.
- [28] SIMON AL, ILHARREBORDE B, SOUCHET P, KAUFMAN KR. Evaluation de l'équilibre dynamique de la marche dans les pathologies rachidiennes : revue de la littérature. *Rev Chir Ortho* 2015; 101: 152-63.
- [29] YAGI M, KANEKO S, YATO Y, ASAZUMA T, MACHIDA M. Walking sagittal balance correction by pedicle subtraction osteotomy in adults with fixed sagittal imbalance. *Eur Spine J* 2016; 25: 2488-96.
- [30] ENGSBERG JR, BRIDWELL KH, REITENBACH AK, UHRICH ML, BALDUS C, BLANKE K, *et al*. Preoperative gait comparisons between adults undergoing long spinal deformity fusion surgery (thoracic to L4, L5, or sacrum) and controls. *Spine* 2001; 26: 2020-8.
- [31] ENGSBERG JR, BRIDWELL KH, WAGNER JM, UHRICH ML, BLANKE K, LENKE LG. Gait changes as the result of deformity reconstruction surgery in a group of adults with lumbar scoliosis. *Spine* 2003; 28: 1836-43.

