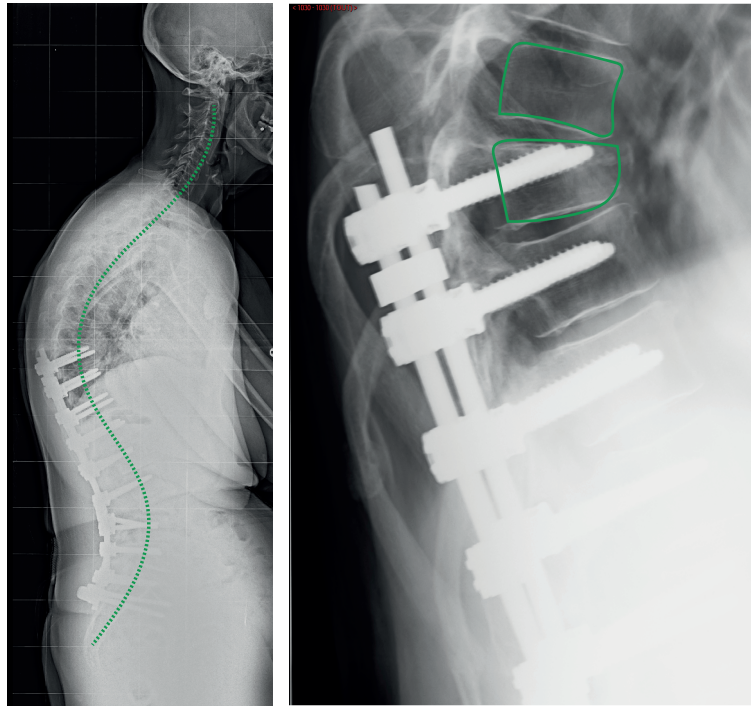


# PRINCIPES DES TECHNIQUES DE CORRECTION SAGITTALE



**FIG. 1 - IMAGE CLÉ** - Scoliose adulte iatrogénique traitée par ostéotomie. Radiographie de profil à 6 mois. Présence d'une cyphose jonctionnelle (PJK) douloureuse au niveau de la jonction proximale nécessitant une reprise chirurgicale.



LUDOVIC KAMINSKI

## POINTS CLÉS

- 🔑 La balance sagittale est le facteur prédictif le plus fiable de l'état de santé clinique des déformations spinales adultes (ASD).
- 🔑 L'objectif commun de ces chirurgies est une fusion de la colonne avec une balance sagittale restaurée ou, tout au moins, améliorée.
- 🔑 La stratégie chirurgicale dépend de l'importance de la correction à apporter comme des caractéristiques du patient et de ses attentes.
- 🔑 Le rôle de la planification est de limiter, autant que faire se peut, le risque de survenue de complications.
- 🔑 La connaissance des facteurs de risque de cyphose jonctionnelle (*Proximal Junction Kyphosis*, PJK) est capitale pour réaliser une bonne planification.

## DÉFINITION

L'alignement normal et pathologique de la colonne vertébrale a été décrit dans le chapitre *Notions d'équilibre sagittal* tout comme les mesures sagittales (angles et flèches). Ils seront supposés connus dans ce chapitre. Il n'existe pas de méthode de planification universellement reconnue à l'heure actuelle. Nous présenterons ici un type de solution sans prétendre à une quelconque supériorité vis à vis d'autres approches.

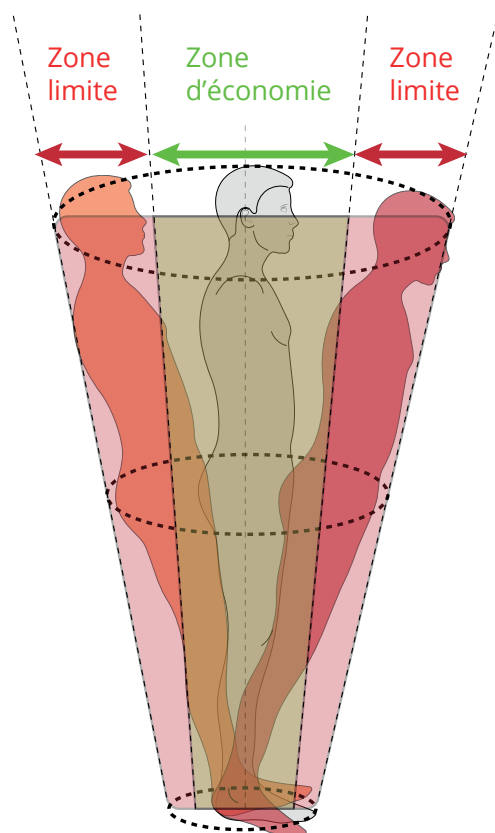
## LE CÔNE D'ÉCONOMIE

Dubousset a décrit un cône d'économie représenté en [fig. 2](#). En position érigée, le corps peut maintenir n'importe quelle posture à l'intérieur de ce cône. Par définition, au-delà des limites de ce cône, il chute. La zone la plus externe du cône est difficile à maintenir et exige davantage d'efforts au niveau musculaire. Par-là, elle occasionne fatigue, douleur et des contraintes intervertébrales majorées susceptibles d'aggraver les phénomènes dégénératifs déjà en cours au sein du rachis. Le cône d'économie est donc le volume situé au centre, où les actions musculaires pour maintenir la posture sont les plus faibles. L'objectif chirurgical sera de modifier l'équilibre sagittal de la colonne afin que le patient, en position érigée, puisse se retrouver à nouveau dans la zone économique de ce cône.

## STRATÉGIE

Une excellente connaissance des caractéristiques du patient et de sa déformation est indispensable pour réaliser la planification d'une chirurgie. Dans le cadre des corrections sagittales, l'absence de planification est une faute inexcusable au regard du taux de complications dramatiquement élevé de ces procédures.

En premier lieu, la déformation doit être classée (SRS-Schwab) et les antécédents, la clinique comme les attentes du patient clarifiés. Vient



**Fig. 2** - Le cône d'économie de Dubousset avec en son centre l'ensemble des positions idéales d'un point de vue énergétique.

ensuite la planification. Cette dernière va nous imposer un choix concernant la ou les techniques chirurgicales à mettre en œuvre. Restent alors à définir les limites (niveaux) de notre chirurgie tout comme les gestes additionnels (décompression, dissection d'une zone de reprise, etc.).

Pour expliciter la planification, nous présenterons des images obtenues à partir de radiographies et traitées au moyen du logiciel gratuit [Surgimap®](#). (Surgimap Spine, Nemas Inc., New York, NY, USA).

Un trouble de l'équilibre sagittal est toujours individuel et complexe. Il doit être parfaitement compris avant d'entamer la planification. Nous allons nous baser sur une radiographie *full spine* (FS) de profil afin de réaliser cette planification sagittale. Notons que le principe est identique concernant le plan coronal mais on gardera à l'esprit que ce dernier est substantiellement moins déformé chez l'adulte.

## PLANIFICATION

Partons de la radiographie FS de profil ([fig. 3](#)) et reportons une première mesure : la flèche cervicale en C7 (**SVA**). Cette dernière est idéalement inférieure à 4 cm (normale = 0,5 cm).

Les autres paramètres vont ensuite être recherchés. En définissant le barycentre des deux têtes fémorales, nous marquons le centre de rotation du bassin au niveau des hanches. Restent à définir le plateau supérieur de S1 et nous obtenons les mesures lombopelviennes : **PI**, **PT**, et **SS**.

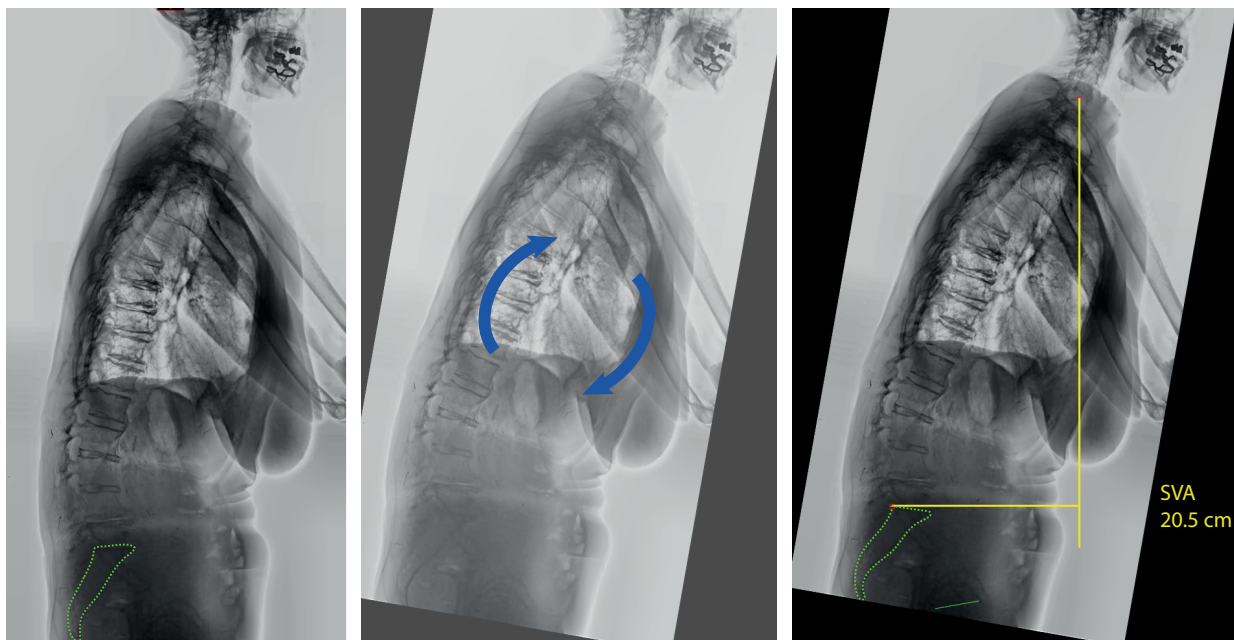
En marquant le plateau supérieur de L1 ([fig. 4](#)), nous obtenons la mesure de la lordose lombaire (**LL**).

## NORMALISATION DES COMPENSATIONS

En premier lieu, nous devons obtenir une image réelle du rachis sans ses compensations externes. En effet, afin de ne pas tomber, les patients se situent nécessairement à l'intérieur du cône. Les compensations (externes au rachis) sont essentiellement de deux origines : les genoux et les hanches.

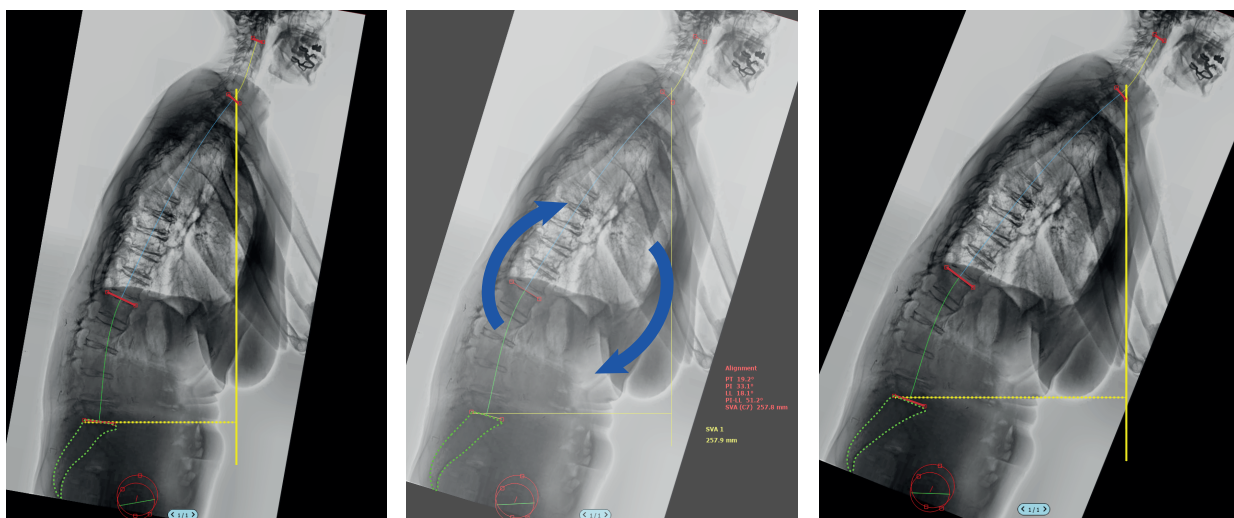
Les patients présentant une grande déformation vont devoir plier les genoux et ceci apparaît comme une flexion des fémurs. En tournant l'image ([fig. 3](#)) afin de placer à la verticale les fémurs proximaux, on visualise la statique rachidienne sans compensation par les genoux et le SVA augmente en conséquence.

Il en va de même pour la compensation des hanches. Ces dernières sont



en effet en hyperextension et sur le FS, cela se traduit par une rétroversion pelvienne (PT). Nous allons donc repositionner la radiographie (fig. 4) afin de donner une réserve naturelle de rétroversion c'est-à-dire obtenir un PT de moins de 20° (cf. chapitre *Scolioses de l'adulte*, classification SRS-Schwab).

**Fig. 3** - Image radiographique FS de profil. La rotation de l'image va annuler la compensation par flexion des genoux en positionnant les fémurs à la verticale.



PT 26.2°  
PI 33.1°  
LL -18.1°  
PI-LL 51.2°  
SVA 20.5 cm

PT 14.2°  
PI 33.1°  
LL -18.1°  
PI-LL 51.2°  
SVA 29.2 cm

**Fig. 4** - (Suite). La seconde rotation de l'image va annuler la compensation par extension des hanches en positionnant le bassin dans une antéversion naturelle. L'ensemble des paramètres est ainsi obtenu.

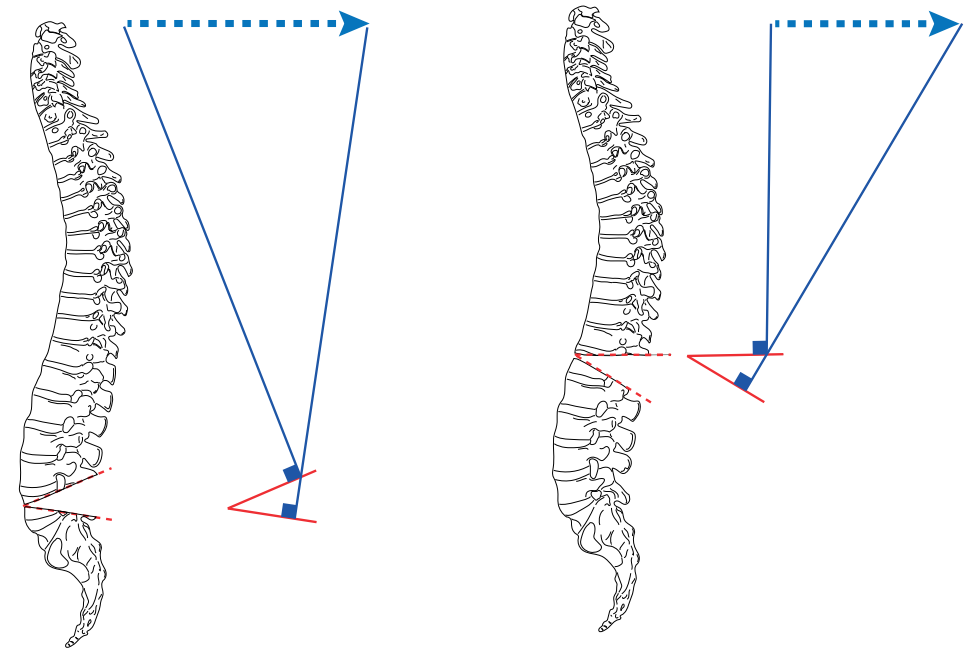


A l'issue de ces deux rotations du FS, nous obtenons l'alignement réel du rachis sans compensation externe. Cet alignement est bien entendu impossible à maintenir en position érigée chez les patients présentant une déformation significative mais l'image représente bien l'allure réelle de la déformation rachidienne. La valeur du SVA est désormais largement plus grande qu'initialement.

### PLANIFICATION DE L'OSTÉOTOMIE ET VISUALISATION DE SES CORRECTIONS

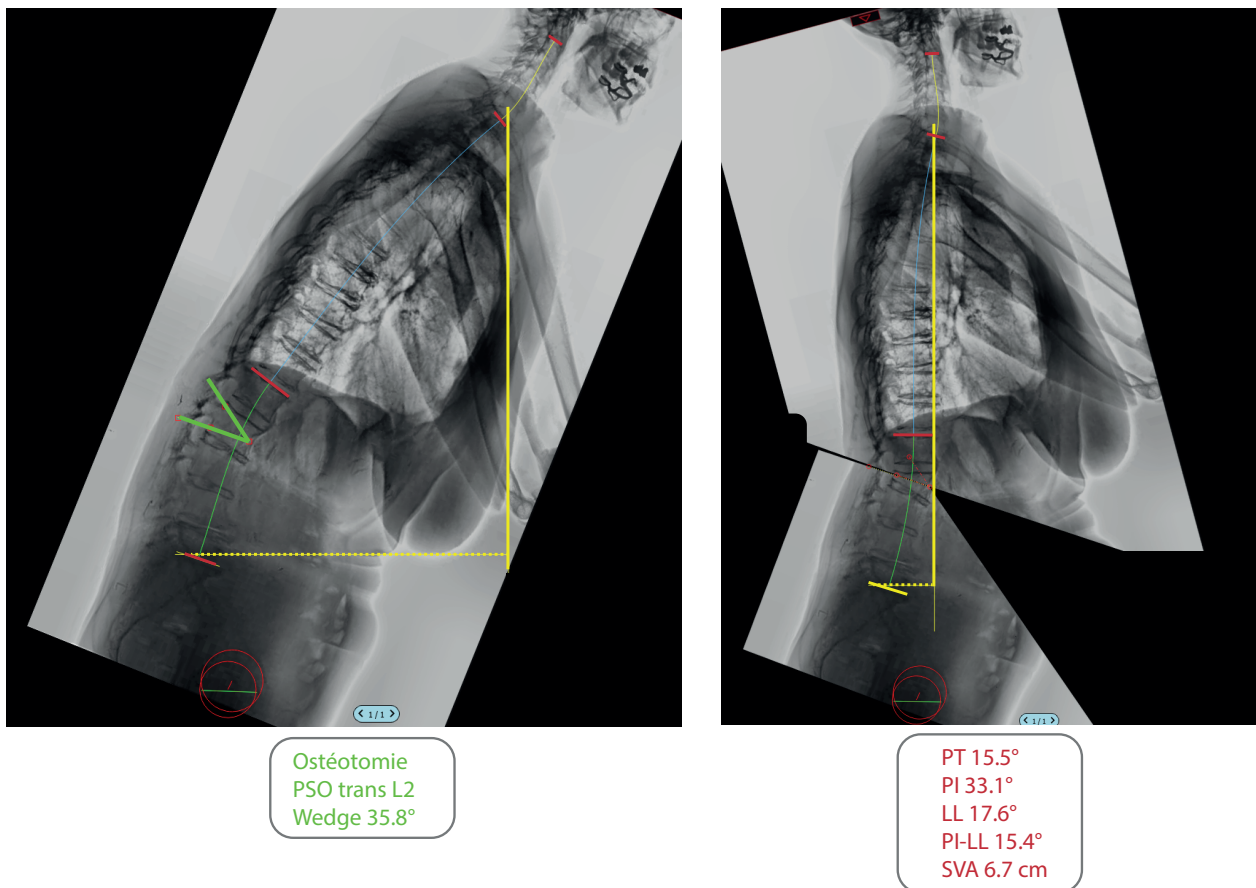
Souvenons-nous des *Sagittal Modifiers* de la classification SRS-Schwab. Le PT est déjà normalisé à ce stade. Nous allons donc marquer un angle de coupe dans la colonne afin de normaliser les deux paramètres restants : **PI - LL** et **SVA**. L'incidence pelvienne (PI) étant une constante, il va nous falloir modifier la lordose lombaire (LL) de telle manière que cela normalise aussi le SVA. Deux contraintes différentes s'opposent alors à nous :

- ✦ pour un angle d'ostéotomie donné, le SVA est d'autant plus corrigé que l'ostéotomie est distale (fig. 5). Ainsi, 20° de correction en L5 vont apporter une meilleure correction que 20° en L1. Néanmoins, c'est la valeur de l'angle de l'ostéotomie qui aura le plus d'impact sur la correction,
- ✦ une ostéotomie nécessite une stabilisation par implants de part et d'autre. Par côté, ce sont 6 implants pédiculaires (3 niveaux) qui sont habituellement conseillés pour tenir ce rôle. De cela, il est facile de comprendre que si l'on désire épargner le disque L5-S1 alors il faut plutôt envisager une ostéotomie en L2 ou au-dessus.



**Fig. 5** - Influence du niveau d'ostéotomie sur le redressement global. Un niveau distal est plus efficace mais une faible modification de l'angle de résection peut compenser cela.

Conscient de ces contraintes, nous allons pouvoir planifier une ostéotomie lombaire qui puisse corriger PI - LL ainsi que SVA (fig. 6). En général, la lordose devrait évaluer  $PI - 10^\circ$  et le SVA devrait être inférieur à 4,5 cm. Le niveau de l'ostéotomie aura assez souvent lieu en L2 ou L3.



**Fig. 6** - Exemple d'un choix d'ostéotomie de 35° en L3. On visualise la bonne correction des paramètres sagittaux sur l'image de droite. Ces derniers ne sont pour autant pas tout à fait normalisés. Une ostéotomie de valeur légèrement plus grande (40°) avec un positionnement en L3 pourrait donner un meilleur résultat.

## PLANIFICATION DÉFINITIVE

C'est maintenant un autre groupe de contraintes qui va venir en jeu :

- ✦ les disques intervertébraux sont-ils mobiles ?
- ✦ existe-t-il un antécédent chirurgical dans la zone d'ostéotomie (laminectomie ? fusion ?) et peut-on l'éviter ?

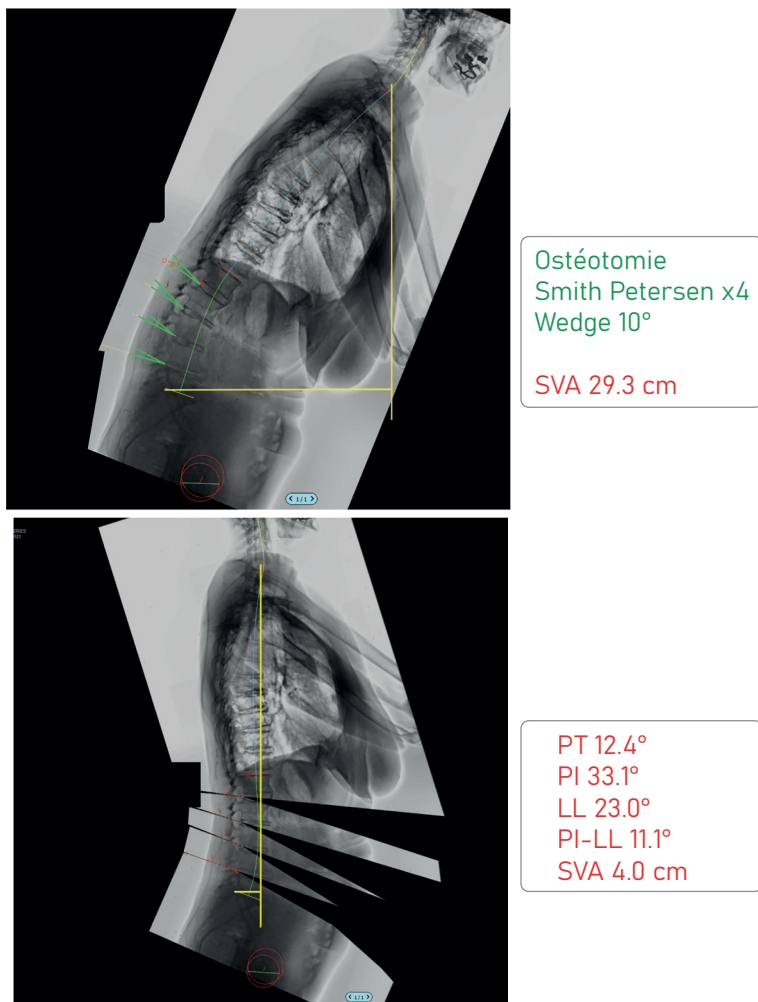
✦ le patient présente-t-il une atteinte neurologique qui puisse être adressée de manière concomitante à l'ostéotomie ?

Nous devons aussi tenir compte des résultats de la littérature :

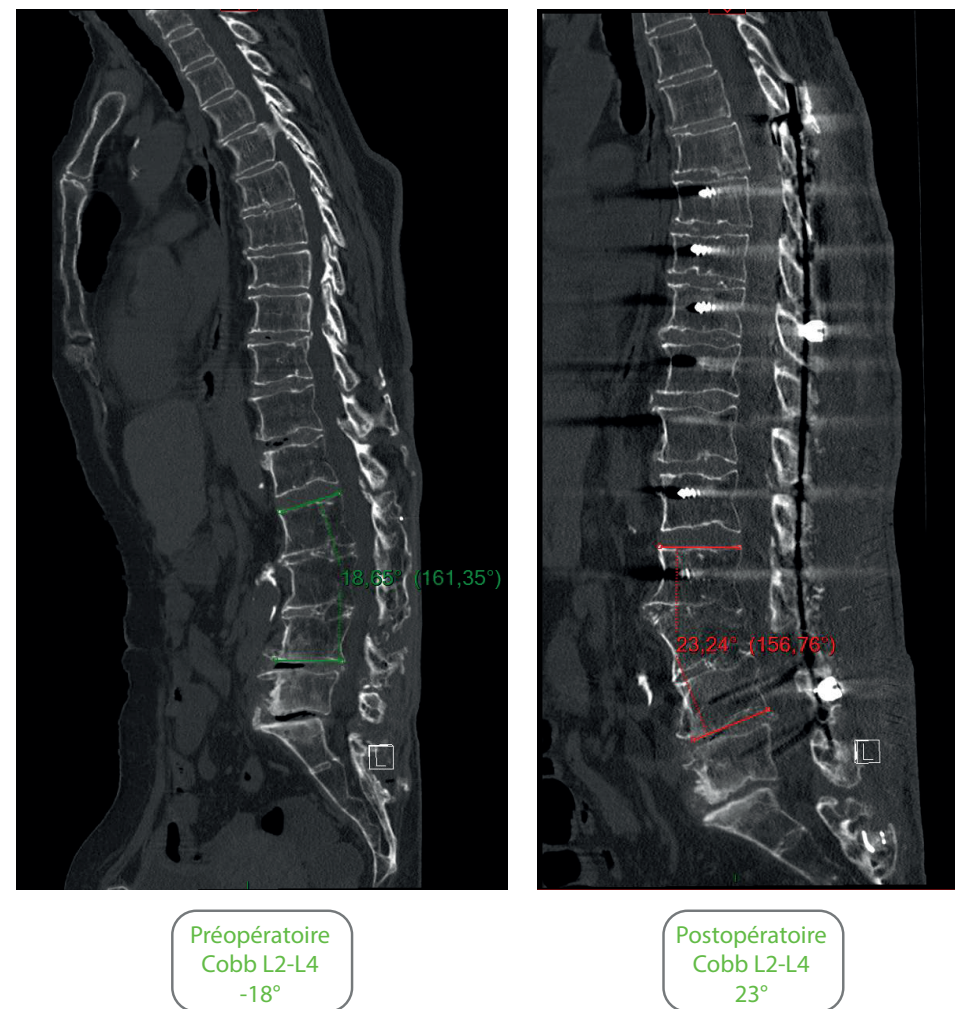
- ✦ nous devons éviter l'hypercorrection pour diminuer le risque de cyphose jonctionnelle (PJK),
- ✦ nous devons éviter un arrêt proximal du montage au-dessous de T10 pour les mêmes raisons,
- ✦ un arrêt distal sous le disque L5-S1 génèrera 30 % de pseudarthroses donc nous favoriserons un arrêt en L5,
- ✦ si le patient est âgé ou présente des comorbidités, nous devons plutôt planifier une hypocorrection avec un SVA de 5-6 cm.

Une fois l'ensemble de ces différentes contraintes pris en compte, nous allons pouvoir nous orienter vers un type particulier d'ostéotomie. Par exemple, nous pourrions décider plusieurs petites ostéotomies plutôt qu'une seule grande (fig. 7). Nous pouvons encore les associer.

Au final la planification permet de corriger l'équilibre sagittal (SVA, LL, PT) avec une stratégie définissant les angles et localisations des ostéotomies, les limites du montage ainsi que les gestes associés (décompression, etc.). La planification demande aussi une bonne connaissance des différentes techniques de correction. Dans l'exemple illustré ci-dessus, nous avons choisi de réaliser une ostéotomie en L3 de 40° (fig. 8).



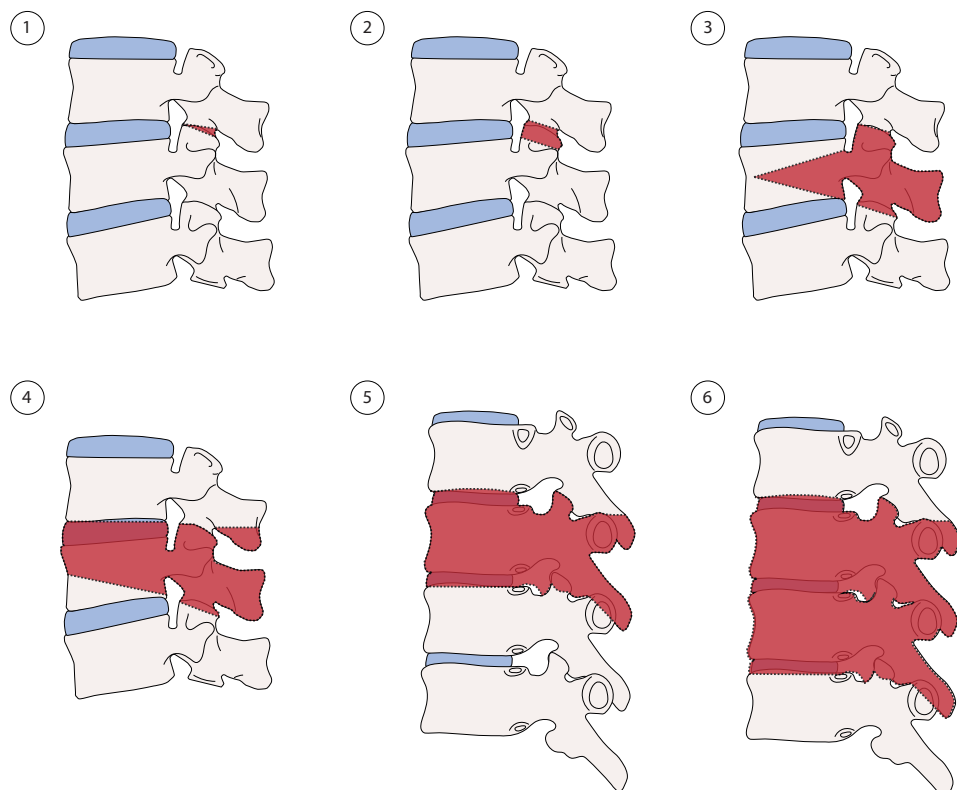
**Fig. 7** - Exemple d'un choix de 4 ostéotomies de 10° sur les segments de L1 à L5. On visualise la bonne correction des paramètres sagittaux sur l'image de droite. Cette solution paraît meilleure que la précédente en fig. 6. Néanmoins, la prise en compte du caractère dégénératif terminal des disques lombaires rend la correction apportée par ces ostéotomies illusoire.



**Fig. 8** - Même patiente. Comparatif par CT-scan. La correction globale de lordose d'environ 40° correspond à la planification. Notez l'allure générale de la colonne qui ne retrouve pas ses courbures physiologiques normales. La décision de se limiter à cette correction est principalement basée sur l'âge de la patiente (80 ans).

## LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE CORRECTION

Actuellement, on décrit 6 types de d'ostéotomies, c'est-à-dire de procédures pouvant amener à une correction dans les 3 plans de l'espace (fig. 9).



**Fig. 9** - Les différents types d'ostéotomies. (1) arthroectomie, (2) Smith-Petersen, (3) PSO (Posterior Subtraction Osteotomy), (4) PSO+, (5) et (6) VCR (Vertebral Column Resection).

### LES ARTHRECTOMIES (1)

Il s'agit de la technique la plus simple et présentant le moins de complications. Elle est classiquement utilisée dans les scolioses les plus simples. Elle consiste à réaliser une ostéotomie des facettes inférieures d'une vertèbre. Son

mouvement d'extension (amélioré par la résection des facettes) est limité mécaniquement par le contact interlaminaire. Le gain en termes de correction sagittale est minime (de **1 à 5°**) et dépend essentiellement de la mobilité du disque intervertébral. Si ce dernier présente une hauteur suffisante et peu de signes de dégénérescence il sera supposé mobile. On peut encore vérifier sa mobilité en analysant les radiographies en flexion/extension ou bien en comparant la radiographie FS de profil (en charge) avec les coupes sagittales du CT-scan (réalisé en décubitus). Bien que la correction soit minime, son efficacité tient à son application sur l'ensemble des segments. Ainsi, lorsqu'une chirurgie l'applique de T4 à L3 p. ex., cette technique va offrir une correction sur 11 segments et par là, amener à une correction globale significative.

### LES OSTÉOTOMIES DE SMITH-PETERSEN (2)

Plus efficaces que les arthroectomies, les ostéotomies de Smith-Petersen se réalisent par une arthroectomie complète des facettes supérieures et inférieures au niveau d'un segment avec une laminectomie horizontale conduite d'un isthme à l'autre. Là encore, leur limitation mécanique en extension est le contact interlaminaire. Elles réalisent donc un raccourcissement de la colonne postérieure au prix d'un certain allongement de la colonne antérieure. Cela suppose qu'il existe une mobilité au sein du disque intervertébral. Le centre de rotation se situe à la partie tout à fait postérieure du disque. Cette technique permet une correction de **10°** environ dans le plan sagittal. Plusieurs ostéotomies vont ainsi être nécessaires afin d'obtenir le niveau de correction souhaité.

### OSTÉOTOMIE TRANSPÉDICULAIRE DE SOUSTRACTION (POSTERIOR SUBTRACTION OSTEOTOMY, PSO) (3), (4)

Le principe est de réaliser une ostéotomie en « V » au sein d'un corps vertébral. Cette ostéotomie emporte les pédicules de part et d'autre de la vertèbre. Elle est de réalisation plus délicate et nécessite une visualisation des racines sortantes proximales et distales aux pédicules à réséquer. Les



deux plans du V présentent dans l'espace l'angle souhaité de résection. Cette procédure plus complexe permet de corriger davantage sans allongement de la partie antérieure de la colonne vertébrale. Le centre de rotation est situé à la partie antérieure du corps vertébral. Cette technique permet une correction de l'ordre de **35°**. En raison de sa complexité, le temps chirurgical est rallongé et le taux de complications devient important.

On parle de PSO + (plus) lorsque le trait d'ostéotomie supérieur passe à travers le disque intervertébral proximal (4). Cette technique est alternative et simplifie d'une certaine manière le trait d'ostéotomie proximal en suivant le plan du disque qui, une fois incisé, sera assez aisément désolidarisé du plateau supérieur à l'aide d'une simple rugine de Cobb.

### VERTEBRAL COLUMN RESECTION (VCR) (5), (6)

C'est la technique la plus puissante et elle réalise une résection des 3 colonnes (antérieure, moyenne et postérieure). Elle vise à obtenir une correction dans une zone présentant une déformation non harmonieuse (bloc de fusion séquellaire sur mal de Pott p. ex.). La localisation de l'ostéotomie est souvent thoracique et s'accompagne d'une résection des côtes correspondantes (tête, col et angle postérieur).

Cette procédure, en retirant l'ensemble des éléments postérieurs et antérieurs d'une ou plusieurs vertèbres, y compris le ou les disques intervertébraux, va permettre un grand degré de correction. La reconstruction antérieure au moyen d'une cage est habituellement réalisée mais pas toujours. Elle va au final permettre de réaliser l'ablation d'une zone cyphotique et sera ainsi très utile dans les cyphoses angulaires. Par ailleurs, elle est assez fréquemment utilisée en chirurgie tumorale.

Certains auteurs lui opposent une technique alternative nommée *Vertebral Column Decancellation* (VCD). A la différence des VCR, l'objectif est de réaliser un affaiblissement plutôt qu'une résection au niveau du tiers antérieur de la colonne. Ceci permet la mobilisation en extension au niveau de l'ostéotomie

et paraît présenter moins de risque de complications. Ces ostéotomies sont dites en Y (par opposition aux VCR qui sont dites en V).

## PJK/PJF (PROXIMAL JUNCTION KYPHOSIS/PROXIMAL JUNCTION FAILURE)

Le PJK est une complication des chirurgies de correction et est abordé dans ce chapitre car il est lié en partie à la planification. La connaissance de ses causes paraît donc importante pour la stratégie de traitement.

Nous avons affaire ici au développement d'une cyphose jonctionnelle proximale au montage qui vient se produire essentiellement dans l'année suivant la chirurgie. Le PJK a des présentations très variables : des formes asymptomatiques aux formes symptomatiques et même neurologiques. Il doit être considéré comme une complication mais il n'est pas clair si cette dernière est évitable ou non. Les patients présentant un PJK vont en moyenne s'améliorer moins bien et moins vite que les autres.

### DÉFINITION ET ÉTIOLOGIE

Il est défini radiologiquement par :

- ✦ un angle sagittal  $\geq 10^\circ$  à la jonction proximale du montage,
- ✦ une majoration de  $\geq 10^\circ$  de cet angle par rapport à la mesure préopératoire.

Le PJK est la complication phare du traitement chirurgical des déformations adultes (ASD). Sa fréquence est variable dans la littérature, aussi nous la considérerons aux alentours de 40 %.

Son étiologie est multifactorielle :

- ✦ **patient-dépendant** :
  - ▶ la magnitude de la déformation (classification SRS-Schwab) est le facteur de risque principal,

► la fragilité du patient (âge, BMI élevé, ostéoporose et autres comorbidités) intervient de manière très importante,

Ces éléments ne peuvent toutefois être aisément contrôlés. L'optimisation des patients en préopératoire prend néanmoins toute son importance.

### ✦ chirurgicale.

On peut observer un PJK par affaiblissement du complexe ligamentaire postérieur durant la chirurgie. Les ligaments supra-épineux, interépineux et facettes articulaires proximales doivent être préservés à la jonction proximale.

Sa survenue est fonction de la rigidité du montage. Mécaniquement cela va induire un pic de contraintes au niveau des zones jonctionnelles. Les montages les plus rigides sont les doubles abords (RRx3) suivi des montages *full screws*. Le fait de terminer le montage proximal par des vis pédiculaires moins appliquées au niveau des lames ou bien l'utilisation de crochets supralamaires semble adoucir la transition et protéger statistiquement de la survenue de PJK.

L'inclusion du montage jusqu'au pelvis. Les contraintes sur les zones jonctionnelles ne pouvant se diffuser vers le bas, elles se concentrent vers la zone proximale.

Le choix du niveau d'instrumentation supérieur est aussi capital. Ainsi, un arrêt sous T10 n'est pas recommandé et certainement pas au niveau de la zone thoracolombaire qui concentre déjà, à l'état naturel, les contraintes entre la colonne lombaire mobile et la colonne thoracique rigide. Idéalement et bien que parfois impossible, le montage doit se terminer sous un segment où la cyphose préopératoire est inférieure à 5°.

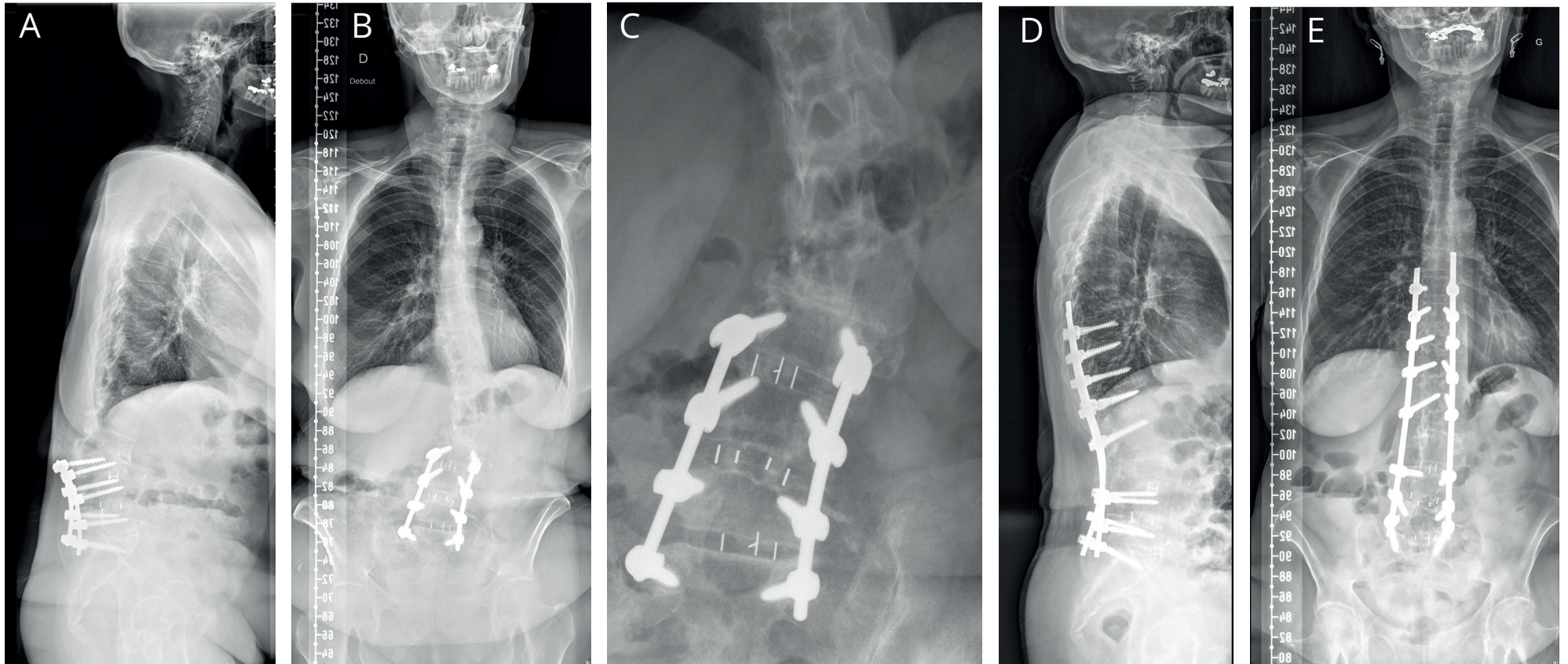
L'importance de la correction joue un rôle capital que ce soit en termes de correction du SVA et de la lordose. En effet, plus la LL s'approche de PI, plus souvent on observera un PJK. Des objectifs de correction plus modestes doivent donc s'imposer lors de la planification pour le SVA comme pour la LL.

## SYNTHÈSE DU PJK

Le PJK apparaît en fait comme une discordance entre les contraintes induites (par la chirurgie au niveau de la jonction proximale) et la capacité biologique et mécanique du rachis à les contenir.

## TRAITEMENT PJK

Les formes asymptomatiques seront suivies en consultation de manière clinique et radiologique. Le PJK peut donner lieu à une reprise chirurgicale (fig.10) essentiellement chez les patients symptomatiques avec apparition d'un liseré autour des implants, pour une fracture du corps vertébral ou un antélisthésis. Ces dernières formes portent dans la littérature le terme encore mal défini de *Proximal Junction Failure (PJF)*. Heureusement exceptionnel, un PJF avec atteinte neurologique impose une reprise en urgence.



**Fig. 10** - Ostéotomie de redressement bi-planaire pour PJK.

(A) Préopératoire. Effondrement vertébral L2-L3 dans les suites d'une fusion L3-S1. PJK sur montage rigide insuffisamment lordosé.

(B, C) Préopératoire. Radiographies de face montrant la déformation associée dans le plan coronal et sa bonne compensation par le rachis proximal (flèche coronale faible).

(D) Postopératoire. Contrôle radiographique de profil à 12 mois d'une reprise par PSO. Notez la modification du PT et du SVA.

(E) Postopératoire. Radiographie de face montrant la récupération d'un alignement satisfaisant par ostéotomie asymétrique dans le plan coronal. Notez l'évolution de la forme du bassin entre B et E, typique d'une correction du PT.

## CONCLUSION/RÉSUMÉ

Les techniques de correction des déformations sagittales sont complexes. Leur application demande une planification rigoureuse que nous pouvons résumer dans le [tableau 1](#). Leur utilisation est parfois la seule méthode permettant de redonner une qualité de vie aux patients mais nous garderons à l'esprit le risque majeur de devoir en passer par des complications.

▷ **Tableau 1** - Les différentes étapes de planification d'une correction sagittale.

ÉTAPE	MÉTHODE	CONSÉQUENCE
Mesures sur radiographie FS de profil	SVA PT PI - LL	Classification SRS-Schwab ( <i>Sagittal Modifiers</i> )
Annulation des compensations externes au rachis	Rotation de l'image pour obtenir des fémurs verticaux et un PT < 20	Normalisation PT Mesure réelle du SVA Pas de modification PI - LL
Planification de l'ostéotomie	Niveau et angle de résection	Normalisation du SVA et PI - LL
Affinement de la stratégie chirurgicale	Prise en compte de facteurs individuels (âge, antécédents, plaintes neurologiques, etc.)	Limites du montage, limitation de la correction, type d'ostéotomie, gestes additionnels
Validation	Choix de la technique la moins complexe possible mais suffisante en terme de correction souhaitée	Stratégie chirurgicale définitive

## RÉFÉRENCES

1. H. J. Kim et Al., « [Adult Spinal Deformity: Current Concepts And Decision-Making Strategies For Management](#) », Asian Spine J, Vol. 14, No 6, P. 886-897, Déc. 2020.
2. R. Lafage et Al., « [Risk Factor Analysis For Proximal Junctional Kyphosis After Adult Spinal Deformity Surgery: A New Simple Scoring System To Identify High-Risk Patients](#) », Global Spine J, Vol. 10, No 7, P. 863-870, Oct. 2020.
3. E. Chaléat-Valayer, J.-M. Mac-Thiong, J. Paquet, E. Berthonnaud, F. Siani, Et P. Roussouly, « [Sagittal Spino-Pelvic Alignment In Chronic Low Back Pain](#) », Eur Spine J, Vol. 20, No Suppl 5, P. 634-640, Sept. 2011.
4. S. Bess et Al., « [The Health Impact Of Symptomatic Adult Spinal Deformity: Comparison Of Deformity Types To United States Population Norms And Chronic Diseases](#) », Spine (Phila Pa 1976), Vol. 41, No 3, P. 224-233, Févr. 2016.
5. W. Hu, X. Zhang, J. Yu, F. Hu, H. Zhang, et Y. Wang, « [Vertebral Column Decancellation In Pott's Deformity: Use Of Surgimap Spine For Preoperative Surgical Planning, Retrospective Review Of 18 Patients](#) », BMC Musculoskelet Disord, Vol. 19, Janv. 2018.