



Correction de l'équilibre sagittal du rachis : les ostéotomies pelviennes : indications, techniques et résultats préliminaires

Arnaud Bodin

► To cite this version:

Arnaud Bodin. Correction de l'équilibre sagittal du rachis : les ostéotomies pelviennes : indications, techniques et résultats préliminaires. Médecine humaine et pathologie. 2009. dumas-01721442

HAL Id: dumas-01721442

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01721442>

Submitted on 2 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>
<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

ANNEE : 2009

**CORRECTION DE L'EQUILIBRE SAGITTAL DU
RACHIS : LES OSTEOTOMIES PELVIENNES**

INDICATIONS, TECHNIQUES ET RESULTATS PRELIMINAIRES

THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

DIPLÔME D'ETAT

Arnaud BODIN,

[Données à caractère personnel]

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE*

LE : 18 septembre 2009

DEVANT LE JURY COMPOSE DE

PRESIDENT DU JURY : Mr le Professeur P. MERLOZ

Membres :

Mr le Professeur J.TONETTI

Mr le Professeur D. PERENNOU

Mr le Docteur P.ROUSSOULY

Mr le Docteur H.VOUAILLAT

** : la faculté de médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs*

CORRECTION DE L'EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS : LES OSTEOTOMIES PELVIENNES

I EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS

A_ <i>ACQUISITION DE LA POSITION BIPÈDE ET SES IMPLICATIONS RACHIDIENNES</i>	P8
B_ <i>NOTIONS D'EQUILIBRE SAGITTAL</i>	P10
1. A PROPOS DE L'EQUILIBRE GLOBAL DU RACHIS	P10
a. Aspect clinique	P10
b. Lignes d'aplomb	P11
c. Paramètres angulaires	P14
d. Barycentrémie	P16
e. Plateformes de force	P16
2. PARAMETRES PELVIENS	P17
3. PARAMETRES RACHIDIENS ETUDIES	P21
a. Lordose lombaire	P21
b. Cyphose thoracique	P23
c. Lordose cervicale	P24
4. PARAMETRES SOUS PELVIENS	P24
5. CLASSIFICATION DES TYPES DE DOS	P28
C_ <i>LES DESEQUILIBRES : CONSEQUENCES ET COMPENSATION</i>	P29
D_ <i>MESURES THERAPEUTIQUES DE CORRECTION DES DESEQUILIBRES</i>	
1. TRAITEMENT ORTHOPEDIQUE	P32
2. OSTEOTOMIES RACHIDIENNES	P32
3. OSTEOTOMIES PELVIENNES	P35

II ETUDE DES OSTEOTOMIES PELVIENNES

A_ <i>BASES ANATOMIQUES</i>	P39
B_ <i>SIMULATION D'OSTEOTOMIES PELVIENNES</i>	
1. BUTS	P42
2. MATERIEL ET METHODES	P42
3. RESULTATS	
a. Incidence	P46
b. Porte à faux de S1	P48
4. DISCUSSION	
a. Incidence	P49
b. Porte à faux de S1	P52
5. CONCLUSIONS	P52

C_ *OSTEOTOMIES PELVIENNES SUR CADAVRE*

1. BUTS	P53
2. MATERIEL ET METHODES	P53
3. RESULTATS	
a. Incidence pelvienne	P56
b. Porte à faux de S1	P57
4. DISCUSSION	
a. Incidence pelvienne	P57
b. Porte à faux de S1	P59
5. CONCLUSION	P60

D_ *ETUDE DE CAS CLINIQUES*

1. MATERIEL ET METHODES	P61
2. RESULTATS	P61
3. DISCUSSION	P66
4. CONCLUSION	P71

III LES FRACTURES DU SACRUM : INDICATION POST TRAUMATIQUE ?

A_ <i>REVUE DE LA LITTERATURE</i>	P74
B_ <i>MATERIEL ET METHODES</i>	P75
C_ <i>RESULTATS</i>	P76
D_ <i>DISCUSSION</i>	P77
E_ <i>CONCLUSION</i>	P79

IV OSTEOTOMIES PELVIENNES VERSUS OSTEOTOMIES TRANSPEDICULAIRES

A_ <i>INTRODUCTION</i>	P82
B_ <i>MATERIEL ET METHODES</i>	P82
C_ <i>RESULTATS DES OSTEOTOMIES DE SOUSTRACTION TRANSPEDICULAIRES</i>	
1. TECHNIQUES CHIRURGICALES	P83
2. PLANIFICATION	P85
3. RESULTATS CLINIQUES	P87
4. RESULTATS SUR L'EQUILIBRE SAGITTAL	P90
D_ <i>DISCUSSION</i>	P90
E_ <i>CONCLUSION</i>	P93

<u>V CONCLUSION</u>	P95
----------------------------	-----

REMERCIEMENTS

A monsieur le Professeur P.MERLOZ

Vous m'avez fait l'honneur d'être le président de ce jury. Votre disponibilité, votre sympathie et vos connaissances en chirurgie orthopédique sont pour moi un exemple. Vous m'avez fait confiance en m'acceptant dans votre unité. Soyez assuré de mon plus profond respect et veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma reconnaissance. Merci pour l'ensemble de ma formation.

A monsieur le Professeur J.TONETTI

Tu es pour moi un guide dans la chirurgie orthopédique, et notamment dans les techniques délicates ou novatrices en chirurgie pelvienne ou de la hanche. Nous avons de nombreux centres d'intérêts en commun, et tu es plus qu'un Maître chirurgical pour moi. J'espère que ce travail répondra à quelques unes de tes attentes. J'espère que notre collaboration sera fructueuse. J'espère aussi te faire voir ce qu'est une vraie sortie de ski de randonnée, avec des montagnes dignes de ce nom (pas des butes jurassiennes). Une dernière chose : tes favoris sont pour moi une source d'inspiration totale.

A monsieur le Professeur D.PERENNOU

Vous m'avez fait l'honneur de participer à cette thèse alors même que vous ne me connaissiez pas. Merci pour cette marque de confiance. Vous participer à ce jury bien qu'il rassemble une grande majorité d'orthopédiste : j'espère que vous ne vous sentirez pas trop eseuilé. Je souhaite pouvoir avoir une collaboration constructive avec vous dans la gestion de ces pathologies rachidiennes qui présentent souvent de multiples facettes : votre aide me serait précieuse. Merci de votre présence aujourd'hui.

A monsieur le Docteur P.ROUSSOULY

Vous m'avez accueilli de nombreuses fois au sein de votre unité de chirurgie rachidienne à Lyon avec la plus grande sympathie et une envie incommensurable d'enseigner. Votre soif pour la connaissance en physiopathologie rachidienne et vos avancées que j'estime majeures dans la compréhension de la pathologie rachidienne m'impressionnent. Vous êtes un chirurgien hors pair, et j'ai énormément appris à vos côtés. Vous m'avez fait l'immense honneur d'accepter de collaborer avec moi sur ce sujet délicat, et d'être dans mon jury de thèse. J'espère que ce travail vous apportera satisfaction, et que vous accepterez toujours de me transmettre votre savoir théorique et chirurgical.

A monsieur le Docteur H.VOUAILLAT

C'est en grande partie toi qui m'as convaincu de faire de l'orthopédie, au plus grand dam de mes parents. Tu es celui qui m'a appris les gestes de l'orthopédie, et je te suis infiniment reconnaissant de m'avoir transmis ton savoir chirurgical. Ton départ est bien sur loin d'être la chose que j'attendais avec impatience, mais je te souhaite tous mes vœux de réussite professionnelle. J'espère juste pouvoir à nouveau discuter avec toi, de travail ou d'autre, au moins autour d'un bon verre de vin. Merci infiniment pour ces 6 années à te côtoyer.

A mes Maîtres d'internat

Trouver dans ce travail la reconnaissance de votre formation. Vous m'avez tous appris une partie de l'art chirurgical, et j'espère que j'en serai digne. Merci spécialement à Ahmad.

A ma famille

Merci déjà de m'avoir supporté (et ce n'est pas toujours facile) et de m'avoir permis de faire une formation aussi intéressante que la chirurgie. Même si je ne fais que de l'orthopédie, vous m'avez toujours soutenu dans mon travail et ma vie personnelle. Merci à mes parents, à mon frère, à ma sœur, à Jacques, à « Pipo » et Bastien, et à mes grands parents. J'espère que vous trouverez dans ce travail une récompense à votre soutien.

A Chloé

Finalement c'est le monde de l'orthopédie qui nous a unis. Merci d'être à mes côtés. Merci de l'amour et du soutien que tu m'apportes.

A Patrick et Danièle

Vous m'avez accueilli dans votre famille avec une gentillesse infinie et une générosité sans pareille. Soyez assurés de ma reconnaissance la plus profonde.

A tous mes amis

Merci **Athan** d'avoir été là dans les moments difficiles, mais aussi dans les moments très sympas. Merci aussi pour les statistiques, j'y ai jamais rien compris. Essaie de pas boire tout le champagne ce soir...

Merci **Aline** déjà d'être là ce soir et d'avoir été là tout au long de mon internat. Aux bonnes soirées passées ensemble.

Merci aux amis de médecine : Aurélie, Olivier, Mathieu, François, Hélène, Gautier, Laurent, Romain, Emelyne, Julien, Lionel...

Merci à mes amis d'enfance : Fred, Pierre, Gillou, Sylvain, Elo, Dav, Vince

Merci à Eric et Denis de m'avoir nourri pendant 5 ans (que de nourriture !) et d'être toujours aussi sympas.

Merci à tout le personnel médical que j'ai croisé au cours de mon cursus. Spécialement merci à Béatrice, à Estelle, aux secrétaires du 13° et à Nicole, aux infirmières du 13° : c'est grâce à vous que je me suis senti dans l'orthopédie comme chez moi et que j'ai pris beaucoup de plaisir à venir travailler à vos côtés. Merci aussi à l'ensemble du personnel des blocs opératoires d'orthopédie, du bloc PU, de neurochir : sans votre aide et votre bonne humeur, les longues heures de bloc ou de garde n'auraient pas été aussi faciles à vivre. Enfin merci à l'ensemble des anesthésistes qui m'ont permis de travailler et de me former sans me mettre la pression.

Merci à la société Optispine® qui m'a permis d'exploiter mes radios avec leur logiciel, ce qui m'a fait gagner en temps et en précision d'analyse.

Pour finir, merci aux laboratoires de leur soutien au cours de mes déplacements pour ma formation, notamment pour leur soutien financier et logistique sans quoi je n'aurais sans doute pas pu prétendre à autant de cours. Merci aussi à eux pour ce soir, je leur dédie le premier verre : sans eux, on ne boirait pas de l'aussi bon vin.

Merci à tous ceux qui ont fait l'effort d'assister à cette thèse qui a pu sembler rébarbative.

EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS

I EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS

A_ ACQUISITION DE LA POSITION BIPÈDE ET SES IMPLICATIONS RACHIDIENNES

La position quadrupède est la position de nos cousins les singes. Sous l'influence de facteurs divers (nécessité de chercher sa nourriture plus haut, comportement de reproduction, régulation thermique en milieu chaud), la station bipède est apparue progressivement avantageuse et a été retenue par la sélection naturelle. Il y a environ 7 millions d'années, les australopithèques se sont progressivement redressés et ont commencé à marcher sur 2 appuis³⁸.

Les principales modifications ostéo-articulaires retrouvées sont notées au niveau du genou (stabilisation ligamentaire), des membres inférieurs (augmentation de longueur globale), et des segments rachidien et pelvien. Afin de permettre une station debout économique, le polygone de sustentation devait évoluer.

Le bassin a eu un rôle fondamental dans l'acquisition et la validation de cette nouvelle statique (cf. figures 1 et 2). Le sacrum voit sa forme s'horizontaliser, et il existe une nette antéversion, c'est-à-dire une accentuation de la pente sacrée 98. Sous l'effet des muscles érecteurs du rachis, qui s'insèrent sur le sacrum distalement, il existe une bascule sacrée en antéversion et une ouverture sacro iliaque. La cyphose sacrée augmente, avec une augmentation des angles sacrés supérieurs et inférieurs et de l'angle sacro-coccygien. Le sacrum est cependant raccourci dans le sens cranio-caudal et épaissi dans le sens antéropostérieur afin de mieux résister aux contraintes liées au poids sus jacent. Le bassin dans sa globalité s'élargit dans le plan frontal. D'autre part, afin d'équilibrer le poids du tronc sus jacent, qui présente en plus maintenant un grand bras de levier, les muscles érecteurs du rachis se développent et les muscles fessiers se renforcent. Les ailes iliaques réduisent de hauteurs, libérant les dernières vertèbres lombaires⁶⁰.



Figure n°1 : bassin de singe (d'après Lovejoy)

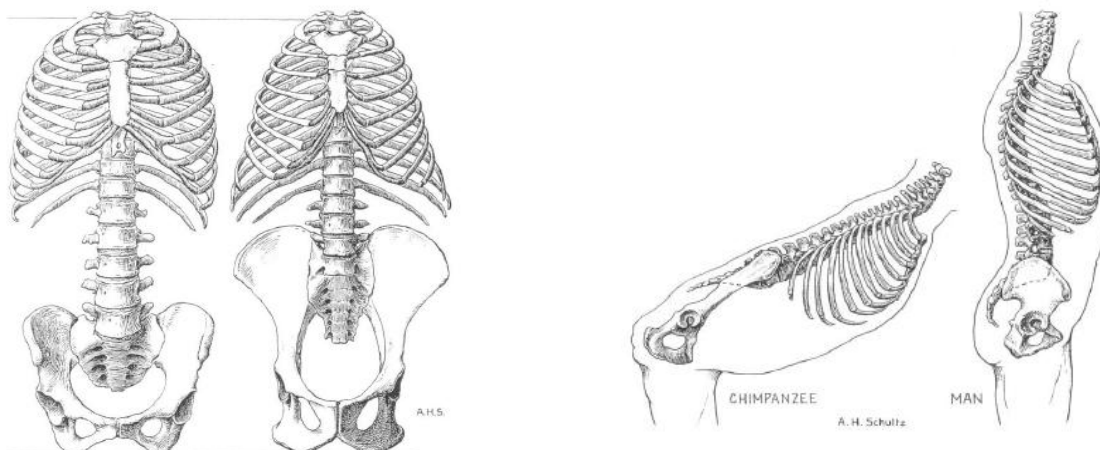


Figure n°2 : schémas montrant l'évolution du singe à l'homme au niveau spinal et pelvien (d'après Lovejoy)

Le rachis subit lui aussi des modifications ⁶⁰. Le segment lombaire est grandement modifié : la courbure lombaire passe en lordose sous l'effet des muscles érecteurs du rachis et du psoas, le nombre de vertèbres inclus dans cette lordose est progressivement réduit (de 6 à 5 vertèbres) entraînant une diminution de la longueur de ce segment rachidien (cf. figure 2). De plus, le segment lombaire est plus mobile que celui de nos prédécesseurs, ce qui facilite la station bipède. Les articulaires lombaires s'orientent plus frontalement afin de résister aux stress en cisaillement à l'origine des glissements (anté- ou rétrolisthésis). Les vertèbres sont aussi plus cunéiformes, prédisposant à la lordose. La lordose cervicale apparaît. Les 3 courbures connues s'installent et offrent au rachis une forme en ressort : il est beaucoup plus résistant à la compression et permet un meilleur amortissement qu'un rachis raide.

Les segments sous pelviens s'adaptent : les genoux et les hanches doivent pouvoir avoir un débattement suffisant en flexion et extension pour positionner le centre de gravité au dessus du polygone de sustentation. Chez les Grands Singes, la raideur de ces articulations a empêché une station bipède économique. Les hanches et les genoux sont en extension, verrouillés dans cette position.

On soulignera que l'ensemble de ces modifications phylogénétique, aussi bien au niveau du bassin, du rachis que des hanches, se retrouvent lors de l'acquisition de la marche au cours de la vie infantile (cf. figure 3).

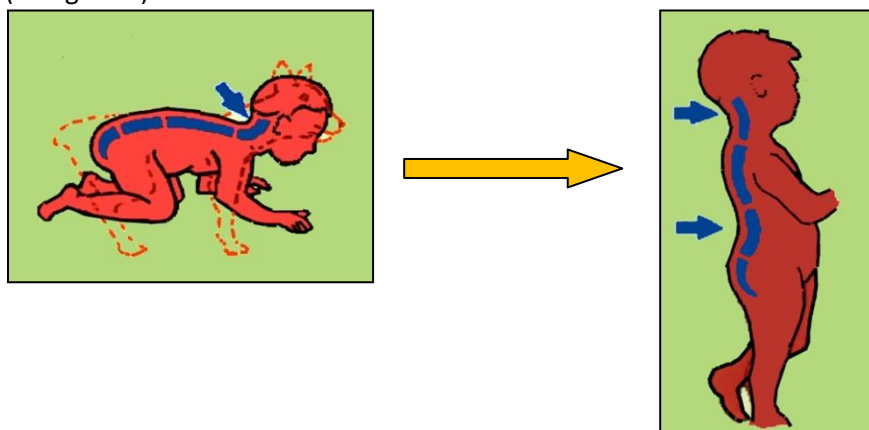


Figure n°3 : modification des courbures rachidiennes au cours de l'acquisition de la marche

B_ NOTIONS D'EQUILIBRE SAGITTAL

1. EQUILIBRE GLOBAL DU RACHIS

L'équilibre sagittal du rachis est incriminé dans la plupart des pathologies rachidiennes. Il importe donc de savoir comment s'organise la statique sagittale. Nous détaillons ici l'organisation des éléments rachidiens et pelviens dans le plan sagittal uniquement. Cet équilibre fait intervenir différents segments qui interagissent : l'extrémité céphalique, le rachis à proprement parler, le bassin et les membres inférieurs. C'est en effet tout l'individu qu'il faut prendre en compte, une pathologie d'un segment pouvant totalement désorganiser l'enchaînement des courbures.

a. Aspect clinique

D'un point de vue clinique tout d'abord, il faut apprécier la posture dans une position qui est définie par le patient comme une position d'équilibre : position qui demande au patient le moindre effort. Les descriptions suivantes seront supposées être celles d'un individu asymptomatique, exempt de pathologie affectant la statique vertébrale.

En position debout, le regard doit être à l'horizontal : ce paramètre, en apparence simple, est la base de la posture. Afin d'accomplir les gestes de la vie quotidienne, l'homme doit être en mesure de voir ce qu'il fait : le but ultime des segments interagissant dans la posture est le maintien de l'horizontalité du regard. Ensuite interviennent des notions plus détaillées : avec l'aide d'un fil à plomb, on évalue différentes lignes d'aplomb ou « plumb-lines » pour les anglo-saxons, c'est-à-dire des verticales abaissées en des points particuliers. On sait qu'une appréciation de l'équilibre global peut être réalisée par l'étude d'une plumb-line passant par les conduits auditifs externes : cette ligne doit croiser l'épaule en son milieu dans le sens antéropostérieur, le milieu du thorax dans le sens antéropostérieur, croise les hanches au niveau des grands trochanters, le genou un peu en avant de son centre et les chevilles en avant de la malléole externe. Cette évaluation globale et grossière donne déjà des renseignements précieux sur le niveau pathologique et les compensations sus ou sous jacentes, en fonction des déviations de cette ligne par rapport aux points cibles décrits. Afin de préciser les données, on a décrit des flèches cervicale, thoracique, lombaire et sacrée entre une plumb-line passant par le tubercule occipital. Normalement, cette ligne doit croiser le bord postérieur du sacrum et celui de T7, avec une flèche en C4 ou C5 de 30mm environ et en L3 de 30mm aussi ⁹⁷ (cf. figure 4).

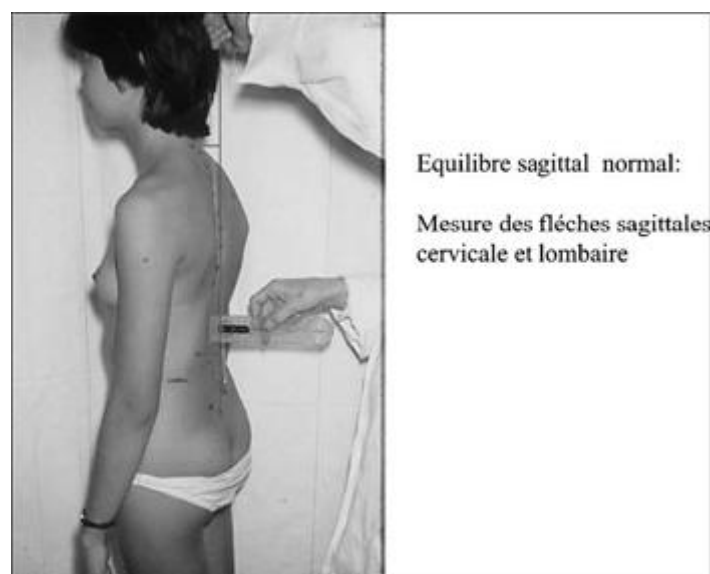


Figure n°4 : évaluation des flèches sagittales (d'après Marty)

Il importe aussi d'évaluer les mesures d'angle poplité, de flexion de hanche, la distance talon-table pour préciser la rétraction des ischio-jambiers et du psoas respectivement (cf. figure 5), pour avoir une notion des équilibres pelvien et sous pelvien.



Figure n°5 : évaluation clinique sous pelvienne (d'après Marty)

b. Lignes d'aplomb

D'un point de vue radiologique, l'étude de la statique globale est confiée là aussi à des plumb-lines en partie et à des valeurs angulaires. Outre les lordoses lombaire et cervicale et la cyphose thoracique, abordées plus loin, une des mesures les plus utilisées en pratique clinique est la plumb-line de C7¹¹³. Elle reflète l'ensemble de l'organisation rachidienne entre C7 et le sacrum. Elle est mesurée par la distance entre une verticale abaissée par le centre du corps de C7 et le coin postéro-supérieur de S1 (cf. figure 6). Sa valeur moyenne est de -32mm, les valeurs négatives indiquant une position postérieure par rapport au point de référence sacré. Il existe cependant de grandes variations physiologiques, la plumb-line pouvant être entre +40 et -40mm du coin postéro-supérieur de S1. Cette plumb-line doit être chez l'adolescent à environ 13mm en avant de T4, 30 mm en arrière de T12 et 75 mm de L4. D'autres auteurs comme Jackson étudient plutôt la plumb-line de C7 par rapport au centre des têtes fémorales, qui est une valeur similaire. Il définit des valeurs moyennes à -33,5mm³⁶.

La ligne d'aplomb des conduits auditifs externes se mesure par rapport au centre des têtes fémorales. En position physiologique, cette ligne d'aplomb se projette au niveau du centre des têtes de hanche, avec des variations de +/- 30 mm de part et d'autre de ce point.

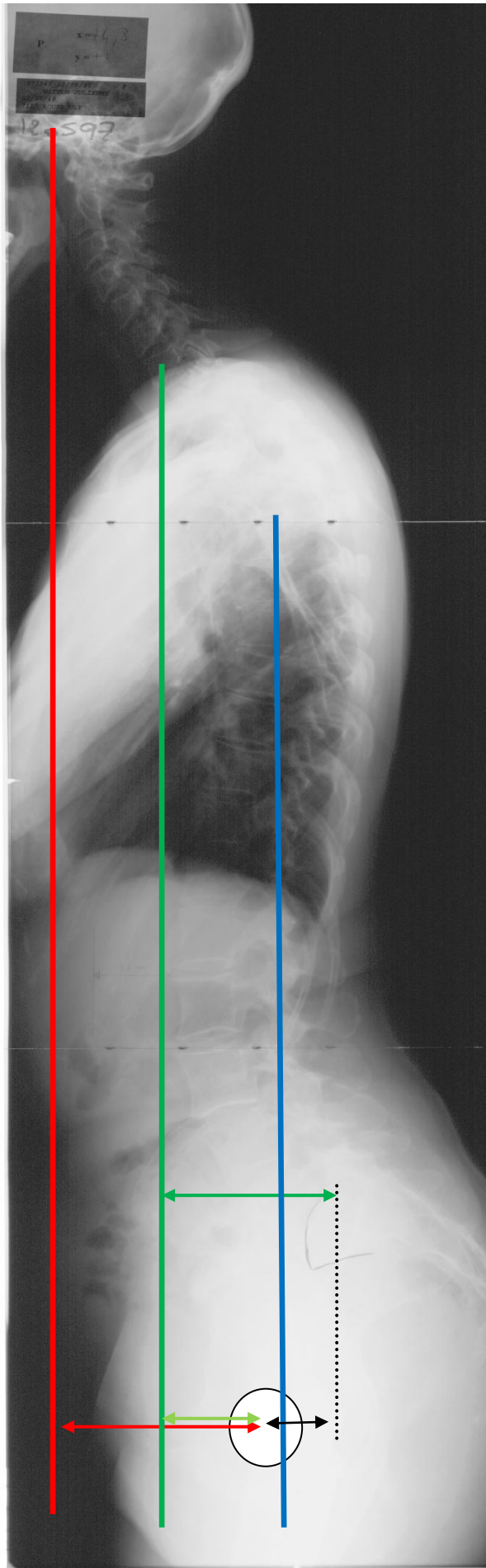


Figure n°6 : différentes plumb lines rachidiennes (ou lignes d'aplomb)

— : plumb line des conduits auditifs externes

↔ : mesure de la plumb line des CAE

— : plumb line de C7

↔ : mesure de la plumb line de C7

↔ : mesure de la plumb line de C7 selon Jackson³⁶

— : plumb line de T4 selon Jackson

↔ : porte à faux de S1

Parce que C7 n'est pas toujours bien identifiable du fait de la projection des scapulas, Jackson a proposé de définir une plumb-line passant par le centre du corps de T4. Il signale que cette plumb-line est moins soumise à des erreurs de mesures et a une variabilité inter individuelle moins importante. Il indique que cette plumb-line doit passer en arrière du centre de L4 (-59.5mm) et du centre des têtes de hanche (-71.5mm). Sa valeur par rapport au coin postéro-supérieur de S1 est rapportée à -31.4mm. Il existe une forte corrélation entre la plumb-line de C7 et celle de T4 (r entre 0.7 et 0.87). Jackson³⁶ suggère qu'une posture bien équilibrée peut être définie par des valeurs dans la normalité de quelques valeurs : l'angle PR-T12 (cf. chapitre paramètres rachidiens), la cyphose thoracique T4-T12, la plumb-line de T4, une ligne de rayon pelvien située entre 12h et 1h (cf. chapitre paramètres pelviens).

La plumb-line de C7 a longtemps été utilisée comme un reflet de la ligne de gravité. Roussouly a démontré en 2006 que cette ligne n'étant pas strictement superposable à la verticale passant par le centre de gravité du corps humain dans le plan sagittal⁸¹. Grâce à des plates formes de pression situées sous les pieds du sujets lors des radios, et en superposant les résultats de la plate forme de force sur les radios, il est possible de repérer la ligne de gravité anatomiquement. Roussouly retrouve que la ligne de gravité se situe en moyenne à +20,27mm en avant du coin postéro-supérieur de S1 (-11,26/+61,55mm). Il existe selon lui un écart entre ces 2 verticales de 35,25mm en moyenne. La ligne de gravité ne peut plus être confondue avec la plumb-line de C7. Pour Lafage⁴⁹, elle est plus le reflet d'une adaptation à une situation pathologique qu'une vraie mesure de la ligne de gravité. D'autre part, il n'existe aucune corrélation entre les paramètres pelviens et la plumb-line de C7. Il va plus loin, et propose une position quasi fixe de C7 régie par l'équation suivante :

$$\text{Tilt_C7} = 95 \pm 3,32^\circ$$

(angle formé entre l'horizontale et la droite joignant le centre de C7 au milieu du plateau sacré, cf. figure 7).

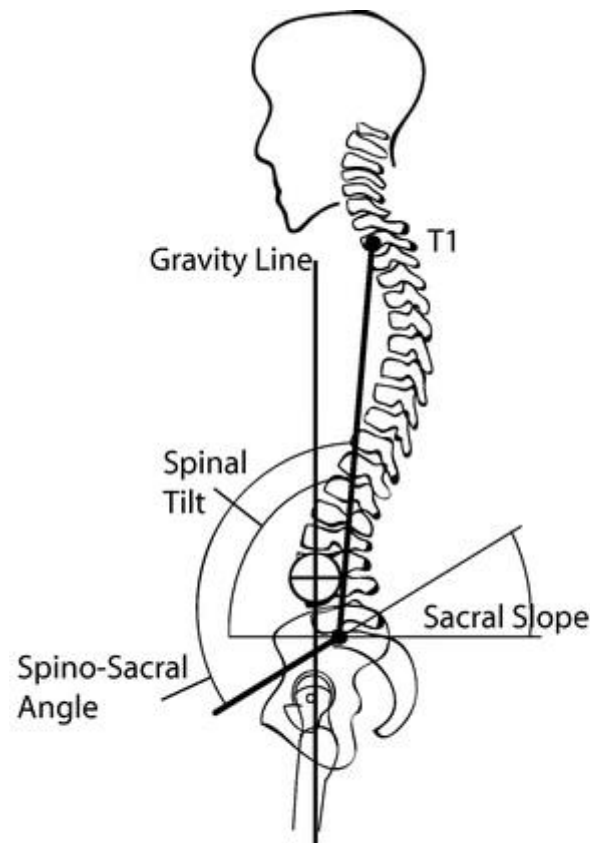
Parce qu'en pratique l'approche de la ligne de gravité n'est pas facile, la plumb-line conserve son caractère de reflet de la ligne de gravité. La position de la plumb-line de C7 est un reflet de l'équilibre du tronc alors que la position de la ligne de gravité est un reflet de l'équilibre global d'un individu.

Une autre appréciation de la plumb-line de C7 est de mesurer le rapport entre aplomb de C7 par rapport au centre des têtes de hanche et porte à faux de S1 : ce rapport, qui permet de s'affranchir des agrandissements radiologiques, doit être compris entre 0 et 1. Une valeur négative de ce rapport indique que la plumb-line de C7 est déjetée en avant des têtes fémorales, une valeur supérieure à 1 signifie que la plumb-line de C7 passe en arrière du bord supérieur de S1. Plus le rapport est proche de 1, plus la plumb-line de C7 est en bonne position.

c. Paramètres angulaires

D'autres mesures ont été effectuées afin d'évaluer la statique rachidienne. L'angle spino-sacré (SSA) proposé par Roussouly (cf. figure 7) est l'angle formé par la tangente au plateau sacré et la droite reliant le centre de C7 au milieu du plateau sacré : cet angle intègre à la fois des notions sur l'équilibre du bassin (pente sacrée) et du tronc (Tilt_C7)⁸¹. L'auteur propose une relation forte entre ces paramètres :

$$SSA = 0,9 \times PS + 99^\circ$$



$$\begin{aligned} \text{Spino-Sacral Angle} &= 0.9 * \text{Sacral Slope} + 99^\circ \\ \text{Spinal Tilt} &= 95.32 \end{aligned}$$

Figure n°7 : pente spino-sacrée de Roussouly

Une autre approche de la statique globale du rachis est faite par les gites en différents points. Ce sont des valeurs angulaires entre une verticale abaissée au centre des têtes de hanche et la droite joignant ce point à la vertèbre étudiée. Les plus communes sont les gites de C7, de T9⁵⁷ et de L1 (cf. figure 8). Vialle¹⁰⁵ a défini sur une série de 300 patients des valeurs de gite de T9 et C7 : -10,35° et -1,35° respectivement (les valeurs négatives indiquant une position en arrière du centre des têtes de hanche). Kuntz⁴⁷ confirme ces valeurs : -11° et -1° respectivement⁴⁷.

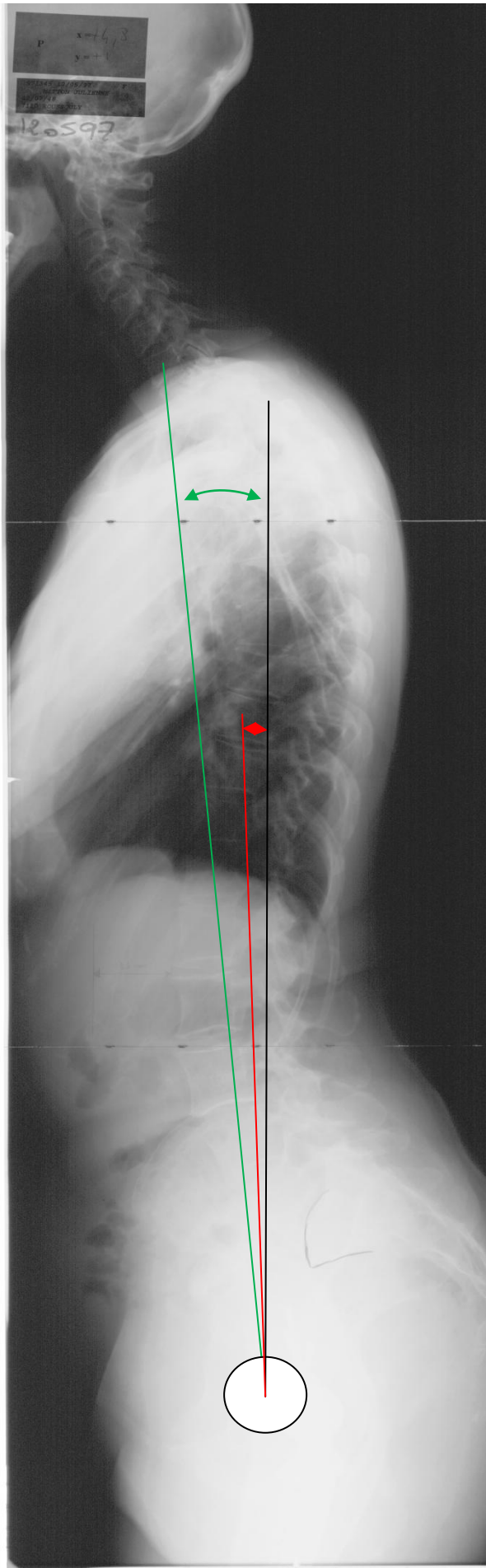


Figure n°8 : gites de T9 et de C7

◆ : gite de T9

↔ : gite de C7

d. Barycentremétrie

Madame Duval-Beaupère²⁰ définit la vertèbre T9 comme étant la vertèbre par laquelle la ligne de gravité passait. Ainsi, elle propose que la position de la vertèbre T9 est le reflet de la situation d'équilibre du rachis de profil (cf. figure 9). Levassor⁵⁷ retrouve une position de T9 dépendante uniquement de l'incidence pelvienne, de la lordose lombaire, de la pente sacrée, de la version pelvienne et de la cyphose thoracique. Duval-Beaupère ancre ses résultats sur des études de barycentres : un scanner à rayons gamma fournit la masse d'une zone du corps ainsi que les coordonnées du centre de masse ou barycentre. Les centres de masse sont en arrière des vertèbres cervicales et lombaires, en arrière des têtes fémorales et en avant des vertèbres thoraciques. Le tracé des centres de masse cumulée est presque linéaire, se superposant au rachis cervical, passant en avant du rachis thoracique, en arrière du rachis lombaire (-26mm par rapport à L3), en arrière du milieu du plateau sacré (-18,4mm), en arrière du centre des têtes fémorales (-36mm). Il est relativement proche du mur antérieur de T9 (0-14mm), ce qui a fait dire à Mme Duval-Beaupère que T9 supportait le centre de gravité des masses s'exerçant sur les têtes fémorales.

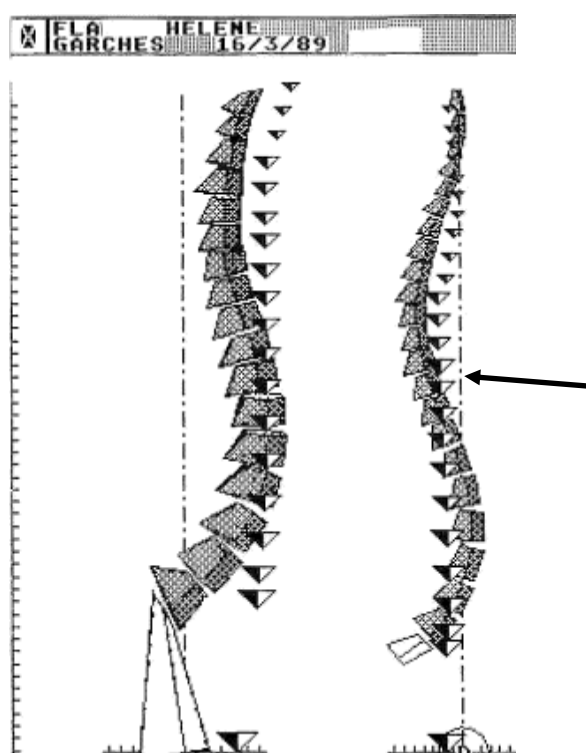


Figure n°9 : barycentremétrie (la ligne de gravité passe par les flèches bicolores). Remarquez la position de T9 (flèche noire)

(d'après Duval-Beaupère)

e. Plateformes de force

La méthode la plus récente pour appréhender l'équilibre global du rachis est la mesure de la ligne de gravité. Comme décrit plus haut, il s'agit de coupler des données issues d'une plateforme de force à une radio pan rachidienne de profil (cf. figure 10). Lee a montré grâce à cette méthode que la ligne de gravité passe juste devant les genoux et au centre des têtes de hanche⁵⁴. Schwab⁹² retrouve une ligne de gravité en avant de T4 de 32mm, 30mm devant T9, 29mm devant T12, 19mm devant L3, 26mm devant S1, 27 mm devant le centre des têtes fémorales et 9mm devant les talons. La ligne de gravité est pour cet auteur en avant de l'ensemble des centres des corps vertébraux. Lafage⁴⁸ montre de plus que la ligne de gravité passe à une distance constante de T9 et des talons, quel que soit l'âge du sujet. Elle suggère aussi qu'il existe une corrélation forte entre la version pelvienne et la position de la ligne de gravité : une rétroversion pelvienne aura tendance à projeter la ligne de gravité en avant. Ce résultat est souligné par Roussouly ($r=0,746$)⁷⁹ : la position de la ligne de gravité est fonction de l'orientation du bassin. Gangnet²² retrouve une ligne de gravité qui passe 6 mm en

arrière du milieu du plateau sacré et 28mm en arrière du centre des têtes de hanche. Dans une autre étude ²¹, il retrouve une ligne de gravité qui chemine proche de L1, alors que L4 est la vertèbre qui est la plus antérieure par rapport à la ligne de gravité, T9 étant à 15 mm en arrière de la ligne de gravité. Il note aussi que la plumb-line abaissée des conduits auditifs externes est systématiquement en avant de la ligne de gravité d'environ 30mm.

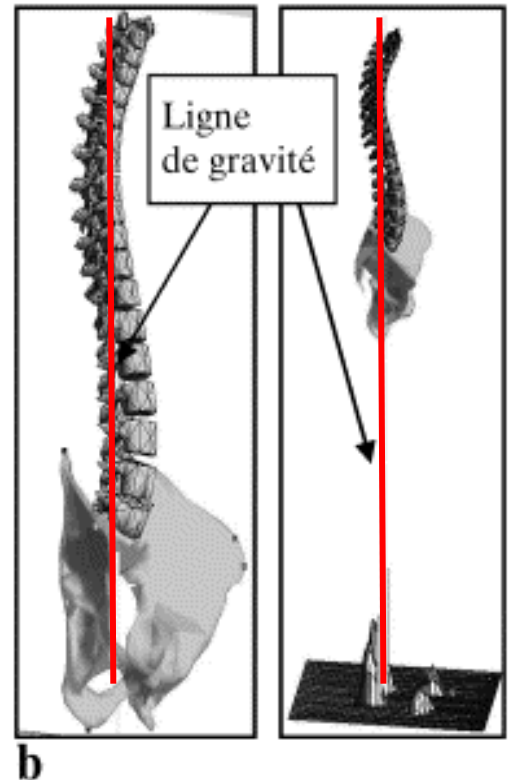
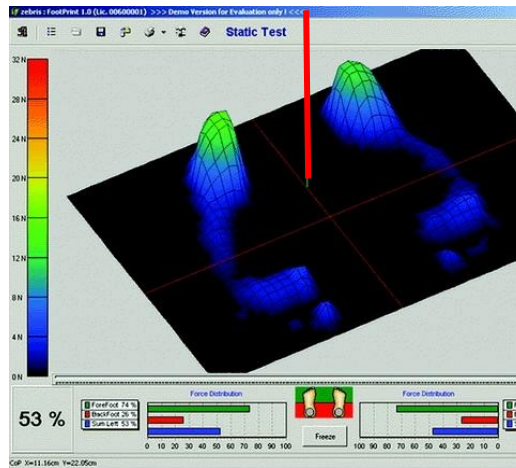


Figure n°10 : détection de la ligne de gravité et projection sur la radio de profil

(d'après Gangnet)

Toutes ces données semblent difficiles à intégrer en pratique clinique courante. Le but d'une description si détaillée réside dans les conséquences mécaniques de cet équilibre : grâce aux données de la barycentremétrie, on connaît l'état de sollicitation qui s'applique à chaque niveau. Si la pesanteur s'applique en avant de la vertèbre, l'équilibre est assuré par la mise en tension des muscles postérieurs, et inversement. Or le bras de levier des muscles postérieurs est court, et donc une rééquilibration par chute en avant de la ligne de gravité conduit à une forte dépense énergétique musculaire, alors que les muscles abdominaux, au bras de levier long, peuvent assurer une position postérieure de la ligne de gravité sans trop d'effort. Il a été démontré de plus que plus l'incidence était grande, plus la ligne de gravité se trouvait en arrière du centre des têtes de hanche.

2. PARAMETRES PELVIENS

Le bassin, et en particulier le sacrum, est un élément fondamental dans l'organisation de la statique sagittale du rachis. Il constitue le socle sur lequel repose l'ensemble du rachis, et a donc été dénommé par Jean Dubousset « vertèbre pelvienne ». Sa forme, son orientation, ses dimensions conditionnent l'ensemble des paramètres rachidiens évoqués plus bas ⁶⁶.

L'incidence pelvienne (IP) est un paramètre clé de la statique du bassin. Ce paramètre a été décrit au début des années 1990 par Duval-Beaupère ²⁰ puis par Legaye ⁵⁵. Il fait la synthèse de toutes les caractéristiques du bassin, véritable carte d'identité du bassin. Ce paramètre est en effet propre à chaque individu et est fixe, quelle que soit la position du bassin. Il est progressivement acquis par mécanomorphose au cours de la verticalisation et se fixerait vers l'âge de 7 ans. Il est formé par l'angle entre la droite joignant le centre des têtes de hanche et le milieu du plateau sacré S1 et la droite perpendiculaire au plateau sacré passant en son milieu (cf. figure 11). Sa valeur moyenne ⁹⁷ est de environ $55^{\circ} \pm 10^{\circ}$. Des études se sont intéressées aux variabilités inter observateurs et intra observateur de sa mesure : ce paramètre apparaît comme étant tout à fait répétable et reproductible ⁴. De plus, une étude sur sa variabilité lorsque les têtes fémorales ne sont pas alignées montre que, en prenant le milieu de la droite joignant les centres de têtes de hanche comme référence pour le centre des têtes de hanche, ce paramètre est tout à fait reproductible sur des radios non strictement de profil. L'incidence pelvienne détermine les capacités d'adaptation aux déformations rachidiennes sagittales : une grande incidence permet une rétroversion importante, ce que ne peut pas faire un sujet ayant une faible incidence. Il conditionne aussi 2 autres angles fondamentaux dans la statique du bassin (cf. figure 11).

L'angle de pente sacrée (PS) est l'angle formé par la droite passant par le plateau sacré et une droite horizontale. Ce paramètre reflète l'inclinaison du bassin : il indique en effet l'importance de la pente du socle pelvien sur lequel repose l'ensemble du rachis, notion fondamentale à comprendre lorsque nous aborderons la lordose lombaire. Sa valeur moyenne ⁹⁷ est de $42^{\circ} \pm 8^{\circ}$. Lorsque l'angle augmente, on parle d'antéversion pelvienne. Lorsqu'il diminue, le bassin se porte en rétroversion. Ce paramètre est donc non anatomique, dépendant de l'orientation du bassin.

L'angle de version pelvienne (VP) reflète lui aussi l'orientation du bassin. Il est composé par l'angle entre la verticale abaissée sur le centre des têtes de hanche et la droite reliant le centre des têtes de hanche au milieu du plateau sacré S1. Sa valeur moyenne ⁹⁷ est de $13^{\circ} \pm 7^{\circ}$, ouvert vers l'arrière. Lors de l'antéversion pelvienne, ce paramètre diminue ; inversement, lorsque le bassin se rétroverse, sa valeur augmente.

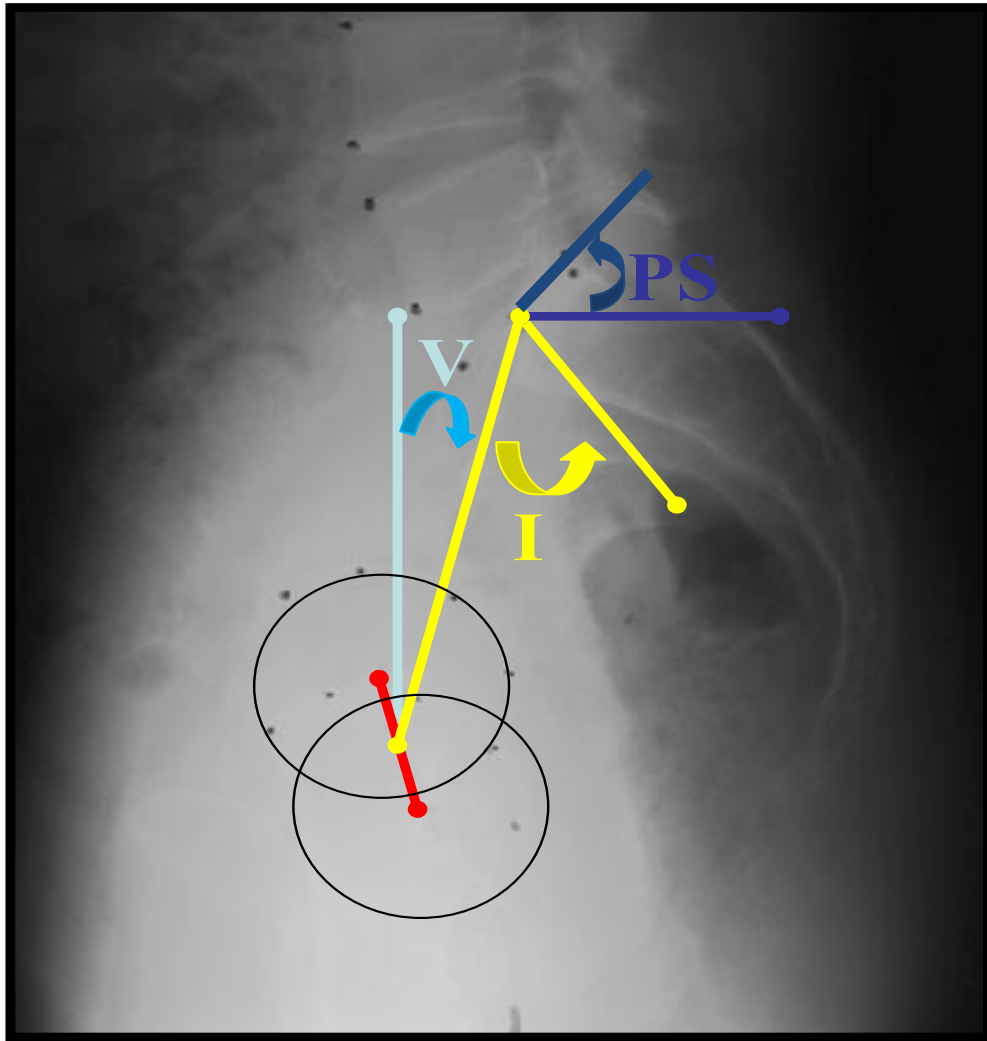


Figure n°11 : les paramètres pelviens (I=incidence pelvienne ; PS=pente sacrée ; V=version pelvienne) (d'après P.Roussouly)

Il est fondamental de constater que ces 3 paramètres sont liés par une relation démontrée géométriquement :

$$IP = PS + VP$$

Tout se passe comme si l'incidence, le paramètre constant et anatomique, imposait les valeurs de pente sacrée et version pelvienne⁵³. C'est en quoi ce paramètre est considéré depuis sa description comme l'organisateur central du bassin.

Il a pu être montré que la version pelvienne est liée de façon statistique forte à l'incidence : le coefficient de corrélation retrouvé est supérieur à 0,8 avec une significativité inférieure à 1% pour Berthonnaud², supérieur à 0,7 avec une même significativité pour Boulay⁵. Ainsi l'incidence pelvienne, qui est constituée en fin de croissance et qui est fixée pour un individu, règle l'inclinaison du bassin qui lui-même est le départ de la courbure lombaire. D'autre part, il a été montré que l'incidence conditionne aussi les paramètres morphologiques du bassin : plus l'incidence est importante, plus le sacrum est étiré dans le sens crânio-caudal et moins il est épais dans le sens antéropostérieur, et plus les détroits pelviens sont étroits.

On notera pour finir qu'il existe des variations entre les sexes pour ces paramètres, les variations étant très modérées (l'incidence pelvienne est plus importante chez la femme que chez l'homme).

Un autre paramètre, linéaire et non angulaire, étudié dans les publications est le porte à faux de S1, distance entre une verticale abaissée au centre du plateau sacré et une verticale abaissée au centre des têtes de hanche. Sa valeur moyenne a été définie à environ 25mm (cf. figure 6).

D'autres auteurs ont définis des paramètres pelviens, qui sont moins utilisés dans la pratique courante. Jackson ³⁵ a récemment défini l'inclinaison sacrée (PRS1, cf. figure 12), angle entre la droite reliant le centre des têtes de hanche et le coin postéro-supérieur du plateau sacré S1 et la tangente au plateau sacré en ce point. Il est un reflet de l'incidence pelvienne (à 90° près). Ce paramètre est fixe pour un individu, indépendant de la rotation pelvienne ou de la posture. Il définit sa valeur moyenne à 33°. De plus, il propose le rayon pelvien comme la distance entre le centre des têtes de hanche et le coin postéro-supérieur du plateau sacré ³⁵. Pour l'auteur, ce paramètre est fixe pour un individu, quelque soit l'orientation de son bassin. Jackson ³⁵ définit une valeur moyenne à 137mm environ +/- 9mm. Enfin, il décrit un porte à faux entre le coin postéro-supérieur du plateau sacré et une verticale abaissée au centre des têtes de hanche, qu'il appelle offset hanche-S1. Sa valeur moyenne est rapportée à 40mm. Il décrit une corrélation entre l'inclinaison sacrée et le rayon pelvien et l'offset hanche-S1. On retrouve ici le rôle central d'un paramètre fixe pour un individu, qui conditionne à la fois l'anatomie du sacrum (le rayon pelvien décrit entre autre l'épaisseur du sacrum et le diamètre antéropostérieur du bassin) et son orientation (l'offset hanche-S1 est un reflet de la rétroversion ou l'antéversion pelvienne). Gangnet retrouve aussi une corrélation entre l'inclinaison sacrée et la pente sacrée, confirmant la conclusion précédente ²².

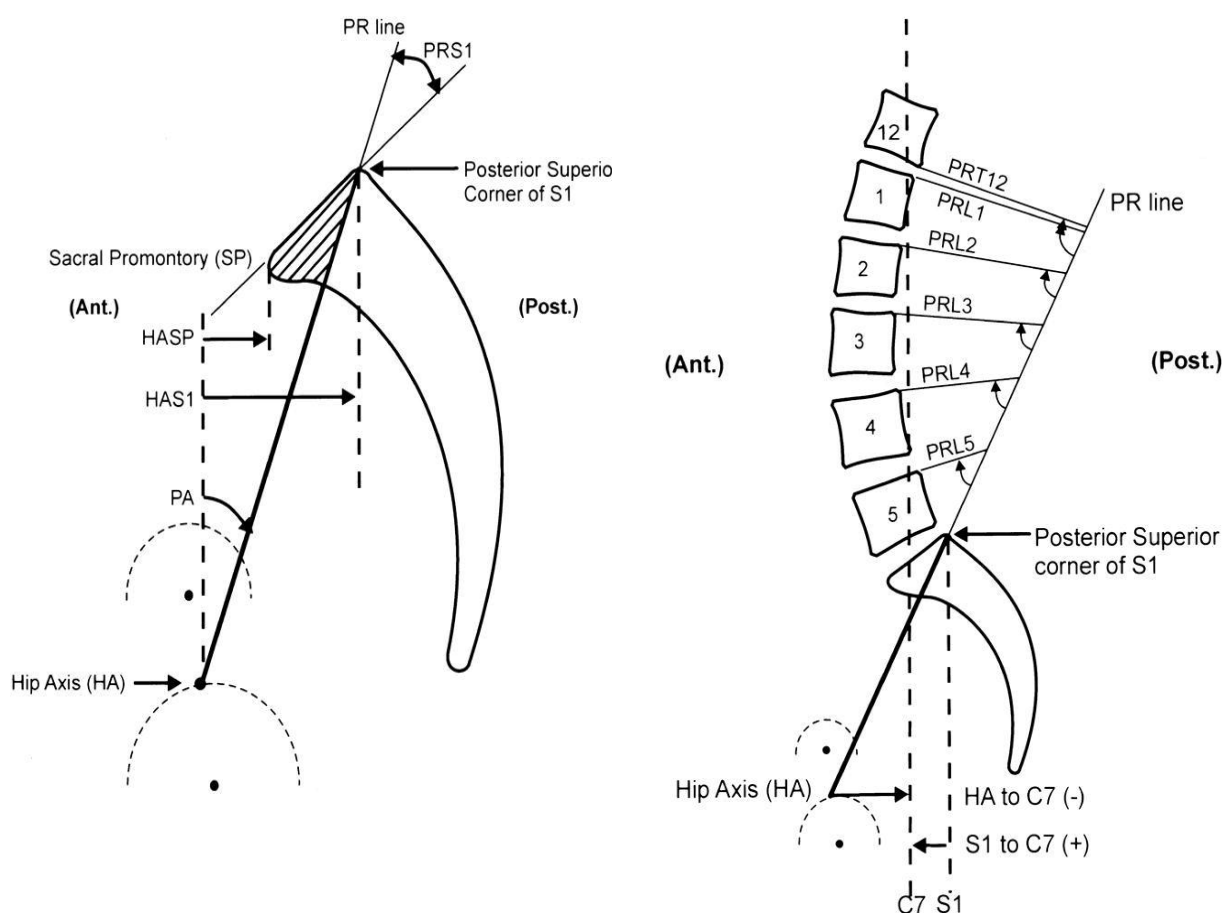


Figure n°12 : paramètres pelviens selon Jackson et ses relations au rachis (d'après Jackson)

Lecoq décrit un angle entre la tangente à la branche ischio-pubienne et l'horizontale ⁵³. Cet angle reflète pour lui l'orientation acétabulaire. Cependant, il n'a pas pu montrer de corrélation entre ce paramètre et d'autres angles ou distances remarquables du bassin ou du rachis. Ce paramètre est relativement stable dans la population étudiée, indépendante de l'âge et du sexe des patients. Il

semble toutefois étonnant de ne pas retrouver de corrélation avec des paramètres « dynamiques », c'est-à-dire influencés par la position de version du bassin, comme la version pelvienne ou la pente sacrée.

Marty a décrit des angles anatomiques au niveau du sacrum, afin de définir l'incurvation de celui-ci⁹⁷. Elle définit des angles sacrés supérieur (S1) et inférieur (S2), qui reflètent le rayon de courbure formé par le mur postérieur du sacrum. Elle démontre que plus l'incidence est grande, plus l'angle sacré supérieur est faible et plus l'angle sacré inférieur est grand.

During propose un angle pelvi-sacré (angle entre la droite joignant le centre des têtes de hanche au milieu du plateau sacré et la tangente au plateau sacré) et l'inclinaison pelvienne (somme de l'angle pelvi-sacré et de la pente sacrée)⁹⁷.

Il faut retenir de la multitude des paramètres proposés 3 angles et 1 distance qui ont une grande utilité dans la pratique clinique : l'incidence pelvienne, la pente sacrée et la version pelvienne pour les valeurs angulaires ; le porte à faux de S1. Ces 4 paramètres suffisent à décrire la forme et l'orientation du bassin. Parmi ces valeurs, on soulignera encore une fois l'importance fondamentale de l'incidence pelvienne, véritable régulateur de la morphologie et de l'orientation du bassin.

3. PARAMETRES RACHIDIENS

Il existe plusieurs paramètres rachidiens fondamentaux qui définissent la statique rachidienne dans le plan sagittal.

a. Lordose lombaire

La lordose lombaire (LL) est certainement l'angle le plus étudié et celui qui a le plus d'implication physiopathologique¹⁰⁶. Sa définition est variable selon les auteurs : il s'agit de l'angle formé par le plateau supérieur de la vertèbre faisant la transition entre lordose lombaire et cyphose thoracique et le plateau sacré ou le plateau inférieur de L5 selon les auteurs considérés. Le plus souvent, il s'agit de l'angle entre le plateau supérieur de L1 et le plateau inférieur de L5. Sa valeur moyenne⁹⁷ est de 44° dans ce cas de mesure. Pour Guigui²⁶, c'est la définition de la lordose lombaire car il retrouve que la vertèbre transitionnelle entre lordose lombaire et cyphose thoracique est le plus souvent L1 dans la série étudiée. Legaye mesure cette lordose entre L5 et T12 et retrouve une valeur moyenne de 60° environ⁵⁵. Pour d'autres auteurs, il faut mesurer la lordose entre T12 et S1. En fait les séries montrent des valeurs moyennes et des écarts-types assez proches, quelque soit la longueur de la lordose prise en compte. Il faut noter aussi que 50 à 75 % de la lordose lombaire se situe entre L4 et S1.

Bien au-delà des méthodes de mesure de la lordose lombaire, c'est surtout ses corrélations avec d'autres paramètres qu'il importe de souligner. En effet de nombreux auteurs ont mis en évidence des corrélations fortes entre pente sacrée et lordose lombaire. Pour Vialle¹⁰⁵, la lordose lombaire maximale est fortement corrélée à la pente sacrée ($r=0,86$) et à un trio de valeurs comprenant l'incidence pelvienne, la version pelvienne et la cyphose thoracique maximale ($r=0,9$). Il propose les équations suivantes :

$$LL \text{ max} = -16 - 1,06 \text{ PS}$$

$$LL_{\text{max}} = -2,72 - 1,1 \text{ IP} + 1,1 \text{ VP} - 0,31 \text{ CT}_{\text{max}}$$

Pour Legaye ⁵⁵, il existe aussi des corrélations entre ces paramètres. Il propose 4 équations avec des coefficients de corrélation tous supérieurs à 0,91. L'équation qui a retenue notre attention, car présentant le coefficient de corrélation le plus important, est la suivante :

$$LL = 0,3172 CT - 0,05543 IP + 0,3247 \text{ porte à faux } S1 + 1,118 PS - 0,791 VP + 5,511 \quad (r=0,94948)$$

Cet auteur souligne l'inter dépendance de la lordose avec la pente sacrée ($r=0,85943$) et l'incidence pelvienne ($r=0,60032$).

Jackson reste fidèle à sa droite joignant le centre des têtes de hanche avec le coin postéro-supérieur de S1 (droite du rayon pelvien, PR, cf. figure 12) ^{35,37}. Il mesure les angles formés entre cette droite et les bords supérieurs des vertèbres lombaires. Il retrouve une « lordose globale » lombo-sacrée de 90° environ entre cette droite et le plateau supérieur de T12. Il retrouve une corrélation forte entre cet angle et l'angle formé par la droite rayon pelvien et la tangente au plateau de S1 (nommé PR-S1) ($r>0,7$). Il montre aussi que la « lordose globale » (PR-T12) est égale à la somme PR-S1 et T12-S1 (lordose lombaire entre T12 et S1). On retrouve ici aussi, au travers de paramètres dénommés autrement, les relations entre incidence pelvienne et lordose lombaire.

Ces données sont corroborées par Gangnet ^{21,22} qui retrouve des corrélations fortes entre incidence pelvienne et lordose lombaire L1-S1 et entre pente sacrée et lordose lombaire. De même Berthonnaud retrouve des corrélations entre lordose lombaire et incidence et pente sacrée avec une significativité équivalente aux études précédentes ².

Guigui ²⁶ propose aussi 2 modèles de lordose lombaire dépendants des paramètres pelviens :

$$LL_{max} = -16,7 - 1,04 PS$$

$$LL_{max} = -0,9 - 1,1 IP + 1,1 VP - 0,37 CT_{max}$$

Où $PS = 7,4 + 0,63 IP$.

Là aussi tout se comporte comme si l'incidence réglait la lordose lombaire.

Kobayashi ⁴⁶ retrouve une relation linéaire entre lordose lombaire et pente sacrée ($LL = 0,8 \times PS$) avec une très forte corrélation ($r=0,94$). Or la pente sacrée est elle-même statistiquement liée à l'incidence. Il propose donc qu'une bonne adéquation entre lordose lombaire et position pelvienne est décrite quand le rapport LL/PS est compris entre 0,7 et 0,9.

Enfin Boulay ⁵ propose elle aussi un modèle de lordose, avec un coefficient de corrélation élevé ($r>0,89$) :

$$LL = -9,13847 + 0,19225 CT + 1,54225 PS - 0,26799 IP + 1,39705 \text{ Tilt_T9}$$

Ainsi, on met en évidence des notions fortes pour la compréhension de la constitution de la lordose. Il existe une très forte liaison entre pente sacrée et lordose lombaire : plus la pente sacrée est importante, plus la lordose est marquée. Or on sait qu'il existe aussi une très forte corrélation entre pente sacrée et incidence pelvienne ($r=0,84$) ¹. Tout est donc dicté par l'incidence pelvienne : ce paramètre anatomique, fixe pour un individu quelle que soit sa position dans l'espace, détermine la pente sacrée et, indirectement, la lordose lombaire ⁷⁹.

On retiendra qu'à une grande incidence il correspond une grande lordose lombaire, et inversement.

b. Cyphose thoracique

Tous les auteurs ne prennent pas les mêmes repères pour la mesure de la cyphose thoracique (CT) car la zone T1-4 est très souvent mal visible du fait de la projection des 2 scapulas. En moyenne, la cyphose thoracique est rapportée à environ 40°⁹⁷. Il existe une différence modérée, de l'ordre de 5°, si l'on intègre ou non à cette mesure le segment T1-T4.

La mesure de la cyphose thoracique étant plus difficile, elle a été beaucoup moins étudiée que la lordose lombaire. Legaye⁵⁵ retrouve néanmoins une faible corrélation entre lordose lombaire et cyphose thoracique ($r=0,33667$). Jackson retrouve une corrélation modérée entre cyphose thoracique (T1-T12) et « lordose globale » PR-T12 ($r=0,60$) et entre cyphose thoracique et lordose lombaire T12-S1 ($r=0,59$)^{35,37}. Il constate cependant que la corrélation lordose lombaire-paramètres pelviens est bien plus forte que la corrélation cyphose thoracique- paramètres pelviens ou cyphose thoracique-lordose lombaire. Gangnet retrouve un coefficient de corrélation à 0,6 entre lordose lombaire T12-S1 et cyphose thoracique T1-T12²¹. Pour Berthonnaud, cette corrélation est beaucoup moins importante, puisqu'il estime le coefficient de corrélation à 0,27². Il retrouve une corrélation plus importante de la cyphose thoracique avec la lumbar-tilt, angle formé entre une verticale abaissée au milieu du plateau inférieur de L5 et la droite joignant ce point avec le milieu du plateau inférieur de la vertèbre apicale de la lordose lombaire ($r=0,48$). Guigui²⁶ rapporte une corrélation modérée entre cyphose thoracique maximale et Tilt_T9 ($r=0,46$). Pour Boulay⁵, il existe aussi une corrélation, mais faible, entre lordose lombaire et cyphose thoracique ($r=0,3581$).

On retiendra de ces études que la cyphose thoracique est bien moins étudiée que la lordose lombaire. Il existe des corrélations, faibles à modérées, entre la cyphose thoracique et soit la lordose lombaire soit l'incidence pelvienne.

Il existe donc une chaîne de corrélations qui conduit du paramètre anatomique, fixe et inamovible, « incidence pelvienne » aux paramètres positionnels, « dynamiques », de la statique du complexe pelvi-rachidien dans le plan sagittal : pente sacrée, lordose lombaire, cyphose thoracique (cf. figure 13). La force de liaison entre ces paramètres va en décroissant, si bien que pour une incidence donnée chez un sujet sain, on peut avec certitude prédire sa pente sacrée physiologique et sa lordose lombaire adéquate, et moins sûrement la cyphose thoracique correspondante.

Berthonnaud² a ainsi défini un corridor de la normalité des paramètres rachidiens en fonction de l'incidence. De plus, Duval-Beaupère a proposé des abaques de valeurs qui, à partir d'une incidence donnée, permettent de déduire la pente sacrée, la lordose lombaire et la cyphose thoracique²⁰ (cf. figure 13).

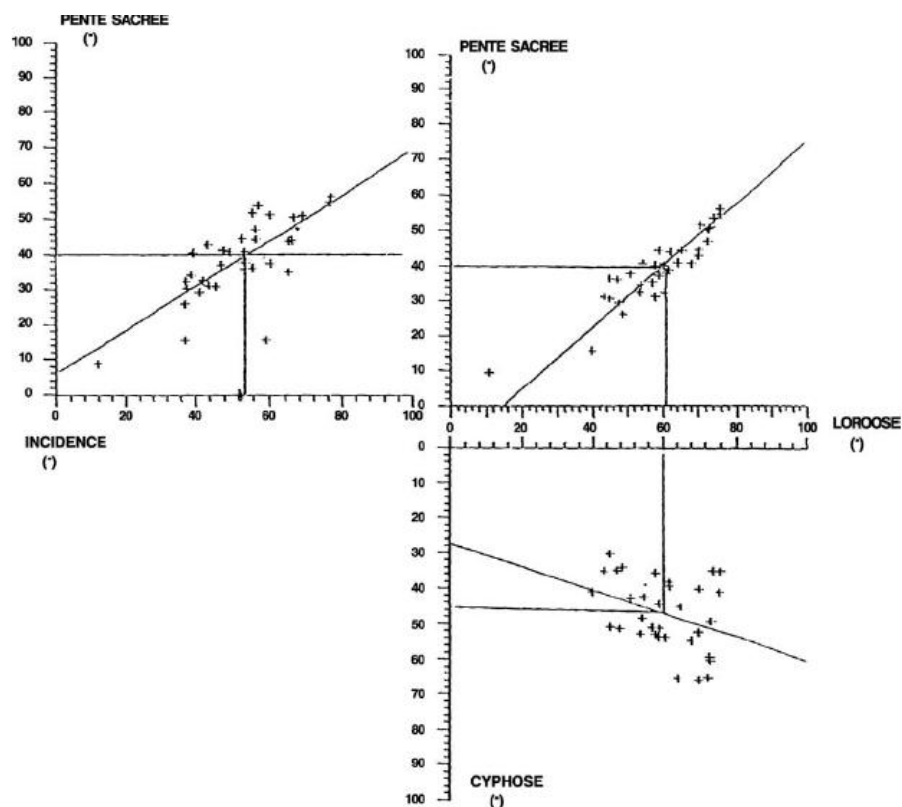


Figure n°13 : relations entre incidence, pente sacrée, lordose lombaire et cyphose thoracique
(d'après Legaye et Duval-Beaupère)

c. Lordose cervicale

La lordose cervicale est le paramètre rachidien qui est le moins bien exploré. Les données sur cette valeur sont quasi inexistantes. De ce fait, elle ne sera pas envisagée dans ce travail. La lordose cervicale moyenne a été reportée par Kuntz dans un travail de méta analyse sur les paramètres rachidiens à environ 46° de C0 à C7⁴⁷. La lordose cervicale se situe au sommet de l'enchevêtrement des inter relations entre les courbures rachidiennes et pelviennes, et qu'elle affecte dans une moindre mesure les valeurs des angulations sous jacentes. On notera que les pathologies cyphosantes au niveau cervicales sont moins fréquentes qu'aux niveaux sous jacents.

4. PARAMETRES SOUS PELVIENS

On a vu que le socle sur lequel reposait le rachis était aussi impliqué dans la statique que le rachis lui-même, voire plus. Il en est presque de même pour la hanche, qui représente le soubassement de ce socle pelvien.

Itoi³⁴ a présenté en 1990 un article proposant différents angles évaluant la position des membres inférieurs dans l'équilibre sagittal (cf. figure 14). Il propose l'inclinaison fémorale (IF) qui correspond à l'angle entre l'axe mécanique fémoral et une verticale ; sa valeur moyenne est de -1,9° dans une population normale. De là il découle d'autres angles, un peu moins utilisés en pratique courante, mais qui décrivent au plus juste l'inter relation entre membres inférieurs et bassin. L'angle sacro-fémoral (SF) est l'angle entre une tangente au plateau sacré et l'axe mécanique du fémur. Itoi retrouve la relation géométrique suivante : $SF = 90 - IF - PS$ (pente sacrée). Sa valeur moyenne est

estimée à 56,6°. Il décrit aussi l'angle pelvi-fémoral (PF), qui sera repris par la suite, comme étant l'angle entre la droite reliant le centre des têtes de hanche au milieu du plateau sacré et l'axe mécanique du fémur. Il donne une relation mathématique suivante :

$$PF = 90 - IF - VP \text{ (version pelvienne)}$$

La valeur de cet angle dans la population normale est de 23,4°. Il propose l'angle sacro-pelvien (SP) entre la tangente au plateau sacré et la droite reliant le centre des têtes de hanche au milieu du plateau sacré, caractérisé par la formule suivante : $SP = 90 - IP$ (incidence pelvienne). Il décrit enfin l'angle de flexion du genou, entre l'axe mécanique du fémur et l'axe anatomique du tibia. Cette valeur est à environ 2,5° dans une population asymptomatique. A partir de ces mesures, il classe la population en 5 catégories en fonction du type de lordose/cyphose rachidienne ou de flexion/extension fémorale qu'ils présentent. Les variations des valeurs de références seront vues dans le chapitre sur les adaptations aux conditions pathologiques.

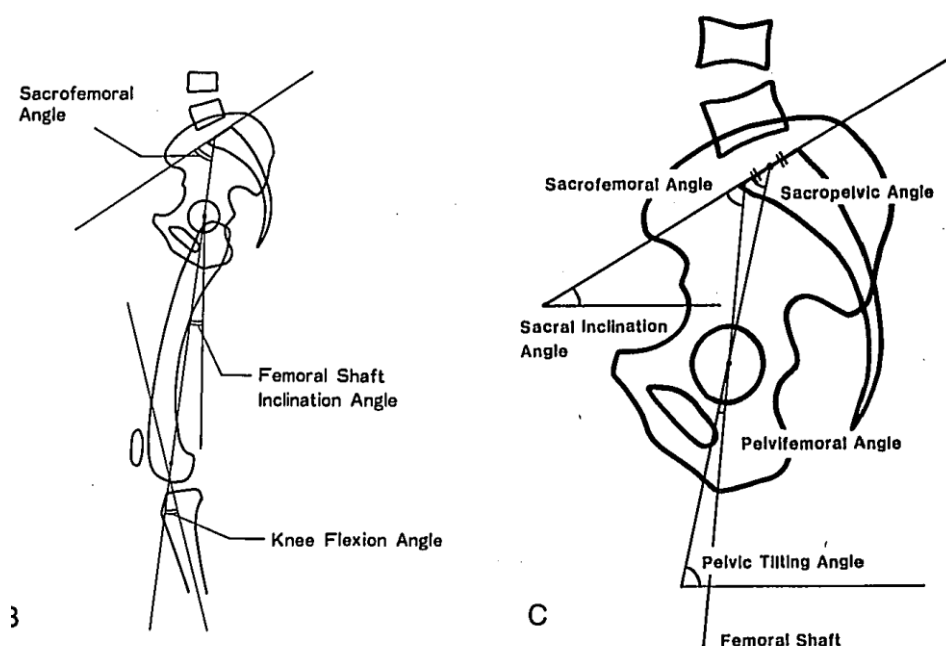


Figure n°14 : angles sous pelviens selon Itoi

Mangione⁶⁴ a décrit il y a déjà plus de 10 ans des données sur l'évaluation musculaire et articulaire du complexe coxo-fémoral. Il étudie les rétractions musculaires et les forces musculaires, la fatigabilité des groupes se situant de part et d'autre de l'articulation de la hanche. Il définit aussi un paramètre radiologique d'évaluation de cette articulation : l'angle pelvi-fémoral, angle formé entre l'axe fémoral et la droite reliant le centre des têtes de hanche au milieu du plateau sacré (c f. figure 15). Salmore⁸⁶ avait déjà utilisé ce terme en 1944, où il définissait cet angle comme étant l'angle formé par l'axe du fémur et la ligne de Nelaton (ligne entre l'épine iliaque antéro-supérieure et la tubérosité ischiatique). Cette mesure clinique était imprécise et peu reproductible. Mangione retrouve une relation entre rétroversion pelvienne et rétraction des chaînes musculaires antérieures (psoas et quadriceps) ou rétraction des chaînes postérieures (ischio-jambiers surtout), et note que l'indice de Schöber est corrélé à la lordose lombaire et à la pente sacrée : il est d'autant plus important que la lordose est grande ou que l'incidence ou la pente sacrée sont marquées. Il établit de plus une valeur normale de l'angle pelvi-fémoral à 191° +/- 7°. Cette valeur évolue de façon linéaire avec la version pelvienne ($r=0,8037$) et avec la lordose lombaire. Ces corrélations fortes confirment l'importance de l'extension de hanche dans la station bipède.

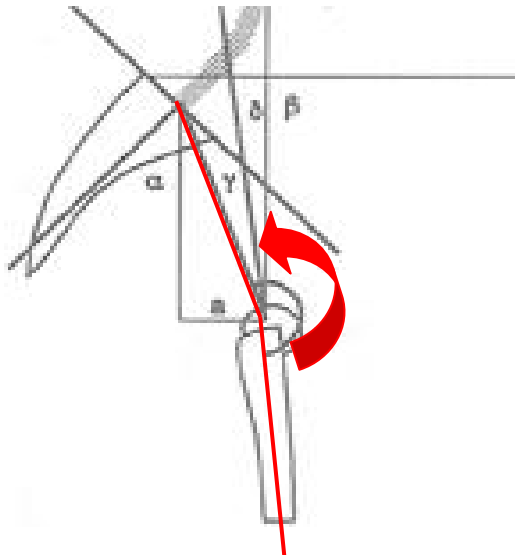


Figure n°15 : angle pelvi-fémoral de Mangione

Lazennec ⁵¹ utilise un autre angle pour préciser l'état d'extension des hanches. Il propose la gîte acétabulaire, angle entre l'horizontale et la droite passant par les coins antérieurs et postérieurs du cotyle. L'angle sacro-acétabulaire est la somme algébrique entre la gîte acétabulaire et la pente sacrée (cf. figure 16). Lazennec souligne ici encore l'inter relation entre pente sacrée et extension de hanche. En effet, si la pente sacrée augmente, la gîte acétabulaire diminue, augmentant la réserve d'extension de hanche : l'angle sacro-acétabulaire est une constante chez un individu. L'auteur retrouve une valeur qui définit l'anatomie du cotyle, quelle que soit sa position au cours du temps. C'est le pendant de l'incidence pelvienne pour la hanche. Il insiste sur l'importance de cet angle lors du positionnement d'une prothèse totale de hanche, une malposition de l'implant imposant une modification de la pente sacrée pour retrouver une valeur fixe de l'angle sacro-acétabulaire. Ainsi, une pathologie de hanche ou une malposition de l'implant prothétique entraîne une adaptation rachidienne qui peut être délétère en cas d'équilibre sagittal précaire.

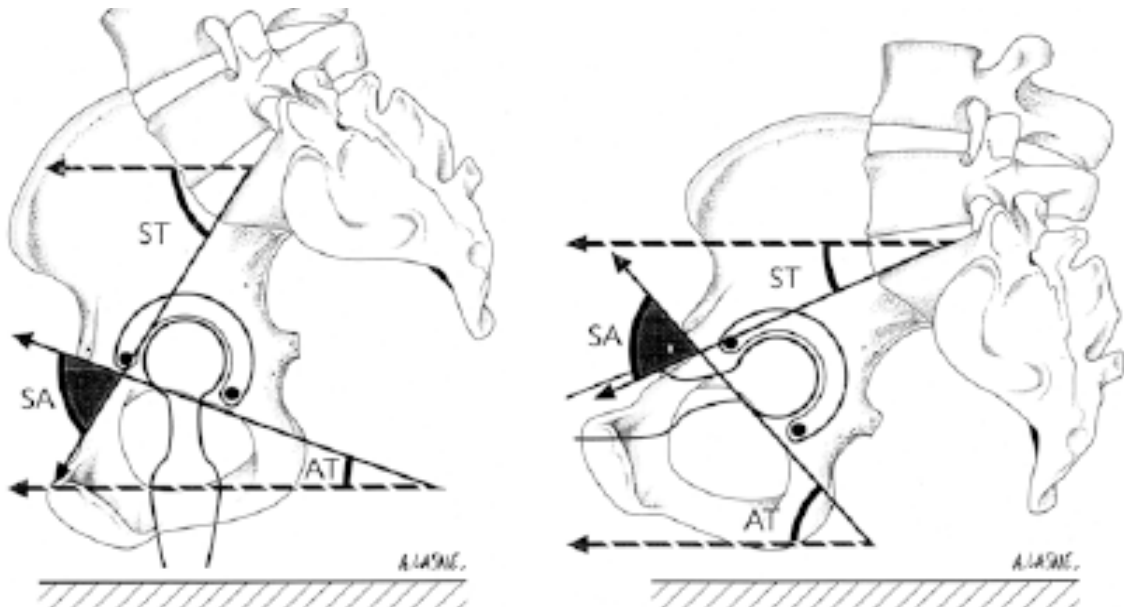


Figure n°16 : relations hanche – rachis décrites par Lazennec

Hovorka^{29,30} va plus loin. Il mentionne que si la réserve d'extension de hanche n'est pas suffisante, c'est le segment rachidien lombaire et le bassin qui compensent ce déficit à chaque pas. C'est une cause de lombalgies évidente. Il propose par ailleurs une méthode fiable et répétitive pour la mesure de l'extension de hanche : par une combinaison de 4 radios du bassin (profil strict du bassin en position debout, radio de profil en extension maximale, radios en position de fente gauche puis droite) et des clichés pan rachidiens de face et profil, il retrouve que la réserve d'extension de hanche est la différence d'angle entre la position neutre et les positions de fente. Sur une série de 37 patients présentant des lombalgies chroniques, il retrouve une réserve d'extension de 15,9°. Cette réserve d'extension est asymétrique, le coté pathologique présentant un déficit d'extension de plus de 5°. Il fait le lien entre cette diminution et celle due au vieillissement déjà retrouvée par d'autres auteurs. D'autre part, il cite les travaux reportant un lien statistiquement significatif entre lombalgies et limitation d'extension de hanche. Cependant, cette diminution de réserve d'extension, qui s'accompagne en compensation d'une antéversion pelvienne, ne se note qu'au cours de la marche et non en position debout simple, prouvant de fait que ces modifications sont des adaptations pour la marche d'un individu.

De plus, Hovorka propose une méthode de calcul pour l'angle de correction nécessaire à une restitution d'une statique sagittale normale (cf. figure 17). Il suggère que l'angle de correction soit égal au déséquilibre rachidien plus l'angle de flexion fémorale, moins la réserve d'extension de hanche correspondant à l'individu.

Correction= déséquilibre rachidien + flexion hanche – réserve d'extension actuelle + réserve d'extension théorique

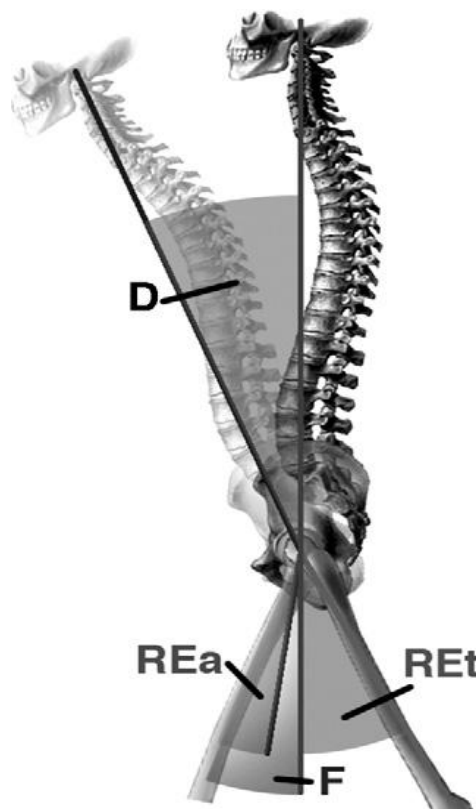


Figure n°17 : réserve d'extension de hanche selon Hovorka

((D) : déséquilibre rachidien ; (F) : déséquilibre fémoral (REa) : réserve d'extension actuelle ; (REt) : réserve d'extension théorique (capacité d'extension nécessaire en fonction de la capacité de vitesse de marche souhaitée).

Encore une fois, on se rend compte de l'importance de ce paramètre pelvi-fémoral dans la statique rachidienne et globale. La réserve d'extension théorique n'est pas réellement connue, faute d'étude sur une large population, mais elle a été approchée par Hovorka, suite à l'étude de cas préliminaires, à environ 10° pour la marche et jusqu'à 20° pour la course. Cette formule ne prend cependant pas en compte le gain qu'un stretching réalisé sur les membres inférieurs pourrait amener. La correction chirurgicale à apporter devient alors :

$$C = \text{Deseq. Rachis} + \text{flex. Hanche} - \text{res. Ext. Actuelle} + \text{res. Ext théo.} - \text{gain par stretching}$$

De plus, l'auteur souligne bien que cette relation ne donne absolument pas le niveau où la correction doit avoir lieu : hanche, bassin, rachis ? Enfin, il note que ce paramètre « réserve d'extension de hanche » est indépendant des paramètres rachidiens.

5. CLASSIFICATION DES TYPES DE DOS

Roussouly^{82,83} a fait émerger une notion fondamentale dans la compréhension de la physiopathologie rachidienne. A partir d'une analyse de radios de sujets sains tout venant, il a établi une classification des courbures rachidiennes basée sur l'analyse des paramètres pelviens et de la lordose lombaire (cf. figure 18).

Il décrit tout d'abord une segmentation de la lordose lombaire en 2 parties : la portion inférieure, du plateau sacré à la vertèbre apex marquée par sa position tangente à la verticale (en d'autres termes, son plateau supérieur est horizontal), et la portion supérieure de la vertèbre apex à la vertèbre transitionnelle entre cyphose thoracique et lordose lombaire. L'étude de cette population a fait ressortir des grandes variabilités : lordose globale comprise entre 41 et 81° (du simple au double !), nombre de vertèbres incluses dans la lordose entre 1 et 8 ! On ne peut pas dans ces conditions parler d'une lordose type, univoque. Roussouly segmente cette population en 4 groupes qui présentent des caractéristiques communes.

Le type 1 regroupe les individus présentant une pente sacrée inférieure à 35°, avec une lordose lombo-sacrée raccourcie et une lordose globale faible, de 50° environ : angle inférieur de lordose faible et faible nombre de vertèbres impliquées, apex de la lordose en L5 en moyenne. La cyphose thoracique est très longue, descend sur les vertèbres lombaires. On note une faible incidence ici.

Le type 2 présente des critères proches au niveau pelvien. Il s'agit de sujets ayant une faible pente sacrée, inférieure à 35°, avec une lordose quasi effacée : lordose globale de 50° environ mais impliquant plus de vertèbres que dans le cas précédent, avec un apex moyen en L4. Là aussi, l'incidence est retrouvée faible. C'est le classique dos plat lombaire.

Le type 3 est constitué de sujets présentant une pente sacrée entre 35 et 45°, avec une lordose harmonieuse d'environ 60°. L'apex est en L4. L'incidence est dans les valeurs moyennes retrouvées par les différents auteurs (51° en moyenne). C'est le type de dos qui semble le plus harmonieux.

Le type 4 regroupe les individus avec une pente sacrée forte, supérieure à 45°, et une incidence élevée, en moyenne 63°. Du fait de ces grandes incidence et pente sacrée, on observe une grande lordose (71° en moyenne) qui remonte haut, avec un apex en L3 en moyenne.

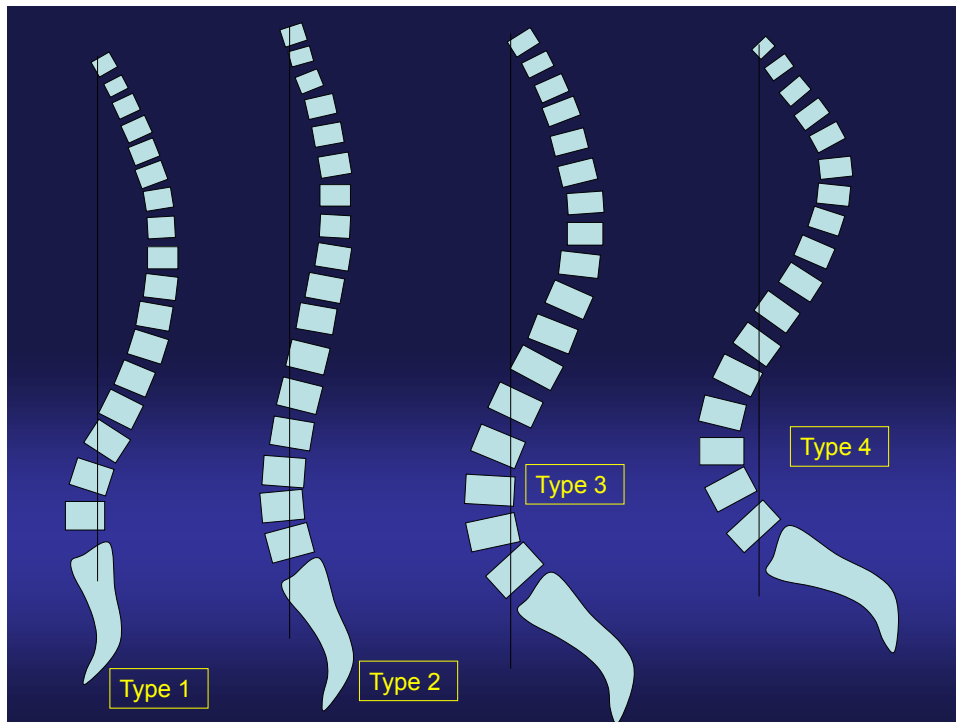


Figure n°18 : les 4 types de dos de Roussouly

Roussouly souligne encore une fois l'importance majeure de l'incidence dans la constitution de la lordose. Il démontre aussi que dans sa segmentation de la lordose pelvienne en 2 portions, l'angle de lordose du segment inférieur a une valeur qui est égale à la pente sacrée. De plus, il apparaît que l'angle de lordose du segment supérieur est quasiment constant : la lordose est donc presque entièrement conditionnée par l'arc inférieur, qui est dépendant de la pente sacrée.

De part la configuration anatomique, il apparaît que le type 3, le plus harmonieux, est certainement celui le moins à même de développer une pathologie, soit discale soit articulaire postérieure. Le type 1, présentant une lordose lombo-sacrée sur presque un seul niveau (L5-S1), est à risque de spondylolisthésis à ce niveau ou de dégénérescence arthrosique zygapophysaire ; plus haut, la cyphose thoraco-lombaire expose aux discopathies. Le type 2, globalement en hypo lordose, est soumis aux discopathies précoces. Le type 4, reposant sur une grande lordose, contraint les articulations postérieures de façon excessive : il en découle un risque de spondylolisthésis ou de canal lombaire étroit.

On a vu plus haut qu'à une incidence il correspond une lordose. Cette notion est complétée par une notion sur l'organisation de cette lordose, qui se décline en 4 sous types, et qui est une base essentielle aux explications physiopathologiques.

C_ LES DESEQUILIBRES : CONSEQUENCES ET COMPENSATION

On a vu plus haut comment s'organisait le rachis et le bassin dans une situation physiologique. Que se passe-t-il maintenant dans le cas du vieillissement ou en cas de pathologie ?

Il existe tout d'abord une augmentation progressive de la cyphose thoracique au cours du vieillissement. Il semble que ce soit le *primum movens* du déséquilibre, comme le souligne Schwab : c'est le seul paramètre significativement différent par rapport à une population jeune ($r=0,2$). Vialle

¹⁰⁵ confirme que la gîte de T9 n'est pas corrélée à l'âge, Lafage ⁴⁸ affirme même que la position de T9 par rapport à la ligne de gravité reste fixe avec le temps tout comme la position des talons par rapport à la ligne de gravité. La plumb line de C7 se projette alors en avant du centre des têtes de hanches : la ligne de gravité est en effet retrouvée projetée en avant. Lafage ⁴⁸ montre qu'il existe une corrélation forte entre âge et valeur de la plumb line de la ligne de gravité. La lordose lombaire augmente pour essayer de compenser ce déséquilibre, mais elle ne peut pas augmenter indéfiniment. C'est pourquoi le bassin, pour compenser, se rétroverse pour essayer de basculer l'ensemble du bloc rachidien en arrière ⁵⁰, et essaie de superposer la ligne de gravité sur le centre des têtes de hanche afin de retrouver une position d'équilibre économique. Il s'en suit une inévitable diminution de la lordose lombaire ¹⁰⁷. De plus, lorsque le bassin se rétroverse, les hanches arrivent au maximum de leur extension et les genoux se plient ⁹⁷ (cf. figure 19). Là encore, le rôle du bassin et des hanches est fondamental dans l'adaptation au pathologique : une faible incidence conduit à une faible capacité d'adaptation au pathologique, de même qu'une réserve d'extension de hanche limitée. L'âge n'a bien sur aucune influence sur l'incidence pelvienne qui reste fixe.

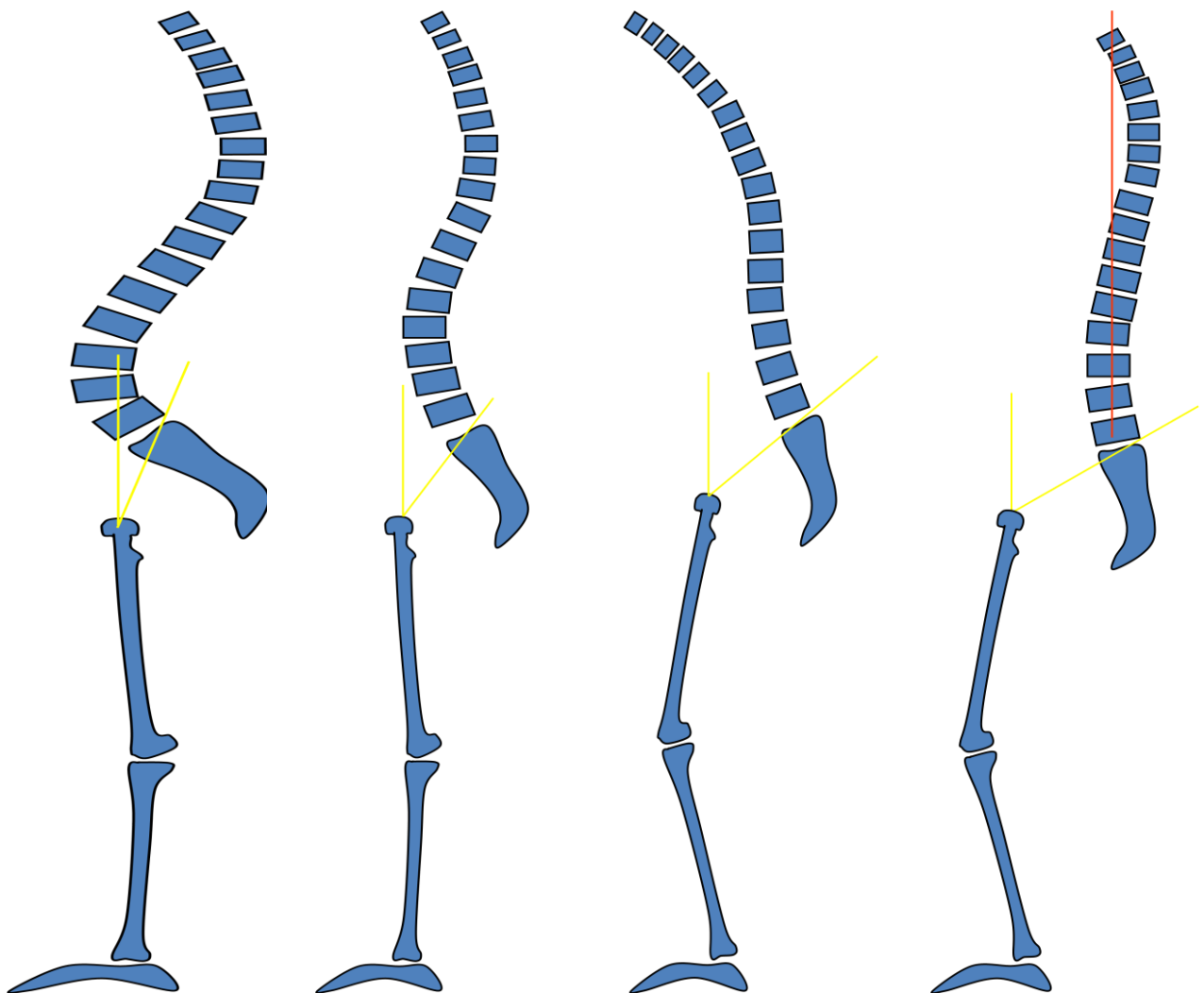


Figure n°19 : mécanismes de déséquilibre et sa compensation : en cas de faible incidence pelvienne, il existe peu de rétroversion et les plumb lines sont déjetées en avant (d'après P.Roussouly)

En cas de spondylolisthésis, qu'il soit par lyse isthmique ou dégénératif, l'incidence pelvienne est constatée comme étant largement au dessus des valeurs normales ¹. La pente sacrée est aussi majorée par rapport aux valeurs normales. Il existe alors une grande lordose lombaire, et les forces

de cisaillement sont maximales à la charnière lombo-sacrée, là où la lordose segmentaire (L4-L5 ou L5-S1) est la plus forte, s'exerçant sur les articulations zygapophysiales. Il est aussi noté une cyphose thoracique moins importante. On note très souvent une rétraction des ischio-jambiers.

De même, en cas de canal lombaire étroit (CLE), l'incidence pelvienne est plus importante et la pente sacrée accentuée. La physiopathologie du CLE implique une hypertrophie du ligament jaune et des articulations zygapophysiales par hypersollicitation. On comprend aisément qu'une augmentation de la lordose lombaire s'accompagne d'une surcharge sur les éléments postérieurs, et donc du développement d'arthrose postérieure.

Les hernies discales et dégénérescences discales sont plus fréquentes chez les sujets présentant des petites incidences pelviennes ¹. Dans ces cas, la pente sacrée est faible, tout comme la lordose lombaire. En effet, dans ce cas, les efforts sont transmis majoritairement par la colonne antérieure. Il existe aussi très souvent une rétroversion pelvienne débutante. Les auteurs notent par ailleurs une faible cyphose thoracique, en rapport avec la faible lordose lombaire. Il existe une translation antérieure de la ligne de gravité et de la plumb line de C7.

La scoliose est née, pour les anthropologues, des modifications du bassin : en diminuant la hauteur des crêtes iliaques, en rendant les articulaires lombaires plus coronales et en augmentant la mobilité lombaire, tous les 3 nécessaires à l'acquisition de la position bipède, l'évolution a rendue possible des glissements et rotations entre les vertèbres. Certains auteurs ont pu retrouver chez ces patients une cyphose thoracique moindre.

Les rétractions des muscles pontant la jonction coxo-fémorale entraînent des modifications de l'orientation pelvienne. Une rétraction des ischio-jambiers s'accompagne d'une antéversion exagérée et d'une augmentation de la réserve d'extension de hanche. De ce fait, la lordose augmente et il existe des risques accrus de développer un spondylolisthésis.

Dans les scolioses, les courbures sagittales sont aussi fortement altérées. Au niveau thoracique, il existe souvent une hypocyphose voire une inversion de courbure avec une tendance à la lordose thoracique. En zone lombaire, la lordose est effacée. Les segments scoliotiques sont en lordose, les segments jonctionnels sont en cyphose du fait de l'inversion de courbure.

Itoi ³⁴ a proposé une classification des dos en fonction de leur déformation (cf. figure 20). Il décrit en fait les adaptations rachidiennes, pelviennes et des membres inférieurs aux différentes situations pathologiques qu'un individu peut rencontrer : hypercyphose thoracique, hyperlordose lombaire, cyphose lombaire, cyphose globale. A chaque étape, il détaille la position du bassin et des membres inférieurs. On remarque nettement l'importante compensation qu'exercent ces 2 soubassements en réaction aux déformations rachidiennes. Il retrouve une constante augmentation de la cyphose thoracique dans les groupes pathologiques par rapport au groupe sain. La lordose lombaire est diminuée ou augmentée en fonction du type de pathologie présentée. La pente sacrée est constamment diminuée dans les sous groupes pathologiques, l'angle pelvifémoral augmente et l'angle de flexion des genoux augmente aussi.

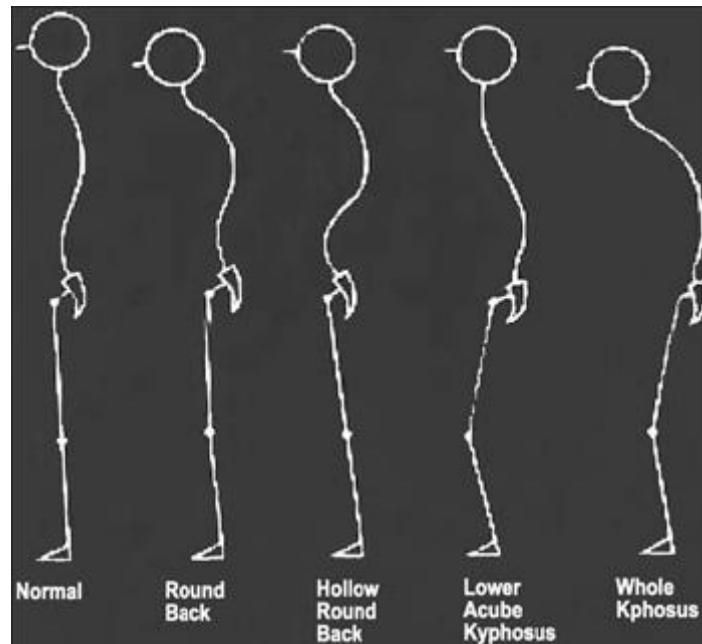


Figure n°20 : classification des dos selon Itoi

On tient aussi à préciser que la classification des types de dos de Roussouly doit être soigneusement analysée en cas de déformation pathologique. En effet, on peut retrouver un patient qui présente une faible lordose lombaire avec une pente sacrée effacée, alors que son incidence est grande. Il s'agit ici d'une rétroversion pelvienne évidente, qui classe le patient en dos type 3 ou 4, et non en type 1 ou 2 comme le voudrait l'analyse au premier coup d'œil de la pente sacrée et de la lordose lombaire.

D_ *MESURES THERAPEUTIQUES DE CORRECTION DES DESEQUILIBRES*

1. TRAITEMENT ORTHOPEDIQUE

Outre les mesures de kinésithérapie, un traitement orthopédique peut parfois être proposé, surtout chez un sujet jeune présentant une déformation sagittale peu évoluée. Qu'il s'agisse d'un plâtre ou d'un corset, le but est de retarder le départ en cyphose. Ces orthèses sont indiquées lorsque la cyphose globale est modérée (habituellement un angle de cyphose de plus de 40° fait recourir à la chirurgie, même si cette valeur angulaire ne doit pas être considérée comme figée) et souple, c'est-à-dire corrigeable en partie lors de manœuvre de réduction. L'âge osseux et pubertaire est aussi à prendre en compte dans la décision du traitement chirurgical. Même si ce traitement permet des résultats tout à fait satisfaisants selon les pathologies (par exemple, on a pu constater des consolidations de lyse isthmique après corset plâtré en délordose), ces orthèses sont cependant beaucoup plus utilisées dans le traitement des scolioses, c'est pourquoi nous ne détaillerons pas ce type de traitement ici. D'autre part, il s'agit dans ce travail de faire le point sur les techniques de corrections chirurgicales des déséquilibres sagittaux de la statique.

2. OSTEOTOMIES RACHIDIENNES

Les ostéotomies rachidiennes ont été développées pour faire face à des déformations rachidiennes ne pouvant pas être résolues par une simple arthrodèse. En particulier dans les

spondylarthrites ankylosantes évoluées, les chirurgiens se retrouvaient face à des déformations majeures de l'équilibre sagittal du rachis chez des personnes jeunes et très invalidées. Ces déformations étant très raides, il était impossible de corriger ce défaut d'axe en comptant sur une réductibilité éventuelle per opératoire⁸⁰.

En 1945, Smith-Petersen décrit en premier une technique chirurgicale visant à permettre une réduction de ces déformations. La technique qu'il décrit est une soustraction postérieure associée à une ouverture antérieure dans l'espace discal. Il propose une soustraction des éléments de l'arc postérieur : partie caudale de la lame et articulaires caudales de la vertèbre craniâle et partie craniâle de la lame et articulaires crâniâles de la vertèbre caudale. En mettant en contact les 2 fragments créés, et en supposant que le point pivot de rotation est situé au niveau postérieur du disque intervertébral, on crée une fermeture postérieure associée à un bâillement discal antérieur (cf. figure 21). La colonne postérieure est ici raccourcie, la colonne antérieure est allongée. Ce dernier point est le tendon d'Achille de cette méthode : en allongeant la colonne antérieure, on crée une tension qui peut être dangereuse sur les vaisseaux jouxtant le rachis (Aorte et veine cave inférieure). Ce défaut technique a largement été souligné par les détracteurs de la technique de Smith-Petersen. Par ailleurs, une ostéotomie de Smith-Petersen à 1 niveau ne peut en général donner que 10° d'angle de correction, ce qui, dans les déformations majeures, s'avère souvent insuffisant. Des auteurs ont eu recours à des ostéotomies de Smith-Petersen multi étagées afin d'obtenir une correction angulaire suffisante. Dans ce cas, l'allongement de la colonne antérieure est multiplié par le nombre de niveaux ostéotomisés, les risques vasculaires majorés.

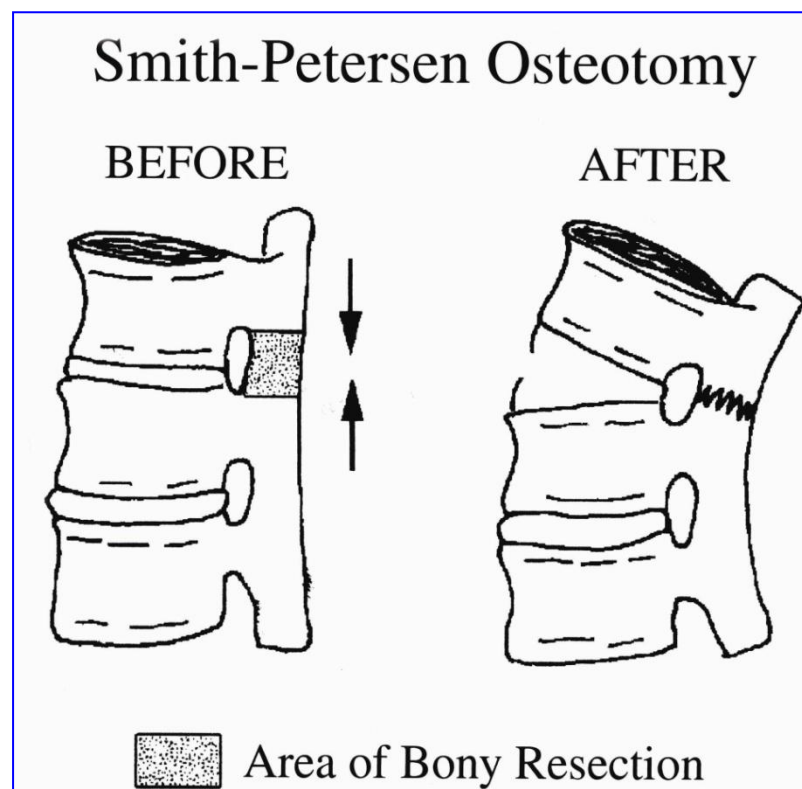


Figure n°21 : technique de Smith Petersen (la technique d'ostéotomies multi étagées de Zielke est une variante)

Cette technique trouve son indication de choix au niveau thoracique, lorsque la correction nécessaire n'excède pas 30°.

Pour faire face aux limites de cette technique, Thomasen a décrit en 1985 une ambitieuse méthode de correction de l'équilibre sagittal du rachis. L'ostéotomie de transpédiculaire (OTP), ou résection en coin transpédiculaire, consiste à retirer l'ensemble de l'arc postérieur d'une vertèbre, pédicules compris, plus ou moins la partie caudale de la lame et les articulaires caudales de la vertèbre craniâle et la partie craniâle de la lame et les articulaires craniâles de la vertèbre caudale, puis à ôter un coin osseux dans le corps vertébral à base postérieure et pointe antérieure (cf. figure 22). On agit sur les 3 colonnes en une intervention. Cette méthode a plusieurs avantages : il n'existe pas d'allongement de la colonne antérieure, ce qui limite les risques vasculaires. Par ailleurs, la correction angulaire peut atteindre 40° par niveau d'ostéotomie. Néanmoins, certains ont pu reprocher à cette technique ses risques en particulier neurologiques, du fait de la nécessité d'accès au mur postérieur vertébral. De par ses avantages, l'ostéotomie de soustraction transpédiculaire (ou pedicle subtraction osteotomy des anglo-saxons) est la technique de choix dans la correction des grandes déformations cyphotiques ou asymétriques du rachis.

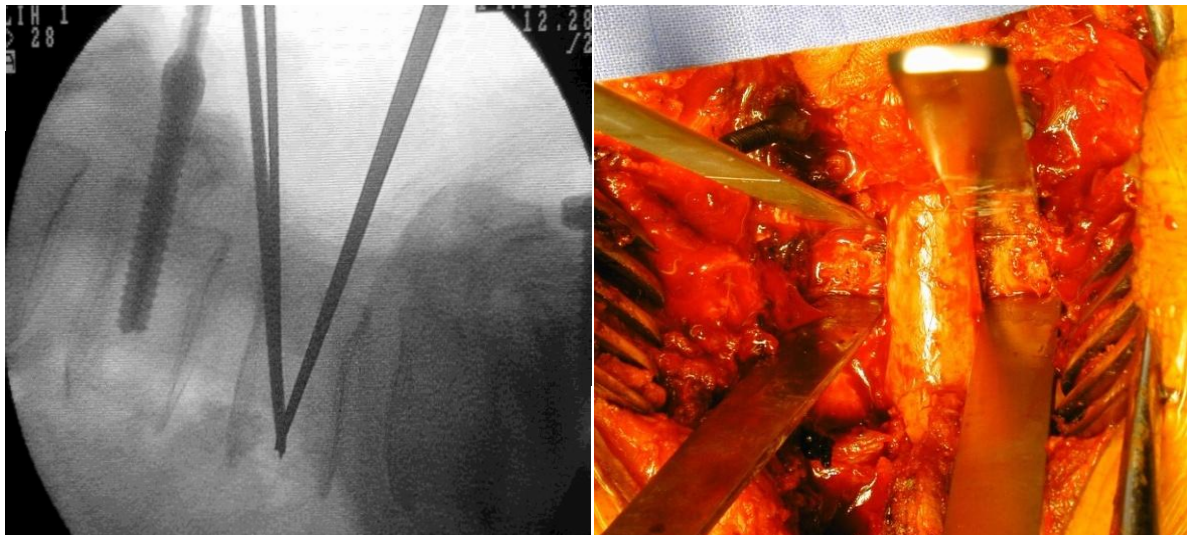


Figure n°22 : technique d'ostéotomie transpédiculaire selon Thomasen

(collection P.Roussouly)

Afin de réaliser une correction au plus juste, des méthodes de planification des OTP ont été décrites.

L'ensemble des auteurs semblent s'accorder à dire qu'il n'existe pas de consensus sur le niveau à ostéotomiser : l'OTP est d'autant plus puissante qu'elle est réalisée caudalement (grand bras de levier), d'autant plus sûre qu'elle est faite distalement par rapport au cône médullaire, mais conceptuellement plus logique au sommet de la déformation. La synthèse de ces données ne permet pas toujours d'aboutir à un algorithme remplissant l'ensemble des prérequis.

Enfin, une dernière technique a plus récemment été décrite, combinant les 2 techniques précédemment détaillées. Il s'agit d'une technique décrite par Chang en 2008, qu'il appelle ostéotomie en coin d'ouverture et fermeture (« closing-opening wedge osteotomy ») ¹⁶. Il s'agit en

fait de réaliser une ostéotomie de l'arc postérieur de la vertèbre souhaitée, à l'identique d'une ostéotomie transpédiculaire, d'y associer une ostéotomie en coin à base postérieure. En fermant l'ostéotomie postérieure, on réalise ici une ouverture antérieure corporéale. L'auteur décrit cette technique pour obtenir des ostéotomies plus puissantes, dans des déformations encore plus accentuées et plus raides.

Il existe 2 autres méthodes de correction de l'équilibre sagittal du rachis qui ne seront pas détaillées dans ce travail. Il s'agit des ostéotomies rachidiennes cervicales, soit transpédiculaires comme au niveau lombaire, soit uniquement de l'arc postérieur, s'apparentant à des ostéotomies de Smith-Petersen au niveau cervical. L'autre technique consiste en une vertèbrectomie complète et un allongement de la colonne antérieure, puis une greffe antérieure et postérieure.

3. OSTEOTOMIES PELVIENNES

Il semble logique de penser qu'une action sur le bassin, tout au moins une action visant à modifier les paramètres pelviens essentiels que sont l'incidence ou la pente sacrée, peut entraîner une modification de la statique rachidienne sus jacente.

Il n'existe aucune publication de série de patients actuellement lors de notre revue de littérature sur les ostéotomies pelviennes appliquées au traitement des déformations rachidiennes dans le plan sagittal.

Les seules ostéotomies connues actuellement sont des ostéotomies destinées aux patients souffrant de dysplasie de hanche. Le défaut de couverture de hanche, souvent mixte antérieur et latéral, peut parfois être corrigé par des réorientations des hanches.

On a décrit une quinzaine d'ostéotomies pelviennes de réorientation du cotyle à l'heure actuelle ^{14,15,85,104}. Les ostéotomies juxta articulaires, comme celles de Ganz, Wagner, Ninomya ou Tönnis, ne peuvent en aucun cas avoir d'influence sur les paramètres pelviens fondamentaux (incidence pelvienne et pente sacrée). Les ostéotomies de Pol Le Cœur ou de Sutherland ne sont pas non plus à même de modifier ces paramètres : elles se rapprochent d'une ostéotomie triple de Ganz.

Seuls 2 grands types d'ostéotomies peuvent avoir une influence notable sur l'incidence pelvienne et la pente sacrée : l'ostéotomie de Chiari (cf. figure 23), ou ostéotomie en dôme ⁷³, la plus anciennement décrite, consiste en une ostéotomie curviplane passant juste au dessus du cotyle. Afin d'augmenter la couverture latérale et antérieure du cotyle, le fragment distal est repoussé médialement et en arrière. La fixation est réalisée avec un embrochage en croix. On peut penser que cette technique, séparant un fragment comportant les hanches et un autre le sacrum, peut, si elle est réalisée de façon bilatérale, modifier l'incidence et la pente sacrée. Elle est réalisée préférentiellement lors d'une voie de Smith-Petersen.



Figure n°23 : ostéotomie de Chiari gauche (pour dysplasie acétabulaire)

L'autre technique est celle décrite quelques années plus tard par Salter : elle consiste en une ostéotomie rectiligne partant de l'espace entre les épines iliaques antérieures et se dirigeant vers la grande échancrure ischiatique^{62,63,87}. Une ouverture antérieure par un coin permet, après mise en abduction-flexion-rotation externe de la hanche, et en comptant sur la mobilité de la symphyse pubienne pour permettre une bascule du fragment distal, une amélioration de la couverture cotyloïdienne. Le prérequis de cette technique est une mobilité de la symphyse pubienne. Si on applique cette technique chez l'adulte et si on ne considère que l'ouverture antérieure et si on la réalise de façon bilatérale, on assiste alors à une diminution de l'incidence pelvienne et de la pente sacrée (cf. figure 24). Elle est aussi réalisée préférentiellement lors d'une voie de Smith-Petersen ou d'une voie ilio-inguinale.

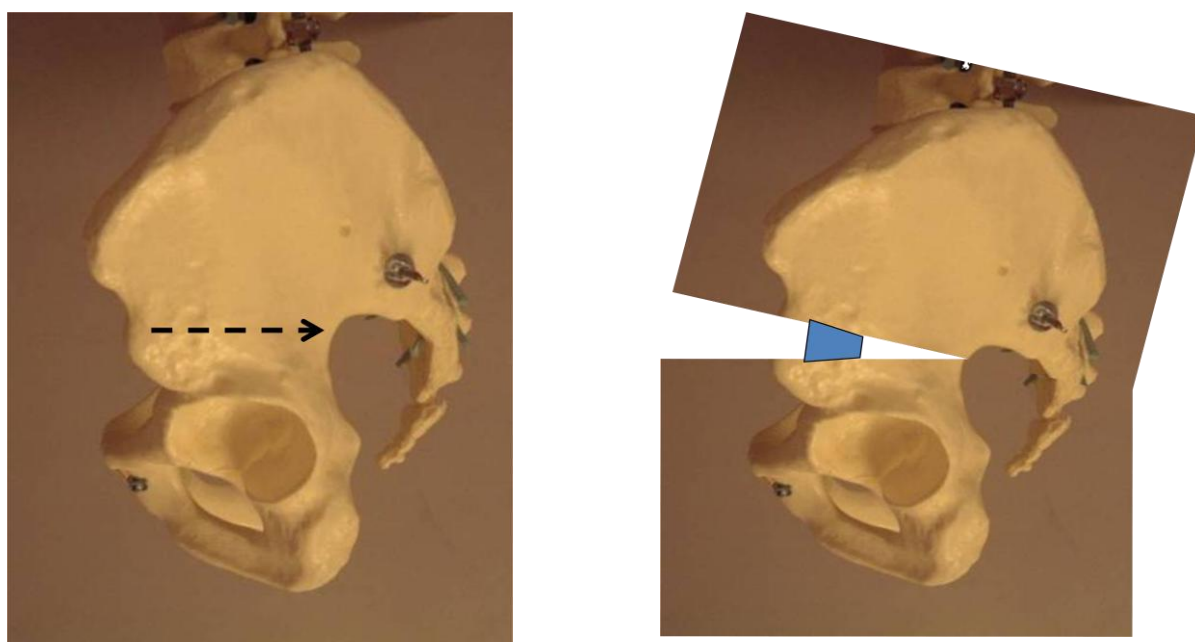


Figure n°24 : ostéotomie de Salter (collection P.Roussouly)

On reporte pour mémoire quelques complications ³ de ces 2 techniques : lésion du nerf sciatique, lésion du nerf cutané latéral de cuisse (fémoro-cutané) ou du nerf obturateur interne, arthrose induite, pseudarthrose, dystocie secondaire, boiterie invalidante, difficultés techniques pour l'ostéotomie de Chiari ; lésion du nerf sciatique, du nerf crural, du paquet vasculo-nerveux glutéal supérieur ou du nerf cutané latéral de cuisse (fémoro-cutané), hémorragie, ostéonécrose aseptique de l'épiphyse fémorale proximale, allongement du membre inférieur, infection du site opératoire pour l'ostéotomie de Salter. Tels sont les écueils qui ont été mentionnés par la plupart des auteurs ayant eu recours à l'une de ces 2 techniques. Il apparaît que l'ostéotomie de Salter semble plus risquée pour le nerf crural et le paquet vasculo-nerveux glutéal supérieur que l'ostéotomie de Chiari, et que cette dernière est plus risquée pour le nerf obturateur interne et le nerf sciatique.

Nous proposons dans ce travail d'étudier l'ostéotomie pelvienne appliquée aux corrections des déviations sagittales rachidiennes. Pour ce faire, nous étudions une méthode de planification de l'ostéotomie sur modèle théoriques, puis validons cette méthode au travers de cas cliniques. Nous précisons les indications et les modalités techniques, et nous comparons l'ostéotomie pelvienne à la technique actuellement en vigueur dans la correction des déséquilibres majeurs du rachis : l'ostéotomie trans pédiculaire.

ETUDE DES OSTEOTOMIES PELVIENNES

II ETUDE DES OSTEOTOMIES PELVIENNES

A_ BASES ANATOMIQUES

L'accès au bassin est compliqué. Il est barré de structures anatomiques fondamentales qui rendent parfois dangereux l'abord chirurgical jusqu'au plan osseux. Nous avons voulu rappeler les structures anatomiques afin de décrire des voies d'abord respectueuses des éléments nobles. Afin de modifier l'incidence pelvienne, 2 sites d'ostéotomies peuvent être théoriquement envisagés : soit les ailes iliaques de façon bilatérales, soit en arrière la face postérieure du sacrum.

Dans le cas d'une ostéotomie des ailes iliaques, il faut dégager les 2 faces de cet os. Les voies classiques sont inspirées des voies d'accès au cotyle décrites dans les fractures du cotyle.

La première structure anatomique à prendre en considération, en superficie, est le nerf cutané latéral de cuisse (fémoro-cutané) qui s'incurve au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure puis descend vers la face latérale de la cuisse, en avant du muscle sartorius (cf. figure 25). Au niveau de la crête iliaque, on trouve aussi, plus postérieurement et plus en profondeur, les branches ilio-hypogastriques et ilio-inguinales.

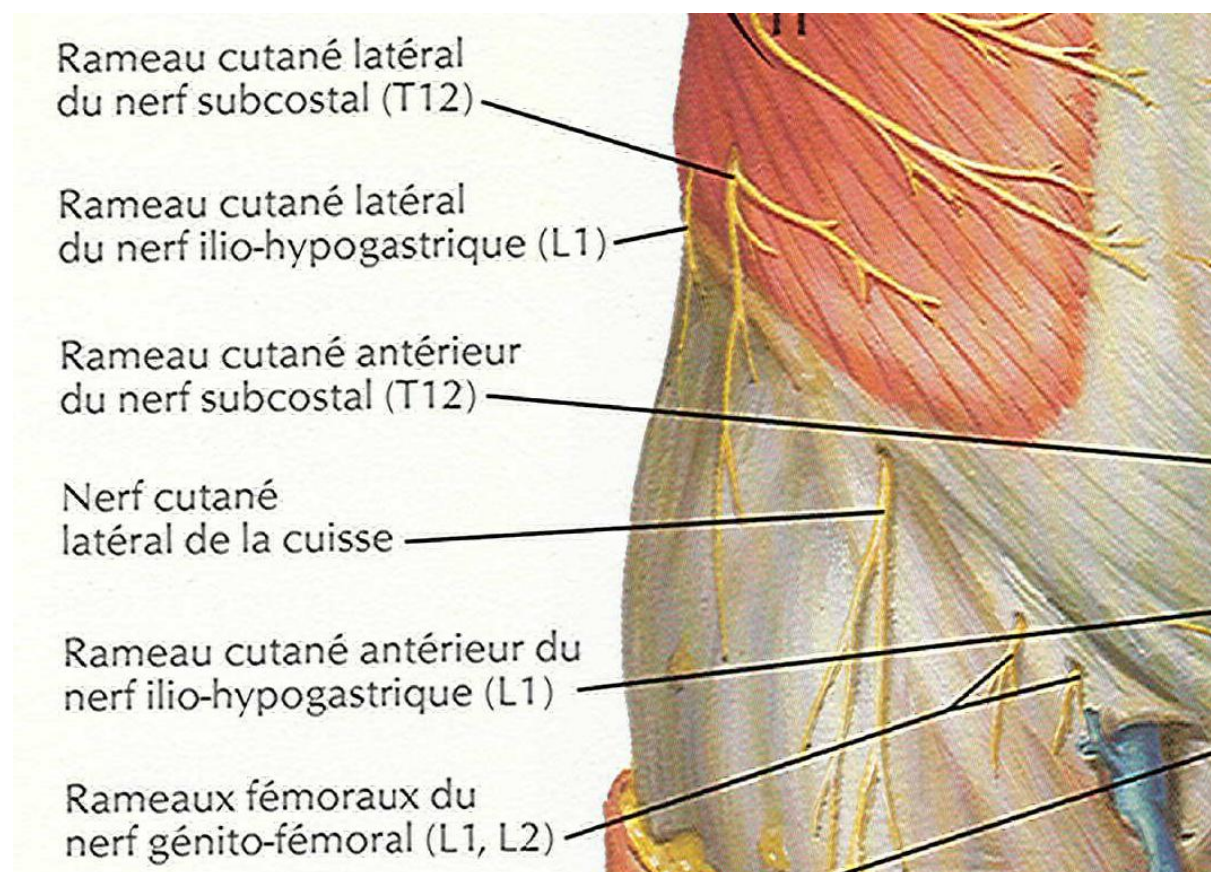


Figure n°25 : principaux nerfs superficiels de la face antérieure du bassin (collection Netter)

Sur la face latérale de l'aile iliaque, recouverte par les muscles fessiers, aucune structure noble superficielle ne barre le passage. Plus en profondeur, à l'approche de la grande incisure ischiatique, il faut se méfier du pédicule glutéal supérieur qui chemine entre moyen et petit fessiers. Dans la

grande incisure ischiatique, on prendra soin de respecter le pédicule glutéal supérieur dans sa portion supérieure, émergeant au dessus du muscle piriforme (m. pyramidal), ainsi que le nerf ischiatique plus distal émergeant en dessous du muscle piriforme (m. pyramidal), accompagné du pédicule glutéal inférieur.

Sur la face médiale, plus en profondeur, il existe des rapports vasculaires, nerveux et viscéraux (cf. figure 26). Le danger viscéral est représenté par le cordon spermatique, qui reste longtemps superficiel sous le muscle oblique externe, puis plonge dans la cavité pelvienne au niveau de l'anneau inguinal profond. La face médiale de l'aile iliaque est recouverte par le muscle iliaque. Le nerf crural (n. fémoral) chemine entre le muscle psoas et le muscle iliaque. Le nerf génito-fémoral chemine sur la face antérieure du muscle psoas. Plus médialement par rapport au muscle psoas, on trouve les vaisseaux iliaques externes (artère latéralement et veine médialement). L'uretère, plus postérieur, croise les vaisseaux iliaques au niveau de l'articulation sacro-iliaque. En avant, bien connue des chirurgiens traitant les fractures du cotyle, se trouve une anastomose vasculaire entre l'artère iliaque externe et l'artère obturatrice, l'artère corona mortis accompagnée de veines homonymes.

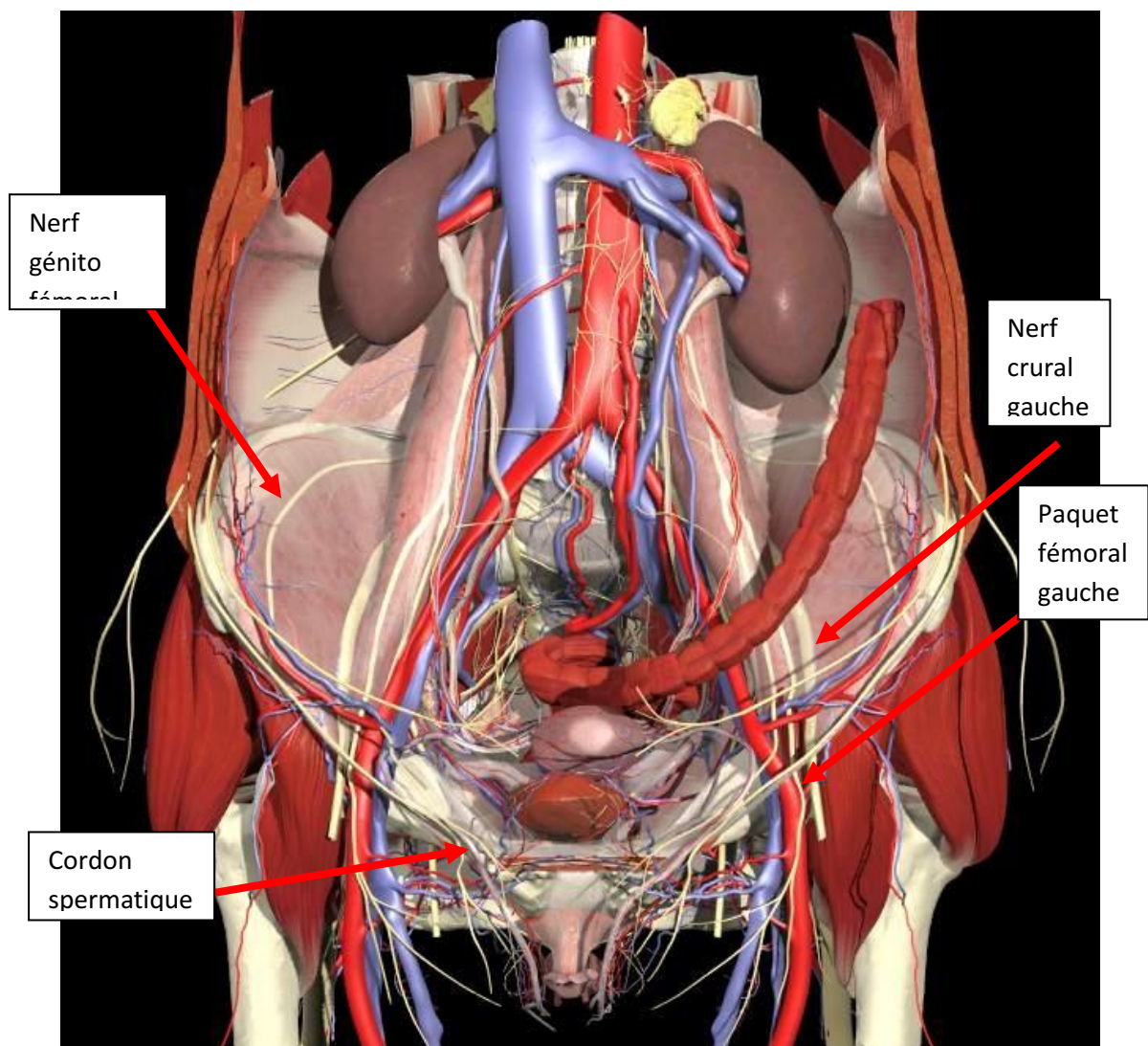


Figure n°26 : principaux dangers sur la face ventrale du bassin (www.univadis.com)

Dans le cas d'une ostéotomie de fermeture postérieure au niveau sacré, il n'existe pas réellement d'élément noble en superficie. L'abord est conduit normalement jusqu'à la surface des arcs postérieurs des vertèbres. Plus en profondeur, jusqu'en S2 le plus souvent, on retrouve le fourreau dural contenant les racines caudales de la queue de cheval. Les branches postérieures des nerfs spinaux, sensibles, sont sectionnées lors de l'abord. Le risque est bien sur représenté par une lésion des éléments radiculaires antérieurs du fourreau dural ou par une plaie de la dure mère, comme dans toute ostéotomie classique. A noter cependant qu'en avant du site d'ostéotomie se situent les troncs lombo sacrés, tendus en arc le long du mur antérieur de S1 (cf. figure 27). Les traits verticaux d'ostéotomie nécessaires à la séparation entre portion rachidienne et portion pelvienne dans l'ostéotomie trans sacrée (OT) en S2 peuvent léser ces nerfs.

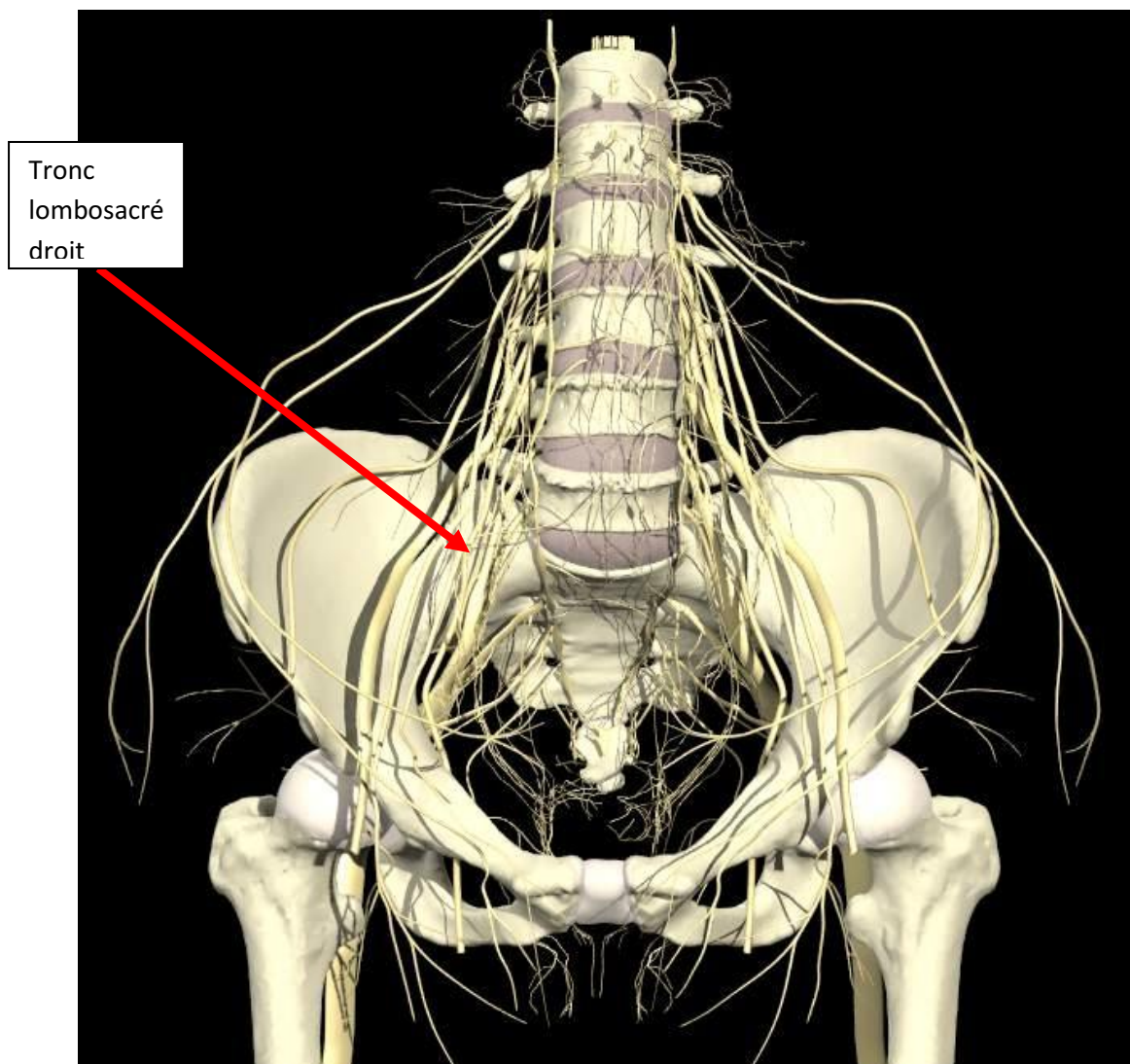


Figure n°27 : principaux nerfs ayant un trajet pelvien : remarquez la position des troncs lombo sacrés en avant du corps de S1 (www.univadis.com)

L'ostéotomie de Salter est conduite depuis la face antérieure de l'aile iliaque, entre l'épine iliaque antéro-supérieure et l'épine antéro-inférieure. Le trait d'ostéotomie est rectiligne, en direction de la grande incisure ischiatique. Après avoir ruginé les surfaces osseuses médiales et latérales de l'aile iliaque, l'ostéotomie est réalisée à l'aide d'ostéotomes droits, sous contrôle de

l'amplificateur de brillance. Dans notre cas particulier, l'ostéotomie n'est pas réalisée jusqu'à la corticale postérieure, afin de pouvoir permettre une clasié de l'aile iliaque.

Les voies d'abord de l'aile iliaque sont multiples. Décrites au travers des voies d'abord du cotyle ou de la hanche, ce sont ces voies qui ont été utilisées initialement par les chirurgiens traitant les dysplasies de hanche ou les fractures du cotyle. La voie ilio-inguinale permet un excellent jour sur la face médiale de l'aile iliaque, mais elle se heurte au risque de lésion du nerf cutané latéral de cuisse, du cordon spermatique, du nerf crural (n. fémoral), des vaisseaux iliaques externes et de l'anastomose corona mortis. Une extension de l'incision sur la face latérale de l'aile iliaque est possible par cette voie. Une incision vers le bas, selon un trajet vertical le long du muscle sartorius, permet de réaliser la voie ilio-fémorale. La voie ilio-fémorale est réalisée sur la face latérale de l'aile iliaque : on rugine les muscles fessiers en direction de la grande échancrure ischiatique et on chemine entre tenseur du fascia lata et sartorius pour dégager l'ensemble de la face latérale de l'aile iliaque. Un abord de la face médiale est possible en réalisant par la même incision une voie ilio-inguinale. Il faut simplement prendre garde à ne pas squelettiser de façon trop importante l'aile iliaque sur ses 2 versants sous peine de risquer une ostéonécrose aseptique. Une autre possibilité d'accès à la face latérale de l'aile iliaque est la voie en U de Ollier modifiée par Sénégas.

Les voies de la hanche peuvent être utilisées pour accéder à l'aile iliaque. La voie de Hueter chemine sous l'épine iliaque antéro-supérieure et passe verticalement entre tenseur du fascia lata et sartorius. La voie de Smith Petersen s'apparente à une voie ilio-fémorale, à la différence près qu'elle expose la face latérale de l'aile iliaque. La voie de Watson Jones est une voie latérale, entre tenseur du fascia lata et moyen fessier.

Au total, les chemins d'accès aux sites d'ostéotomies sont délicats : les voies déjà décrites pour l'accès au cotyle ou à la hanche représentent les possibilités les moins risquées. Il ne nous semble pas possible de proposer une voie nouvelle, avec des risques anatomiques limités, et fondamentalement différente des voies connues, permettant l'accès à l'aile iliaque dans un but d'ostéotomie d'ouverture antérieure. Nous recommandons l'utilisation d'une voie contrôlant la face pelvienne de l'aile iliaque, où se situent la majorité des dangers anatomiques : c'est pourquoi une voie ilio-inguinale ou une voie apparentée nous semble indiquée.

B_ *SIMULATION D'OSTEOTOMIES PELVIENNES*

1. BUTS

Il nous semblait fondamental d'essayer de comprendre quel était le mécanisme d'action des ostéotomies pelviennes, quelle était leur puissance pour modifier les paramètres fondamentaux pelviens. Pour ce faire nous avons tout d'abord travaillé sur des bassins radiologiques et nous avons fait une simulation de ces ostéotomies.

2. MATERIEL ET METHODES

Nous avons utilisé 15 bassins. A partir de scanners thoraco-abdomino-pelviens ou de scanners abdomino-pelviens, nous avons reconstruits le bassin en 3 dimensions.

L'acquisition des scanners se fait sur un scanner 16 barètes Siemens® Somatom Sensation 16®. Les scanners une fois acquis sont exploités sur une station Siemens® Wizard®. Le logiciel Portal SyngoMMWP VE22A® permet un travail des images. Les coupes transversales sont chargées dans l'outil InSpace® du logiciel : cet outil permet une reconstruction 3D à partir des coupes transversales. On modifie le contraste et la transparence du modèle 3D créé en choisissant l'application Spine 6 de l'outil InSpace. Puis le modèle 3D en transparence est mis de profil strict afin d'avoir un sacrum de profil et les têtes de hanche superposées. L'application Spine 6 permet une vue en transparence des ailes iliaques, et ainsi de recréer l'aspect d'une radio de profil du bassin avec le sacrum de profil et les têtes de hanche visibles et superposées. Une fois le modèle 3D bien de profil, et présentant les critères nécessaires au calcul des paramètres pelviens, cette image est enregistrée sous format jpeg.

Nous avons 9 femmes et 6 hommes, âgés entre 24 et 78 ans (moyenne 56 ans). Le seul critère d'inclusion était la capacité à avoir un modèle 3D de profil strict avec les éléments nécessaires au calcul des angles remarquables du bassin suffisamment visibles. 4 bassins n'ont pas présenté ce critère et ont été exclus puis remplacés par 4 autres bassins remplissant la condition. Les critères d'exclusions découlent du critère d'inclusion : antécédent de chirurgie pelvienne ayant modifié l'incidence et/ou la pente sacrée, antécédent de fracture du bassin, prothèse de hanche uni- ou bilatérale. Ces critères d'exclusion sont tous radiologiques. Aucune donnée sur la pathologie ayant motivée le scanner ou sur les antécédents autres que pelviens n'ont été retenues.

L'image jpeg est ensuite ouverte avec un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) QCad® (société RibbonSoft® GmbH, Allemagne). L'image est ouverte grâce à la commande dessin_image. Ce logiciel de CAO permet une reconnaissance de caractéristiques géométriques particulières. On détermine notamment le centre des têtes de hanche par l'application dessin_cercle_3 points qui permet de dessiner le contours des têtes de hanche, puis l'application accrochage_centre qui fixe automatiquement le centre du cercle représentant le pourtour des têtes de hanche, soit le centre de têtes de hanche. Une autre application, dessin_ligne_2 points, permet de tracer le profil du plateau sacré S1 ; l'application accrochage_milieu permet de connaître le milieu du plateau sacré. Enfin l'application dessin_ligne_perpendiculaire, en laissant l'application accrochage_milieu activée, permet de tracer la perpendiculaire au milieu du plateau de S1 (cf. figure 28). Ce modèle présentant le repérage du centre des têtes de hanche et la perpendiculaire au milieu du plateau sacré est enregistré en format dxf.

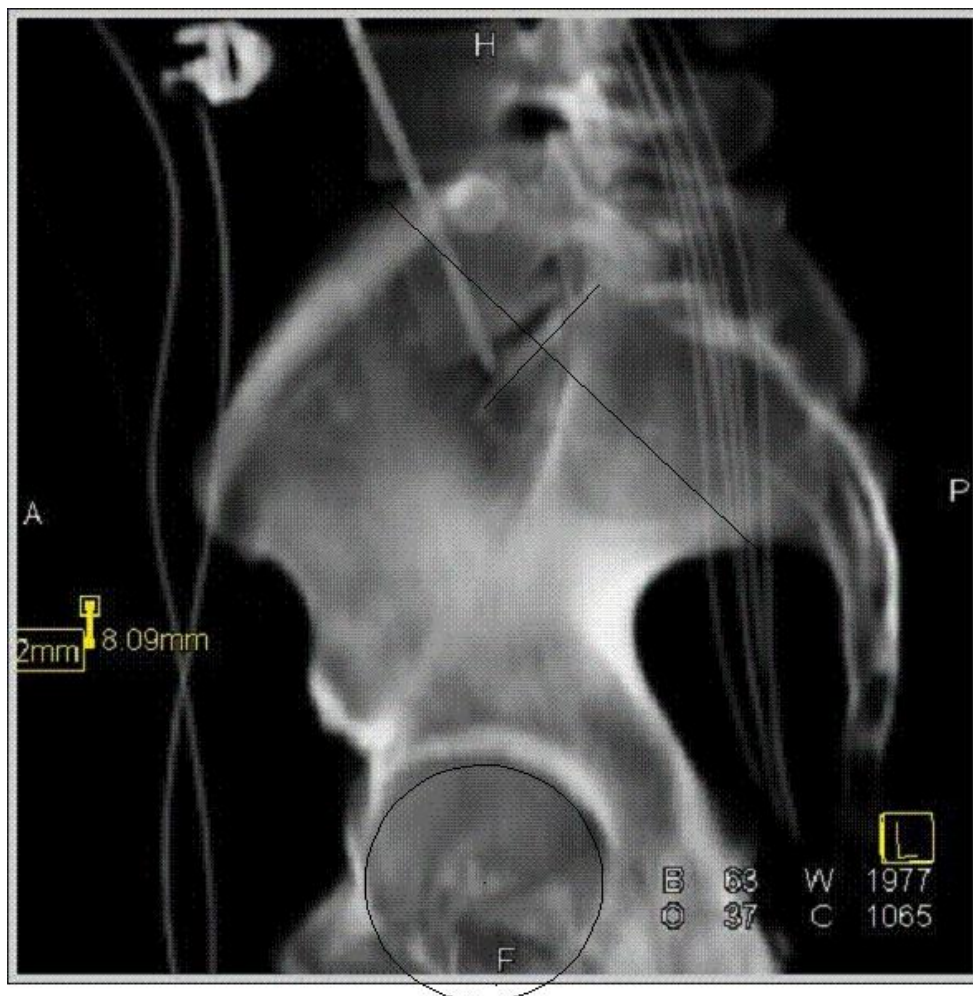
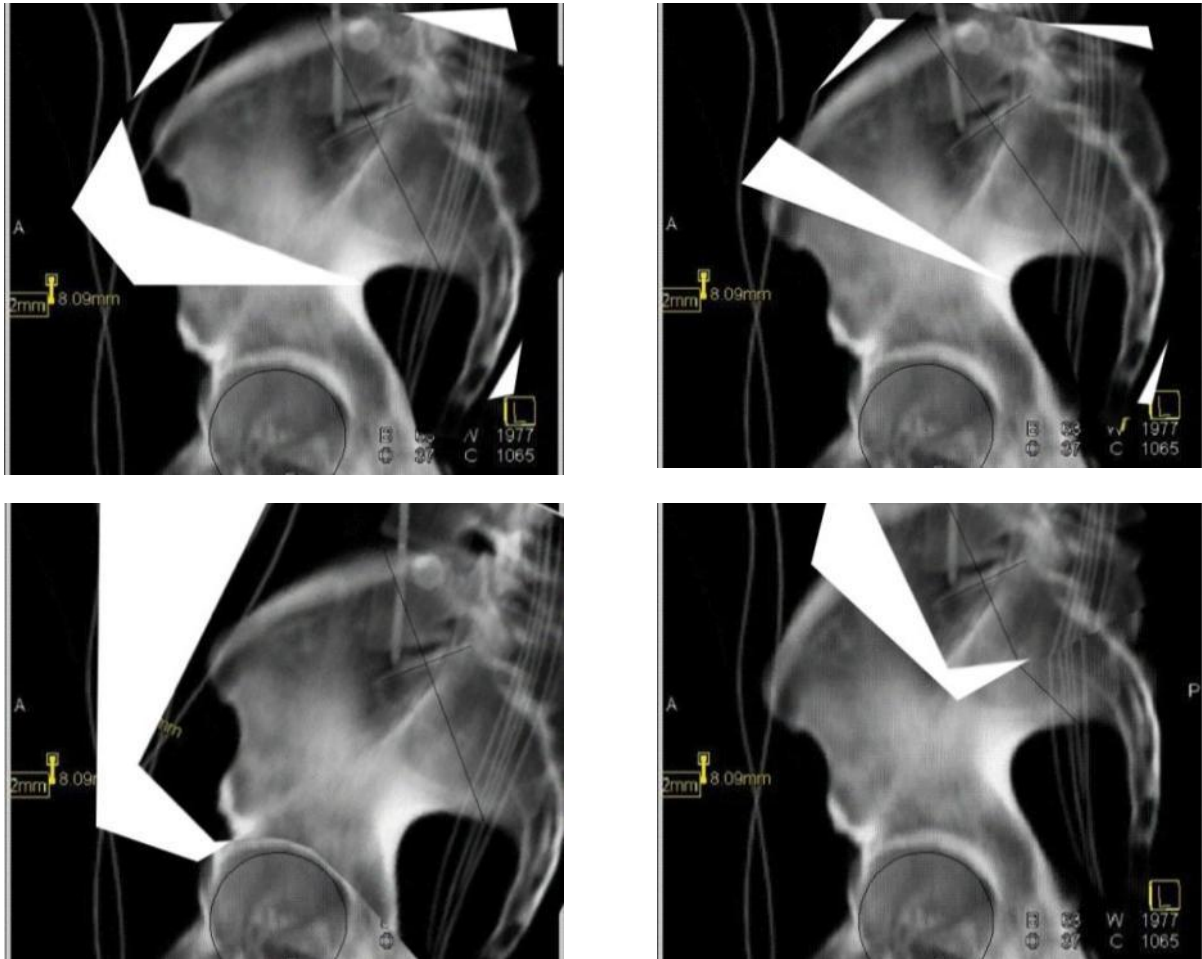


Figure n°28 : aspect de la reconstruction du bassin après repérage du centre de hanche et détermination de la perpendiculaire au centre de S1

Cette image dxf est ensuite convertie en image jpeg grâce au logiciel AnyDWG DXF converter© (société AnyDWG Software©, USA). Puis cette image jpeg est ouverte avec le logiciel Irfanview© afin de supprimer les feuillets inutiles créés par la transformation du format dxf en format jpeg. Enfin cette dernière image est ouverte avec le logiciel GIMP 2.6.6©.

Le logiciel GIMP 2.6.6© permet une simulation d'ostéotomie : on sélectionne un segment de l'image que l'on fait tourner autour d'un centre de rotation que l'on peut déterminer. Ainsi, on simule une ostéotomie selon Salter : le trait d'ostéotomie est simulé passant depuis un point entre les épines iliaques antéro-supérieures et inférieures et la grande échancrure ischiatique. L'ouverture est réalisée par incrémentation de 2° jusqu'à 30°, le point de rotation se situant au niveau de la corticale postérieure pour simuler la clasié d'ouverture antérieure. De même, on simule une ostéotomie de « Salter modifié », le trait d'ostéotomie joignant la grande échancrure ischiatique (point postérieur identique au Salter classique) et un point situé au dessus de l'épine iliaque antéro-supérieure ; l'ouverture est identique, par incrémentation de 2° jusqu'à 30°, en réalisant une clasié postérieure. Nous avons simulé une ostéotomie selon Chiari, curviplane, en découpant la portion supérieure en arc de cercle supra acétabulaire et en réalisant à la fois une translation postérieure et une rotation d'ouverture antérieure du fragment supérieur pour superposer les fragments osseux éparés ; l'ouverture a été réalisé par incrémentation de 4° jusqu'à 32°, et la translation est libre pour

obtenir une congruence maximale entre les fragments. Enfin nous avons simulé une dernière ostéotomie, basée sur une ostéotomie transacrée (OT) en S2 : le trait d'ostéotomie est conduit du bord postérieur de S2 vers la corticale antérieure et on applique une rotation par incrémentation de 2° jusqu'à 30° pour réaliser une clasie de fermeture postérieure.



Figures n°29 : simulations d'une ostéotomie de Salter, d'une ostéotomie de Salter modifiée, d'un Chiari et d'une OT en S2 (dans l'ordre des photos)

Le logiciel GIMP permet le calcul des angles et des distances : on peut ainsi, grâce aux repères fixés plus haut grâce au logiciel QCad®, calculer l'angle d'incidence pelvienne. Le porte à faux de S1 est mesuré grâce au logiciel QCad® et à son application cotation_horizontale ; l'agrandissement est bien sur rapporté lors de cette mesure. On choisit ces 2 valeurs car l'incidence est un paramètre fixe, indépendant de la position du bassin dans l'espace, et parce que le porte à faux de S1, bien qu'étant un paramètre dynamique lié à la position du bassin dans l'espace, est un reflet indirect de la version pelvienne et est aisé à calculer. On ne mesurera pas sur ces reconstructions de bassins la version pelvienne ou la pente sacrée, directement liées au positionnement du bassin dans l'espace, et donc artefactées par la reconstruction en elle-même et la position allongée sur la table de scanner. On mesure pour chaque type d'ostéotomie et pour chaque ouverture l'incidence pelvienne, le porte à faux de S1 et l'ouverture antérieure ou la fermeture postérieure créée par l'ostéotomie. Les rapports d'agrandissements sont appliqués.

3. RESULTATS

a. incidence

La population étudiée présente une valeur moyenne d'incidence de 59,74° (écart-type= 12,53°, valeurs extrêmes= 38,8°-81,8°). La valeur moyenne du porte à faux de S1 est de 30,31mm (écart-type= 16,46mm, extrêmes= 10,5mm-63,9mm). Les résultats sont rapportés dans l'annexe III.1.

L'incidence pelvienne (IP) est diminuée dans chaque ostéotomie, de façon variable selon le site et la technique. On remarque que l'incidence pelvienne (IP) suit une courbe dans la formule générale est du type :

$$IP \text{ finale} = IP \text{ initiale} - a \times \text{ouverture antérieure}$$

avec a= coefficient variable (cf. figure 30)

dans les cas d'ostéotomie de Salter ($r^2=0,9955 \pm 0,002$), Salter modifié ($r^2=0,9926 \pm 0,008$) ou en cas d'OT S2 ($r^2=0,9967 \pm 0,001$). Au travers du coefficient « a », on reflète la puissance de chaque type d'ostéotomie à faire varier l'incidence.

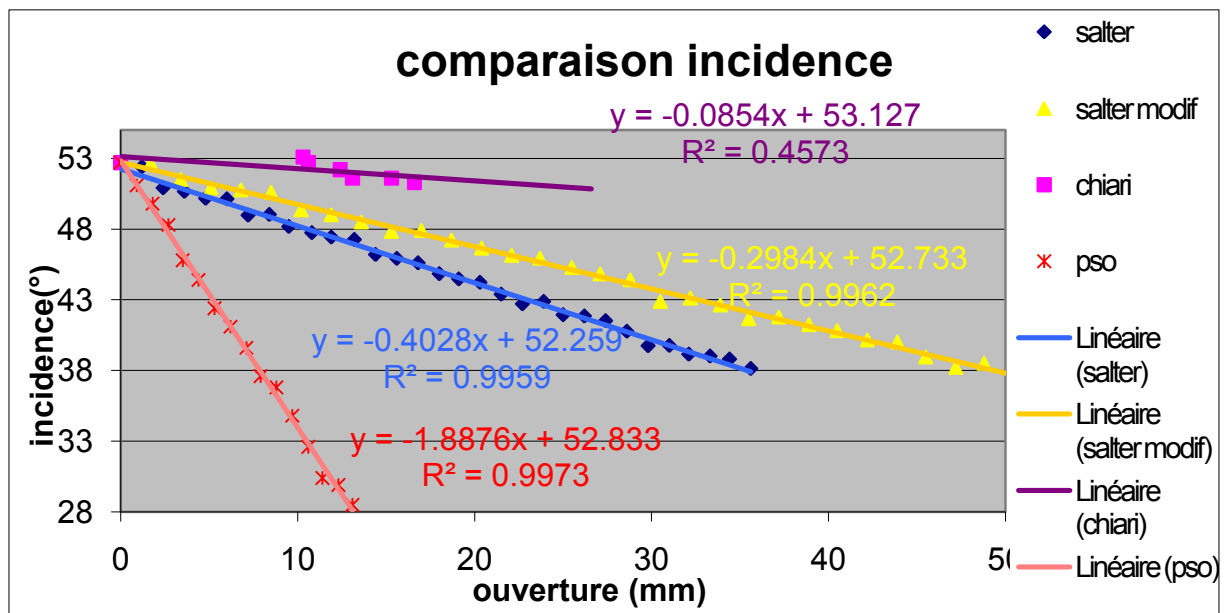


Figure n°30 : aspect des courbes d'incidence des différents types d'ostéotomies en fonction des ouvertures réalisées

L'ensemble des évolutions des incidences est reporté en annexe I.

Sur la figure 31, on applique les légendes :

l= longueur d'ostéotomie (mm)

α = angle d'ouverture (°)

o= ouverture antérieure (mm)

Par construction géométrique, on a la relation suivante : $\sin \alpha/2 = o/2l$, donc $o = 2l \sin \alpha/2$

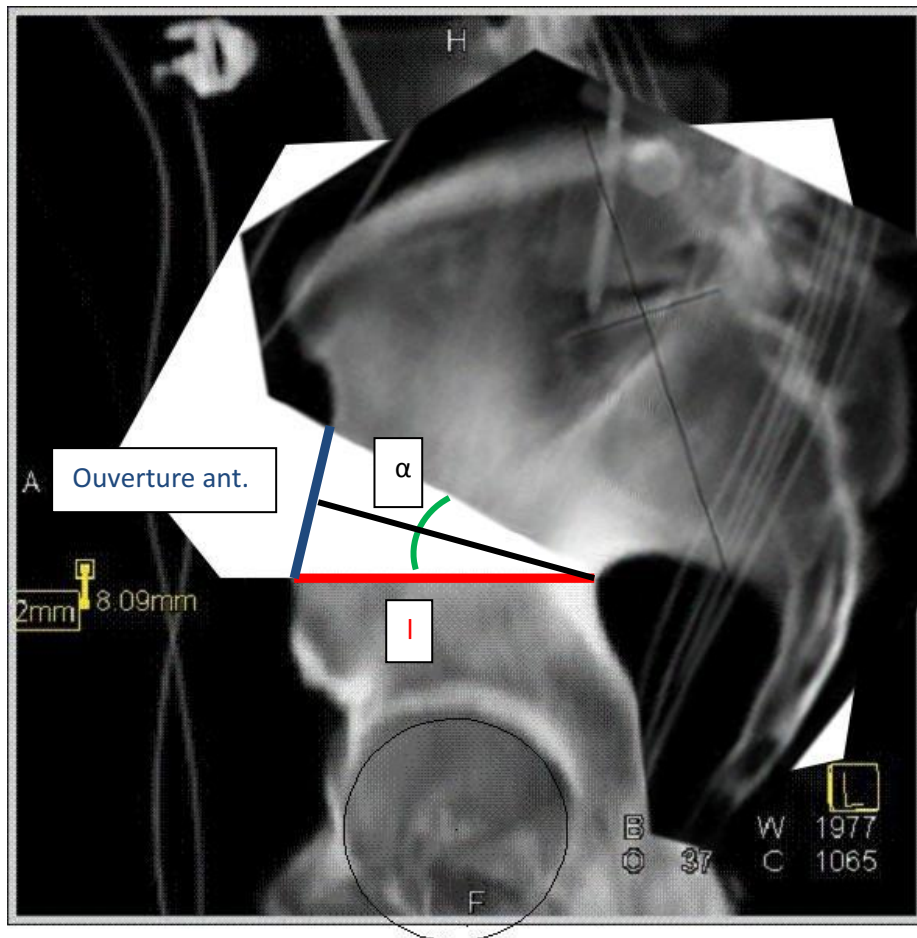


Figure n°31 : construction géométrique

Pour confirmer notre calcul géométrique, nous avons pris un échantillon de 150 mesures d'ouverture antérieure au cours des simulations d'ostéotomie soit de Salter soit de Salter modifié. Nous avons comparé ces valeurs issues d'une mesure sur les radios aux valeurs d'ouverture calculées selon la formule $o = 2l \sin \alpha/2$. Nous avons voulu savoir s'il existait une corrélation entre ces 2 valeurs. L'application d'un test de Pearson rend un coefficient de corrélation $r = 0,9993$ ($p < 0,001$) et la détermination du coefficient de détermination r^2 rend $r^2 = 0,998637656$ ($p < 0,001$).

De la même manière, l'incidence pelvienne évolue selon une équation du type $IP_{finale} = IP_{initiale} - a' \times \text{fermeture postérieure dans les OT}$ (cf. figure 32).

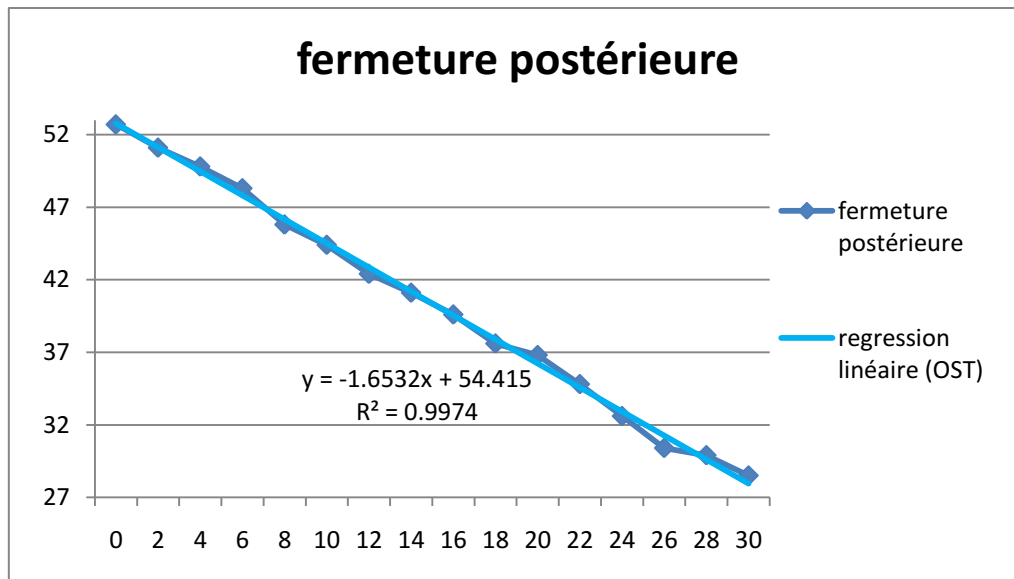


Figure n°32 : évolution de l'incidence dans les OT en fonction de l'angle de fermeture

L'angle d'ostéotomie est ici la valeur connue : classiquement, on planifie l'OT en calculant l'angle nécessaire pour l'OST. On a donc une relation simple ici :

Incidence finale = $-a' \times \text{fermeture postérieure} + \text{incidence initiale}$, où la fermeture postérieure est exprimée en degré (°). La valeur moyenne du coefficient directeur « a' » est de $1,62 \pm 0,09$.

Pour l'ostéotomie curviplane de Chiari, la valeur moyenne du coefficient de direction appliqué à une régression linéaire est faible ($r^2 = 0,3693$), avec une répartition beaucoup plus importante (écart type = 0,2691).

b. Porte à faux de S1

De la même façon, nous avons voulu étudier l'évolution du paramètre porte à faux de S1. Encore une fois, ce paramètre ne peut pas s'approcher de façon juste par une étude ne prenant pas en compte l'équilibre global du sujet, sachant que ce paramètre est dépendant de la position du sujet dans l'espace. Il s'agit donc de déterminer des tendances d'évolution en fonction du type d'ostéotomie et de l'importance de l'ouverture créée (cf. figure 33).

Dans les ostéotomies de Salter et Salter modifié, on retrouve des portes à faux de S1 qui évoluent de façon linéaire ($r^2 = 0,997$ et $r^2 = 0,994$ respectivement) en fonction de l'ouverture antérieure. Les portes à faux des 2 ostéotomies ont des équations du type

$$\text{Porte à faux final} = b \times \text{ouverture} + \text{porte à faux initial}$$

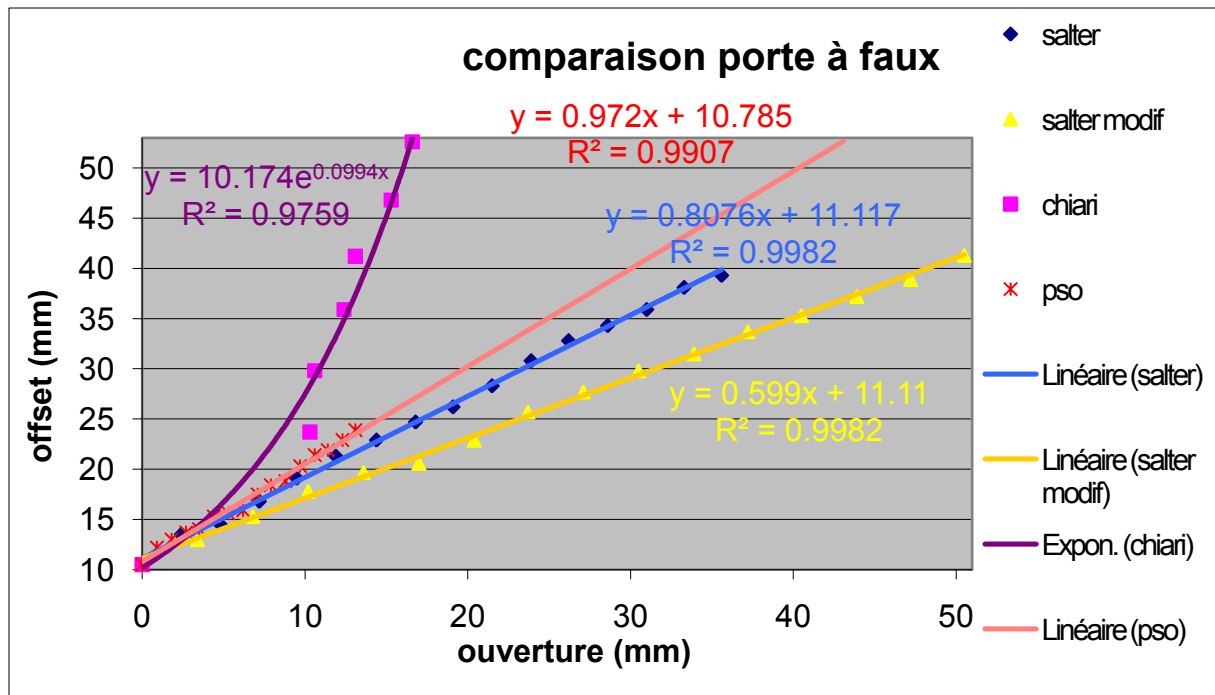


Figure n° 33 : aspect des évolutions des portes à faux selon le type d'ostéotomie réalisée

L'ensemble des évolutions des portes à faux est reporté en annexe I.

Dans l'ostéotomie de fermeture postérieure en S2, on a là aussi une relation linéaire ($r^2=0,9911$) entre angle de fermeture et porte à faux, du type

$$\text{Porte à faux final} = b' \times \text{fermeture} + \text{porte à faux initial}$$

La détermination d'une valeur de « b' » est en moyenne de 0,9964 avec un écart type de +/- 0,1944.

Dans l'ostéotomie de Chiari, la relation qui lie le porte à faux et l'ouverture antérieure est du type

$$\text{Porte à faux} = \text{porte à faux initial} * e^{b'' * \text{ouverture}} \quad (r^2 = 0,961)$$

La détermination du coefficient « b'' » montre ici encore une dispersion importante (écart type = +/- 0,023 pour un coefficient moyen de 0,057).

4. DISCUSSION

a. incidence

La population étudiée est plutôt dans une tranche d'incidence forte. Cette constatation nous renforce dans le sentiment qu'une ostéotomie pelvienne, dont le but est de diminuer l'incidence, est fondée chez ces patients : on tente, en théorie tout au moins, de ramener l'incidence vers des valeurs « normales ».

Dans les ostéotomies de Salter ou Salter modifié, il nous est apparu que l'ostéotomie la plus puissante pour un bassin donné, c'est-à-dire celle permettant une ouverture antérieure plus importante à partir d'un angle de clasp postérieure identique, est l'ostéotomie de Salter. Nous avons voulu savoir si le paramètre « a » dans l'équation de la droite régissant l'incidence dépendait de la longueur d'ostéotomie. En effet, on se sert en chirurgie de coin antérieur ou d'une cage dont on connaît la hauteur : on cherche à trouver une relation permettant de prédire l'incidence finale en fonction du paramètre que l'on maîtrise lors de la chirurgie, la hauteur d'ouverture antérieure. Si l'on trace l'équation de l'incidence en prenant en compte cette fois l'ouverture non plus en mm mais en degré, on s'aperçoit que les droites concernant l'ostéotomie de Salter et celle pour l'ostéotomie de Salter modifié sont superposées : le paramètre « a » ne dépend pas de la valeur angulaire mais de la longueur de l'ostéotomie.

La comparaison des valeurs d'ouverture mesurées et calculées selon la formule

$$\text{Ouverture} = 2l \sin \alpha/2$$

nous renvoie un coefficient de corrélation élevé, proche de 1 : ces 2 valeurs sont extrêmement liées, il n'existe pas de différence significative entre les 2 valeurs. On peut donc dire que la formule théorique est valide.

Dans l'équation de l'incidence pelvienne (IP finale = IP initiale - a × ouverture antérieure), le coefficient « a » vaut donc $a = \frac{\text{IP initiale} - \text{IP finale}}{o}$, soit

$$a = \frac{\text{IP initiale} - \text{IP finale}}{2l \sin \alpha/2}$$

Le coefficient est donc bien inversement proportionnel à la longueur de l'ostéotomie dans le cas d'une ostéotomie d'ouverture antérieure. Donc en cas d'ostéotomie de Salter ou Salter modifié, on a un algorithme permettant de prédire l'incidence finale à partir de 2 mesures simples : la longueur d'ostéotomie et l'angle d'ouverture. Cependant l'angle d'ouverture n'est pas calculable à priori. On cherche donc une relation indépendante de ce facteur.

On suppose maintenant que le coefficient directeur de la droite d'incidence est inversement proportionnel à la longueur d'ostéotomie (on a vu en effet que plus l'ostéotomie est longue, moins l'incidence varie). On cherche maintenant à savoir s'il n'existe pas un coefficient constant, indépendant de la longueur. Le coefficient « a » vaudrait donc $a = \lambda/l$. L'équation de la droite s'écrit alors

$$\text{IP finale} = \text{IP initiale} - \frac{\lambda \times \text{ouverture antérieure}}{l}$$

Nous avons donc comparé les coefficients directeurs corrigés par la longueur des ostéotomies de Salter et de Salter modifié (respectivement $\lambda_{\text{Salter}} = aS/IS$, $\lambda_{\text{Salter modif.}} = aS'/IS'$). Nous obtenons une valeur moyenne de $\lambda S = -29,46306 \pm 2,85899548$ et de $\lambda S' = -29,6978533 \pm 2,87000845$. En appliquant un test de Pearson, le coefficient de corrélation entre λS et $\lambda S'$ r vaut 0,8988856, le coefficient de détermination $r^2 = 0,80799532$ ($p < 0,001$). Ces 2 valeurs sont donc liées et on peut affirmer qu'elles sont constantes.

L'ensemble des coefficients directeurs des droites de régression linéaire selon le type d'ostéotomie est reporté dans l'annexe III. 2.

On a donc une équation qui s'écrit au final

$$\text{Incidence finale} = \text{incidence initiale} - \frac{29,58 \times \text{ouverture antérieure}}{l}$$

où les incidences sont en degré (°), l'ouverture antérieure en mm, l longueur d'ostéotomie en mm.

On peut donc déterminer l'ouverture antérieure nécessaire, et donc la taille de l'implant à interposer, en fonction de l'incidence que l'on veut obtenir.

En ce qui concerne les ostéotomies trans pédiculaires en S2, le coefficient de direction de la droite de régression linéaire r^2 est estimé à $r^2=0,9967 \pm 0,001$: il s'agit d'une équation permettant de prédire avec certitude et beaucoup de précision la valeur finale de l'incidence.

$$\text{Incidence finale} = \text{incidence initiale} - 1,62 \times \text{fermeture postérieure}$$

avec la fermeture en degré (°) dans les OT.

Si l'on veut exprimer la fermeture postérieure en mm (hauteur de la résection de la lame et de l'arc postérieur), comme dans les techniques de programmation des OTP de Ondra, on retrouve une équation du type $I_{\text{fin.}} = -\lambda/l \times \text{fermeture} + I_{\text{ini.}}$ (où l=épaisseur du sacrum en mm et fermeture en mm), avec un coefficient λ calculé à 46,94. On remarque ici que l'OT est beaucoup plus puissante que l'ostéotomie de Salter pour modifier l'incidence, le coefficient étant 1 fois ½ plus grand que celui de Salter. Le coefficient de direction r^2 est toujours aussi élevé ($r^2=0,9967 \pm 0,001$), preuve que l'équation est fiable.

Pour l'ostéotomie de Chiari, notre modélisation de cette ostéotomie ne permet pas une prédiction fiable de l'incidence finale. Ou plus concrètement, l'ostéotomie de Chiari ne se prête pas à une planification de l'ouverture à donner afin d'atteindre une incidence finale prévue. En effet, il nous est apparu très délicat de bien régler, de façon virtuelle, cette ostéotomie afin d'obtenir à la fois une excellente congruence des surfaces osseuses mais aussi une grande modification de l'incidence. On remarque par ailleurs que l'incidence évolue peu au cours de l'ostéotomie, le coefficient directeur de la droite régnant la droite d'incidence (incidence finale= incidence initiale – $a'' \times$ ouverture) est proche de 0 en moyenne (« a'' »= 0,0042). Parce que cette technique est difficile techniquement, comme l'ont souligné les auteurs ayant décrit cette méthode dans le traitement des hanches dysplasiques, parce que le résultat de cette technique est difficile à programmer et parce qu'elle n'a selon notre simulation que peu de puissance quant à la modification de l'incidence, nous ne pensons pas que cette technique chirurgicale soit à utiliser de façon préférentielle.

b. Porte à faux de S1

Pour les ostéotomies de Salter et Salter modifié, nous avons retrouvé ici aussi une différence dans le coefficient « b » en fonction de la longueur d'ostéotomie : plus la longueur d'ostéotomie est importante, moins le porte à faux est modifié à ouverture antérieure égale. On pouvait penser que les coefficients étaient là aussi inversement proportionnels à la longueur de l'ostéotomie : cependant le calcul des coefficients corrigés par la longueur montre une dispersion importante des valeurs. La valeur moyenne des coefficients corrigés des ostéotomies de Salter ou Slater modifié est de 51,71 avec un écart type important, +/- 7,77. La valeur du coefficient de Pearson entre ces coefficients est de $r=0.956$, le coefficient de détermination $r^2=0,914$, preuve qu'il existe un coefficient commun entre les ostéotomies par ouverture antérieure. Cependant la dispersion importante que reflète l'écart type montre que la relation qui existe entre la longueur de l'ostéotomie et le coefficient directeur de la courbe de porte à faux est plus complexe qu'une valeur $1/\text{longueur d'ostéotomie}$.

L'équation de la courbe d'ouverture antérieure ne peut donc pas s'écrire

$$\text{Porte à faux final} = \lambda/l \times \text{ouverture} + \text{porte à faux initial}$$

où λ est un facteur constant.

Pour l'ostéotomie trans pédiculaire S2, la régression est aussi linéaire avec un coefficient directeur plus grand par rapport aux ostéotomies d'ouverture antérieure. Cette ostéotomie est là aussi plus puissante que les ostéotomies d'ouverture antérieure pour modifier le porte à faux de S1.

Dans l'ostéotomie de Chiari, la courbe de régression du porte à faux suit une variation logarithmique, et le coefficient directeur moyen de cette courbe a une dispersion importante (écart-type valant la moitié de la valeur moyenne du coefficient). Du fait de cet écart type important, on retrouve les difficultés déjà évoquées avec l'incidence, à savoir une incapacité à prédire l'évolution du porte à faux de S1 avec cette technique chirurgicale. Cependant, il apparaît nettement que l'ostéotomie de Chiari est l'ostéotomie la plus puissante pour faire varier le porte à faux (évolution exponentielle).

5. CONCLUSIONS

Nous avons réussi à trouver un outil de planification des ostéotomies d'ouverture antérieure, quel que soit leur site. A partir d'une mesure simple, la longueur l de l'ostéotomie à appliquer, on peut déterminer très facilement et avec beaucoup de précision et de fiabilité la hauteur de l'ouverture antérieure pour obtenir une incidence cible, selon l'équation

$$\text{Incidence finale} = \text{incidence initiale} - \frac{29,58 \times \text{ouverture antérieure}}{l}$$

Dans le cas d'une OST de S2, le paramètre habituellement contrôlé est l'angle de fermeture. L'équation dans ce cas est

$$\text{Incidence finale} = \text{incidence initiale} - 1,62 \times \text{fermeture postérieure}$$

où la fermeture est en degré (°). Une autre planification peut être réalisée dans ce cas d'ostéotomie si l'on veut connaître la hauteur de mur postérieur à ôter : incidence finale= $-46,94/l \times \text{résection postérieure} + \text{incidence initiale}$, avec « l » représentant l'épaisseur du sacrum en S2 et la résection postérieure de la lame exprimée en mm.

Nous avons vu que l'ostéotomie de Chiari est difficile techniquement, peu puissante quant à la modification de l'incidence et très difficile à planifier. Ce geste peu sûr et au résultat incertain n'est pas, selon notre simulation, à conseiller dans le cadre d'une modification chirurgicale de l'incidence.

En ce qui concerne le porte à faux de S1, on retrouve des conclusions similaires : pour les ostéotomies d'ouverture antérieures, plus la longueur d'ostéotomie est importante, moins le porte à faux est modifié ; la fermeture postérieure (OT en S2) permet une évolution plus puissante des valeurs du porte à faux. En revanche, notre modélisation ne nous a pas permis de trouver une relation simple entre porte à faux et valeur de l'ouverture antérieure (en mm) ou fermeture postérieure (angle en degré) comme cela avait été le cas pour les incidences. Enfin, on retrouve une impossibilité à la planification de l'évolution du porte à faux de S1 avec la technique de Chiari, ce qui renforce notre sentiment de technique complexe.

C_ *OSTEOTOMIES PELVIENNES SUR PIECES ANATOMIQUES*

1. BUTS

Nous avons émis des hypothèses fortes suite à la simulation des ostéotomies à partir d'images scannographiques. Nous voulions savoir si l'incidence et le porte à faux de S1 suivaient les mêmes lois d'évolution sur cadavre, et ainsi valider nos formules théoriques.

2. MATERIEL ET METHODES

Nous avons utilisé 6 bassins cadavériques. Il s'agissait de 4 femmes et 2 hommes. La taille moyenne est de 168,8 cm +/- 10,2, extrêmes= 155-182 cm ; le poids moyen est de 67 kg +/- 13,6, extrêmes= 50-84 kg ; l'âge moyen est de 80,5 ans +/- 4,7, extrêmes= 74-88 ans.

Chaque bassin comprend les parties proximales des 2 fémurs, les têtes de hanche, l'ensemble pelvien et les dernières vertèbres lombaires. Les bassins sont squelettisés de façon rigoureuse, en épargnant les capsules articulaires des hanches et l'ensemble des ligaments sacro-iliaques (cf. figure 34). Puis les bassins sont coupés en 2 dans le sens sagittal par une ostéotomie médio sacrée et une disjonction symphysaire pubienne. Les bassins sont ensuite fixés par des vis sur un socle en bois, la partie sacrée contre le bois. Chaque hémibassin est numéroté afin de savoir de quel corps il provient. Les bassins sont conservés dans une solution formolée et en frigo avant leur utilisation.

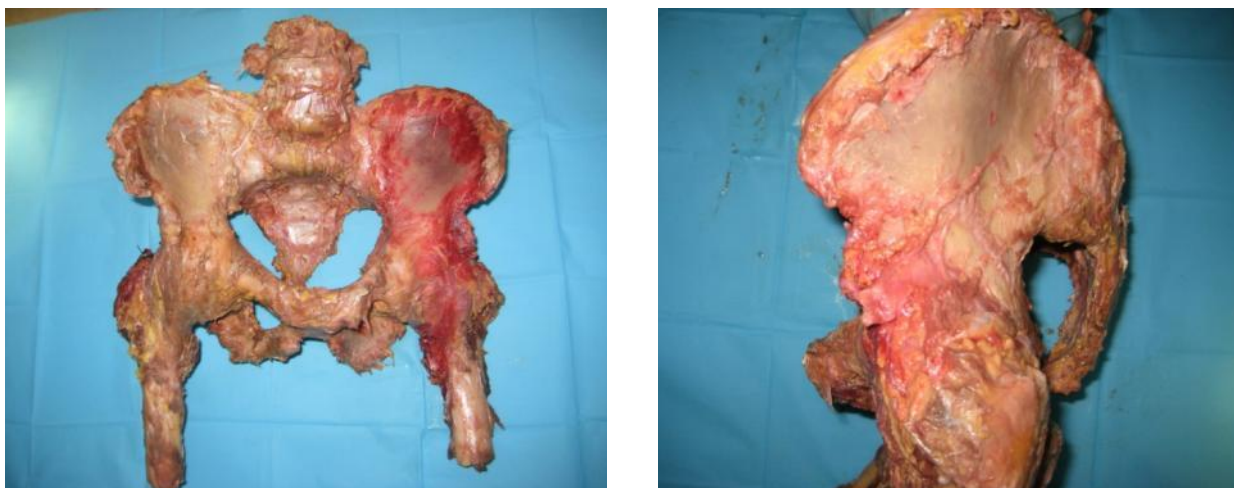


Figure n° 34 : aspect d'un bassin squelettisé, de face et de profil

Puis on réalise une ostéotomie par hémibassin : le corps 1 permet une ostéotomie de type Salter et une ostéotomie de Salter modifié, le corps 2 un Salter et un Chiari, le n°3 un Salter modifié et un Chiari, le corps 4 un Slater modifié et une OT, le corps 5 une OT et un Chiari, et le corps 6 un Salter et une OT (cf. figure 35). Le maintien des 2 portions libérées est assuré par du fil de suture Mersuture© 3 au niveau de la charnière pour les ostéotomies de Salter et Salter modifié, par une fixation rachidienne CD Horizon© (Medtronic Sofamor Danek©, USA) dans le cas d'une OT et par congruence simple dans les ostéotomies de Chiari. Le but de ces ostéotomies de 2 types sur un même bassin est de comparer les compétences de 2 types d'ostéotomie à faire varier à la fois incidence et porte à faux de S1.

Une fois les ostéotomies réalisées, on procède à une ouverture antérieure progressive. Des radios de sacrum de profil sont réalisées pas à pas à l'aide d'un appareil de radios Philips© Diagnost 96 ©. Ces radios sont de profil strict puisque la section plane d'ostéotomie sagittale médio sacrée repose sur un plan horizontal en bois. Les radios sont exploitées à l'aide du système Fuji ADR 1000©. Afin de respecter les agrandissements et pour faciliter les mesures, une réglette dont la dimension est connue est radiographiée dans le même plan que le bassin du sujet (cf. figure 36).



Figures n° 35 : aspects des ostéotomies de Salter, Salter modifiée, Chiari et OT sur cadavre respectivement

Les radios sont exportées sous format jpeg, puis ouvertes avec le logiciel QCad®. Ce logiciel permet la détermination du centre de hanche et de la perpendiculaire au milieu du plateau sacré comme décrit dans la partie « simulation ». De même, il permet une mesure du porte à faux de S aisément. Une fois les radios modifiées avec QCad®, elles sont exportées en format dxf puis converties en jpeg avec AnyDWG converter®. Les radios sont ouvertes avec Irfanview®, puis analysées avec GIMP 2.6.6© afin de déterminer l'incidence pelvienne. Les données d'incidence et de porte à faux sont exploitées avec Excel® (Microsoft Inc.©).

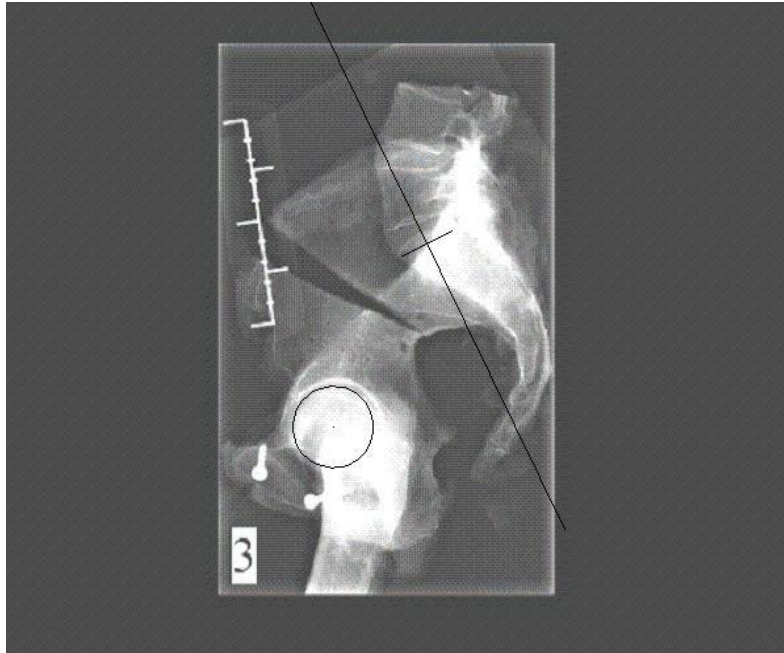


Figure n°36 : exemple de radio de pièce cadavérique avec une règle radio opaque (Salter modifié)

3. RESULTATS

a. Incidence pelvienne

Pour le sujet n°1, on retrouve une relation linéaire de type incidence finale = $-a \times$ ouverture antérieure + incidence initiale à la fois pour l'ostéotomie de Salter et pour l'ostéotomie de Salter modifié. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-0,4245$ dans l'ostéotomie de Salter et $a=-0,2916$ dans le Salter modifié.

Le sujet n°2 compare une ostéotomie de Chiari à un Salter. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-0,373$ dans l'ostéotomie de Salter et $a=-0,1187$ dans le Chiari.

Le sujet n°3 compare une ostéotomie de Salter modifié à une ostéotomie de Chiari. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-0,317$ dans l'ostéotomie de Salter modifié et $a=0,1589$ dans le Chiari.

Sur le sujet n°4, on compare une ostéotomie de Slater modifié à une OT en S2. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-0,314$ dans l'ostéotomie de Salter modifié et $a=-0,0867$ dans l'ostéotomie trans pédiculaire (OT).

Le sujet n°5 compare une OT à une ostéotomie de Chiari. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-1,1596$ dans l'OT et $a=-0,2035$ dans le Chiari.

Sur le sujet 6, on compare l'OT à une ostéotomie de Salter. Le coefficient directeur de la droite de régression vaut $a=-0,7391$ dans l'OT et $a=-0,3334$ dans le Salter.

L'ensemble des graphiques comparant les évolutions des incidences en fonction du type d'ostéotomie réalisée est reporté en annexe II, l'ensemble des coefficients directeurs des droites de régression linéaire se trouve dans l'annexe III.3.

b. Porte à faux de S1

Les porte à faux suivent une régression linéaire de forme porte à faux final $=b \times$ ouverture + porte à faux initial dans les ostéotomies de Salter et Salter modifié, avec des coefficients dépendants de la longueur de l'ostéotomie : la moyenne des coefficients de détermination des droites de régression vaut 0,9157 et 0,9482 pour le Salter et le Salter modifié respectivement. Les coefficients, sur un même bassin, ne sont pas égaux : sur le corps 1, le coefficient « b » vaut 0,8663 dans le Salter et 0,3637 dans le Salter modifié.

Le porte à faux évolue aussi de façon linéaire dans les OT ($r^2 \sim 0,86$ en moyenne). Sur le corps 4, le coefficient directeur est différent de celui d'un Salter modifié ($b=1,9176$ et $b=0,3198$ respectivement). Sur le corps 5, le coefficient directeur est différent de celui d'un Chiari ($b=-1,1596$ et $b=1,8937$ respectivement). Sur le corps 6, le coefficient directeur est différent de celui d'un Salter ($b=-0,7391$ et $b=0,3741$ respectivement).

Le porte à faux après ostéotomie de Chiari semble évoluer ici de façon linéaire, avec un coefficient de détermination plus faible que les autres ostéotomies (r^2 moyen = 0,7373). Sur le corps 2, le coefficient directeur est différent de celui d'un Salter ($b=2,0141$ et $b=0,98$ respectivement). Sur le corps 3, le coefficient directeur est différent de celui d'un Salter modifié ($b=2,3545$ et $b=1,1327$ respectivement).

L'ensemble des graphiques comparant les évolutions des portes à faux en fonction du type d'ostéotomie réalisée est reporté en annexe I.

L'ensemble des valeurs est résumé dans le tableau n°3.

4. DISCUSSION

a. Incidence pelvienne

L'incidence sur le sujet 1 se comporte dans l'ostéotomie de Salter comme dans l'ostéotomie de Salter modifié : la régression est linéaire. Cependant, on remarque ici aussi que l'ostéotomie dont le trait est le plus long est moins puissante pour faire varier l'incidence : l'ostéotomie de Salter modifié est plus « faible » que le Salter classique. Ces résultats vont dans le sens des résultats théoriques.

Sur le sujet n°2, on remarque ici encore que l'ostéotomie de Chiari évolue de façon imprévisible (le coefficient de corrélation r^2 est faible), et pour le moins est bien moins puissante qu'une ostéotomie de Salter.

Sur le sujet n°3, on note ici encore un comportement aléatoire de l'ostéotomie de Chiari (coefficient directeur de la droite positif, r^2 faible). Elle est par ailleurs moins performante pour modifier l'incidence qu'une ostéotomie de Salter modifiée.

Sur le sujet n°4, on est frappé par la nette différence de puissance entre les 2 ostéotomies, l'OT étant beaucoup plus à même de modifier l'incidence. D'autre part, l'incidence évolue bien de façon linéaire avec la fermeture postérieure, comme évoqué dans la partie théorique. Ces 2 résultats soulignent les conclusions déjà évoquées dans la partie théorique.

Le sujet 5 va dans le sens des conclusions déjà évoquées : encore une fois, le Chiari a un comportement imprévisible ($r^2=0,495$). D'autre part, l'OT est bien plus puissante pour modifier l'incidence que le Chiari ($a=-1,1596$ et $a=-0,2035$ respectivement).

Sur le sujet 6, on remarque que l'OT est plus puissante que l'ostéotomie de Salter par rapport à l'incidence.

Au final, on retient de ces ostéotomies sur cadavre que l'OT est bien l'ostéotomie la plus puissante pour modifier l'incidence, devant l'ostéotomie de Salter et l'ostéotomie de Salter modifiée, puis l'ostéotomie de Chiari. Ces données confirment les résultats du modèle théorique. D'autre part, l'ostéotomie de Chiari apparaît bien sur pièce cadavérique comme étant de manipulation très délicate, à la fois pour bien régler la congruence des surfaces osseuses, mais aussi pour prédire l'évolution de l'incidence au fil de l'ouverture. En effet, le coefficient de détermination moyen des courbes d'évolution de l'incidence au cours du Chiari est de $r^2=0,2234 \pm 0,2481$: non seulement le coefficient est faible, mais en plus la distribution est grande, ce qui confirme notre impression d'imprévisibilité du Chiari. Les ostéotomies d'ouverture antérieures répondent bien à une équation du type incidence finale = $-a \times$ ouverture + incidence initiale ($r^2= 0,9832 \pm 0,017$ et $r^2= 0,9664 \pm 0,025$ pour le Slater et le Salter modifié respectivement). De même, l'OT a une équation de la forme incidence finale = $-a' \times$ fermeture angulaire + incidence initiale ($r^2= 0,9938 \pm 0,004$).

Les ostéotomies sur cadavre confirment les conclusions du modèle théorique par rapport à l'incidence.

On cherche à savoir si le coefficient théorique calculé tout à l'heure est retrouvé ici. On fait la moyenne des coefficients directeurs corrigés des ostéotomies de Salter et de Salter modifié et on retrouve respectivement des coefficients égaux à $29,66 \pm 0,95$ et $30,94 \pm 1,6$, soit en moyenne un coefficient de 30,3. La valeur de ce coefficient est proche de la valeur théorique (29,58). On souligne que le modèle cadavérique confirme notre équation proposée précédemment conduisant l'évolution de l'incidence au fil d'une ostéotomie d'ouverture antérieure.

Quant au coefficient directeur de l'OT, on note une différence importante entre la valeur calculée sur le modèle théorique (-1,62) et la valeur obtenue sur le modèle cadavérique (-0,5547). La différence peut s'expliquer par une réalisation complexe de l'OT sur cadavre, avec des corps très ostéoporotiques, et chez qui le matériel d'ostéosynthèse a en partie migré lors de la mise en

compression postérieure. Le modèle cadavérique est certainement moins fiable que le modèle théorique ici.

b. Porte à faux de S1

On rappelle que les valeurs de porte à faux dans ce cas ne sont que des informations sur l'évolution de la valeur en fonction des ostéotomies, cette valeur étant dépendante de l'état de version du pelvis. On cherche simplement à dégager des grandes tendances.

Sur le corps 1, on remarque que l'ostéotomie de Salter est plus puissante que l'ostéotomie de Salter modifié. On note aussi que l'évolution du porte à faux est régie par une courbe dont l'équation peut s'écrire

$$\text{porte à faux final} = b \times \text{ouverture} + \text{porte à faux initial}.$$

Sur le corps 2, le Chiari apparaît plus puissant pour modifier le porte à faux que le Salter. Le Salter évolue bien selon une droite d'équation connue. Le Chiari suit lui aussi une régression linéaire, ce qui diffère des simulations.

Le Salter modifié est moins puissant que le Chiari sur le corps 3, et les 2 ostéotomies suivent une régression linéaire. Sur les corps 4, 5 et 6, les OT apparaissent plus puissantes que le Salter, le Salter modifié et le Chiari.

On note toutefois que si les capacités de correction du porte à faux sont respectées par rapport aux simulations, à savoir que l'OT est plus puissante que le Chiari, lui-même plus puissant que le Salter, plus puissant que le Salter modifié, les évolutions ne se font pas comme dans les simulations. On retrouve une régression linéaire dans les ouvertures antérieures (r^2 des droites = 0,91 et 0,95) avec un coefficient directeur inversement proportionnel à la longueur d'ostéotomie mais avec une dispersion importante (écart-type = 23,39 et 39,78 respectivement pour le Salter et le Salter modifié), ce qui confirme que la relation est plus complexe qu'une équation du type

$$\text{Porte à faux final} = \lambda/l \times \text{ouverture antérieure} + \text{porte à faux initial}.$$

Pour l'ostéotomie de Chiari, notre étude cadavérique met en évidence une régression linéaire du porte à faux alors que la simulation évoquait une régression logarithmique. Cependant, cette équation a un coefficient directeur r^2 faible, égal à 0,73. L'évolution du porte à faux serait du type

$$\text{porte à faux final} = b \times \text{ouverture} + \text{porte à faux initial},$$

avec « b » = 2,0874 +/- 0,239.

Pour l'OT, il existe ici aussi une divergence par rapport à la simulation : il semble qu'il existe une régression linéaire, mais la dispersion du coefficient de la courbe d'évolution du porte à faux (écart-type = 39,79) ne nous permet pas d'affirmer que cette régression est valide.

On apportera 2 commentaires : encore une fois, cette mesure est une mesure « dynamique », s'intégrant dans des mesures d'équilibre global et devant être interprétée comme telle, c'est-à-dire nécessitant des précisions quant à la position du bassin. Elle peut varier sans intervention chirurgicale simplement en modifiant la version pelvienne, preuve qu'une donnée brute n'a pas de sens.

D'autre part, il nous est apparu impossible de respecter une position fixe de l'hémibassin inférieur lors des radios de ces bassins : en effet, l'ostéotomie est réalisée en direct, et on a constaté que l'ensemble du bloc pelvien bougeait lors de l'ouverture ou de la fermeture, surtout dans les ostéotomies compliquées à ajuster (Chiari et OT). Les rapports à la verticale sont modifiés, et il devient impossible d'avoir une évaluation fiable de ce paramètre au cours du temps. D'autre part, il semble qu'il se produise des mouvements de translations antéro-postérieures au cours de la manipulation, modifiant considérablement les référentiels. Les résultats de l'évolution du porte à faux sur ce travail cadavérique doivent donc être nuancés.

5. CONCLUSION

Concernant l'incidence, le modèle cadavérique confirme les hypothèses formulées lors de la simulation. On retiendra que les ostéotomies d'ouverture antérieures modifient l'incidence de façon linéaire, selon une équation évoquée plus haut. Les OT sont les ostéotomies les plus puissantes pour modifier l'incidence, et ont aussi une régression linéaire. Ces 2 techniques ont des résultats prévisibles. Pour l'ostéotomie de Chiari, elle apparaît ici encore la plus faible pour modifier l'incidence, et elle est aussi la moins fiable, la moins prévisible. Elle est aussi difficile techniquement pour assurer à la fois bonne congruence et bonne modification d'incidence.

D'autre part, le coefficient « a » est bien retrouvé dépendant de la longueur d'ostéotomie, et ses valeurs dans le modèle cadavérique, aussi bien pour le Salter que pour le Salter modifié, sont proches de celles énoncées dans le modèle théorique (30,3 versus 29,58 respectivement). Ces données confirment notre équation de planification de l'incidence en fonction de l'ouverture antérieure. Par contre, on note une nette différence entre les résultats théoriques et le modèle cadavérique concernant l'évolution de l'incidence au cours des OT : si elle suit une régression linéaire, le coefficient directeur « a » est bien différent dans les 2 modèles (-1,62 et -0,5547 respectivement).

Pour le porte à faux, on ne s'attend qu'à des tendances. Il apparaît cependant que notre modèle d'étude ne permet pas une étude fiable de ce paramètre du fait de la position mobile de l'hémibassin inférieur lors de la manipulation, modifiant le rapport à la verticale. Les évolutions du porte à faux lors des ostéotomies d'ouverture antérieures suivent cependant une régression linéaire, dont le coefficient est inversement proportionnel à la longueur d'ostéotomie, mais ce facteur directeur est complexe, comme l'avait souligné notre modèle théorique. Les OT évoluent de façon linéaire aussi, mais il existe dans notre modèle cadavérique trop de dispersion pour tirer des conclusions. Enfin, le Chiari apparaît comme imprévisible une fois de plus. D'autre part, le modèle cadavérique diffère du modèle théorique (régression linéaire vs. régression logarithmique), mais on ne peut pas conclure du fait du peu de fiabilité lors des mesures sur bassin cadavérique lors de cette ostéotomie.

D_ *ETUDE DE CAS CLINIQUES*

1. MATERIEL ET METHODES

a. population

Nous avons étudié une série de 11 patients ayant bénéficié d'une ostéotomie. L'ensemble des patients a été opéré par une même équipe (Dr Noyer- Dr Roussouly) dans un même centre (CMCR Les Massues, Lyon). Il s'agit d'une série rétrospective continue.

Parmi les 11 patients, on retrouve 3 hommes et 8 femmes. L'âge moyen lors de l'intervention était de 37,63 ans $\pm$ 11,43 (extrêmes= 18-49 ans). Les patients avaient une taille moyenne de 166,4 cm $\pm$ 16,9 (149-185) et pesaient 61,25 kg en moyenne, $\pm$ 19,37 (46-88).

b. Méthodes d'analyse

- Clinique

On étudie sur ces 11 patients divers paramètres démographiques : recul par rapport à l'intervention, étiologie, durée d'évolution des symptômes, traitements antérieurs.

Des paramètres cliniques jugent de l'efficacité opératoire : douleur pré et post opératoire (échelle EVA), score fonctionnel d'Oswestry pré et post opératoire, complications post opératoires, nécessité de transfusion, mobilité de hanche pré et post opératoire.

On recueille des paramètres opératoires : nombre de chirurgie préalable, type d'ostéotomie et sa voie d'abord, temps opératoire, saignement, type de matériel utilisé pour la fixation de l'ostéotomie, complication per opératoire, contention post opératoire.

- Radiologique

Enfin, une série de paramètres radiologiques précisent les résultats : incidence pré et post opératoire, pente sacrée pré et post opératoire, lordose lombaire pré et post opératoire, cyphose thoracique pré et post opératoire, porte à faux de S1 pré et post opératoire, plumb line des conduits auditifs externes pré et post opératoire, rapport entre aplomb de C7-centre des têtes de hanche et porte à faux de S1, gites de C7 et T9 en pré et post opératoire, angle pelvi fémoral pré et post opératoire, angle spino-sacré pré et post opératoire.

2. RESULTATS

a. Paramètres démographiques

Le recul moyen après chirurgie est de 9,27 ans, $\pm$ 4,94 (extrêmes= 3-19 ans).

Les étiologies sont multiples : parmi les 11 patients, 3 présentaient une spondyloptose L5-S1 isolée (cf. figure 37), 1 une spondyloptose L5-S1 avec scoliose thoracique associée, 1 une spondyloptose L5-S1 avec bassin oblique et cyphose lombaire, 1 une inadéquation lombo-sacrée (grande incidence avec un dos plat), 2 cal vicieux post traumatique du sacrum (1 en cyphose sacrée asymétrique et 1 en torsion entraînant une scoliose thoraco-lombaire), 1 mal de Pott lombo-sacré avec une arthrodèse septique L3-S1 entraînant une grande cyphose de la charnière lombo-sacrée, 1 cyphose lombo-sacrée sur arthrodèse septique, 1 « syndrome de l'homme raide » (Stiffman syndrom). La casuistique est hétérogène ici.

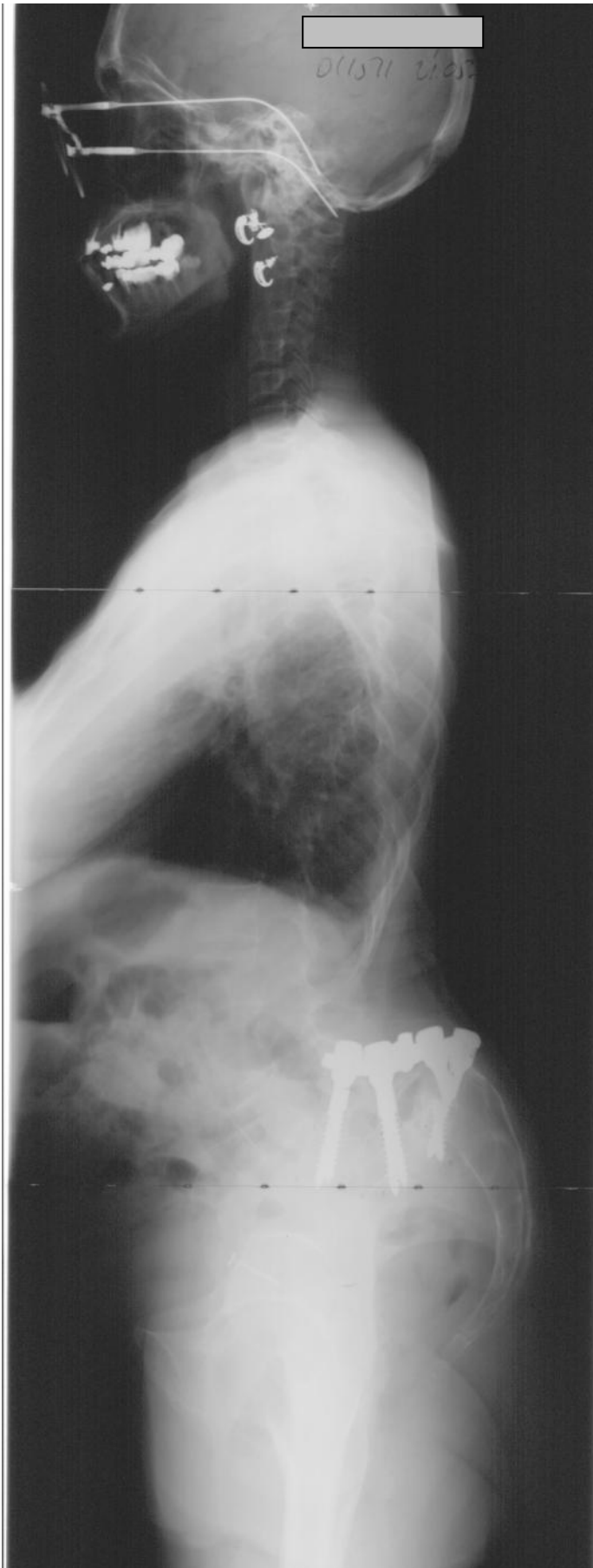


Figure n° 37 :

Exemple de
spondyloptose majeure
ayant nécessité une
ostéotomie pelvienne

La durée d'évolution des symptômes est en moyenne de 10,2 années, +/- 10,9 (extrêmes= 0,25-25). Le nombre de traitements chirurgicaux préalables est de 17 pour l'ensemble des 11 patients, soit 1,6 en moyenne (0 à 5 chirurgies antérieures). Les chirurgies consistaient en des traitements spécifiques rachidiens (5 arthrodèses de spondylolisthésis sans réduction, 3 ablations de matériel, 1 herniectomy discale, 1 chirurgie de canal lombaire étroit, 1 prolongation de l'arthrodèse, 1 reprise de l'arthrodèse par voie postérieure et antérieure) ou des traitements de pathologie de hanche (1 chirurgie de butée de hanche, 3 PTH). Les traitements médicaux entrepris consistaient en la pose d'un corset plâtré dans 6 cas, souvent relayés par des corsets en plexidur, de la kiné dans tous les cas et dans le cas du « Stiffman syndrom » un essai d'immunoglobuline intra veineux. Tous les traitements médicaux, kinésithérapeutiques ou orthopédiques se sont soldés par des échecs.

Les patients ont bénéficié d'ostéotomie de Salter bilatéral dans 7 cas, dans 1 cas un Salter unilatéral (cas du cal vicieux sacré asymétrique), dans 1 cas un double Salter avec tenotomies du psoas-iliaque associée (cas du Stiffman syndrom), dans 1 cas un Salter unilatéral avec fermeture antérieure controlatérale (cas du cal vicieux sacré en cyphose –torsion), dans un cas un Salter unilatéral avec ostéotomie curviplane controlatérale (cas du mal de Pott, la patiente ayant bénéficié auparavant de 2 PTH avec reconstruction cotyloïdienne, les vis cotyloïdiennes empêchant l'ostéotomie de Salter). La voie d'abord a été dans 8 cas une voie de Smith Petersen élargie bilatérale, dans 1 cas une voie de Hueter bilatérale (cas de l'ostéotomie curviplane + Salter pour mal de Pott), dans 1 cas une voie de Smith Petersen unilatérale (cas du Salter unilatéral pour cal vicieux sacré asymétrique) et dans 1 cas une voie de Watson Jones (cas du cal vicieux en cyphose-torsion et Salter unilatéral + fermeture controlatérale).

Le temps opératoire est en moyenne 114,54 minutes, +/- 35,87 (extrêmes= 60 min dans le Salter unilatéral – 180 min dans le cas du double Salter associé aux ténotomies). Il n'a jamais été constaté de complications per opératoires. La fixation de l'ostéotomie est assurée dans 7 cas par des cages Telamon© (Medtronic Safomar Danek©, USA), initialement destinées à des arthrodèses inter corporeales rachidiennes, associées à des agrafes de Blount ; dans 2 cas, l'ouverture est stabilisée par un greffon tri cortical iliaque associé à un embrochage en croix, dans 1 cas à un greffon tri cortical iliaque avec un vissage direct, et dans 1 cas (cas de la fermeture antérieure + Salter controlatéral) la fermeture est assurée par des plaques Colorado II© (Medtronic Safomar Danek©, USA) et l'ouverture controlatérale à un greffon tri cortical iliaque stabilisé par un plaque 1/3 de tube.

Dans l'ensemble des cas sauf 1, les suites post opératoires sont assurées par le port d'un hémibermuda plâtré entre 1,5 et 3 mois, relayé par un corset descendant bas sur le sacrum et le pubis pendant 3 mois en moyenne. Le port de cannes anglaises est conseillé les premières semaines. Le seul cas n'ayant pas bénéficié d'une contention post opératoire est celui de la patiente présentant le cal vicieux du sacrum en cyphose asymétrique.

On relève un seul cas ayant nécessité en post opératoire d'une transfusion (cas d'une spondyloptose opérée par double Salter). 2 cas ont bénéficié d'une récupération per opératoire du sang (Cell-Saver©) : 1 cas de spondyloptose opérée par double Salter et 1 cas de fermeture antérieure + Salter.

Les valeurs de score fonctionnel d'Oswestry ne sont rapportées pour aucun patient, aussi bien en pré qu'en post opératoire. De même, les documents en possession ne nous ont pas permis de retrouver de valeur de score EVA, en pré ou en post opératoire.

Parmi les complications relevées, on retrouve 5 patients se plaignant de douleurs sur les chaînes musculaires antérieures (psoas iliaque et quadriceps) ; 3 patients présentant des douleurs en regard des articulations sacro-iliaques ; 2 décompensation de scoliose déjà opérées et arthrodésées ayant nécessité une reprise chirurgicale ; 3 intervention pour pose de PTH (2 PTH chez la patiente présentant des dysplasies de hanche bilatérale et le cal vicieux en cyphose asymétrique) ; 2 conflits entre ailes iliaques et grill costal ; 2 cas d'insuffisance de rééquilibration (conservation d'un axe sagittal rachidien projeté en avant) ; 1 retard de cicatrisation ; 1 parésie crurale persistante mais en amélioration et modérée (4/5 au dernier recul) ; et 2 patients se plaignant de douleurs en regard de la zone opératoire. On dénombre au total 21 complications.

Les mobilités de hanche sont rapportées chez 4 patients à la fois en pré et post opératoires sur les 11 patients. Chez ces patients, on note une amélioration de l'extension mesurée cliniquement chez 2 patients et une stagnation chez les 2 autres. Il n'est pas noté d'aggravation de l'extension ni de modification majeure de la flexion, toujours à partir de mesures cliniques.

L'ensemble des données est résumé dans l'annexe III.4.

b. Résultats radiologiques

Les résultats sont rapportés dans le tableau 1.

La moyenne des incidences pré opératoires est de 74,6°. La moyenne des incidences post opératoires est de 57,4°. Le gain est de 17,2°, soit 23% de diminution de l'incidence initiale.

La moyenne des pentes sacrées pré opératoires est de 53,4°. La moyenne des pentes sacrées post opératoires est de 37°. La variation est de 16,4°, soit plus de 30% de diminution de la pente sacrée initiale.

La moyenne des lordoses lombaires pré opératoires est de 52,6°. La moyenne des lordoses lombaires post opératoires est de 43,4°. La variation est de 9,2°, soit plus de 17% de diminution de la lordose initiale.

La moyenne des cyphoses thoraciques pré opératoires est de 30,5°. La moyenne des cyphoses thoraciques post opératoires est de 30,4°. La variation est de 0,1°, soit une variation nulle.

La moyenne des portes à faux de S1 pré opératoires est de 83,3mm. La moyenne des portes à faux de S1 post opératoires est de 64,4mm. La variation est de 18,9mm, soit 23% de diminution du porte à faux initial.

La moyenne des rapports aplomb de C7-centre des têtes de hanche sur porte à faux de S1 pré opératoires est de -2,56. La moyenne des rapports aplomb de C7-centre des têtes de hanche sur porte à faux de S1 post opératoires est de 1,37. La variation est de 3,93, soit plus de 150% d'amélioration du rapport aplomb de C7-centre des têtes de hanche sur porte à faux de S1 initial. On rappelle qu'une valeur négative signifie que l'aplomb se projette en avant du centre des têtes de hanche.

La moyenne des aplombs de C7 pré opératoires est de -88,4mm. La moyenne des aplombs de C7 post opératoires est de -50,2mm. La variation est de 38,2mm, soit 43% de diminution de l'aplomb initial. On rappelle qu'une valeur négative signifie que l'aplomb se projette en avant du bord postéro-supérieur de S1.

La moyenne des aplombs des conduits auditifs externes pré opératoires est de -18,7mm. La moyenne des aplombs des conduits auditifs externes post opératoires est de -9,2mm. La variation est de 9,5mm, soit plus de 50% de diminution de l'aplomb des conduits auditifs externes initial.

La moyenne des gites de C7 pré opératoires est de 5,9°. La moyenne des gites de C7 post opératoires est de 3,6°. La variation est de 2,3°, soit près de 39% de diminution de la gite de C7 initiale.

La moyenne des gites de T9 pré opératoires est de 7,8°. La moyenne des gites de T9 post opératoires est de 5,7°. La variation est de 2,1°, soit près de 27% de diminution de la gite de T9 initiale.

La moyenne des angles spinosacrés pré opératoires est de 137,4°. La moyenne des angles spinosacrés post opératoires est de 123,4°. La variation est de 13°, soit près de 10% de diminution de l'angle spinosacré initial.

La moyenne des angles pelvifémoraux pré opératoires est de 23,7°. La moyenne des angles pelvifémoraux post opératoires est de 18,5°. La variation est de 5,2°, soit près de 22% de diminution de l'angle pelvifémoral initial.

	Préopératoire	postopératoire	modification
IP	74.6	57.4	-23%
PS	53.4	37	-30.7%
LL	52.5	43.4	-17.3%
CT	30.5	30.4	-0.3%
Porte à faux S1 (mm)	83.3	64.4	-22.7%
Rapport plumb C7/offset S1	-2.56	1.37	153%
Plumb line CAE (mm)	-18.7	-9.2	-50.8%
Plumb line C7 (mm)	97.2	50.2	-48.4%
Apf	23.7	18.5	-22%
Gite C7	5.9	3.6	-39%
Gite T9	7.8	5.7	-27%
SSA	137.4	123.4	-10.1%

Tableau n°1 : récapitulatif des évolutions des paramètres radiologiques de notre série

L'ensemble des valeurs est résumé dans l'annexe III.5.

Nous avons voulu savoir si les sous groupes de cette population générale avaient des différences en terme de résultat radiologique. Nous avons scindé la population en 5 sous groupes : patients porteurs d'un spondylolisthésis, patient ayant un stiffman syndrom, patients présentant un cal vicieux sacré, patient souffrant d'une inadéquation lombo-sacrée et patients présentant un cal vicieux septique. L'ensemble des résultats est reporté à l'annexe III.6.

D'autre part, il nous importait de savoir si les variations de l'incidence pelvienne suivaient les variations linéaires retrouvées sur simulations théorique et cadavérique. Nous avons donc, à partir de la mesure de la longueur d'ostéotomie « I » (comme défini sur la figure 31) et de l'ouverture antérieure, calculé l'incidence théorique après ostéotomie. Nous avons ensuite comparé ces valeurs aux valeurs d'incidence mesurées.

Les résultats sont reportés sur l'annexe III.7. Un test de comparaison de moyennes non paramétriques est appliqué afin de savoir s'il existe une différence statistiquement significative entre ces valeurs. On a $r=0,782$.

3. DISCUSSION

C'est la première étude se portant sur la technique, la planification et les résultats radio-cliniques des ostéotomies pelviennes appliquées aux déformations sagittales rachidiennes.

Même si les étiologies sont très variées, il apparaît que l'ostéotomie pelvienne a souvent été proposée chez des patients multi opérés, et parfois même a pu être considérée comme une intervention de sauvetage.

Cette intervention est relativement courte, plus qu'une ostéotomie rachidienne, et présente peu de complication spécifique, mis à part les fréquentes douleurs musculaires antérieures liées aux distensions. Rab⁷⁶ et Pfeifer⁷⁴ ont par ailleurs souligné une augmentation de la tension et de la longueur du psoas après ostéotomie de Salter d'environ 4%, de même que le moyen fessier (augmentation de 6%). Ces données biomécaniques peuvent expliquer les douleurs antérieures. Il n'a été nécessaire de transfuser le patient que dans un seul cas, ce qui est pour Farcy un gage de limitations des complications.

Il n'a pas été constaté de pseudarthrose ou de démontage de matériel. Par comparaison avec les cas de l'équipe Vital, où 2 des patients sur 2 ont présenté un démontage, l'adjonction d'un hémibermuda relayé par un corset est le garant d'une consolidation sans problème.

Nous avons voulu savoir s'il existait une différence de résultat fonctionnel en fonction du type de fixation utilisé. Malheureusement, l'absence de données sur les scores fonctionnels et algiques ne nous a pas permis d'isoler un matériel plus à même de fournir une fixation stable et non gênante.

Ondra a publié 1 cas d'ostéotomie trans pédiculaire en S2 chez une patiente ayant présenté une fracture sacrée sous une arthrodèse lombo-sacrée pour spondylolisthésis. Il ne rapporte là aussi aucune complication per opératoire, comme dans notre série. La durée d'intervention et le saignement per opératoire ne sont pas renseignés ; or il s'agit des obstacles majeurs de cette technique souvent longue et hémorragique. L'amélioration fonctionnelle est notable (gain de 34 points sur le score d'Oswestry), mais il n'est pas possible de le comparer à notre série. L'auteur ne mentionne pas de complication post opératoire. Il assure le maintien de sa fixation avec une ostéosynthèse standard complétée par le port d'un corset. Là aussi, comme dans notre série, le port d'une orthèse semble assurer le résultat.

L'équipe du professeur Vital a réalisé 2 ostéotomies pelviennes du même type que celle utilisée dans notre série, à savoir des ostéotomies de Salter. A chaque fois, l'indication était portée

sur des patientes présentant des scolioses multi opérées, ostéotomisée au niveau rachidien pour l'une et multi arthrodésée pour l'autre (en moyenne, 6 interventions précédant l'ostéotomie pelvienne), avec un grand déséquilibre sagittal plus ou moins frontal. La voie d'abord est une voie de Hueter bilatérale. La durée opératoire moyenne est de 150 minutes, et il n'est pas constaté de complication per opératoire. La fixation de l'ostéotomie est assurée par une plaque 1/3 de tube, et il n'est pas appliqué de contention post opératoire. Ici encore, les scores algiques et fonctionnels ne sont pas relevés. Les complications sont notées : ostéotomie rachidienne en L4 puis corporectomie T9 pour complément de correction du déséquilibre pour une patiente, qui présente toujours par ailleurs un déséquilibre sagittal majeur, migration du greffon avec choc hémorragique lors de la reprise, inégalité de longueur de membre inférieur ayant nécessité un raccourcissement de membre, parésie de L5, persistance d'un déséquilibre sagittal et frontal majeur pour la seconde patiente.

On remarque tout de suite que les suites sont beaucoup plus « simples » dans notre série : il n'est pas constaté de débricolage, cause de l'inégalité des membres de la patiente de l'équipe Vital. D'autre part, même si le déséquilibre sagittal persistait chez quelques patients dans notre série (2 sur 11), il s'avère qu'une ostéotomie rachidienne secondaire permettait une correction de ce déséquilibre, ce qui n'a pas été le cas dans la série Vital. Les déséquilibres fixés sont pour nous une des indications de l'ostéotomie pelvienne, mais on souligne ici toute la difficulté de sa réalisation et des bonnes indications. D'autre part, la méthode de fixation de l'ouverture est fondamentale : la fixation utilisée par l'équipe Vital est réputée peu résistante, et il n'est pas étonnant que sans contention associée elle se soit effondrée. On proposera donc une fixation rigide associée à une contention post opératoire obligatoire.

On remarque que les paramètres pelviens évoluent bien dans le sens attendu : diminution de l'incidence et de la pente sacrée. Les gains moyens sont souvent importants, de l'ordre de 25% de l'incidence initiale et 30% de la pente sacrée initiale. Les ostéotomies de Salter confirment donc leur puissance pour modifier l'ensemble des paramètres sacrés. Il apparaît aussi que les valeurs de ces paramètres tendent à rejoindre des valeurs plus consensuelles. En effet, nous avons vu plus haut que les auteurs rapportent une incidence moyenne de 55° et une pente sacrée à environ 42°. Ces valeurs sont tout à fait proches des valeurs retrouvées en post opératoires. Le porte à faux de S1 est diminué de façon nette (près d'1/4 de sa valeur initiale) ; on s'attendait plutôt ici à une augmentation de ce porte à faux selon nos résultats retrouvés plus hauts lors des simulations. On assiste donc ici à une bascule du bassin en antéversion après l'ouverture antérieure, ce qui souligne bien toutes les limites de la mesure théorique que nous avons réalisée sur simulation ou sur cadavre.

Le but de la diminution de l'incidence et de la pente sacrée est d'offrir au rachis lombaire un socle beaucoup plus plan, plus en adéquation avec une lordose lombaire « physiologique ».

Les paramètres rachidiens sont modifiés eux aussi. La lordose lombaire diminue, en adéquation avec la perte de pente sacrée et la baisse de l'incidence, vers des valeurs là aussi plus proches des valeurs retrouvées dans une population générale (44° dans la population générale, 37° dans notre série en post opératoire). La cyphose thoracique ne varie pas de façon significative, preuve encore une fois que les adaptations du rachis thoraciques sont mal maîtrisées.

Les paramètres d'équilibre global du rachis sont intéressants à étudier : ils renseignent sur l'ensemble de la réorganisation du rachis qui doit s'adapter à une nouvelle situation. Les gites de C7 et T9 sont nettement diminuées, ce qui montre que le rachis est globalement ramené en arrière au dessus des hanches par la manœuvre d'ouverture antérieure pelvienne. L'ouverture antérieure essaie de ramener ces valeurs de gites vers des valeurs proches de la « normale » (-11° pour la gite de T9 et -1° pour C7). Le rapport aplomb C7-centre des têtes de hanche sur porte à faux de S1 va dans ce sens : nous avons vu dans le chapitre 1 que ce rapport indique lorsqu'il est négatif une projection du rachis en avant des têtes de hanche (déséquilibre antérieur majeur), et que sa valeur idéale devait se rapprocher de 1. L'ostéotomie d'ouverture antérieure remplit tout à fait ce rôle, ramenant cette valeur à 1.37. D'autre part, l'aplomb des conduits auditifs externes et l'aplomb de C7 sont eux aussi nettement améliorés, de plus de 50% et 40% respectivement de leur valeur initiale, ce qui confirme cette tendance à la restauration d'un équilibre global sagittal beaucoup plus harmonieux.

L'angle spinosacré est lui aussi modifié, mais de façon plus modeste (environ 10% de sa valeur initiale). Rappelons que cet angle intègre à la fois des données d'orientation pelvienne et des données de l'équilibre sagittal lombaire et thoracique. Il avait, dans l'étude de Roussouly, une valeur fixe (position fixe de C7 au cours du temps) : cette notion est confirmée ici⁸¹. Ce paramètre confirme l'impression de rééquilibration globale, à la fois pelvienne et rachidienne, procurée par l'ouverture antérieure.

Enfin, le paramètre sous pelvien angle pelvi-fémoral nous renseigne sur l'influence de cette ostéotomie d'ouverture antérieure sur l'équilibre des membres inférieurs. L'angle pelvi-fémoral diminue en post opératoire de près du quart de sa valeur initiale. L'extension des hanches diminue, ce qui laisse plus d'aptitude au bassin de compenser un éventuel déséquilibre résiduel. Ces données vont dans le sens déjà évoqué à propos du porte à faux de S1 : il doit exister une antéverson pelvienne après ostéotomie, ce qui diminue l'angle pelvi-fémoral, diminue le porte à faux de S1 et surtout augmente la réserve théorique d'extension de hanche, donc les capacités d'adaptations du bassin. C'est ici tout l'intérêt des ostéotomies pelviennes : réaxer le rachis et permettre une déambulation plus économique.

Afin de savoir s'il existait des comportements différents en fonction de l'étiologie du déséquilibre (donc de la forme du bassin), nous avons scindé la population en 5 sous groupes.

Il apparaît que ces populations sont inhomogènes : l'incidence initiale est très différente d'un groupe à l'autre (de $49,6^\circ$ dans le groupe « cal vicieux » à plus de 96° dans le groupe « spondylolisthésis »), de même que la pente sacrée et donc la lordose lombaire. Il est frappant de noter que dans le groupe « septique », le cal vicieux rachidien septique annule et inverse la lordose lombaire (cf. figure 38).

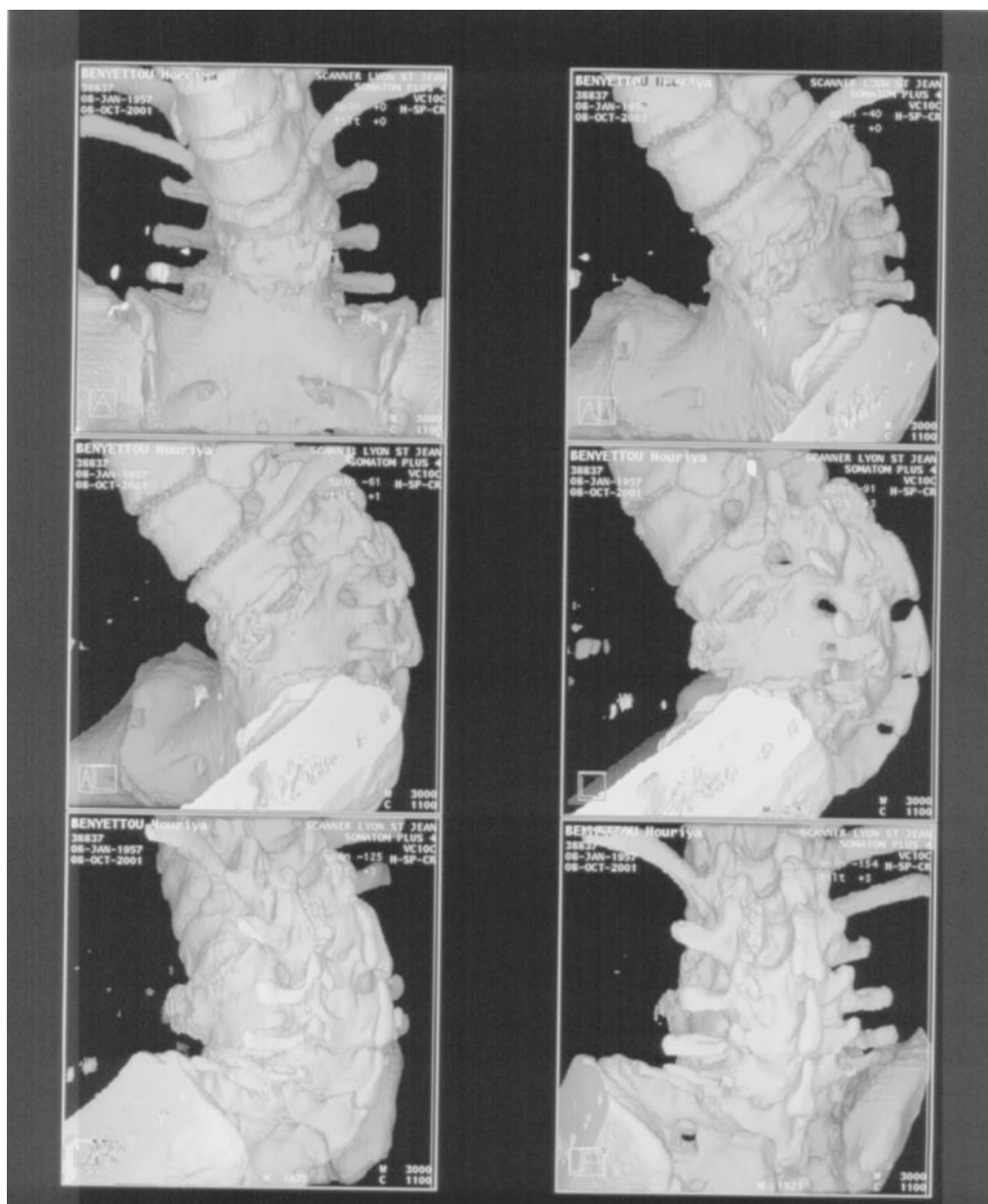


Figure n° 38 : cyphose lombo-sacrée septique (mal de Pott) et inversion de la lordose lombaire (collection P.Roussouly)

Le comportement suite à l'ostéotomie est tout à fait différent aussi en fonction des étiologies : le groupe « septique » et le groupe « stiffman syndrom » présentent des variations de l'incidence de 11 et 4% respectivement, alors que dans les autres groupes la variation va jusqu'à près de 35%. De fait, les modifications de la lordose lombaire suivent la variation de l'incidence, et il existe même des accentuations de la cyphose lombaire dans ces 2 sous groupes après ostéotomie.

Néanmoins, il apparaît une amélioration de l'équilibre global rachidien, avec un aplomb des conduits auditifs externes qui tend vers des valeurs plus physiologiques dans l'ensemble des groupes. On note aussi une amélioration des gites C7 et T9, qui vont dans le sens d'une correction globale de l'ensemble des 5 groupes.

Enfin, on retrouve dans l'adaptation sous pelvienne une accentuation du déséquilibre dans le sous groupe « septique » : augmentation nette de l'angle pelvi-fémoral alors qu'il existe une amélioration de cet angle dans les autres sous groupes.

Il semble cependant très difficile voire impossible de tirer des conclusions quant aux indications idéales ou pertinentes de l'ostéotomie pelvienne car les effectifs des sous groupes sont très faibles : de 1 patient à 5 patients au maximum dans le groupe spondylolisthésis. Ces conclusions ne peuvent pas être entérinées avec une fiabilité statistique suffisante.

La comparaison des incidences théoriques et des incidences mesurées fait état d'une différence non significative ($r=0,782$, $p=0,003$). Ce résultat valide notre formule de planification de l'ostéotomie. L'ostéotomie se comporte in vivo comme dans les modélisations à la fois théoriques et cadavériques. On aurait pu penser que les tissus mous, qui n'avaient absolument pas été pris en compte lors des modélisations précédentes, pouvaient provoquer des translations ou des limitations de la rotation : en fait, seule la partie osseuse est à prendre en compte dans la planification.

Il semblerait intéressant de pouvoir disposer d'une population plus importante, avec des radios permettant une meilleure mesure de la longueur d'ostéotomie, afin de tirer des conclusions statistiquement significatives quant à la validité de la planification de l'incidence chez des patients.

Ondra, dans son cas d'ostéotomie trans S2, rapporte les mesures d'incidence (gain de 23° de 88° initialement à 65° en post opératoire) et de pente sacrée (gain de 16° , 65° à 49° en post opératoire) pour les paramètres pelviens et les mesures de la lordose lombaire (diminution de 8° de 68° à 61° en post opératoire). Il rapporte aussi l'aplomb des conduits auditifs externes qui passe de 160 à 30mm , soit un gain de 130mm ! Ondra confirme donc que cette méthode est valide pour la modification des paramètres pelviens ainsi que pour l'équilibre global rachidien. Nous ne disposons pas des paramètres opératoires, à savoir l'épaisseur du sacrum ainsi que l'angle de fermeture postérieure ; cependant, la variation des incidence et pente sacrée est comparable à notre série (23° versus 17° et 16° versus 17° respectivement). La correction de l'équilibre global (aplomb des CAE) est plus puissante dans le cas présenté par Ondra que dans notre série (130mm versus $9,5\text{mm}$).

Du fait du manque de puissance statistique (1 seul cas présenté), nous ne pouvons pas conclure sur la comparaison de la technique de Ondra et l'ostéotomie de Salter, même si nos impressions formulées lors des essais théoriques nous laissent penser qu'il s'agit d'une méthode fiable et puissante. De plus, nous rajoutons que nous ne savons pas comment vont se comporter les éléments nerveux après cette ostéotomie qui réalise un allongement antérieur : il se peut qu'il existe des étirements entre le tunnel lombo-sacré et l'émergence glutéale.

Les ostéotomies réalisées par l'équipe Vital ont permis un suivi des différents paramètres rachidiens et pelviens dans un seul cas, car pour la deuxième la radio pré opératoire n'est pas disponible (la patiente a été suivie dans différents centres, et nous ne disposons pas de la radio pré opératoire). On note toutefois une augmentation paradoxale de l'incidence dans le cas exploitable, de $7,8^\circ$, avec une

diminution nette de la pente sacrée (-15,6°). La lordose lombaire est quasiment inchangée, la cyphose thoracique s'inverse et gagne plus de 23° dans ce cas. Néanmoins, le porte à faux est restitué dans des valeurs plus physiologiques : d'une valeur initialement négative (S1 est en avant des hanches), il devient positif (gain de plus de 36mm). L'équilibre global est lui aussi corrigé, reporté en arrière : correction de la gîte de C7 (-20,4°) et de T9 (-22,7°), correction du rapport aplomb de C7 sur porte à faux de S1 (on passe d'un rapport de -6.18 à un rapport de -0.8), correction de l'aplomb de C7 de près de 160mm, correction de l'aplomb des conduits auditifs externes qui sont restitués vers l'arrière de façon importante (amélioration de la plumb line de près de 225mm !) mais stabilité de l'angle spinosacré (~130° en pré et post opératoire).

Monsieur Farcy a lui aussi réalisé des ostéotomies pelviennes afin de corriger l'équilibre sagittal rachidien. Il utilise une ostéotomie en dôme type Chiari, sans médialisation de la portion distale pelvienne. Son objectif premier est, d'après lui, une correction du porte à faux de S1 plus que de l'incidence, car il souhaite remettre les conduits auditifs externes au dessus des hanches. Il a réalisé 9 ostéotomies pelviennes, par une voie de Kocher Langenbeck, en décubitus dorsal et de façon bilatérale à chaque fois. Par une flexion des hanches, il repousse la partie distale pelvienne vers l'arrière, et tend donc à augmenter le porte à faux de S1. L'ensemble des indications sont des déséquilibres fixés spinaux (scolioses multi opérées). Il décrit une perte sanguine de 600 mL environ, et ses complications se limitent à des parésies crurales transitoires (3 cas sur 9 patients). Il ne s'aide pas d'une ostéosynthèse complémentaire, considérant l'ostéotomie comme étant auto stable. Là aussi, malheureusement, aucune évaluation de score fonctionnel ou algique n'a été faite. De plus, nous ne disposons pas des radios pré ou post opératoires de ces cas. Il aurait été intéressant de pouvoir comparer, in vivo, à la fois au niveau clinique et radiologique, 2 techniques chirurgicales qui ont des objectifs différents pour un résultat qui se veut équivalent.

On souligne ici plusieurs informations : l'ostéotomie pelvienne confirme ses capacités à corriger de façon importante le déséquilibre sagittal, aussi bien de façon locale que l'équilibre global. Il faut soulever le fait que l'incidence qui augmente dans le cas « Vital » est peut être dû au cal vicieux qui s'est créé. Enfin, les phénomènes de compensation de la lordose et de la cyphose sont mal connus, mais participent grandement à la correction du déséquilibre.

4. CONCLUSION

L'ostéotomie pelvienne est une technique chirurgicale qui nécessite de solides connaissances anatomiques afin de maîtriser au mieux la voie d'abord. Cette voie d'abord présente de nombreux éléments anatomiques à contourner et à respecter. Cependant, il apparait que cette technique s'accompagne de peu de complications : on signalera des douleurs antérieures de cuisse qui sont fréquentes, en rapport avec les étirements des structures musculaires antérieures (et parfois du nerf crural). Tout au plus on rapporte des complications atypiques, des conflits ilio-costaux. Le saignement per opératoire est le plus souvent modéré, ne nécessitant aucun geste transfusionnel secondairement.

Les patients se disent dans la grande majorité satisfaits, mais nous n'avons pas disposé de critère objectif fonctionnel ou score algique afin de suivre les évolutions en pré et post opératoire.

Les paramètres fondamentaux sont modifiés dans le sens attendus : diminution de l'incidence et de la pente sacrée, diminution de la lordose lombaire, correction des aplombs vers les têtes fémorales, redressement des gites vers des valeurs plus physiologiques. Enfin, l'effet est majeur sur les angles pelvi-fémoraux, ce qui suggère une marche plus économique et une adaptation plus grande aux phénomènes pathologiques persistants.

Il importe de souligner qu'un bon résultat radio-clinique nécessite une phase d'immobilisation par orthèse post opératoire ainsi qu'un système de maintien solide de l'implant afin qu'il ne glisse pas.

L'étude des résultats en fonction de l'étiologie s'avère difficile car les sous populations sont peu fournies : il est délicat d'extraire des conclusions avec certitude dans ce cas. Néanmoins, nous avons pu soulever 4 grands types d'indications : les déséquilibres fixés spinaux, les inadéquations lombo-sacrées, les spondyloptoses majeures et certainement les fractures-disjonctions sacrées.

Enfin, notons que les résultats des ostéotomies semblent suivre nos prédictions issues des modèles théoriques, tant radiologique que cadavérique, quant à l'évolution de l'incidence au cours de l'ouverture antérieure. Nous pouvons donc valider notre formule de planification de l'ostéotomie pelvienne, quel que soit le site d'ostéotomie. Nous rappelons qu'il suffit de connaître la longueur de l'ostéotomie, l'incidence initiale et l'incidence finale que l'on souhaite pour déterminer la hauteur de l'ouverture antérieure.

La comparaison des autres ostéotomies pelviennes réalisées nous montre que le Salter semble être aussi efficace in vivo pour modifier l'incidence qu'une ostéotomie trans S2, mais que cette dernière est beaucoup plus puissante que le Salter sur l'équilibre global (tout au moins la plumb line des conduits auditifs externes). Là aussi les conclusions sont à confirmer du fait du manque de puissance des séries de patients. Enfin, il faut souligner qu'il existe, pour une même technique chirurgicale, des résultats très variables d'une équipe à l'autre. Gageons qu'une meilleure planification du geste et des indications, qu'une meilleure gestion de l'immobilisation post opératoire permettra d'harmoniser les résultats.

Cette technique est une technique intellectuellement exigeante, à la planification délicate, mais qui reste relativement simple à réaliser. Elle est efficace sur l'ensemble des paramètres pelviens, mais ses indications sont rares et doivent être bien sélectionnées.

LES FRACTURES DU SACRUM : INDICATION POST TRAUMATIQUE ?

III LES FRACTURES DU SACRUM : INDICATION POST TRAUMATIQUE ?

A_ REVUE DE LA LITTÉRATURE

Nous avons pu identifier de nombreux articles traitants des fractures du sacrum dans la littérature. La majorité d'entre eux traitent des fractures sur os porotique 90,99.

Les auteurs insistent sur le fait que le diagnostic est difficile et souvent retardé. Les patients se présentent le plus souvent avec des lombalgies basses invalidantes, retentissant sur leurs activités de la vie quotidienne. Les fractures le plus souvent retrouvées sont des fractures en zone 1 de Denis, réalisant soit des fractures transversales pures soit des fractures en H ou en U. Il existe alors une vraie disjonction spino-pelvienne, et, lorsque la fracture l'autorise, une bascule du plateau sacré se produit. Une étude biomécanique 59 chez ces patients ostéoporotiques a mis en évidence que ces fractures-dissociations spino-pelviennes étaient majorées par les pathologies de hanche associées et que les contraintes étaient augmentées lors de la marche ou lors de la station monopodale. Le traitement de ces fractures n'est pas univoque : une méta analyse sur 110 patients fait ressortir que la très grande majorité de ces fractures a été traitée par une mise en décharge de 3 à 6 semaines avec reprise de l'appui de façon protégée par une canne99, conduisant à une résolution des plaintes douloureuses, mais l'auteur ne renseigne pas l'équilibre sagittal résiduel chez ces patients.

Une autre cause de fracture sacrée évoquée dans la littérature est la fracture sous une ostéosynthèse lombaire ou thoraco-lombaire 103. La présentation clinique est la même que dans les fractures ostéoporotiques : une lombalgie basse voire des fessalgies, irradiant parfois dans les racines des membres inférieurs. Là aussi, le diagnostic est difficile et souvent retardé. Les facteurs de risque sont incertains, mais des auteurs évoquent la possibilité d'une relation avec la pose d'une cage intersomatique L5-S1, qui augmenterait les contraintes sur le plateau sacré, et la pose de vis pédiculaires en S1 de façon bi corticale. Le traitement est le plus souvent conservateur, sauf en cas de déplacement, qui requiert une ostéosynthèse étendue en S2 et aux ailes iliaques. Pour Papadopoulos 72, le traitement conservateur est un échec, ce qui le conduit à proposer une intervention chirurgicale pour l'ensemble de ses patients. Cet auteur est le seul à mesurer, de façon sommaire cependant, l'équilibre sagittal du rachis au travers de la plumb-line de C7. Il est le seul à suggérer une corrélation entre un mauvais équilibre sagittal consécutif à ces fractures et un résultat clinique péjoratif.

En fait, la littérature est beaucoup plus fournie à propos des cas de fractures disjonctions sacrées secondaires à des traumatismes. Décrites en 1969 par Purser puis précisées en 1984 par Roy-Camille sous le terme de fractures des suicidants 84, ces fractures sont rares et secondaires à des accidents à haute énergie, soit des chutes d'un lieu élevé, soit des accidents de la voie publique à haute cinétique (cf. figure 39). Roy-Camille décrit 3 types de ces fractures sacrées en U ou en H le plus souvent : le type 1 est une flexion du segment sacré crânial, réalisant une plicature dorsale ; le type 2 est une fracture avec flexion et déplacement post

sont grandes. Cependant, il propose de redonner une incidence dans les valeurs standards de la population et non la valeur d'incidence initiale.

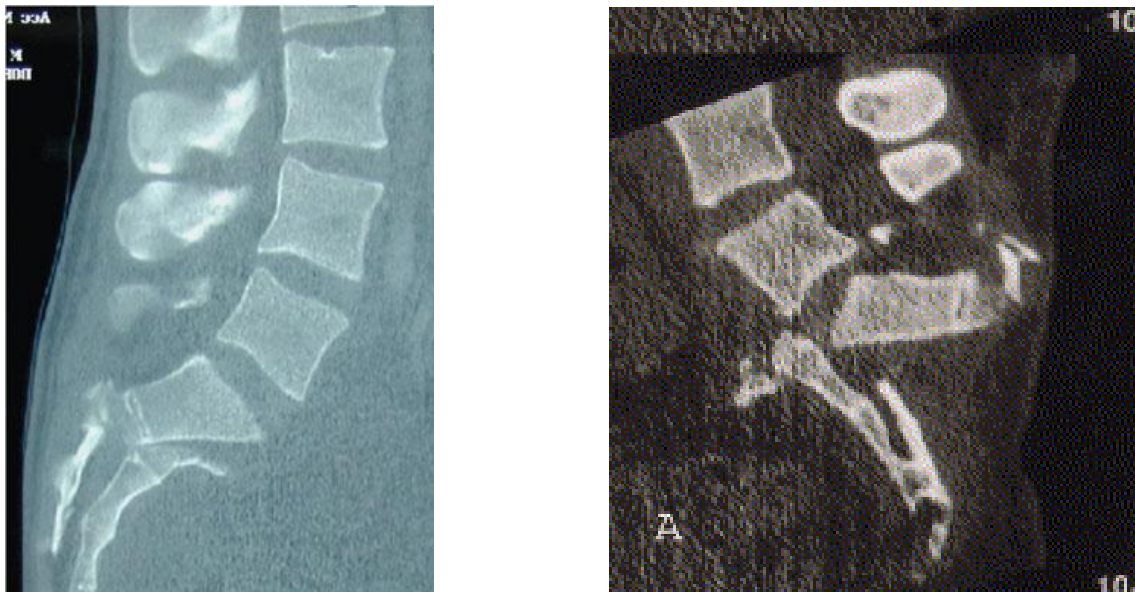


Figure n° 39 : fractures sacrées hautes. Notez la nette augmentation de l'incidence dans les 2 cas (d'après Hart)

B_ *MATERIEL ET METHODES*

Nous voulions savoir si les fractures du sacrum avec déplacement pouvaient constituer des indications d'ostéotomies pelviennes de correction de l'incidence. Pour ce faire, nous avons cherché à savoir si les fractures du sacrum présentant un déplacement s'accompagnaient de lombalgies.

Nous avons constitué une série de 18 patients présentant des fractures disjonctions de l'anneau pelvien classées Tile C (fracture bilatérale des ailerons iliaques ou des sacro-iliaques) et des fractures bilatérales des ailerons sacrés. Le seul critère d'inclusion de cette série est une fracture-disjonction sacrée, fracture permettant un déplacement sacré et donc une modification de l'incidence. Ces fractures sont classées dans le sous groupe « C » de la classification de Tile. Sur ces 18 patients, 12 patients ont des fractures Tile C3, c'est-à-dire avec une instabilité horizontale et verticale bilatérale (réalisant de véritable sacrum flottant), et 6 ont des fractures Tile C2 (instabilité horizontale bilatérale et verticale unilatérale). La quasi-totalité des fractures avec instabilité verticale est constituée de fractures verticales du sacrum, réalisant des fractures en U ou en H du sacrum. Il s'agit de fractures rares, survenant lors d'accident à haute cinétique : pour 11 cas, accident de sport (ski ou parapente), pour 1 cas une défenestration, pour 4 cas des accidents de la voie publique (piétons renversés) et pour 2 cas des accidents du travail (1 fois un accident de pelleteuse et 1 fois une chute d'un toit). L'ensemble des caractéristiques de ces patients est rapporté en annexe III.8.

Sur cette population, nous étudions la modification d'incidence survenue lors du traumatisme : à partir d'un scanner du bassin en coupes sagittales, nous réalisons grâce au logiciel Gimp©2.6 une rotation du fragment cranial en passant par le trait de fracture afin de superposer les corticales ventrale et dorsale du sacrum pour retrouver une forme initiale. L'angle de rotation

nécessaire à la restitution d'une forme originelle est l'angle de déformation, noté angle de modification d'incidence. D'autre part nous étudions avec la même méthode la déformation persistant au dernier contrôle et, grâce à une radio du sacrum de profil, nous déterminons l'incidence avant accident. Nous étudions aussi sur ces patients la lordose lombaire au dernier recul. Nous avons aussi recherché la lordose théorique correspondant à leur incidence pré traumatique selon les abaques fournis par madame Duval-Beaupère afin de savoir s'il existe une modification de ce paramètre lombaire après traumatisme.

Enfin, nous notons des paramètres cliniques : type d'ostéosynthèse, mode d'immobilisation post opératoire, intensité des lombalgies évaluées par le score EVA, et score d'Oswestry au dernier recul.

Nous appliquons des tests statistiques de Mann et Whitney et test de Spearman afin de savoir s'il existe des corrélations entre la déformation résiduelle et les scores EVA et d'Oswestry, s'il existe une différence entre lordose initiale et lordose finale, et s'il existe une corrélation entre modification de la lordose et score EVA et d'Oswestry. La significativité est désignée pour $p < 0,05$.

C_ *RESULTATS*

Les patients sont âgés de 41,7 ans en moyenne lors de la revue. La revue des patients s'est effectuée à 5,4 ans du traumatisme en moyenne. Les patients sont âgés de 36 ans en moyenne lors de l'accident (16-61 ans).

Sur les 18 patients de cette série, 9 patients sont perdus de vue : soit parce qu'ils habitent dans une autre région ou un autre pays, soit parce qu'ils n'ont pas répondu à la convocation.

Les résultats sont résumés dans le tableau 2.

L'ostéosynthèse consiste dans l'ensemble des cas sauf 1 en un vissage ilio-sacré le plus souvent bilatéral (vis canulées de 7,3 mm de diamètre). 1 cas a été vu au stade de cal vicieux avec une déformation sacrée résiduelle sévère (persistance de 70° de déformation). L'immobilisation a toujours fait appel à une décharge pendant 3 mois.

Sur les 9 dossiers exploitables, la moyenne de la modification d'incidence après le traumatisme est de 27° (7-70°). La correction chirurgicale permet une rectification de l'incidence de façon notable : la déformation résiduelle est en moyenne de 3,5° (0-24) lorsqu'un traitement chirurgical a été appliqué. La déformation résiduelle dans le cas de la patiente vue au stade de cal vicieux est de 70°.

La lordose « théorique », correspondant à la lordose avant traumatisme, est de 59° en moyenne (47-78). La lordose moyenne au dernier recul est de 55,7°.

Le score EVA moyen est de 3/10 (0-8/10) au dernier recul, le score d'Oswestry est à 18/100 (0-74/100).

Nous avons constaté 3 complications rachidiennes au décours de la fracture : dans 2 cas il s'agit d'une scoliose lombaire modérée (moins de 20° d'angle de Cobb)

déséquilibre sagittal global (plumb line des conduits auditifs externes à plus de 4 cm en avant des têtes fémorales).

	moyennes
Modification d'incidence	27°
Déformation résiduelle	3.5°
Lordose pré traumatique	59°
Lordose au dernier recul	55.7°
Score EVA au dernier recul	3/10
Score d'Oswestry au dernier recul	18/100

Tableau n°2 : récapitulatif des données des patients de la série sacrum

D_ *DISCUSSION*

Dans notre série, il apparaît que les patients sont jeunes : avec une moyenne de 41 ans environ lors du traumatisme, ces fractures surviennent bien chez des gens jeunes au décours de traumatismes à haute énergie comme l'a souligné Roy Camille auparavant. Nous avons un recul important, ce qui nous permet de constater des adaptations rachidiennes et pelviennes aux déformations résiduelles éventuelles.

Nous avons sélectionné uniquement des fractures-disjonctions sacrées qui autorisent des rotations importantes du fragment cranial, qui vient s'impacter dans le sacrum distal. Il n'est donc pas étonnant d'avoir des déformations conséquentes, de plus de 27° de rotation, dans ce type de fracture. Il ne s'agit pas là d'un biais de sélection : nous avons cherché à caractériser ce type spécifique de fracture, qui réalise une véritable séparation du complexe rachidien vis-à-vis du socle pelvien, et qui est le seul type de fracture sacrée pouvant conduire à une modification de l'incidence.

La chirurgie de fixation de cette fracture permet en général une bonne correction de la déformation : elle permet de ramener la déformation à 3,5° en moyenne. Cependant, nous avons identifié 2 cas de mauvaise correction, c'est-à-dire où la déformation résiduelle était de plus de 5°. Il s'agit d'un cas où la déformation initiale était très importante (47°) et d'un cas vu au stade de cal vicieux. Nous avons donc réalisé 2 sous groupes, l'un étiqueté « bonne correction » et l'autre « mauvaise correction ».

Nous n'avons pas mis en évidence de différence statistiquement significative entre lordose lombaire théorique selon les abaques de madame Duval Beaupère et lordose lombaire réelle ($p=0,3135$). On peut donc dire que le traitement chirurgical et/ou les compensations lombaires secondaires au traumatisme ont permis une restitution d'une architecture lombaire en adéquation avec l'incidence initiale. Il n'y a pas d'inadéquation lombo-pelvienne secondaire au traumatisme dans notre série.

Il n'existe pas de corrélation statistiquement significative entre déformation initiale et score EVA ($p=0,2461$) et score d'Oswestry ($p=0,6093$). De ce fait, on peut dire qu'il semble que le gain d'incidence consécutif au traumatisme n'est pas responsable de l'apparition de lombalgies ni d'un handicap fonctionnel rachidien. Cependant, il faut noter que du fait de la faible puissance

puissance. De plus, les scores EVA et Oswestry ne sont peut être pas les outils les plus sensibles ni les plus spécifiques pour caractériser les lombalgies et ses conséquences.

De même, il n'existe pas de corrélation entre la déformation résiduelle et l'apparition de lombalgies ($p=0,983$) ni entre déformation résiduelle et score d'Oswestry ($p=0,7042$). Là encore on aurait tendance à conclure que la déformation résiduelle n'est pas la responsable de la présence de lombalgies ; cependant, il conviendra de conforter ce résultat par une série plus puissante.

On s'est intéressé aux 2 sous groupes, « bonne » et « mauvaise correction » : il n'existe pas de corrélation ($p=0,3681$) entre qualité de la réduction et douleurs lombaires (évaluées par le score EVA) ni entre qualité de correction et score d'Oswestry ($p=0,7688$).

On remarque que les patients qui ont développé une pathologie rachidienne dans les suites du traumatisme présentent les plus mauvais scores EVA et Oswestry de la série. Il semble donc que la survenue de la lombalgie soit causée par la pathologie rachidienne secondaire. En effet, on obtient un lien statistiquement significatif entre troubles de l'axe soit sagittal soit frontal (soit combiné) et survenue de douleurs ($p=0,0372$) et mauvais score d'Oswestry ($p=0,0268$). Cependant, nous n'avons pas pu expliquer l'apparition de cette déformation rachidienne par l'importance de la bascule d'incidence lors du traumatisme ($p=0,7122$) : il ne semble pas que la déformation pelvienne soit à l'origine de la déformation rachidienne.

Le cas de la patiente vue au stade de cal vicieux est intéressant : la déformation résiduelle est importante, et la patiente est lombalgique et très invalidée. Le chirurgien qui l'a prise en charge lui a proposé une ostéotomie rachidienne trans pédiculaire en L4, ce qui lui a permis de retrouver une lordose plus en adéquation avec cette incidence extrême (120° !) et de ce fait un équilibre sagittal plus harmonieux. Cette intervention a permis une diminution nette des douleurs lombaires et une amélioration nette des fonctions.

Dans ce cas, il semblait logique de proposer une ostéotomie pelvienne de correction de l'incidence, qui est le *primum movens* de la douleur rachidienne sus jacente (cf. figures 40). Cependant, l'intervention proposée a permis, tout au moins jusqu'à ce jour, de diminuer les lombalgies et d'améliorer les fonctions de la patiente. Il sera intéressant de suivre ce dossier pour savoir si les bons résultats initiaux se maintiennent à long terme.

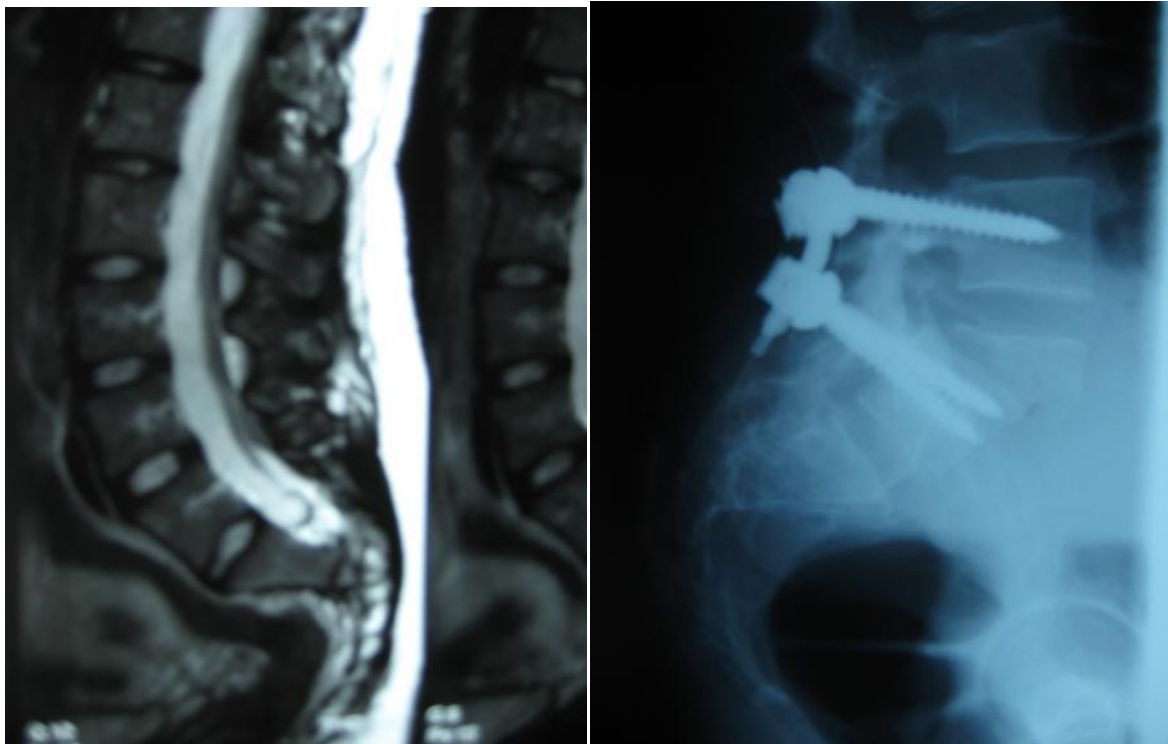


Figure n°40 : cas de la patiente vue au stade de cal vicieux : IRM pré opératoire montrant la déformation résiduelle ; radio post opératoire (OTP en L4) (collection J.Tonetti)

Nous rappelons que notre série présente un faible nombre de patients, du fait de la rareté de ce type de fracture et du nombre important de perdus de vue. Par conséquent, les résultats statistiques sont à prendre avec prudence, et il conviendrait de confirmer ces résultats et impressions par une série plus puissante aux résultats plus valides.

E_ *CONCLUSION*

Les fractures disjonctions du sacrum sont une entité rare de la traumatologie. Cependant, par leur mécanisme, elles peuvent conduire à des véritables dissociations spino-pelviennes et peuvent donc modifier l'incidence pelvienne.

Une étude, réalisée sur une population à faible puissance, proposait de restituer une incidence « normale » afin de limiter la survenue de lombalgies.

Au travers de cette revue de patients, nous voulions savoir si les séquelles des traumatismes sacrés réalisant des fractures-disjonctions spino-pelviennes pouvaient conduire à des lombalgies et une incapacité fonctionnelle rachidienne. Plus précisément, notre question principale était de savoir s'il existait une corrélation entre modification de l'incidence due au traumatisme et survenue de lombalgies. A cette question, contre notre attente, nous avons pu répondre « non ». Même chez les patients présentant une grande déformation séquellaire (sous groupe « mauvaise réduction »), les résultats semblent nous indiquer une absence de corrélation.

Par contre, chez les patients présentant un trouble de l'axe sagittal et/ou frontal rachidien, la survenue de lombalgies est attendue de façon statistiquement significative.

Notre hypothèse de départ, qui était qu'une mauvaise correction ou un cal vicieux allait forcément s'accompagner de lombalgies du fait de la nouvelle incidence pelvienne et de la grande lordose nécessaire, semble caduque. Cependant, nous émettons une remarque à cette conclusion : la population est faible dans cette série et les résultats ne peuvent pas être entérinés de façon absolument certaine. Il serait donc intéressant, dans une population à plus forte puissance, d'étudier plus particulièrement la présence d'une corrélation entre importance de la déformation de l'incidence et survenue d'une désaxation rachidienne.

L'exemple du cal vicieux sacré présenté dans cette série est intéressant, car il s'accompagne précisément d'un mauvais résultat fonctionnel et algique, et a nécessité une intervention de correction de l'équilibre sagittal rachidien (ostéotomie trans pédiculaire en L4 en l'occurrence). Nous ne pouvons donc pas infirmer de façon catégorique que les séquelles des fractures-disjonctions sacrées ne nécessiteront pas de geste de correction de l'équilibre sagittal, geste qui semble être logiquement une ostéotomie de correction de l'incidence.

OSTEOTOMIES PELVIENNES VERSUS OSTEOTOMIES TRANSPEDICULAIRES

IV OSTÉOTOMIES PELVIENNES VERSUS OSTÉOTOMIES TRANSPÉDICULAIRES

A_ INTRODUCTION

L'ostéotomie pelvienne appliquée aux déformations rachidiennes a été rapportée pour la première fois en 1969 par Wilson. Cependant, cette technique n'a été reportée que 2 fois dans la littérature, et aucune étude ne s'est portée sur ses résultats radio-cliniques. Nous voulons comparer les résultats cliniques, radiologiques et les effets indésirables de cette technique à la méthode considérée actuellement comme le gold standard pour les déformations rachidiennes : les ostéotomies trans pédiculaires.

B_ MATERIEL ET METHODES

1. recherche bibliographique

Nous avons voulu faire une revue de littérature des ostéotomies de transpédiculaires (OTP) afin de connaître plus exactement leurs avantages et leurs inconvénients. A notre connaissance, il n'existe pas de méta analyse sur les OTP. Nous avons donc cherché sur les bases Ovid®, PubMed®, ScienceDirect® des articles traitants des OTP. A partir des mots clés « pedicle », « subtraction », « osteotomy » nous avons relevé 1810 articles.

2. Critères d'éligibilité

Parmi les 1810 articles, nous avons sélectionné les articles écrits en langue française ou anglaise, présentant des résultats sur une série de plus de 10 patients, et où des critères objectifs été appliqués (scores fonctionnels, évaluation radiologique). Les études présentant uniquement des évaluations subjectives (satisfaction du patient par exemple) ont été exclues.

53 articles de langue anglo-saxonne ou française ont été retenus. Parmi ces 53 articles, nous avons sélectionné 6 articles traitant des techniques chirurgicales, 5 sur la planification de ces ostéotomies et 42 sur les résultats radio-cliniques.

3. Critères d'évaluation

Sur les articles présentant des techniques chirurgicales, nous nous sommes simplement contentés de relever les points importants

menton (CBVA), l'angle d'ostéotomie, l'évolution de la lordose lombaire et des cyphoses globale et thoracique, de l'angle pelvi-fémoral.

Nous avons aussi extrait les sites des ostéotomies le long du rachis.

Nous avons enfin relevé les complications per et post opératoires, le temps opératoire et le saignement per opératoire.

C_ RESULTATS DES OSTEOTOMIES DE SOUSTRACTION TRANSPEDICULAIRES

1. TECHNIQUES CHIRURGICALES

Il existe différentes variantes techniques pour aboutir à une ostéotomie transpédiculaire^{6,7,24,67,88,108}. Quelle que soit la technique utilisée, le but est d'enlever une partie ou la totalité de l'arc postérieur d'une vertèbre, puis de réaliser un effondrement corporéal avec un coin antérieur afin de provoquer une fermeture postérieure (cf. figure 41).

Après installation en décubitus ventral strict, l'incision et l'abord sont tout à fait classiques d'une voie postérieure rachidienne. Les arcs postérieurs des vertèbres cibles et adjacentes sont dégagés des muscles. La résection de l'ensemble de l'arc postérieur de la vertèbre cible peut commencer : il faut enlever tout l'arc, articulaires y compris. Une laminectomie est souvent réalisée aux niveaux adjacents. Puis les pédicules sont individualisés, puis ôtés à la pince gouge.

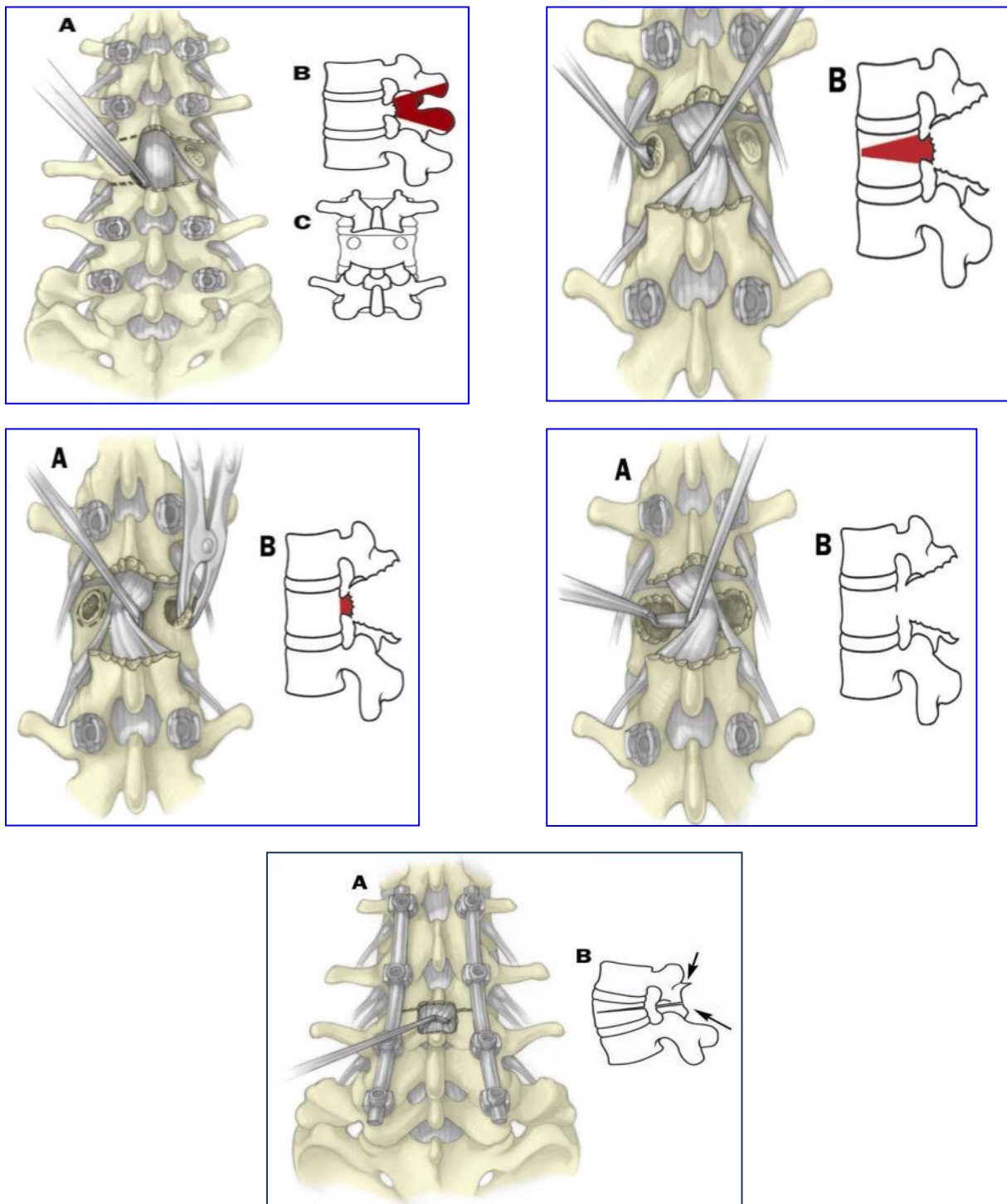


Figure n°41 : technique d'ostéotomie trans pédiculaire

Il existe ensuite différentes variantes. Soit on réalise une véritable ostéotomie du corps, soit on évide ce dernier. Dans la technique d'ostéotomie, les racines à proximité du pédicule sont individualisées et écartées, puis on introduit un ostéotome droit au dessus du pédicule et un autre en dessous, avec une convergence vers un point virtuel situé le plus proche du mur corporel antérieur. L'angulation entre les ostéotomes est donnée par le planning opératoire. On répète cette manœuvre de l'autre coté, puis on enlève la portion corticale du mur postérieur. Enfin le segment spongieux entre les ostéotomes est soit enlevé soit écrasé (cf. figure 22). Dans la technique d'évidement, on introduit des

curettes à l'intérieur des pédicules afin d'effondrer le corps. Ensuite une hauteur voulue du mur postérieur est ôtée.

La fermeture de l'ostéotomie est une combinaison de manœuvres externes avec la table opératoire et une action directe sur le système d'ostéosynthèse (compression sur la tige). La fermeture est maintenue par le système d'ostéosynthèse.

2. PLANIFICATION

Afin de prédire l'angle nécessaire à donner dans l'ostéotomie, et parfois aussi le site de l'ostéotomie, des méthodes de planification ont vu le jour. D'abord basé sur des méthodes graphiques, elles sont devenues de plus en plus précises et utilisent des paramètres de l'équilibre sagittal du complexe spino-pelvien.

La première méthode décrite consistait à découper une radio (cf. figure 42) en passant à travers une vertèbre donnée, puis à faire pivoter la partie supérieure, avec une charnière située sur le mur antérieur de la vertèbre « ostéotomisée » artificiellement, afin d'avoir une plumb-line des conduits auditifs externes qui passe par le centre des têtes de hanche. C'était une méthode d'appréciation grossière de la correction à donner.

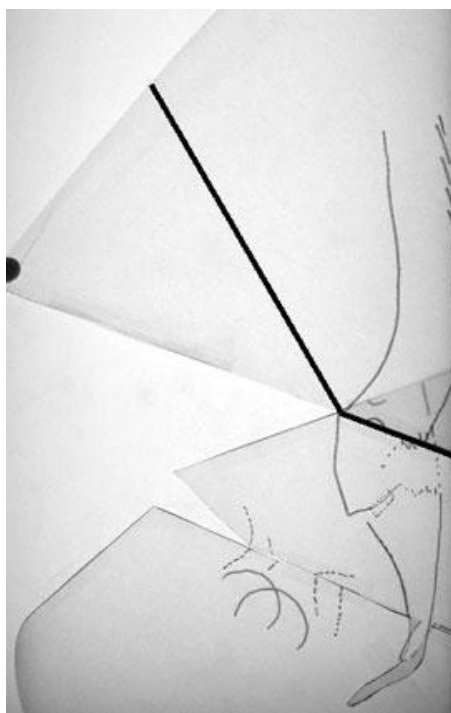


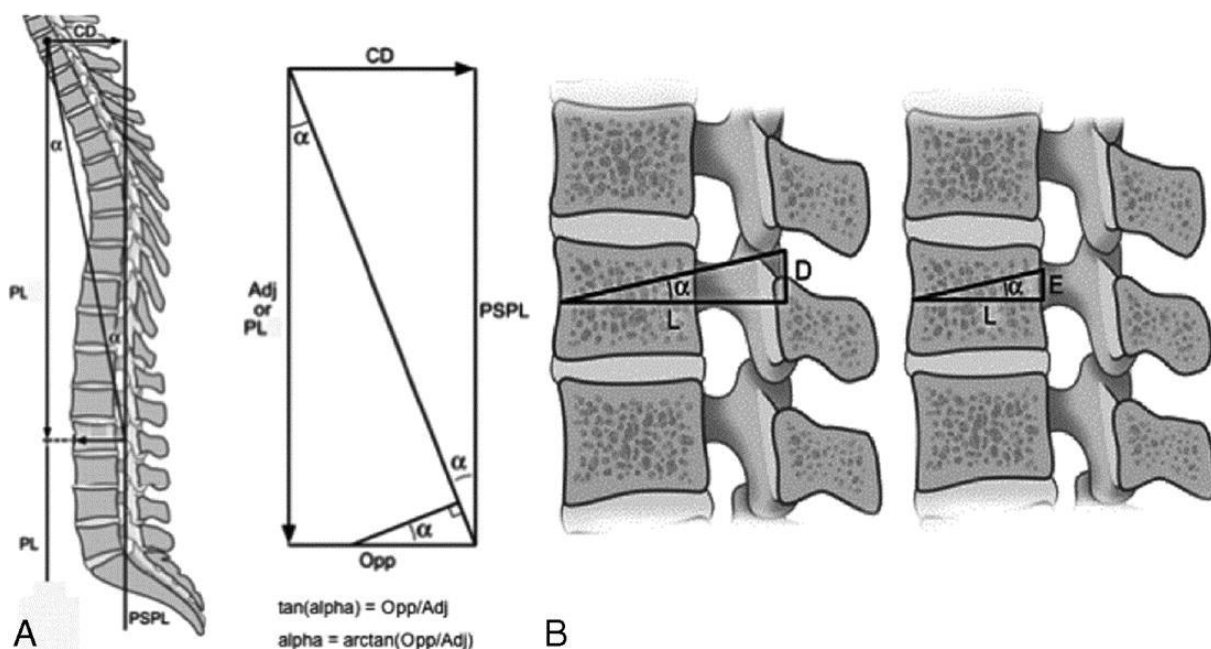
Figure n° 42 : technique de planification par calque de radio (collection JP.Farcy)

Ondra, et son équipe,^{70,114} a proposé des méthodes basées sur des calculs mathématiques (cf. figure 43). Son objectif est la restitution d'une plumb-line de C7 au niveau du

postéro-supérieur de S1. Sa valeur est déterminée en mesurant sur la radio les distances verticales entre C7 et la vertèbre à ostéotomiser et la plumb-line de C7 par rapport au coin postéro-supérieur de S1. Ainsi, on a l'angle d'ostéotomie α qui vaut :

$$\alpha = \tan^{-1}(\text{plumb-line de C7/distance verticale C7-vertèbre à ostéotomiser})$$

De là, il peut calculer les hauteurs des arcs postérieurs et du mur postérieur à réséquer. En fait, le véritable angle à appliquer est celui que forment les rayons entre un centre fixe au niveau du mur antérieur de la vertèbre à ostéotomiser et d'une part le centre de C7 et d'autre part le point à l'intersection de la plumb-line de S1 et l'horizontal au centre de C7. Ondra a validé sa première mesure en comparant les valeurs de ces 2 angles, qui sont superposables.



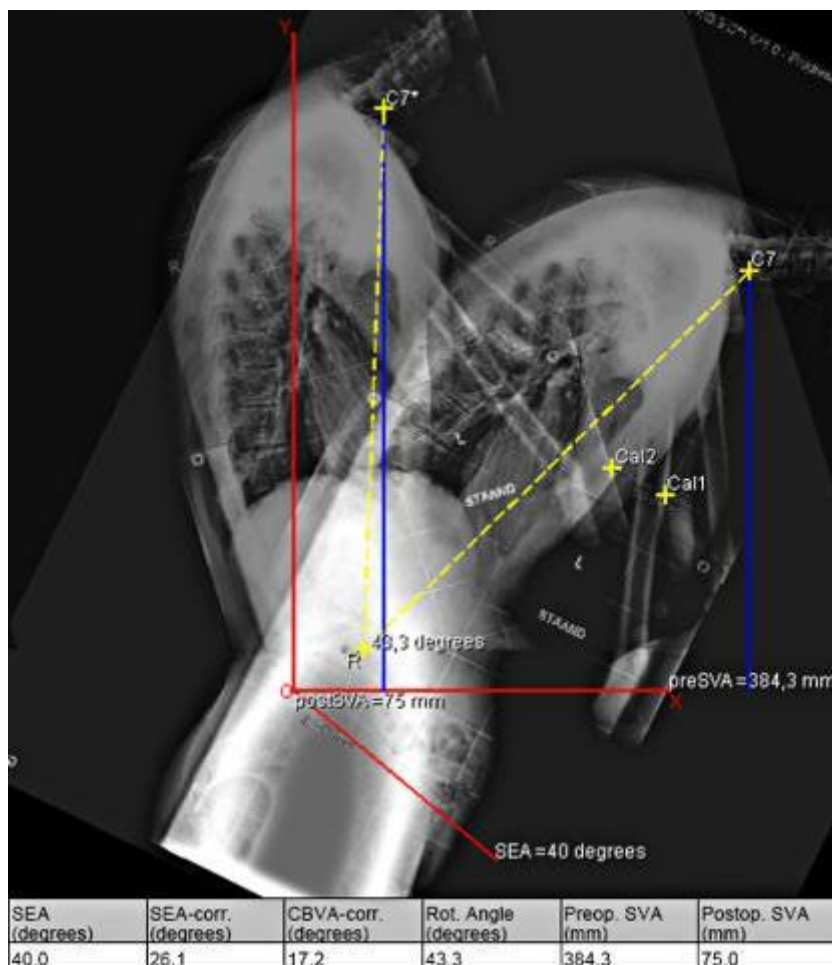
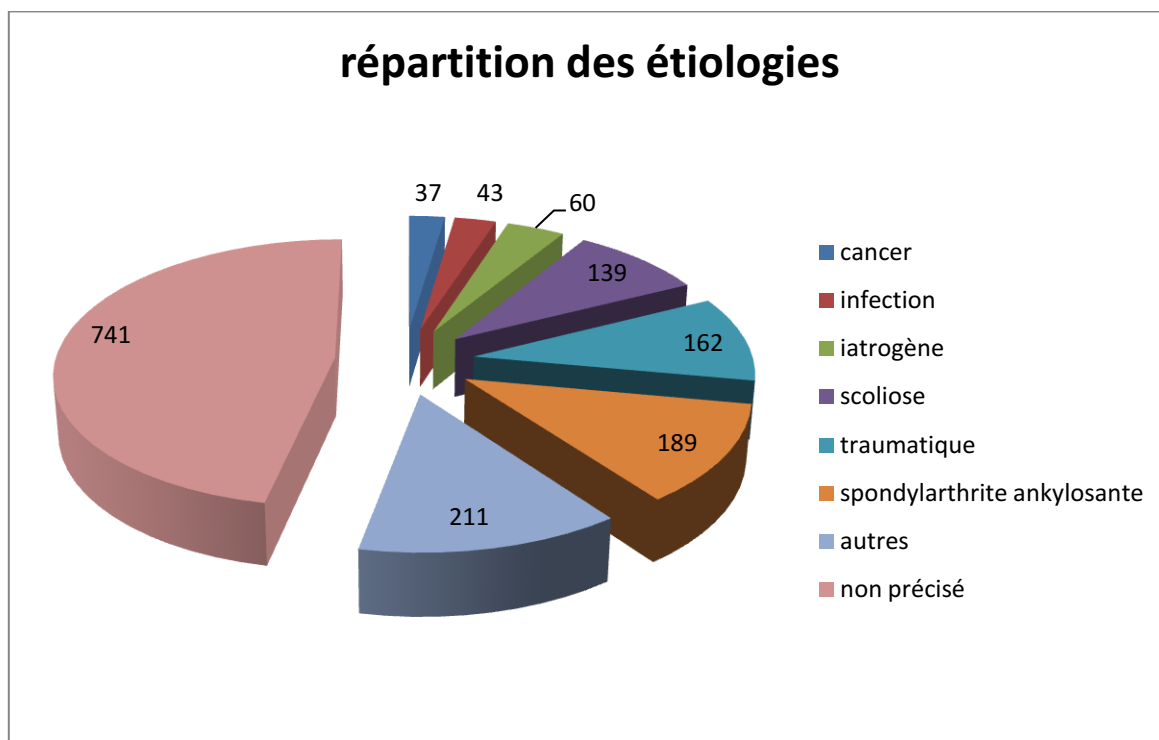


Figure n°44 : essai d'ostéotomies avec le logiciel ASKyphoplan

Enfin, Rose propose une méthode empirique ⁷⁸. Il constate que la valeur de la lordose

Les étiologies sont multiples (cf. figure 45) : sur les 1582 patients, les OST ont été proposées chez 37 patients atteints de cancer (de type non précisé), 43 pour des séquelles septiques (cal vicieux de spondylodiscite ou arthrodèse septique), 60 pour des troubles de l'équilibre sagittal iatrogènes (majoritairement des dos plats post opératoires), 139 fois pour des scolioses, 162 fois pour des séquelles de fractures, 189 fois pour des spondylarthrites ankylosantes, et 211 fois pour des causes autres (déformations dégénératives, autre). Le reste des étiologies (741 cas) n'a pas été précisé par les différents auteurs. La répartition est donc la suivante :



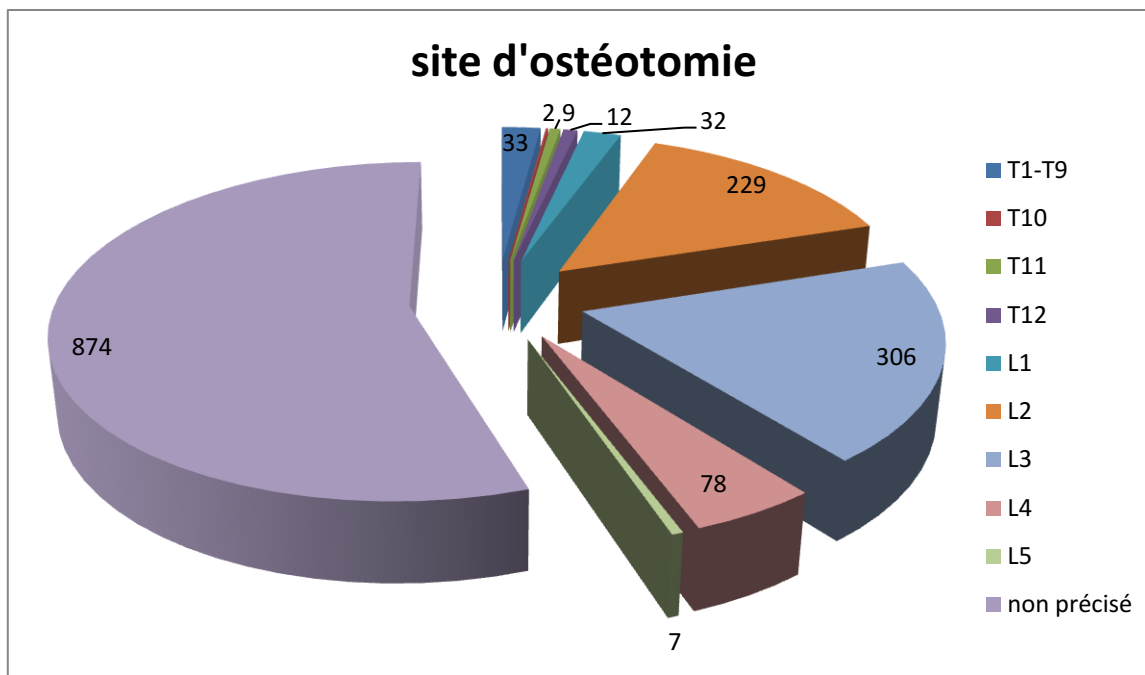


Figure n° 46 : localisation des ostéotomies

Les complications sont évaluées dans la plupart des séries. On retrouve 68 cas de complications neurologiques transitoires, 14 cas de troubles neurologiques définitifs, 107 pseudarthroses, 51 infections superficielles ou profondes, 26 fractures sus ou sous jacentes à l'ostéosynthèse, 13 protrusions de vis (le plus souvent iliaques) ayant nécessité leur ablation, 23 pathologies pulmonaires (pneumopathies, pneumotorax, atélectasie..), 10 défaillances cardiaques (infarctus, OAP..), 17 décès per ou péri opératoires, 18 complications thrombo-emboliques et 126 complications de nature différente. Certains patients ont présenté plusieurs complications. On note en tout 473

4. RESULTATS SUR L'EQUILIBRE SAGITTAL

Les résultats sont résumés en tableau 3.

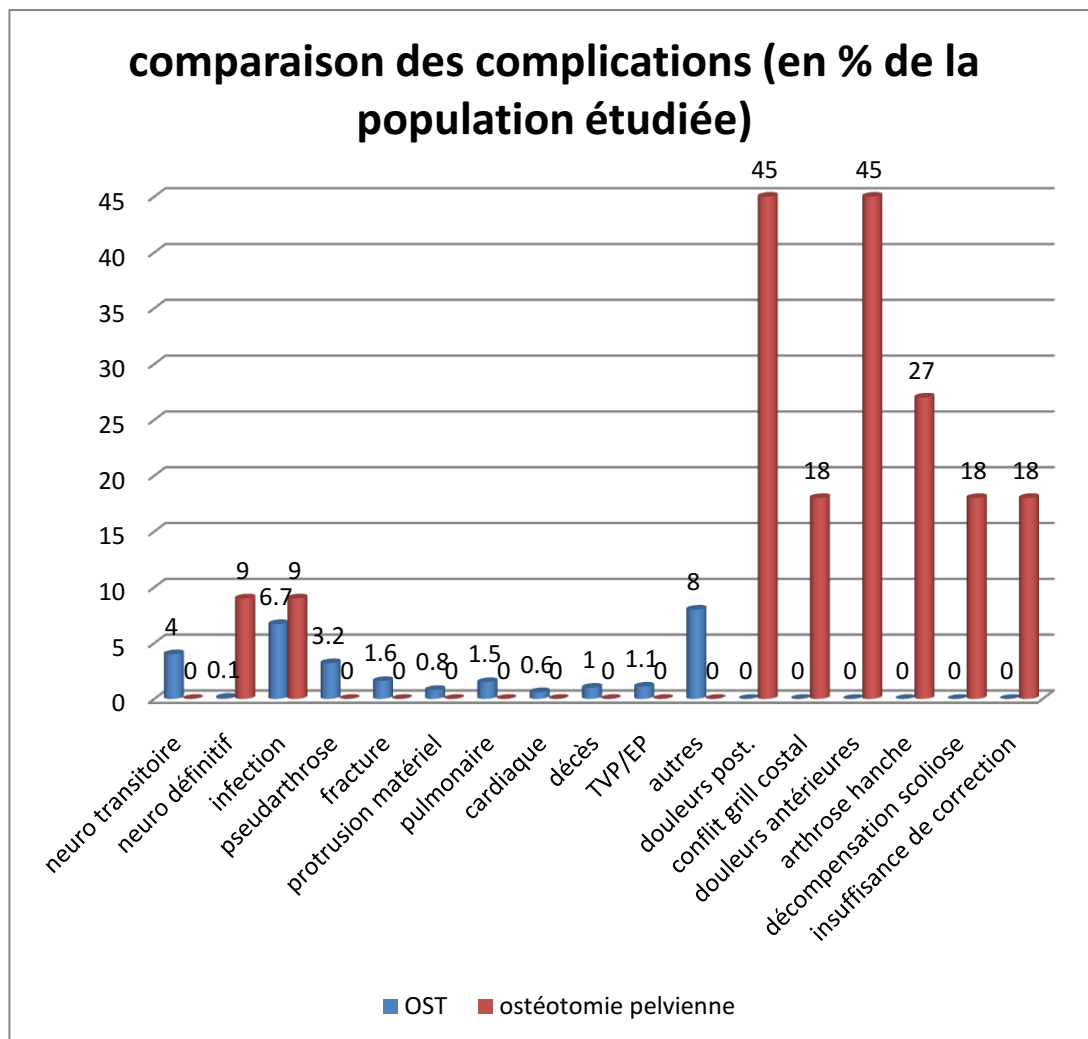
En ce qui concerne les paramètres radiologiques retrouvés, 973 patients ont eu une mesure radiologique de la plumb-line de C7, soit plus de 61% des patients. La plumb-line est améliorée de 9,2 cm en moyenne (extrêmes= 1,5-17,1 cm), reflet de la projection du tronc vers l'arrière. La pente sacrée gagne 14,9° sur une évaluation portée sur 178 patients (à peine 11% des patients), la version pelvienne est diminuée de 12° chez 105 patients. Le gîte sagittale de T9 est améliorée de 5° (évaluation sur 30 patients) vers l'arrière, autre reflet de la bascule vers l'arrière du tronc. L'axe front-menton gagne 31° chez 45 patients. La correction de la cyphose globale, évaluée sur 295 patients, est de 37,5° en moyenne (32-81,9°).

L'angle moyen d'ostéotomie est de 32,15° (extrêmes= 14-42,2°) chez 637 patients. La lordose lombaire gagne 33,3° (17-64°) chez 725 patients, la cyphose thoracique gagne 1,4° (de-19,3 à +12°).

Aucun auteur ne fait mention de l'angle spino-sacré, de l

Les étiologies sont multiples, aussi bien pour les OTP que pour les ostéotomies pelviennes. Elles semblent se recouper, le *primum movens* du déséquilibre étant souvent commun et le but des 2 types de chirurgie très proche. On note que dans les OTP, il existe une part prépondérante de patients porteurs de spondylarthrite ankylosante : on rappellera que cette technique chirurgicale a été développée initialement pour répondre aux déséquilibres présentés par ces patients.

Les complications sont majeures dans les OTP : on retrouve 473 complications pour 1582 patients, soit en moyenne 1 complication pour 3,3 patients. Dans les ostéotomies pelviennes, nous avons dénombré 21 complications pour 11 patients, soit 1 complication pour 1,9 patient. Nous avons relevé 68 complications neurologiques transitoires dans la série OTP, soit chez 4,3% des patients ; dans la série ostéotomie pelvienne, nous en avons 0. Ces 2 résultats sont statistiquement différents ($\chi^2=0$, $p>0,9999$). Pour les complications neurologiques définitives, ils en existent 14 dans le groupe OTP (0,9% de la population) et 1 dans le groupe ostéotomie pelvienne (4,8% de la population). Ces 2 résultats sont statistiquement différents ($\chi^2=1,399$, $p=0,2369$). Il existe 107 pseudarthroses dans le groupe OTP (6,8%) et 0 dans le groupe ostéotomie pelvienne. De même, on dénombre 51 infections dans le groupe



Il n'a pas été relevé de données sur l'axe front-menton dans notre série. De même, la cyphose globale n'a pas été évaluée dans notre série.

La lordose est nettement améliorée par une OTP, alors qu'elle est peu modifiée (+9,2°) par une ostéotomie pelvienne. Par contre, la cyphose thoracique est stable à la fois dans les OTP et les ostéotomies pelviennes.

Nous soulignons encore une fois qu'aucun auteur ne rapporte les valeurs des angles pelvi fémoraux dans les études d'OTP : de ce fait, il est impossible de savoir si une ostéotomie pelvienne est plus à même, comme nous le supposons, de corriger les défauts sous pelviens (et pelviens) qu'une OTP. Enfin, les auteurs n'ont pas fait mention de l'aplomb des conduits auditifs externes dans les études sur les OTP.

Un autre paramètre à souligner est la lourdeur de la rééducation. Bien que difficilement appréciable de façon objective, il apparaît d'après l'expérience du docteur Roussouly que la reprise d'activité après ostéotomie pelvienne est longue et lourde : parce qu'ils doivent garder un corset en général 3 mois, parce que les muscles des membres inf

CONCLUSION

V CONCLUSION

Les avancées récentes en physiopathologie rachidienne montrent l'importance des paramètres d'équilibre sagittal du rachis dans la genèse de la pathologie dégénérative. Depuis quelques années, on connaît le rôle fondamental du bassin, véritable organisateur des courbures rachidiennes sus jacentes. Afin de corriger un déséquilibre sagittal rachidien, il est habituel de proposer une intervention sur le segment rachidien : les ostéotomies vertébrales sont le gold standard aujourd'hui. Cependant, il nous est apparu logique de proposer une modification de l'élément clé de voute de cet ensemble rachis-bassin-hanche qu'est l'incidence pelvienne (IP) par une ostéotomie pelvienne.

Au travers de l'étude de bassins reconstruits par scanner, nous simulons informatiquement des ostéotomies pelviennes selon différentes techniques. Nous proposons une loi de comportement de l'incidence pelvienne (IP) au cours de l'ouverture pour chaque type :

$$IP_{finale} = IP_{initiale} - \frac{29,6 \times \text{ouverture antérieure$$

BIBLIOGRAPHIE

1. **Barrey C.** , J.Jund, O.Nosedá, P.Roussouly. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases *Eur spine J* 2007;16:1459-1467
2. **Berthonnaud E.** , J.Dimnet, P.Roussouly, H.Labelle. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters *J Spinal Disord Tech* 2005;18:40-47
3. **Birnbaum K.** , A.Pastor, A.Prescher, K.D.Heller. Complications of Chiari and Salter osteotomies *Surg Radiol Anat* 2000;22:225-233
4. **Blondel B.** , J.L.Jouve, M.Panuel, P.Adalian, C.Solari, P.Tropiano, G.Bollini. Etude de la fiabilité des mesures de l'incidence pelvienne dans l'analyse de l'équilibre sagittal du bassin *Rev Chir Orthop* 2008;94:321-326
5. **Boulay C.** , C.Tard

21. **Gangnet N.** , R.Dumas, V.Pomero, A.Mitulescu, W.Skalli, JM.Vital. 3D spinal and pelvic alignment in an asymptomatic population *Spine* 2006;31:E507-E512
22. **Gangnet N.** , V.Pomero, R.Dumas, W.Skalli, JM.Vital. Variability of the spine and pelvis location with respect to the gravity line *Surg Radiol Anat* 2003;25:424-433
23. **Gérard Y.** , Segal P, Jacob M. L'ostéotomie pelvienne préférée à l'ostéotomie rachidienne pour le traitement des grandes cyphoses de la spondylarthrite ankylosante *Rev Rhum* 1971;38:221-229
24. **Gill JB.** , A.Lewin, T.Burd, M.Longley. Corrective osteotomies in spine surgery *JBJS Am.* 2008;90:2509-2520
25. **Guidicelli P.** , J.Goubeau

41. **Kim KT.** , KS.Suk, YJ.Cho, GP.Hong, BJ.Park. Clinical outcome results of pedicle subtraction osteotomy in ankylosing spondylitis with kyphotic deformity *Spine* 2002;27:612-618
42. **Kim WJ.** , ES.Lee, SH.Jeon, I.Yalug. Correction of osteoporotic fracture deformity with global sagittal imbalance *Clin Orthop Rel Res* 2006;443:75-93
43. **Kim YJ.** , K.Bridwell, L.Lenke, O.Boachie-Adjeie, S.Marawar. What radiographic sagittal parameters correlate with improved SRS self-image scores postoperatively in patients with sagittal imbalance *The spine J* 2008;8:295-305
44. **Kim YJ.** , K.Bridwell, L.Lenke, G.Cheh. Long term results of lumbar

63. **Macnicol MF.** The Salter innominate osteotomy *Cur Orthop* 2007;21:85-93
64. **Mangione P.** , J.Sénégas. L'équilibre rachidien dans le plan sagittal *Rev Chir Orthop* 1997;83:22-32
65. **Molinari RW.** Sagittal plane decompensation *Curr Opin orthop* 2005;16:148-151
66. **Morvan G.** , M.Wybier, P.Mathieu, V.Vuillemin, H.Guerini. clichés simples du rachis: statique et relations entre rachis et bassin <

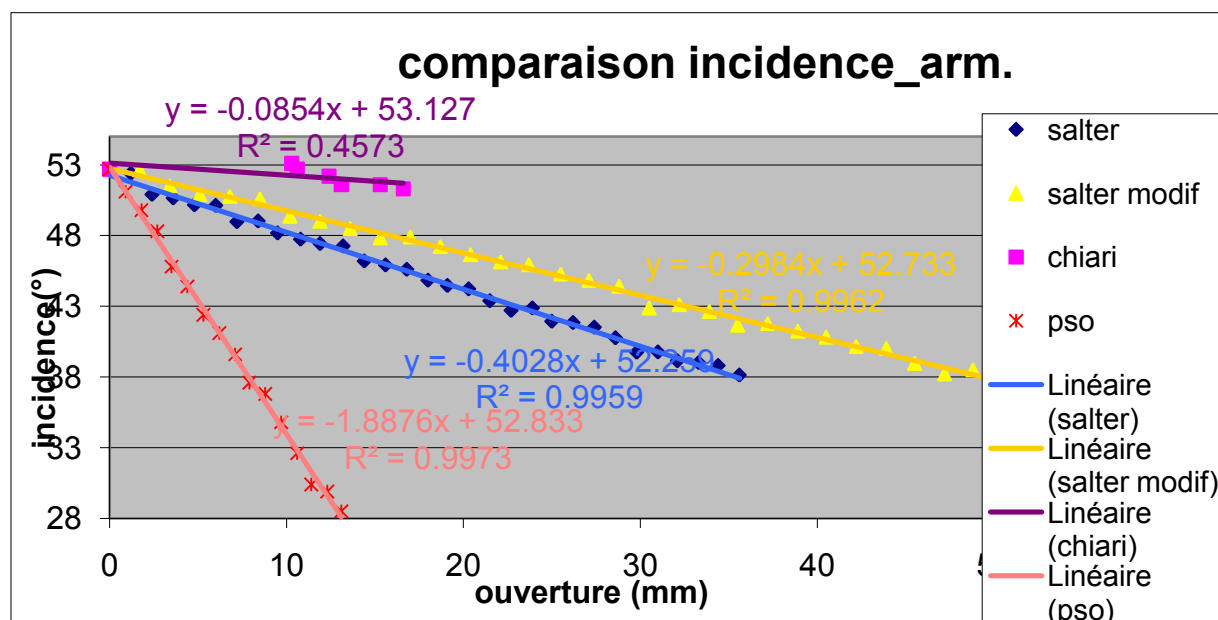
84. **Roy-Camille R.** , G.Saillant, G.Gagna, C.Mazel. Transverse fracture of the upper sacrum *Spine* 1985;10-9:838-45
85. **Sales de Gauzy J.** Indications des ostéotomies pelviennes chez l'enfant *Conférences d'enseignement de la SOFCOT* 1997;62:71-90
86. **Salmore W.** The pelvi-fémoral angle *JBJS Am.* 1944;26:392-393
87. **Salter RB.** The classic innominate osteotomy in the treatment of congenital dislocation

106. **Vital JM.** , I.Obeid. Statique rachidienne dans le plan sagittal *Mémoire pour la société d'imagerie musculo-squelettique*
107. **Vital JM.** , O.Gille, N.Gangnet. Equilibre sagittal et applications cliniques *Rev Rhum* 2004;71:120-128
108. **Wang MY.** , SH.Berven. Lumbar pedicle subtraction osteotomy *Neurosurg* 2007;60:140-146
109. **Watanabe K.** ,LG.Lenke, MD.Daubs, YW.Kim, YB.Kim, K.Watanabe, G.Stobbs. A central hook rod construct for osteotomy closure *Spine* 2008;33:1149-1155
110. **Wilson PD.**, DB.Levine. Compensatory pelvic osteotomy for ankylosing spondylitis *JBJS Am.* 196

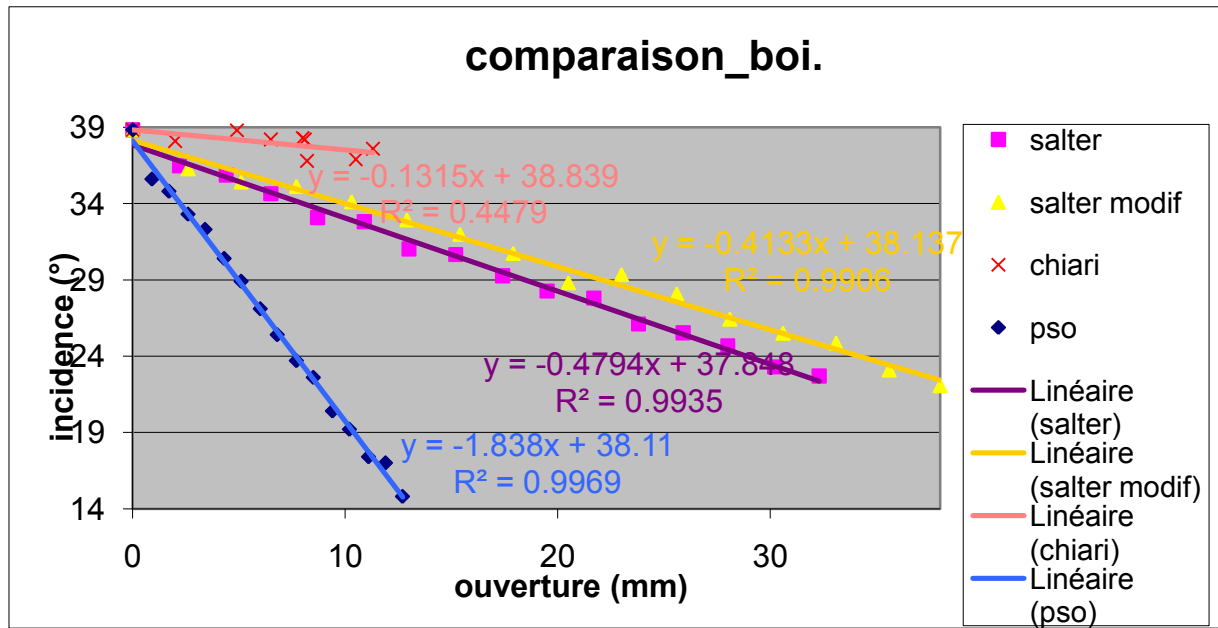
ANNEXES

Annexe I : graphiques de comparaison des évolutions des incidences et porte à faux de S1 pour chaque simulation étudiée

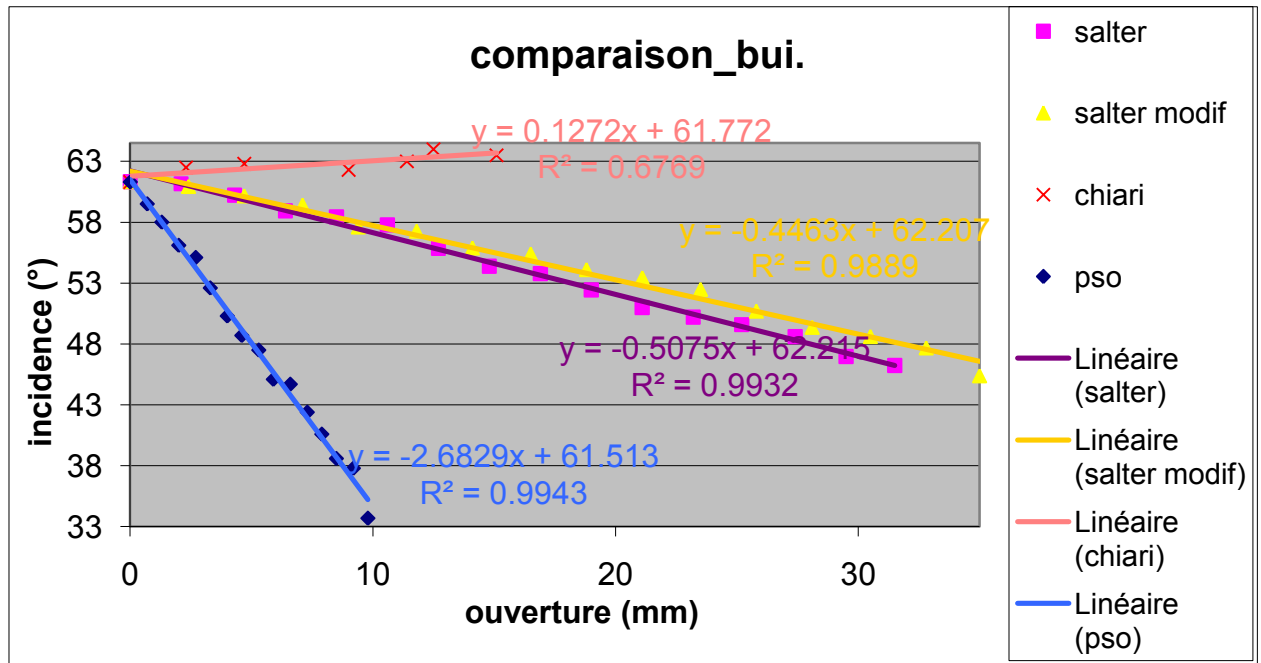
ARM.



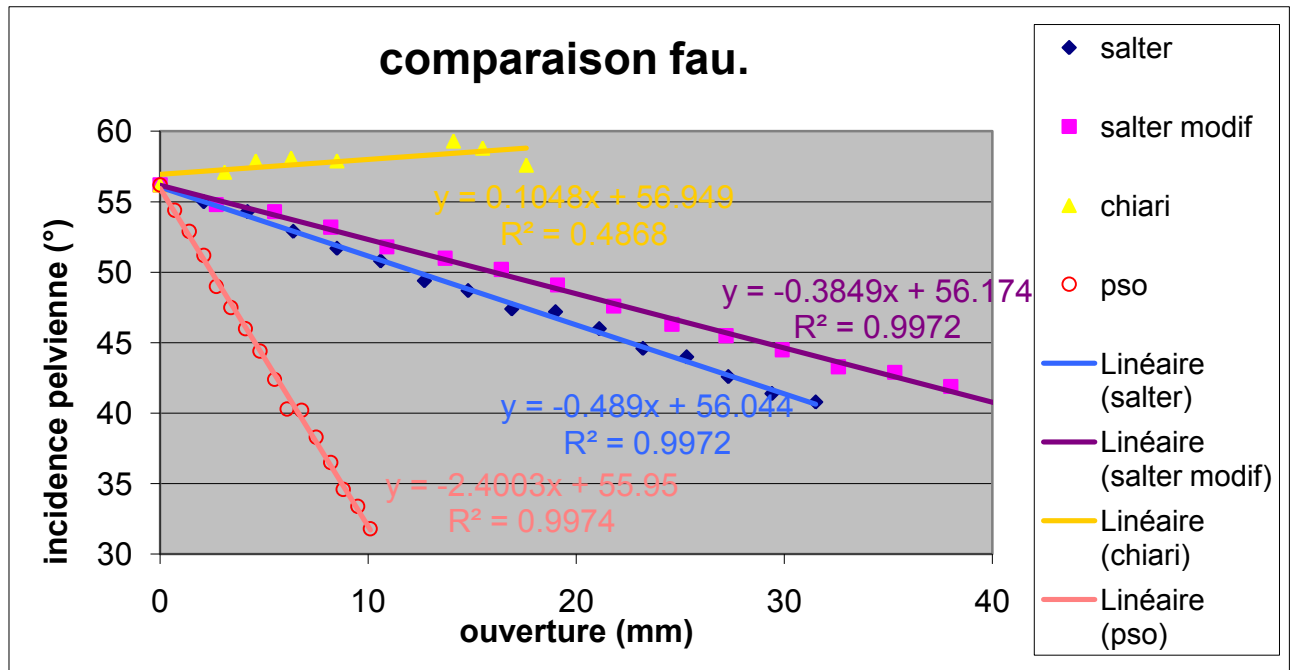
BOI.



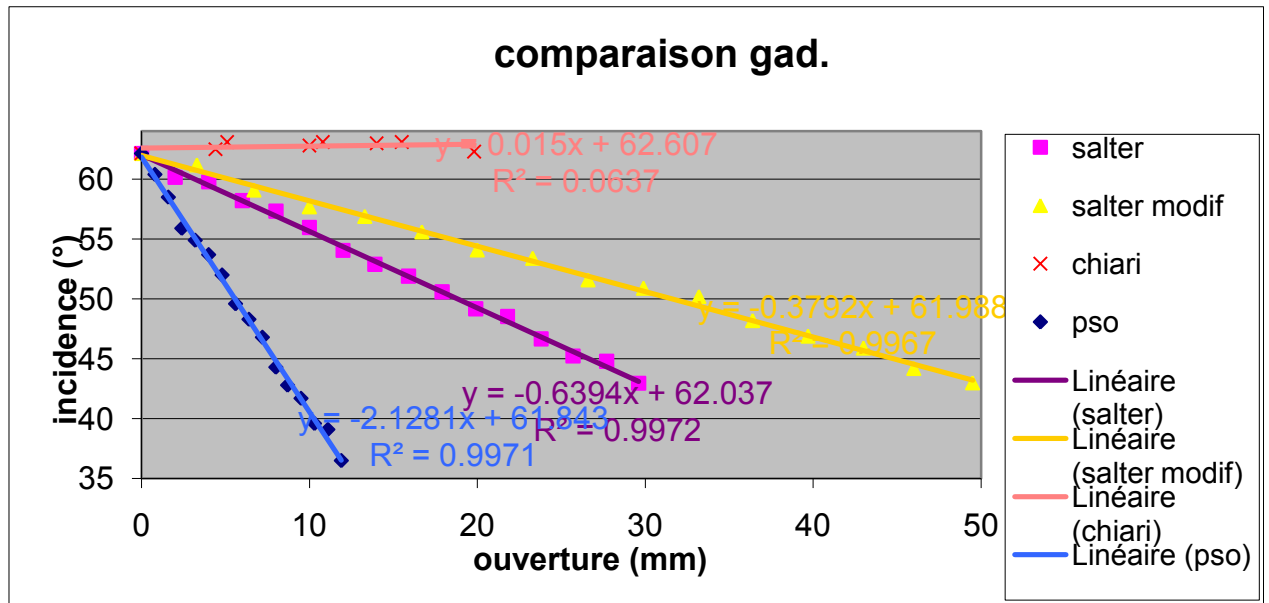
BUI.



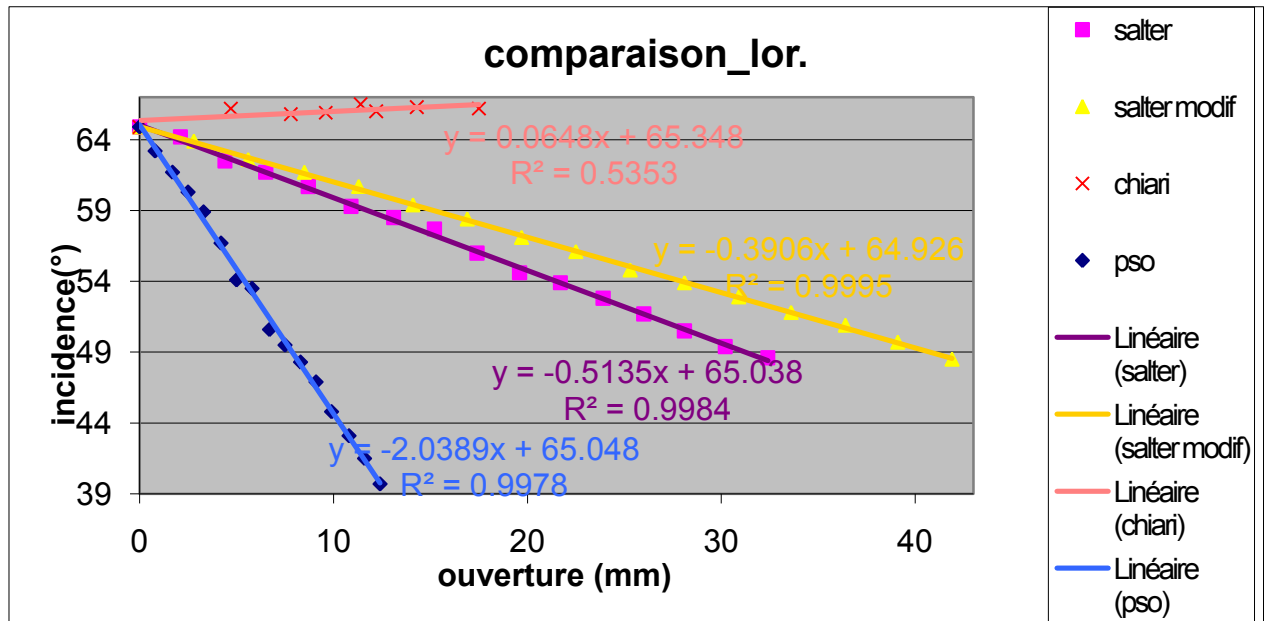
FAU.



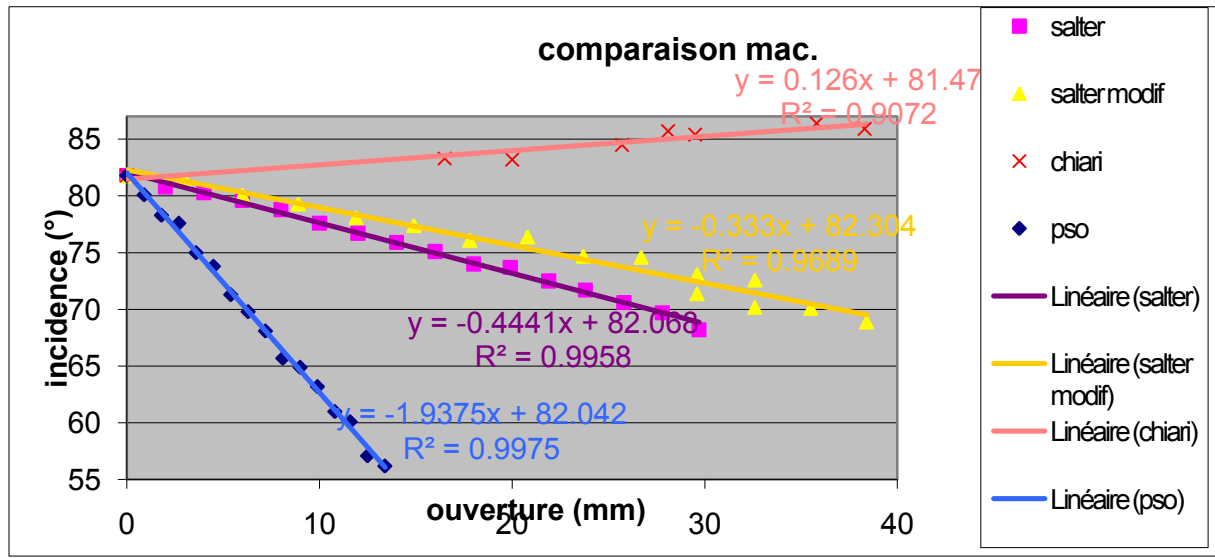
GAD.



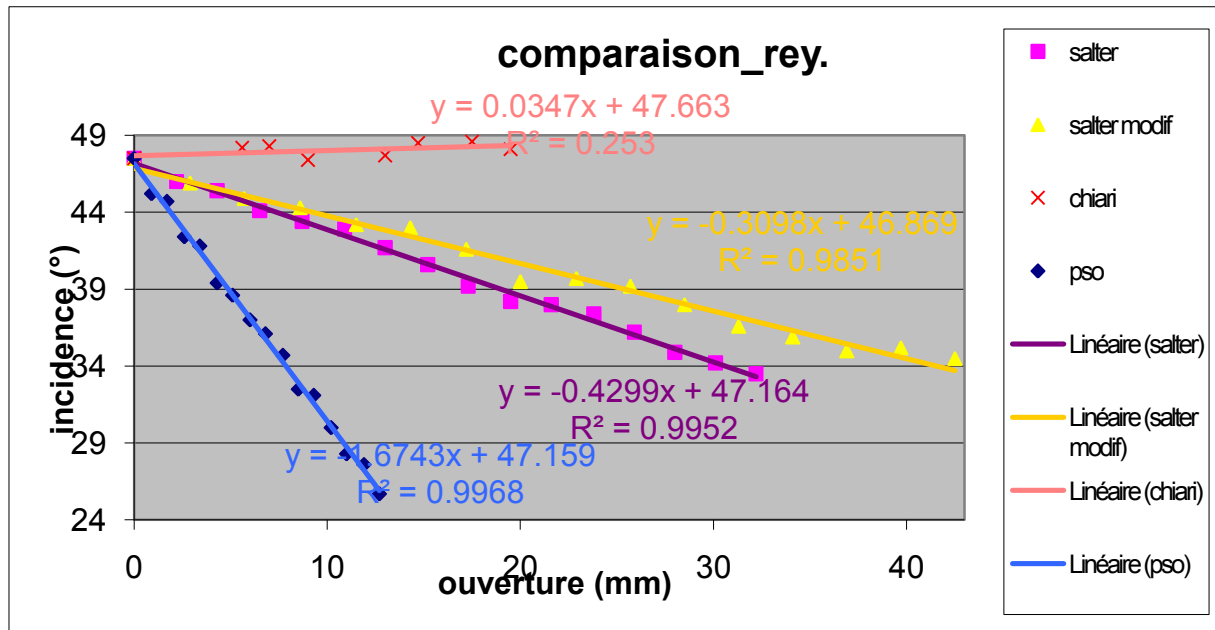
LOR.



MAC.



REY.



ROC.

