

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

ANNEE 2012

N° 118

THESE

Pour le

DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

Spécialité : CHIRURGIE GENERALE

Par

Djamel ATTOUCHE

Né le 04 avril 1978 à Tizi-ouzou (Algérie)

Présentée et soutenue publiquement le 22 octobre 2012

ARTHRODESE DU RACHIS LOMBAIRE
INSTRUMENTEE AVEC UTILISATION D'UNE
CERAMIQUE BIPHASEE MELANGEE A DE LA MOELLE
OSSEUSE

Président : Monsieur le Professeur GOUIN

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur PASSUTI

Membres du jury :

Monsieur le Professeur COURT

Monsieur le Docteur WAAST

ABREVIATIONS

ALIF: Anterior Lumbar Interbody Fusion.
APL: Arthrodèse Postéro-Latérale.
BCP: Biphasic Calcium Phosphate.
 β -TCP: Phosphate TriCalcique Béta.
CSM: Cellules Souches Mésenchymateuses.
CT: Cyphose Thoracique.
DAR: Dégénérescence Adjacente Radiologique.
De: Déplacement en extension.
Df: Déplacement en flexion.
EVA: Echelle Visuelle Analogique.
F: Féminin.
G: Gauge.
GST9: Gîte Sagittale T9.
HAP: Hydroxyapatite.
IRM: Imagerie par Résonance Magnétique.
LL: Lordose Lombaire.
M: Masculin.
MPa: Méga pascal.
PI: Incidence Pelvienne.
PLIF: Posterior Lumbar Interbody Fusion.
PT: Version Pelvienne ou Pelvis Tilt.
RR: Risque Relatif.
SPL: Spondylolisthésis.
SPLd: Spondylolisthésis dégénératif.
SPLi: Spondylolisthésis par lyse isthmique.
SS: Pente Sacrée ou Sacral Slope.
SVA: Sagittal Vertebral Axis.
TDM: Scanner (tomodensitométrie).
TLIF: Trans foraminal Lumbar Interbody Fusion.
XLIF: Latéral Lumbar Interbody fusion.
®: Symbole de marque déposée.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Angle transverse facettaire. Si cet angle est inférieur à 40°, il existe une sagittalisation des articulaires postérieures.....	22
Figure 2 : Cliché de trois-quarts du rachis lombaire montrant le petit chien de Lachapede décapité.....	26
Figure 3 : Paramètres pelviens.....	35
Figure 4 : Différents bassins montrant la variabilité interindividuelle de l'angle d incidence et de la pente sacrée.....	36
Figure 5 : Paramètres rachidiens.....	37
Figure 6 : Sagittal Vertebral Axis en situation négative, neutre et positive.....	38
Figure 7 : Changement progressif de PT au cours du processus dégénératif : le type de dos change par affaissement discal mais PI est constant. Seules SS et PT varient.....	39
Figure 8 : Les quatre types de rachis selon ROUSSOULY.....	41
Figure 9 : Deux arcs de cercle dont le centre est situé sur une ligne horizontale passant par l'apex permettent de reconstruire la lordose lombaire selon un concept biomécanique. Le point supérieur est le point d'inflexion qui délimite le passage à la cyphose thoracique.....	41
Figure 10 : Architecture d'une biocéramique conventionnelle macroporeuses.....	44
Figure 11 : Nombre de cas de spondylolysthésis par lyse isthmique selon les stades évolutifs d'après la classification de Meyreling.....	52
Figure 12 : Exemple radiographique d'un cas d'arthrodèse circonférentielle par voie postérieure à 11 ans de recul (APL L4-L5 et TLIF L4-L5). A : Radiographie en flexion, B : en extension et C : Télérachis en position debout.....	53
Figure 13 : Exemple radiographique d'un cas d'arthrodèse circonférentielle en deux temps (cage L5-S1 par voie antérieure et APL L5-S1 par voie postérieure) à 17 ans de recul. A : Radiographie dynamique en flexion, B : en extension.....	54
Figure 14 : A) Nombre de cas en fonction du nombre d'étages fusionnés..... B) Nombre de cas en fonction des différents niveaux fusionnés.....	54
Figure 15 : Mesure du déplacement antéro-postérieur (Df en mm).....	57
Figure 16 : Identification des repères anatomique sur un télérachis de profil sur logiciel Spineview® et calcul automatique des paramètres pelviens et rachidiens.....	58

Figure 17 : A- Détection des contours.....	59
B- Analyse des radiographies dynamiques lombaires.....	59
Figure 18 : Résultats de la mobilité angulaire intervertébrale des différents niveaux calculés par Spineview.....	59
Figure 19 : Technique de mesure de mobilité antéro-postérieure sur les clichés dynamiques : Mobilité antéro-postérieure (mm) = De + Df.....	60
Figure 20 : Radiographie à 13 ans recul, montrant le cas d'ablation total du matériel d'instrumentation A : Radiographie dynamique en flexion, B : en extension. C : Télérachis debout.....	63
Figure 21 : Nombre de cas de syndrome adjacent en fonction des signes radiologiques identifiés au dernier recul.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des patients de la série.....	51
Tableau 2 : Indications d'arthrodèse chez les 56 patients.....	52
Tableau 3 : Motifs de reprise chirurgicale et type de chirurgie réalisée dans la série.....	65
Tableau 4 : Données cliniques chez les patients au dernier recul.....	66
Tableau 5 : Mobilité intervertébrale des étages fusionnés chez les 56 patients au dernier recul.....	67
Tableau 6 : Principales valeurs des différents paramètres pelviens et rachidiens mesurés chez les patients au dernier recul.....	68

LISTE DES PHOTOS

- Photo 1 : A) Granulés de BCP, B) Granulés de BCP associés à de la moelle osseuse.....55
- Photo 2 : A) Trocart 11 G, B) Ponction de moelle osseuse dan la crête iliaque postérieure...55
- Photo 3 : Instrumentation rachis par vis pédiculaires et deux tiges pré cintrées.....56

SOMMAIRE

INTRODUCTION -----	9
RACHIS LOMBAIRE PATHOLOGIQUE -----	11
1/ GENERALITES :-----	11
2/ PATHOLOGIES DEGENERATIVES DU RACHIS LOMBAIRE :-----	11
<u>2.1/ Arthrose articulaire</u> :-----	11
<u>2.2/ Instabilité intervertébrale</u> :-----	12
<u>2.3/ Hernie discale</u> :-----	13
<u>2.4/ Spondylolisthesis dégénératif (SPLd)</u> :-----	14
<u>2.5/ Sténoses lombaires (canal lombaire étroit)</u> :-----	16
3/ SPONDYLOLISTHESIS PAR LYSE ISTHMIQUE (SPLI) :-----	17
4/ SYNDROME ADJACENT :-----	20
TRAITEMENT CHIRURGICAL DES PATHOLOGIES DEGENERATIVES DU RACHIS LOMBIRE -----	22
1/ INSTRUMENTATION :-----	22
2/ TECHNIQUE D'ARTHRODESE :-----	23
<u>2.1/ Arthrodèse postérieure</u> :-----	23
<u>2.2/ Arthrodèse postéro-latérale (APL)</u> :-----	23
<u>2.3/ Arthrodèse intersomatique par voie postérieure ou PLIF (Posterior Lumbar Interbody Fusion)</u> :-----	24
<u>2.4/ Arthrodèse intersomatique par voie trans foraminale ou TLIF (Trans foraminal Lumbar Interbody Fusion)</u> :-----	24
<u>2.5/ Arthrodèse intersomatique antérieure ou ALIF (Anterior Lumbar Interbody Fusion)</u> :-----	25
<u>2.6/ Arthrodèse intersomatique par voie latérale ou XLIF (latéral Lumbar Interbody fusion)</u> :-----	25
<u>2.7/ Arthrodèse circonférentielle</u> :-----	26
<u>2.8/ Autres techniques d'arthrodèse</u> :-----	26
EQUILIBRE SAGITTAL ET DYSFONCTION RACHIDIENNE -----	27
1/ PARAMETRES PELVIENS (FIGURE 3, 4):-----	27
2/ PARAMETRES RACHIDIENS (FIGURE 5):-----	29
3/ RELATION ENTRE PARAMETRES PELVIENS ET RACHIDIENS:-----	31
4/ CLASSIFICATION DE ROUSSOULY :-----	33
5/ ADAPTATION RACHIDIENNE EN SITUATION PATHOLOGIQUE ET CHIRURGIE :-----	35
LES SUBSTITUTS DE L'OS -----	36
1/ INTRODUCTION :-----	36
2/ DEFINITIONS :-----	37
3/ CERAMIQUE DE PHOSPHATE DE CALCIUM :-----	38
<u>3.1/ TRIOSIT®</u> :-----	39
<u>3.2/ BCP BiCalPhos®</u> :-----	39
L'INTERET DE L'ASSOCIATION CERAMIQUE-MOELLE OSSEUSE -----	41
LA SERIE : ARTHRODESE DU RACHIS LOMBAIRE INSTRUMENTEE AVEC UTILISATION D'UNE CERAMIQUE BIPHASEE MELANGEE A DE LA MOELLE OSSEUSE -----	42
1/ INTRODUCTION :-----	42
2/ MATERIEL ET METHODES :-----	43
3/ RESULTATS :-----	55
4/ DISCUSSION :-----	63
5/ CONCLUSION :-----	69

BIBLIOGRAPHIE -----70

ANNEXE -----ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

INTRODUCTION

La pathologie dégénérative est l'une des pathologies les plus fréquentes du rachis lombaire. Sa prise en charge représente un coût très élevé pour la société et repose sur un arsenal thérapeutique aussi bien médical que chirurgical.

Lorsqu'un traitement médical échoue, un traitement chirurgical peut s'imposer selon une stratégie bien précise, avec pour objectif de libérer les structures nerveuses comprimées, de redonner une stabilité durable et de restaurer un équilibre statique et dynamique de la colonne vertébrale soit en conservant, soit en neutralisant la mobilité du segment fonctionnel traité.

L'analyse de l'équilibre sagittal du rachis tient actuellement une place essentielle dans la compréhension et le traitement de nombreuses pathologies rachidiennes [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11].

L'arthrodèse est la réponse la plus courante à la pathologie dégénérative et à l'instabilité générée par une pathologie, un traitement (iatrogène) ou certains gestes de décompression.

Différents types d'arthrodèse existent : les arthrodèses par voie postérieure (arthrodèse postéro-latérale et ou intersomatique), les arthrodèses intersomatiques par voie antérieure ou par voies combinées et les arthrodèses circonférentielles en deux temps (antérieure et postérieure).

Ces arthrodèses ont pour objectif la fusion osseuse intervertébrale à l'aide de l'apposition d'un greffon. Un matériel d'ostéosynthèse est utilisé pour assurer la stabilité primaire du greffon. Cette solution sacrifie la mobilité segmentaire au profit de la stabilité.

Le greffon est le plus souvent prélevé sur le patient opéré (autogreffe). Il est constitué des éléments osseux réséqués (arc postérieur), complétés si besoin par un prélèvement iliaque spongieux ou tricortical (ce dernier étant utilisé dans les greffes intersomatiques).

L'autogreffe a les avantages de la compatibilité immunologique et de la présence des ostéoblastes, principaux acteurs de l'ostéogenèse et de la fusion.

Ses inconvénients sont la quantité limitée qui peut être récoltée et l'augmentation de la morbidité péri et post-opératoire en cas de prélèvement iliaque [12,13,14,15,16]. Ainsi, l'utilisation d'un substitut du tissu osseux est envisageable pour éviter ces complications inhérentes à cette prise de greffe osseuse autologue. Les céramiques de phosphate de calcium sont une alternative intéressante.

En outre l'arthrodèse expose à long terme au risque de dégénérescence des niveaux adjacents (syndrome jonctionnel). De nombreux auteurs tentent d'identifier des facteurs de risque responsables de cette dégénérescence prématurée. Des systèmes de stabilisation souple, voire hybrides ont été proposés afin de prévenir cette dégénérescence adjacente.

Nous avons restreint notre travail aux étiologies dégénératives retrouvées dans notre série ainsi qu'à une description sommaire des principales techniques utilisées dans l'arthrodèse du

rachis lombaire, des paramètres d'équilibre sagittal du rachis et des céramiques phosphocalciques.

RACHIS LOMBAIRE PATHOLOGIQUE

1/ Généralités :

Plusieurs types de pathologies affectant le rachis lombaire ont été décrits, classés selon leur mécanismes pathogéniques en : maladies du métabolisme osseux, infections, tumeurs, déformations, traumatismes et dégénérescences.

Nous exposons dans ce chapitre uniquement les pathologies traitées dans notre étude (pathologies dégénératives sans déformation et spondylolisthésis par lyse isthmique).

2/ Pathologies dégénératives du rachis lombaire :

Le facteur commun de toutes les pathologies dégénératives lombaires est la dégénérescence discale, qui est très fréquente dans la population générale avec une prévalence qui augmente avec l'âge, atteignant 71% chez les patients entre 65 et 74 ans.

Bien que l'étiologie de ces affections dégénératives soit partagée entre l'âge, les traumatismes répétés, les facteurs immunologiques, biochimiques ou génétiques, il est reconnu que certains mouvements et professions augmentent le risque de dégénérescence lombaire. On note dans cette dernière catégorie certaines disciplines athlétiques [17,18,19], les travaux de force, mais également les emplois stressants [20], contraignants à des positions vicieuses prolongées.

Les pathologies dégénératives du rachis lombaire, les plus fréquemment à l'origine des douleurs lomboradiculaires [21], sont représentées par les discopathies dégénératives pures (forme d'arthrose articulaire), les hernies discales et les séquelles des hernies discales opérées (dégénérescence post-décompression), les sténoses lombaires, souvent associées à un spondylolisthésis dégénératif, et les scolioses dégénératives.

La fréquence et le retentissement des symptômes de ces pathologies tant à l'échelon individuel que sur le coût pour la société, nécessite une réponse claire aux questions concernant le fondement anatomique, les facteurs prédisposant et les moyens diagnostiques et thérapeutiques mis en œuvre aujourd'hui.

2.1/ Arthrose articulaire :

L'arthrose articulaire du rachis est définie comme une dégénérescence évolutive des articulations intervertébrales [22], elle se traduit, au niveau du rachis lombaire, par une limitation de la mobilité accompagnée souvent de lombalgies et radiculalgies.

Les lésions dégénératives peuvent siéger sur les apophyses articulaires et/ou sur l'articulation

intervertébrale antérieure (discopathie). Leur évolution s'effectue selon un certain ordre chronologique :

- *L'altération dégénérative du disque constitue souvent la lésion initiale :*

- * Le nucléus pulposus commence sa dégénérescence par une déshydratation, puis se fragmente. Le disque intervertébral perd de sa hauteur ou de son épaisseur.
- * L'annulus fibrosis peut se fissurer et des fragments du nucléus peuvent s'insinuer dans les fissures, en réalisant une hernie discale.
- * Des ostéophytes corporeaux apparaissent secondairement, surtout à la partie antérieure et latérale du corps vertébral, parfois à la partie postérieure réalisant des ostéophytes marginaux.

- *L'arthrose inter apophysaire :*

- * Les surfaces cartilagineuses au niveau des petites apophyses articulaires sont étroites mais capitales pour la stabilité intervertébrale. Ces surfaces peuvent être le siège de lésions dégénératives, au même titre que toutes les articulations.
- * Au cours du pincement discal, elles subissent des contraintes mécaniques très élevées. Les interlignes se pincent et des ostéophytes peuvent se développer sur le pourtour des facettes.
- * Ces ostéophytes, par leur volume, ont tendance à diminuer le calibre des foramens et peuvent provoquer des radiculalgies. Ils peuvent aussi s'hypertrophier et pénétrer dans le canal en donnant une sténose ou canal lombaire étroit arthrosique.

- *L'instabilité*

- * L'association de l'usure des zygapophysaires et pincement du disque peut favoriser le glissement vertébral en avant (antélisthésis = spondylolisthesis), ou en arrière (rétrolisthésis).
- * Le spondylolisthesis dégénératif est favorisé par l'inclinaison du disque en avant et en bas. Au niveau du disque L5-S1, incliné en bas, le déplacement se fait toujours en avant donnant un antélisthésis de L5 sur S1.
- * Au niveau du disque L4-L5 et surtout au niveau de L3-L4 qui sont des disques plus horizontaux et même inclinés en bas et en arrière, le glissement est souvent un rétrolisthésis.
- * En plus de ces glissements, peuvent se produire des subluxations rotatoires à l'origine des dislocations et déformations dégénératives.

2.2/ Instabilité intervertébrale :

L'émergence, ces dernières années, du concept de l'instabilité vertébrale va dans le sens d'une recherche de clarification, mais ce concept reste difficile à définir.

Paris [23] a défini l'instabilité vertébrale comme « une condition dans laquelle l'intégrité normale des ligaments et des muscles du rachis est insuffisante pour prévenir que des forces normales agissant sur le rachis produisent des mouvements aberrants (au niveau intervertébral) tels que des glissements, des translations et des secousses ».

D'après Panjabi et White, l'instabilité clinique correspond à une diminution significative de la capacité de la colonne vertébrale à maintenir, dans les conditions physiologiques, ses rapports

anatomiques normaux, au risque d'entraîner une dysfonction neurologique médullaire et radiculaire, une déformation ou une douleur invalidante [24,25,26].

Le sens biomécanique du terme est associé à une anomalie de cinématique intervertébrale, objectivée soit par un axe de rotation intervertébrale atypique [27], soit par des rotations intervertébrales anormalement faibles ou anormalement élevées [28,29,30].

De nombreux auteurs [31,32,33,34] ont utilisé des indices radiologiques qualitatifs ou quantitatifs afin de déceler une instabilité rachidienne.

Les critères utilisés par Guigui et al [35] tiennent compte de quatre types d'instabilité : rotatoire, translationnelle, rétrolisthésis et acquise iatrogénique, définis par Frymoyer et al [29].

Les auteurs susmentionnés considèrent un étage comme instable, si sur les radiographies dynamiques apparaît une dislocation rotatoire et/ou un glissement supérieur ou égal à 2 mm (apparition d'un glissement ou aggravation d'un glissement préexistant) et/ou s'il existe une hypermobilité, jugée en fonction des critères de Dvorak [36,37] : déplacement angulaire supérieur ou égal à 14,5 degrés en L2 L3, à 15,5 degrés en L3 L4, à 18 degrés en L4 L5 et à 17 degrés en L5 S1.

L'instabilité segmentaire du rachis lombaire est considérée par certains auteurs comme une cause majeure de lombalgies et radiculalgies [38] et constitue souvent un facteur important dans la réflexion et le choix, de l'indication thérapeutique pour arthrodèse avec décompression [39,40,41,42].

2.3/ Hernie discale :

Une hernie discale lombaire est définie comme une saillie plus ou moins importante du matériel discal (nucleus pulposus) à travers une déchirure de l'anneau fibreux (annulus fibrosus). Cette hernie se produit surtout au niveau des disques L4L5 ou L5S1 [43], en raison des fortes pressions qu'elles doivent subir, à l'occasion d'un mouvement de force ou d'un traumatisme, pouvant entraîner une compression radiculaire.

Dans le plan axial on décrit les hernies médianes, postéro latérales ou paramédianes, foraminales et extra foraminales. Dans le plan sagittal on décrit les hernies ascendantes et descendantes. De plus ces hernies peuvent être exclues (vis-à-vis du ligament longitudinal postérieur).

Les facteurs étiologiques sont multiples et intriqués : dégénérescence du disque liée à l'âge, traumatisme aigu, traumatismes de faible importance mais répétés [44,45,46], déficiences structurelles de l'annulus [47], facteurs biochimiques [48] ou bien génétiques, responsables de la prédisposition héréditaire pour une hernie discale adulte ou juvénile [46,49]. Plus rarement, une arthrodèse rigide peut être à l'origine d'une hernie au niveau adjacent [50].

Le diagnostic de la hernie discale se fait principalement en clinique mais l'imagerie est nécessaire afin de donner une description correcte du problème (concordance radio clinique).

Les hernies discales sont mises en évidence sur les examens scanner, myélographie ou IRM, le dernier étant considéré le « gold standard » de l'exploration en imagerie pour cette affection [51]. En cas de données peu concluantes, la discographie peut avoir un intérêt en reproduisant la lombalgie discogénique.

Le traitement des hernies est principalement conservateur, basé sur le repos, joint aux anti-inflammatoires (éventuellement complété par des infiltrations à la cortisone), aux antidouleurs et aux décontractants musculaires, une kinésithérapie prudente.

Dans les 10 -20 % d'échec de ce traitement et dans les formes hyperalgiques et paralysantes, une approche chirurgicale de style décompressive est envisagée, habituellement par voie postérieure, une stabilisation par arthrodèse étant rarement nécessaire.

2.4/ Spondylolisthesis dégénératif (SPLd) :

Le terme de spondylolisthesis (dérivé du grec "spondylos", vertèbre, et "olisthésis" glisser vers le bas sur une pente) a été introduit en 1854 par Killian et appliqué à diverses formes de glissement vertébral.

C'est Junghanns [52] qui décrit pour la première fois en 1930 cette pathologie sous le nom de « spondylolisthésis avec l'arc neural intact ». Le terme « spondylolisthésis dégénératif » est proposé en 1963 par Newman [53], Il se définit comme tout glissement vertébral vers l'avant par rapport à la vertèbre sous-jacente sans lyse isthmique.

Cette forme de spondylolisthesis s'observe le plus souvent à partir de 50 ans, chez la femme après la ménopause (avec un sex-ratio de quatre femmes pour un homme). Habituellement, le glissement ne dépasse pas 30 % de la largeur du corps vertébral.

Le segment L4-L5 est le plus fréquemment atteint alors que le niveau L5-S1 reste souvent préservé (il peut exceptionnellement intéresser plusieurs étages). Sa prévalence dans la population générale est mal connue ; cependant chez les sujets lombalgiques de plus de 50 ans, il touche 7,5 % des hommes, 16,7 % des femmes nullipares et 28 % des femmes multipares [54].

Le rétroolisthésis dégénératif (glissement vertébral vers l'arrière par rapport à la vertèbre sous-jacente) est moins fréquent que le glissement antérieur, touche plutôt les hommes et de préférence les vertèbres L2 et L3 [55]. Il s'agit le plus souvent de lésions dégénératives étagées et de découverte fortuite sans qu'il y ait de compression des éléments neurologiques.

La physiopathologie du SPLd n'est pas parfaitement établie. La destruction arthrosique des articulaires postérieures associée parfois à un certain degré d'incongruence (subluxation) et sagittalisation des surfaces articulaires, favorisés par l'ostéoporose et le relâchement musculoligamentaire [56], autorise le glissement de la vertèbre et de tout le rachis sus-jacent.

E. Morel [57], dans une analyse descriptive des paramètres pelviens et rachidiens de l'équilibre sagittal d'une cohorte de 70 patients traités pour SPLd, a retrouvé une forte incidence pelvienne qui pourrait être l'un des facteurs de la genèse d'un glissement dégénératif.

Ce glissement reste modéré (grade 1-2 selon Meyerding) [58] mais l'arthrose interarticulaire favorise l'apparition des ostéophytes, souvent intracanaux, et la protrusion postérieure du disque dégénéré, à l'origine des sténoses latérales et centrales, aggravées par l'épaississement du ligament jaune.

Le SPLd peut être accompagné sur un plan clinique de lomboradiculalgies d'intensité variable et de troubles neurologiques, par effet coupe cigare, à l'origine de limitations fonctionnelles.

Le diagnostic du déplacement antérieur se fait sur une radiographie standard de profil du rachis lombaire. Sur l'incidence de face (grand cliché de De Sèze), on cherche une anomalie de charnière (sacralisation de L5...), ou des lésions associées. Les clichés de trois quarts n'ont pas un grand intérêt, sauf en cas de doute sur une lyse isthmique associée. Les clichés dynamiques de profil en flexion et en extension peuvent démasquer une hypermobilité segmentaire qui peut modifier la stratégie thérapeutique.

L'examen TDM permet de visualiser les lésions dégénératives du disque intervertébral et de l'arc postérieur avec présence d'air dans le disque ou au niveau des articulations. Les diamètres antéro-postérieur et transversal y sont facilement calculés et renseignent sur l'importance de la sténose canalaire. L'analyse de la sagittalisation des facettes articulaires (l'angle facettaire transverse : *figure 1*) [59] présente un intérêt diagnostique mais surtout pronostique pour des valeurs inférieures à 40° [60].

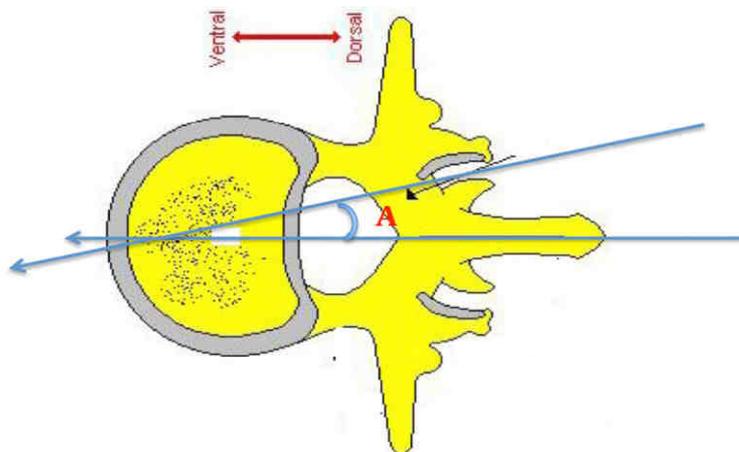


Figure 1 : A=Angle transverse facettaire. Si cet angle est inférieur à 40°, il existe une sagittalisation des articulaires postérieures.

La sacroradiculographie (couplée ou non au scanner) garde sa place surtout en cas de contre-indication à l'IRM. C'est un examen qui a l'avantage d'être « dynamique ». L'IRM permet de mieux étudier les éléments neurologiques, le disque, les plateaux adjacents et les forams intervertébraux.

Sato [61] a classé les patients porteurs de SPLd en trois catégories (W1, W2 et N) en fonction de la morphologie de la lame et des articulaires postérieures sur les clichés radiologiques de face (type W1 : l'angle transverse facettaire est toujours supérieur à 40°, Type W2 : l'angle transverse facettaire est souvent inférieur à 40°, Les deux types N : l'angle transverse facettaire est toujours inférieur à 40°).

Le type N est retrouvé chez environ 50 % des sujets avec un SPLd (contre 3,5 % dans une population témoin) avec un glissement plus important comparé aux deux autres groupes et correspond aux patients avec les signes cliniques les plus marqués (allant jusqu'au déficit moteur). Cette classification renseigne sur le potentiel évolutif de la maladie et devient alors non seulement un critère essentiel pour le diagnostic mais aussi pour le choix thérapeutique.

En l'absence de déficit neurologique, le traitement conservateur reste le traitement de première intention [62,63], comprenant trois volets :

- Antalgiques en prise continue tant que dure la douleur, associés à des cures courtes de 5 à 7 jours d'anti-inflammatoires non stéroïdiens en cas d'aggravation de la douleur.
- Des infiltrations de glucocorticoïdes par voie foraminale, ou surtout épidurale interépineuse ou caudale (hiatus sacrococcygien) pour soulager la douleur radiculaire et des infiltrations articulaires postérieures pour soulager certaines douleurs lombaires.
- De la rééducation réalisée en cyphose lombaire comprenant des exercices de renforcement isométrique des muscles abdominaux et du multifidus.

En présence de troubles neurologiques déficitaires et après échec d'un traitement conservateur bien conduit, une prise en charge chirurgicale du spondylolisthésis dégénératif s'impose. Les modalités de cette chirurgie font l'objet de nombreux articles revus par Mardjetko [63] et il n'y a pas de véritable consensus quant à la technique de choix, néanmoins l'arthrodèse postéro-latérale instrumentée avec exploration intra canalaire [64] et vissage pédiculaire est devenue l'intervention de référence [65,66,67].

2.5/ Sténoses lombaires (canal lombaire étroit) :

Cette affection a une incidence de 1% chez les sujets de 20 à 40 ans et de 21% chez des sujets de 60 à 80 ans [69]. La sténose est définie comme une réduction du diamètre du canal vertébral due à la présence des ostéophytes (arthrose articulaire), à une hypertrophie du ligament jaune, à une protrusion discale (hernie) ou au spondylolisthésis, comprimant les

structures nerveuses (racines), ce qui entraîne des lomboradiculalgies invalidantes et d'importantes limitations fonctionnelles.

On distingue deux formes de sténose : congénitale et dégénérative, qui diffèrent en principal par un âge plus jeune, le siège multi étagé de l'affection et une absence de dégénérescence [70] pour la première catégorie.

Le diagnostic est confirmé facilement grâce au scanner ou à l'IRM. Toutefois, le diamètre du canal n'est pas le même en position allongée (c'est le cas lors de ces deux examens) et en position debout où le poids du corps contribue à rétrécir le canal, en augmentant la pression sur les disques qui viennent bomber et participer au rétrécissement. Pour le diagnostic des cas difficiles, la sacroradiculographie (couplée ou non au scanner) en position debout (dynamique) permet de mettre en évidence la compression canalaire dynamique.

Le traitement implique une libération par laminectomie ou par recalibrage, complétée souvent par une arthrodèse [71,72] surtout dans les cas où la sténose est associée à d'autres affections (spondylolisthésis dégénératif, scoliose dégénérative etc.) [58,73,74,75].

3/ Spondylolisthésis par lyse isthmique (SPLi) :

Le mot spondylolisthésis signifie glissement antérieur permanent du corps vertébral, accompagné des pédicules, des processus transverses, et des articulaires supérieures.

La présentation du SPLi est liée à la définition de la spondylolyse, qui est une solution de continuité dans l'isthme articulaire (pars interarticularis), situé entre les deux apophyses articulaires supérieure et inférieure de l'arc vertébral postérieur.

La lyse (uni ou bilatérale) peut survenir dans l'enfance, mais aussi à l'âge adulte, le plus souvent au niveau d'un étage vertébral lombaire bas (le dernier étage mobile). Elle peut être aiguë (traumatique), correspondant à un trait de fracture vrai [76], ou chronique, quand la perte de continuité s'organise sous la forme d'un tissu fibreux [77] plus ou moins hypertrophique, qui peut être agressif pour les racines nerveuses au contact.

La fréquence de la spondylolyse au niveau lombaire est très élevée : de l'ordre de 3 à 10 % dans la population générale [78], et beaucoup plus dans certains groupes ethniques (Esquimaux: 30 à 60 %) [79,80,81] et chez les sportifs où elle peut atteindre 11-20 % [82,83].

L'étiologie du SPLi est multifactorielle, impliquant des facteurs prédisposant génétiques et des microtraumatismes répétés (activités sportives en charge et hyperlordose).

Rosenberg [84] a constaté l'absence du défaut isthmique chez le nouveau-né et l'enfant non ambulateur.

Lorsque l'isthme est rompu ou allongé de façon bilatérale, le corps vertébral libéré du contrôle de l'arc postérieur soumet le disque sous-jacent et les ligaments iliolumbaux à la totalité des contraintes de cisaillement qu'il subit, générant un listhésis plus ou moins important, selon les contraintes en cisaillement et la capacité de résistance de l'annulus [85]. L'instabilité qui se crée au final semble plus importante pour les spondylolisthésis L4L5 que pour ceux siégeant en L5S1 [86].

Wilts et Newman [87] opposent six types :

- Le type 1, dit congénital ou dysplasique. Il comporte deux types, le type A avec des articulaires fuyantes et trop coronales, le type B avec des articulaires trop sagittales. Un spina bifida est souvent associé.
- Le type 2 est dit isthmique pur. Il existe un sous groupe A avec lyse acquise, et un sous groupe B avec allongement par consolidation d'une lyse.
- Le type 3 est dégénératif.
- Le type 4 est macrotraumatique.
- Le type 5 est pathologique, notamment par tumeur.
- Le type 6 est iatrogène et surtout, postchirurgical.

Marchetti [88] oppose deux grands types :

- le type 1 correspond au SPL développemental. Il existe deux sous groupes : le sous groupe A avec une lyse se surajoutant à l'anomalie congénitale, et le sous groupe B avec allongement isthmique pur.
- Le type 2 est le SPL acquis avec quatre sous groupes. Le sous groupe A est dit traumatique, le sous groupe B est iatrogène, le sous groupe C pathologique et enfin le sous type D est dégénératif.

Le diagnostic du SPLi est basé sur l'imagerie, qui doit inclure une radiographie de face et de profil et un cliché en incidence de trois quarts, qui met en évidence la lyse. De trois quarts, on recherche l'image du petit chien de Lachapède décapité (*figure 2*).

Chez les enfants un scanner ou une scintigraphie permet d'établir la chronologie de la lyse, car la lyse récente peut être traitée orthopédiquement (corset).



Figure 2 : Cliché de trois-quarts du rachis lombaire montrant le petit chien de Lachapede décapité.

La plupart des auteurs mesurant l'incidence pelvienne dans les lyses isthmiques ont noté la prédominance des grandes incidences [89,90,91]. Cette grande incidence, corrélée à une grande lordose lombaire, accentue les contraintes en cisaillement.

L'hyperlordose, l'angle d'incidence élevé [92,93] et le plateau sacré arrondi "en dôme", sont des facteurs d'aggravation du glissement.

La plupart des cas de faible glissement restent asymptomatiques et peuvent bénéficier d'un traitement conservateur. Le traitement chirurgical, différent selon l'âge du patient et le degré de glissement, est basé sur les principes suivants : libérer les racines, avec ou sans correction du glissement, rétablir la lordose lombo-sacrée, arthrodéser et stabiliser.

Chez l'enfant, les options chirurgicales disponibles sont la réparation isthmique [94,95,96] et l'arthrodèse lombosacrée (ou lombaire pour L4L5). La première consiste à restaurer la continuité de l'isthme rompu au moyen d'une greffe osseuse, avec l'avantage de conserver la mobilité de l'espace L5-S1, à condition (indispensable) que ce disque soit intègre.

Le principe de l'arthrodèse est de supprimer l'instabilité vertébrale responsable de la douleur et de stabiliser les glissements jugés évolutifs. Plusieurs techniques sont proposées [56,66,97,98,99] : l'arthrodèse postéro-latérale (APL) non-instrumentée de Wiltse, l'arthrodèse postéro-latérale instrumentée avec fixation in situ ou avec réduction, les arthrodèses intersomatiques et la fusion circonférentielle (dite à 360°).

Chez l'adulte, le traitement est le plus souvent symptomatique et conservateur (rééducation, orthèses, changement d'activité si possible); en cas d'échec ou des douleurs invalidantes, une chirurgie peut être envisagée. Les alternatives sont toujours la reconstruction isthmique (surtout pour les athlètes), qui requiert l'intégrité du disque, et l'arthrodèse, préférée par la plupart de chirurgiens [100].

Plusieurs techniques d'arthrodèse sont disponibles, comme mentionné précédemment, comprenant des gestes de libération, de stabilisation (APL ou arthrodèse intersomatique) et de

réduction pour les cas de glissements importants. La littérature montre une préférence pour les APL in situ dans les cas de glissements peu importants (<33%) et des arthrodèses intersomatiques avec réduction dans les cas contraires.

4/ Syndrome adjacent :

Il existe une grande variabilité de définition du syndrome adjacent. Il peut s'agir de simples conséquences radiologiques, comme la perte de hauteur discale ou, une instabilité antéro-postérieure en flexion-extension. Il peut s'agir de conséquences cliniques associées à des signes radiologiques.

Expérimentalement il est admis que la réalisation d'une arthrodèse d'un segment rachidien lombaire modifie la biomécanique des disques jonctionnels sus et sous-jacentes. Pour certains auteurs [101,102,103,104] ces modifications seraient responsables à long terme d'une dégénérescence prématurée de ces niveaux sus et sous-jacent au segment arthrodésé. A l'inverse pour d'autres [105,106], les modifications dégénératives observées radiologiquement à long terme ne seraient que la traduction du vieillissement normal de la colonne lombaire.

Il a été également démontré que la fusion lombo-sacrée augmente la mobilité des niveaux adjacents non fusionnés et que ce transfert de mouvement est plus important avec l'utilisation d'une instrumentation [107].

D'une façon plus générale, on considère le développement de la dégénérescence adjacente comme étant l'apparition des signes radiographiques suivants :

- Instabilité segmentaire.
- Herniation discale.
- Sténose foraminale ou canalaire.
- Déshydratation discale mise en évidence à l'IRM.
- Arthrose facetaire.
- Listhésis segmentaire (antéro ou rétro).

Dans l'étude de Guigui [108], 4 critères radiographiques ont été pris en compte : pincement de la hauteur discale supérieur à 20%, la survenue ou l'aggravation d'un glissement de plus de 2 millimètres, l'apparition d'une hypermobilité angulaire ou instabilité antéro-postérieure en flexion-extension.

Par ailleurs, Kaito [109] a défini des critères radiologiques et cliniques reconnus de dégénérescence adjacente :

- Augmentation de la lombalgie
- Antélisthésis de plus de 3 millimètres
- Diminution de 3 millimètres de la hauteur discale
- Perte de 5° d'amplitude d'un segment vertébral.

Pour plusieurs auteurs [101, 105,110], les modifications radiographiques constatées au plus long terme ne sont pas corrélées à la symptomatologie clinique.

De nombreuses études ont été réalisées afin d'identifier des facteurs de risque responsables de cette dégénérescence prématurée, et de proposer des systèmes de non fusion, voire hybrides.

TRAITEMENT CHIRURGICAL DES PATHOLOGIES DEGENERATIVES DU RACHIS LOMBIRE

Lorsqu'un traitement médical ne suffit pas, un traitement chirurgical s'impose avec une stratégie bien précise, afin de rétablir l'équilibre statique et dynamique de la colonne vertébrale.

En pratique, cela se traduit par une intervention ciblée visant à libérer les structures nerveuses comprimées, à redonner une stabilité durable et à abolir ou restaurer la mobilité du segment fonctionnel traité.

L'arthrodèse du rachis lombaire a pour objectif la fusion osseuse intervertébrale par apposition d'un greffon osseux ; souvent, un matériel d'ostéosynthèse est associé pour assurer la stabilité primaire du greffon. Ce type de traitement reste le gold standard chirurgical dans de nombreuses pathologies.

Les premières arthrodèses ont débuté au début du XXème siècle et se sont développées depuis.

Les premières techniques sont décrites par Albee en 1911[111], par autogreffe rachidienne postérieure immobilisée par corset.

Suivant l'évolution des techniques chirurgicales, des dispositifs d'instrumentation ont été développés afin de permettre une meilleure correction de la déformation et d'augmenter la stabilisation, la qualité et le taux de fusion.

Nous limiterons notre exposé à une description sommaire des principales techniques utilisées dans l'arthrodèse du rachis lombaire.

1/ Instrumentation :

L'instrumentation du rachis lombaire commence en 1911 avec les travaux de Hibbs et Albee ; la véritable révolution en ce domaine est représentée par l'intervention en 1950 par Harrington du système homonyme tige-crochet, dédié à stabiliser les déformations scoliotiques du rachis. Puis vers 1970, Roy Camille développe des vis pédiculaires et également une instrumentation segmentaire avec des plaques semi-rigides et des vis.

Luque en 1972, développe la fixation segmentaire, qui utilise des fils sous lamaires encrés à plusieurs niveaux sur une tige en forme de L.

L'introduction du système vis/crochet – tiges par Cotrel et Dubousset (système CD) [66,112] en 1983 permit une instrumentation rigide multiétagée avec application de forces correctrices sur les tiges, réduisant ainsi les complications mécaniques des systèmes précédents.

Actuellement, il existe un large panel d'instrumentations basées sur les modèles de Harrington, de Luque et surtout similaires à celui de Cotrel-Dubousset, utilisées dans la plupart des pathologies rachidiennes nécessitant ou pas une arthrodèse.

2/ Technique d'arthrodèse :

Les arthrodèses sont classées selon la voie d'abord, la localisation du greffon et l'utilisation d'une instrumentation ou pas.

2.1/ Arthrodèse postérieure :

Décrite par Hibbs et Albee en 1911, elle consiste en une fusion interlaminaire. Elle est insuffisante sur le plan biomécanique et ne permet pas des décompressions postérieures majeures, raisons qui ont mené à une rare utilisation.

Quelque soit l'instrumentation (rigide ou semi-rigide), les résultats globaux de fusion et de bons résultats fonctionnels publiés dans la littérature varient considérablement entre 45 à 95%

2.2/ Arthrodèse postéro-latérale (APL) :

C'est la plus utilisée des arthrodèses lombaires, elle est basée sur les travaux de Hibbs et Cambell. De nombreux auteurs [66,113,114,115] l'ont améliorée dans le temps.

Cette technique repose sur le principe d'une fusion inter-articulaire postérieure et inter-transversaire latérale solide, qui permet une combinaison avec une décompression et une instrumentation postérieure.

L'arthrodèse in situ sans instrumentation [116] est faite par deux voies paramédianes permettant un abord direct des transverses à travers les muscles paraspinaux. L'avantage de cette technique réside dans le respect du hauban musculaire et ligamentaire médian postérieur. Les inconvénients sont l'impossibilité de réaliser une ostéosynthèse et la difficulté à effectuer une décompression par résection de l'arc postérieur.

En absence d'instrumentation, cette technique donne un taux de fusion de 42 à 93% et un taux de bons résultats fonctionnels de 41 à 90%. Dans les indications de rachis lombaire dégénératif, une méta-analyse [117] retrouve 89% de fusion et 66% de satisfaction.

L'APL avec instrumentation se fait par voie d'abord médiane postérieure, elle nécessite des décollements importants afin de réaliser un avivement satisfaisant des transverses. Les

résultats publiés dans la littérature varient considérablement entre 64 et 100% de fusion et 45 à 95% de bons résultats fonctionnels.

2.3/ Arthrodèse intersomatique par voie postérieure ou PLIF (Posterior Lumbar Interbody Fusion) :

Dérivée de l'idée de Cloward [118] de restituer la hauteur discale, a été beaucoup développée depuis 1950 [97,119,120].

Cette technique consistait initialement dans l'insertion d'une greffe inter-vertébrale solide entre les corps vertébraux, et générait des bons résultats pour certains auteurs [121] mais pour d'autres, des taux de fusion réduits et variables [122].

Des complications neurologiques, des pertes sanguines importantes et des migrations du greffon [123] ont réduit sa popularité jusqu'aux années '90 quand l'inclusion du greffon dans une cage [124] et les bons résultats qui ont suivi ont mené à sa reconsidération [125,126].

Les premières cages étaient cylindriques ; ce dispositif a été décliné ultérieurement dans un large éventail de matériaux (surtout Titane ou PEEK : Poly Ether Ether Ketone) et de designs, avec une certaine influence sur la stabilité de l'implant et sur le résultat [127]. Les taux de fusions avec ce type d'arthrodèse sont souvent de l'ordre de 90% [128,129].

L'arthrodèse intersomatique avec cage permet de restituer une certaine hauteur discale, d'ouvrir les foramens, d'augmenter la surface de greffe et de mieux contrôler les contraintes en flexion extension s'exerçant sur le segment fusionné [130]. Cependant, les arthrodèses intersomatiques réalisées par voie postérieure semblent augmenter la morbidité globale de l'intervention, notamment par l'intermédiaire d'une augmentation du temps opératoire, du saignement et du risque de complications : lésions des racines, brèche durale, fibrose épидurale et douleurs neurologiques [123].

Les inconvénients susmentionnés, la difficulté de cette technique et l'obligation d'une large libération canalaire ont mené à l'adoption des alternatives moins invasives. Les plus développés sont une version de PLIF réalisée en endoscopie « minimally invasive » [131] et l'arthrodèse intersomatique transforaminale ou la T.L.I.F. (Trans Foraminal Interbody Fusion).

2.4/ Arthrodèse intersomatique par voie trans foraminale ou TLIF (Trans foraminal Lumbar Interbody Fusion) :

C'est une approche dérivée du PLIF mais plus latérale. Elle semble donner des résultats équivalents au PLIF sur le plan biomécanique, avec moins de complications et de morbidité [123,132].

On réserve préférentiellement cette technique aux sténoses foraminales, aux spondylolisthésis de faible grade et aux inclinaisons frontales des scolioses lombaires dégénératives [133,134].

Il existe une possibilité de réaliser cette technique en percutané, et semble donner des taux de fusion similaires à ceux du TLIF à ciel ouvert mais avec des complications neurologiques plus importantes [135]. En plus cette technique exige une courbure d'apprentissage, et une nécessité d'obtenir un contrôle par amplificateur de brillance de face et de profil.

2.5/ Arthrodèse intersomatique antérieure ou ALIF (Anterior Lumbar Interbody Fusion) :

Cette technique est décrite pour la première fois en 1948 par Lane et Moore [136], elle consiste en une excision complète du disque et mise en place dans l'espace intersomatique d'un greffon corticospongieux iliaque par un abord transpéritonéal ou rétropéritonéal. Elle a été améliorée durant le temps par l'utilisation des cages, permettant ainsi de réduire les complications (générales, vasculaires, pseudarthrose, perte de correction) similaires à celles décrites pour le PLIF.

Cette technique permet une restitution de la hauteur discale et une remise en tension des formations ligamentaires latérales et postérieures [137], importantes pour la stabilité du rachis.

Un certain nombre de complications liées aux cages (subsidence, migration etc. [127]) ont mené à l'utilisation des instrumentations postérieures et même du double abord à partir des années 80 [138]. La technique étant fastidieuse, des stabilisations antérieures ont été introduites récemment pour augmenter la stabilité initiale de l'implant et le taux de fusion [139]. Néanmoins, des approches mini-invasives [140] et laparoscopiques [141,142] ont été proposées afin de minimiser les répercussions de cette technique sur le patient.

L'ALIF est généralement recommandée dans la dégénérescence discale pure, de reprise chirurgicale d'arthrodèse postérieure et des cyphoses iatrogéniques ou post-traumatiques.

Les avantages de cette technique sont l'obtention des taux de fusion importants, une répartition homogène des charges en zone traitée, une épargne musculaire par rapport à une chirurgie postérieure et un faible saignement. Néanmoins, elle est grevée d'inconvénients qui sont spécifiques à la voie d'abord (courbe d'apprentissage, lésion du plexus hypogastrique, lésions de voies urinaires excrétrices, lésions vasculaires et manque de décompression canalaire).

Les taux de fusion obtenus par cette technique sont de l'ordre de 71 à 100% avec de bons résultats fonctionnels de 67 à 90% [143,144,145]. L'association d'une synthèse aux cages améliore les taux de fusion par rapport à l'utilisation isolée de cages.

2.6/ Arthrodèse intersomatique par voie latérale ou XLIF (latéral Lumbar Interbody fusion) :

En plus des abords antérieurs (ALIF) et postérieur (PLIF et TLIF), un nouvel abord mini invasif rétropéritonéal transpoas (XLIF: extreme lateral interbody fusion ou LLIF latéral lumbar interbody fusion) permet de réaliser des arthrodèses lombaires. Cette technique s'est développée depuis 2004 afin de réaliser une arthrodèse intersomatique vidéo-assistée.

L'intérêt du XLIF est notable en cas de difficultés techniques chirurgicales. Ses meilleures indications sont les abords chirurgicaux au niveau L2-L3, L3-L4 et dans le traitement des obèses.

La technique XLIF permet de résoudre par une intervention simple les reprises d'arthrodèses lombaires pour traitement de syndrome du disque charnière. Utilisée seule, elle peut être complétée par une fixation latérale ou postérieure en cas d'ostéoporose, d'instabilité significative (spondylolisthésis dégénératif ou complications mécaniques peropératoires).

Cette technique n'est pas exempte de complications neurologiques (atteinte motrice du nerf fémoral et également de nombreux syndromes douloureux ou troubles dysesthésiques à la face antérieure de la cuisse) et mécaniques (impaction dans les plateaux vertébraux, mobilisation de l'implant en dehors, fracture corporelle et pseudarthrose)

Les résultats restent à évaluer à plus long terme, notamment, concernant l'efficacité de la consolidation osseuse intersomatique.

2.7/ Arthrodèse circonférentielle :

Cette technique combine à la fois la voie antérieure et la voie postérieure [113,146] elle est communément appelée arthrodèse à 360°. Ce type d'arthrodèse est habituellement réservé aux cas difficiles, aux échecs des techniques précédentes et aux traitements de spondylolisthésis de haut grade, combinée à des techniques de réduction.

Elle donne des taux de fusion de 82 à 100% et des bons résultats fonctionnels dans 74 à 90% [147,148,149]. Par contre, elle présente une morbidité périopératoire plus élevée que les autres techniques de fusion intersomatique et un coût plus élevé [150,151].

2.8/ Autres techniques d'arthrodèse :

Pendant que d'autres nouvelles techniques se développent, certaines disparaissent. Avec la modernisation des techniques, différentes firmes développent des instrumentations mini-invasives et percutanées (AxiaLIF, DLIF, ORACLE...). Mais là aussi ces techniques nécessitent une équipe bien formée et habituée à leur emploi.

EQUILIBRE SAGITTAL ET DYSFONCTION RACHIDIENNE

La position érigée impose aux segments articulés du corps humain un empilement compatible avec le maintien d'un équilibre économique en termes de dépense musculaire et de sollicitations mécaniques. Toute modification d'orientation d'un des segments impose un déplacement compensateur des autres. Le rachis n'échappe pas à cette règle. En témoignent les modifications des courbures sagittales rachidiennes qu'entraîne toute modification d'orientation du bassin dans l'espace.

L'équilibre sagittal du rachis tient actuellement une place essentielle dans la compréhension, l'analyse et le traitement de nombreuses pathologies rachidiennes [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,152,153,154]. De nombreux paramètres sont pris en compte pour l'analyse de cet équilibre sagittal du rachis en condition normale [11, 155] et pathologiques [57,156,157]. Ces paramètres doivent être précis et reproductibles.

Il faut différencier deux parties dans le rachis : le bassin et le rachis (essentiellement de C7 à S1). Le bassin est considéré comme la vertèbre pelvienne [158]. Il a deux rôles :

- 1- De socle sur lequel repose la colonne vertébrale.
- 2- De transmission de la charge aux têtes fémorales qui la transmettent aux pieds.

Nous allons d'abord décrire les paramètres pelviens qui vont définir la géométrie du bassin et la position du pelvis dans l'espace ; puis analyser la balance du rachis à la lumière des nouvelles méthodes de mesure permettant une meilleure compréhension de la balance rachidienne.

1/ Paramètres pelviens (Figure 3, 4):

Ce sont des paramètres angulaires radiologiques mesurés sur des clichés de profil.

1.1 ***Incidence pelvienne (PI)***: Angle créé par l'intersection d'une ligne tracée du centre des têtes fémorales jusqu'au milieu du plateau sacré et une ligne perpendiculaire au milieu du plateau sacré. PI décrit la relation entre le plateau sacré et les têtes fémorales. C'est un paramètre anatomique, qui permet de caractériser le bassin. Il est constant pour une personne donnée. Un petit angle correspond à un bassin étroit et un grand angle à un bassin large dans le sens antéro-postérieur.

1.2 ***Version pelvienne ou pelvic tilt (PT)*** : Angle entre la verticale passant par le centre des têtes fémorales et une ligne rejoignant le centre des têtes fémorales au centre du plateau sacré. C'est un paramètre positionnel qui change en fonction de la position du

pelvis. Quand le pelvis tourne en arrière (rétroversion), le PT augmente. Quand le pelvis tourne en avant (antéversion), il diminue.

1.3 **Pente sacrée ou sacral slope (SS)** : Angle du plateau sacré avec l'horizontale. C'est un paramètre positionnel qui change en fonction de la position du pelvis. Lorsque le PT augmente, SS diminue et inversement.

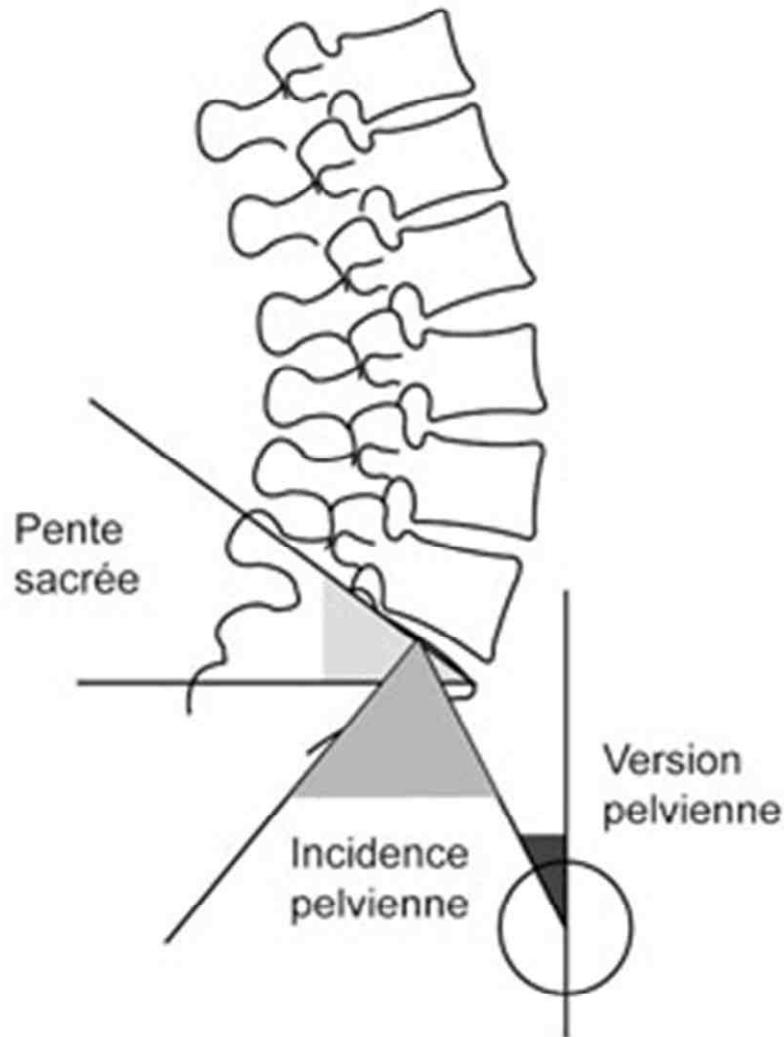


Figure3 : Paramètres pelviens

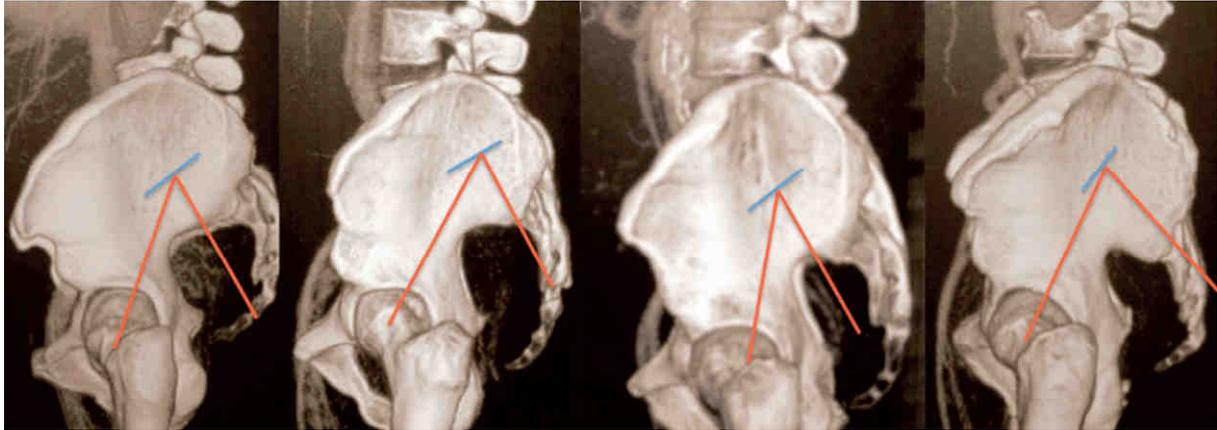


Figure 4 : Différents bassins montrant la variabilité interindividuelle de l'angle d'incidence et de la pente sacrée.

2/ Paramètres rachidiens (figure 5):

Les paramètres rachidiens les plus utilisés dans la littérature [26, 159, 160] sont les suivants :

2.2 ***Cyphose thoracique (CT)*** : Angle formé par la droite passant par le bord supérieur de la quatrième vertèbre thoracique et la droite passant par le bord inférieur de la douzième vertèbre thoracique.

2.2 ***Cyphose thoracique maximale*** : Angle formé par la droite passant par le bord supérieur de la quatrième vertèbre thoracique et la droite passant par le bord inférieur de la vertèbre thoracique la plus oblique.

2.3 ***Lordose lombaire (LL)*** : Angle formé par la droite passant par le bord supérieur de la première vertèbre lombaire et la droite passant par le bord inférieur de la cinquième vertèbre lombaire.

2.4 ***Lordose lombaire maximale*** : Angle formé par la droite passant par le bord supérieur de la première vertèbre lombaire et la droite passant par le bord inférieur de la vertèbre lombaire la plus oblique.

2.5 ***Gîte sagittale T9 (GST9)*** : Angle formé par la verticale passant par le centre de rotation des têtes fémorales et la droite unissant ce point avec le centre de la neuvième vertèbre thoracique.

2.6 ***Sagittal vertebral axis (SVA)*** (figure 6) : terme utilisé dans les travaux de Lenke et Bridwell pour désigner la distance horizontale entre la verticale abaissée du centre de C7 et

l'angle antéro-supérieur du sacrum (promontoire). Cette distance est affectée d'un signe négatif si la verticale de C7 passe en arrière du promontoire, et positif si elle passe en avant du promontoire.

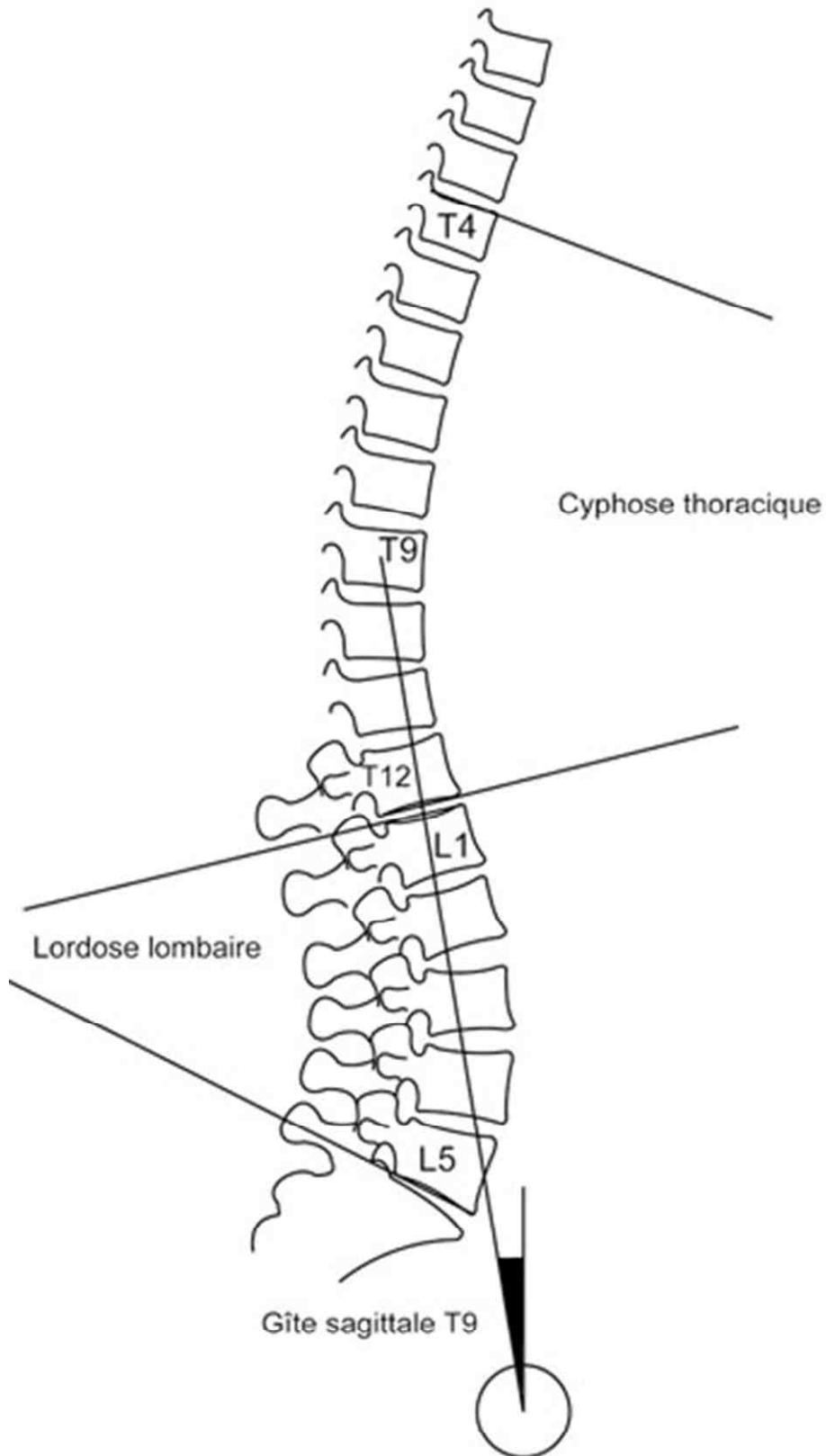


Figure 5 : Paramètres rachidiens.

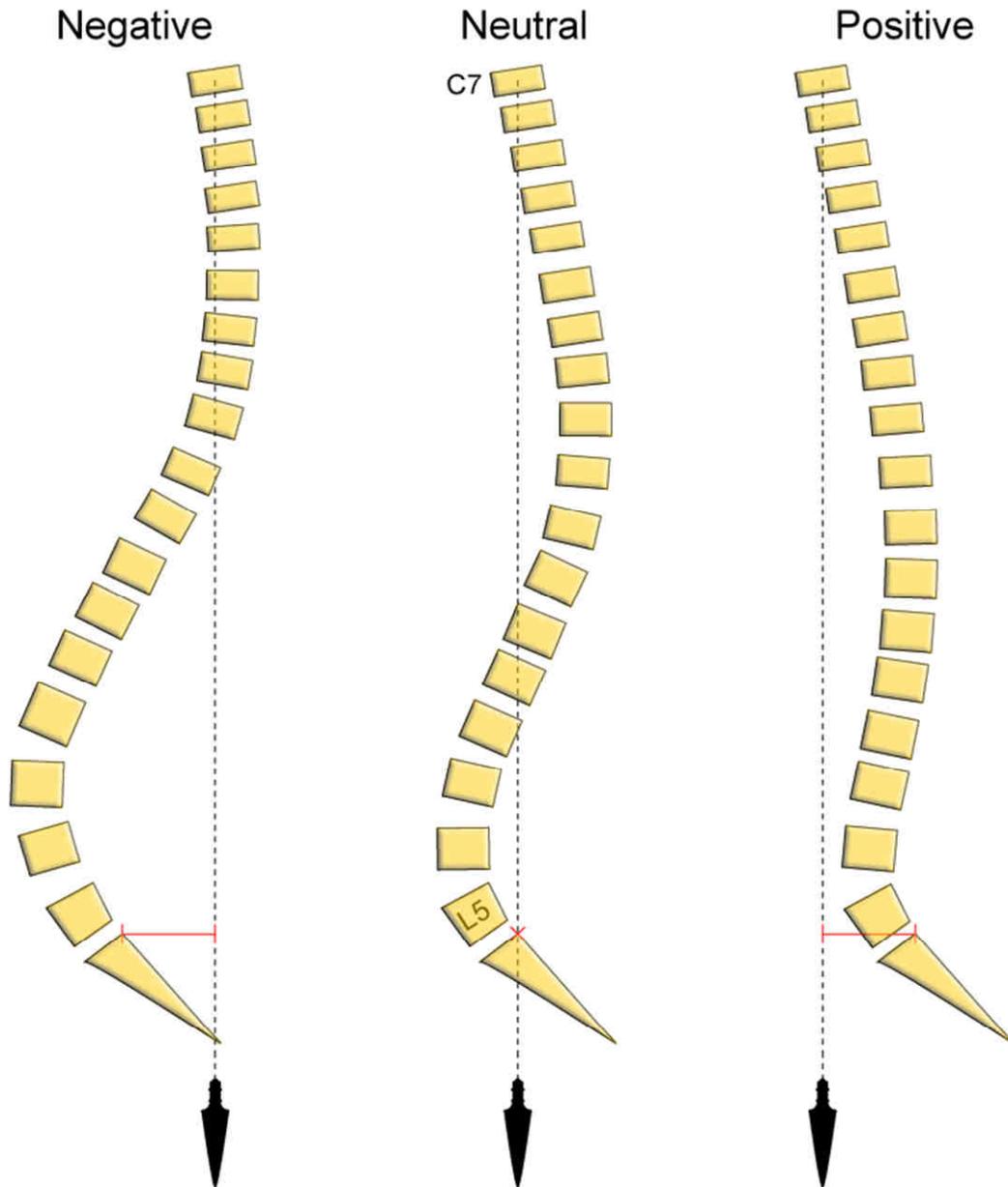


Figure 6 : Sagittal Vertebral Axis en situation négative, neutre et positive.

3/ Relation entre paramètres pelviens et rachidiens:

De nombreux auteurs ont établi des relations entre les paramètres pelviens et rachidiens, et des corrélations entre les paramètres pelviens [22, 160, 161].

La pente sacrée et version pelvienne sont complémentaires et directement corrélées à l'incidence pelvienne : $PI = PT + SS$. Par conséquent, pour une même personne PI est constant : lorsque la pente sacrée augmente, la version pelvienne diminue et inversement.

Dans une population asymptomatique, la valeur moyenne de l'incidence pelvienne est de 52° avec des valeurs extrêmes qui vont de 35° à 85° [162].

L'angle d'incidence pelvienne est considéré faible pour des valeurs inférieures à 45° et élevé pour des valeurs supérieures à 65°.

La version pelvienne est définie par la bascule sagittale du pelvis. Elle constitue un phénomène de modulation et de réglage de l'équilibre sagittal global du corps en position debout. En effet le pelvis tourne autour des têtes fémorales suivant un axe bi-coxo-fémoral et par conséquent la position du bassin dans l'espace détermine la position relative du plateau sacré par rapport aux têtes fémorales (ou la version pelvienne) (figure 7).

Les valeurs de version pelvienne et de pente sacrée sont directement corrélées à l'incidence pelvienne, d'où une valeur faible de PI (bassin étroit) autorise une rétroversion faible du pelvis et pour une grande valeur de PI (bassin large) la possibilité de rétroversion est plus élevée [157].

Plusieurs études sur des grandes séries [24,26] ont démontré des relations de dépendance mutuelle entre les courbures sagittales du rachis et avec l'orientation du bassin. Il existait une bonne corrélation entre cyphose thoracique maximale et gîte sagittale T9, entre lordose lombaire maximale et pente sacrée, entre lordose lombaire maximale et incidence pelvienne, entre pente sacrée et incidence pelvienne, et enfin entre version pelvienne et incidence pelvienne.

Roussouly [162] a décrit plusieurs types d'équilibre rachidiens sagittaux en fonction des paramètres pelviens (PI) et rachidiens (LL).

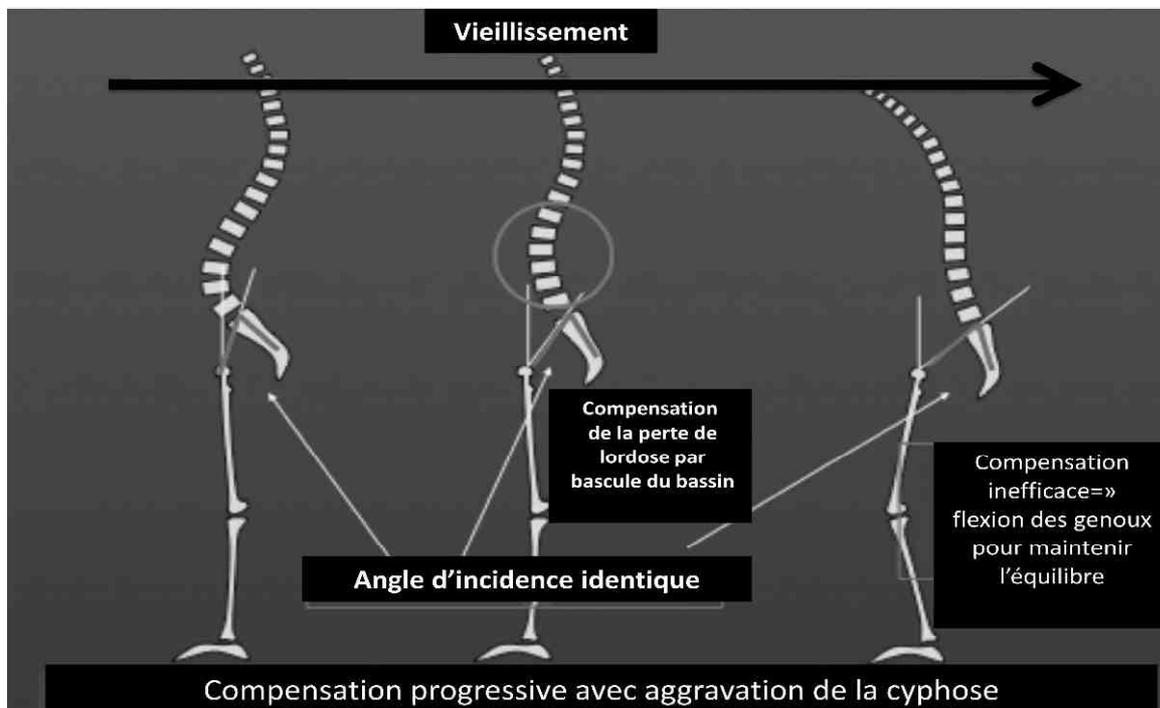


Figure 7 : Changement progressif de PT au cours du processus dégénératif : le type de dos change par affaïssement discal mais PI est constant. Seules SS et PT varient.

4/ Classification de Roussouly :

Cette classification [162] définit quatre types de rachis (*figure 8,9*) en associant paramètres pelviens et rachidiens.

- **Type 1** : (Pente sacrée $<35^\circ$) L'arc distal est quasiment absent, l'apex est situé très bas près de L5 ; la lordose lombaire est courte et la cyphose thoracique est longue avec une prolongation sur la région thoracolombaire. Il s'agit d'un rachis non harmonieux avec une cyphose thoracolombaire et une hyper lordose courte et basse.
- **Type 2** : (Pente sacrée $<35^\circ$) L'axe de l'arc distal est plat proche d'une ligne droite. Il s'agit d'une colonne vertébrale plate.
- **Type 3** : ($35^\circ < \text{Pente sacrée} < 45^\circ$) La lordose lombaire est bien équilibrée entre ses deux arcs supérieur et inférieur avec un apex situé au milieu de L4. Il s'agit d'une colonne vertébrale régulière et harmonieuse.
- **Type 4** : (Pente sacrée $>35^\circ$) L'arc distal est augmenté en angle et en nombre de vertèbre. L'apex est situé très haut au bord supérieur de L4 voire plus haut et la valeur de la courbure de la lordose lombaire est élevée avec un point d'inflexion situé bien au delà de T12. Il s'agit d'une colonne vertébrale hyperlordosée mais harmonieuse avec une cyphose thoracique sus-jacente de compensation adaptée.

En sachant que la pente sacrée est corrélée à l'incidence pelvienne, les types 1 et 2 présentent une incidence pelvienne faible tandis que le type 4 présente une incidence pelvienne élevée.

En plus de ces situations « normales asymptomatiques » s'ajoutent les situations pathologiques pouvant entraîner un déséquilibre rachidien.

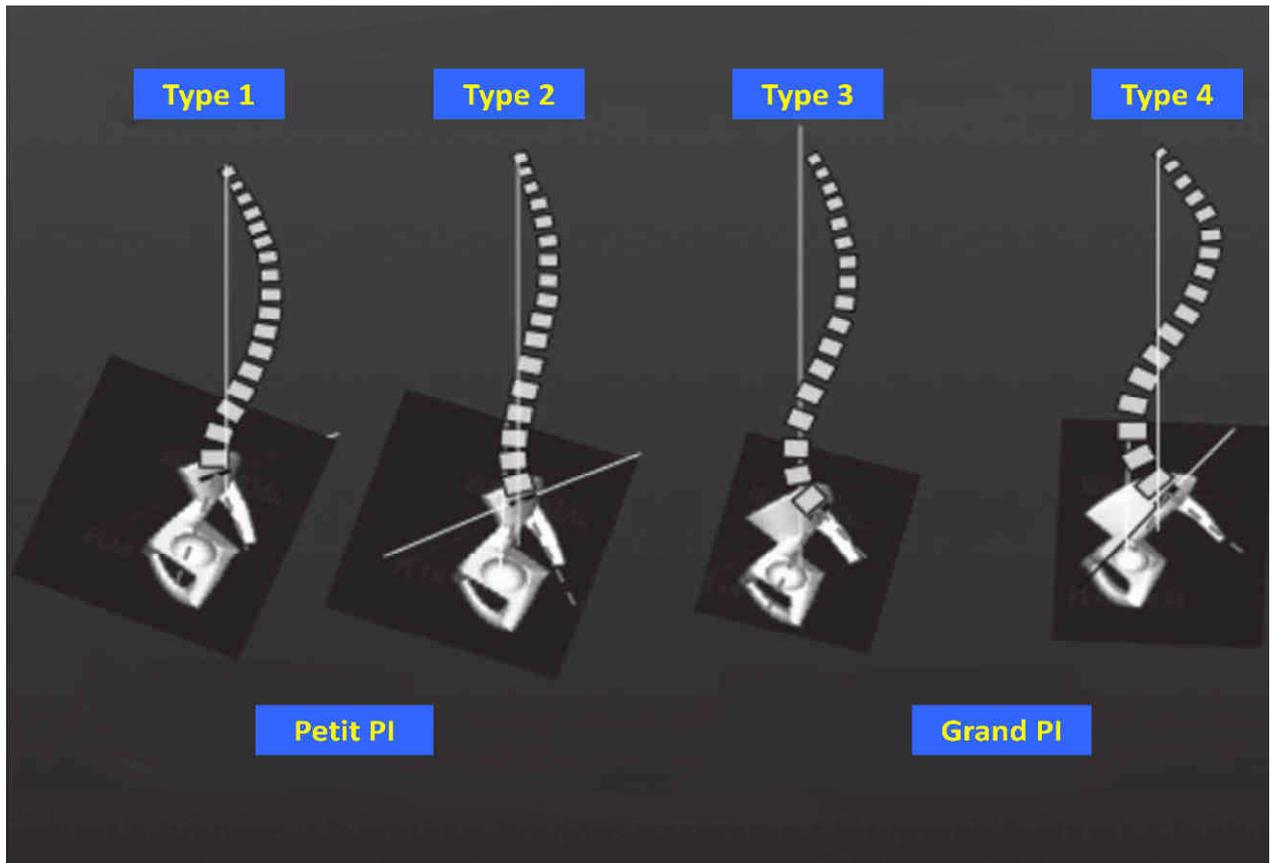


Figure 8 : Les quatre types de rachis selon ROUSSOULY [162].

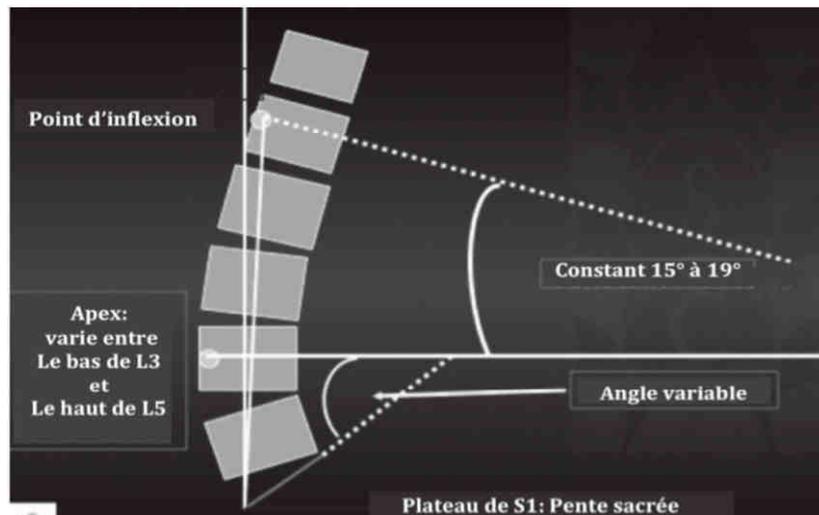


Figure 9 : Deux arcs de cercle dont le centre est situé sur une ligne horizontale passant par l'apex permettent de reconstruire la lordose lombaire selon un concept biomécanique. Le point supérieur est le point d'inflexion qui délimite le passage à la cyphose thoracique [162].

5/ Adaptation rachidienne en situation pathologique et chirurgie :

Le complexe spino-pelvien est doté de possibilité d'équilibrage pour s'adapter à des situations extrêmes voire pathologiques.

Il existe une relation anatomique entre les hanches et le rachis qui a une implication importante dans la modulation de la posture en position debout. La réserve d'extension des articulations coxo-fémorales permet de compenser une lordose affaiblie par des processus dégénératifs. Lorsque cette réserve d'extension des hanches est dépassée, le rachis se retrouve déséquilibré (*Figure 7*).

En fonction des situations pathologiques, il va y avoir une adaptation positionnelle du rachis et du bassin autour des têtes fémorales.

En cas de SPLi, le glissement de L5 entraîne un déséquilibre du tronc en avant, que tentent de compenser la rétroversion pelvienne, l'augmentation de la lordose et la diminution de la cyphose. Néanmoins, le centre de gravité du tronc reste d'autant plus antériorisé que le glissement est important. Ainsi les patients atteints de spondylolisthésis ont une augmentation de la pente sacrée et de la version pelvienne, une diminution de la cyphose thoracique [93,156,163]. La lordose lombaire est modérément augmentée.

L'incidence pelvienne est plus élevée chez les patients atteints de spondylolisthésis dégénératif que chez les sujets normaux. Les patients se caractérisent par une cyphose thoracique normale, une diminution de la lordose lombaire et de la lordose L4-S1, et une rétroversion pelvienne. La gîte sagittale de T9 reste habituellement normale [57, 164].

En cas de sténose lombaire, Mangione et Senegas [163] ont constaté une valeur normale de l'incidence pelvienne avec rétroversion pelvienne.

Les patients opérés de hernie discale lombaire, quel que soit l'âge, présentent une rétroversion pelvienne avec diminution de la pente sacrée et augmentation de la version pelvienne [165].

En cas de chirurgie d'arthrodèse lombaire ou lombosacrée, il convient de respecter ou d'adapter la lordose lombaire à l'angle d'incidence. En cas contraire, le risque de laisser une lordose faible chez un patient de type 4 (Incidence élevée : hyper lordose) est d'avoir un déséquilibre sagittal à type de dos plat post opératoire et une rétroversion élevée du bassin.

Selon Kumar [166], la non adéquation entre lordose lombaire et incidence pelvienne des arthrodèses lombaires basses est source de lésions dégénératives adjacentes à la fusion.

Lazennec [6] a montré qu'après une arthrodèse lombaire, les capacités d'adaptation du rachis sont réduites. La version pelvienne et pente sacrée changent et les patients les plus rétroversés sont les plus douloureux.

La compréhension de l'équilibre sagittal du rachis et la connaissance des différents types de rachis (Classification de Roussouly [162]) amènent un nouveau principe de réflexion sur les indications en pathologie rachidienne. Ainsi les déséquilibres rachidiens post opératoires peuvent être évités.

LES SUBSTITUTS DE L'OS

1/ Introduction :

L'autogreffe osseuse est considérée comme un gold standard dans les comblements osseux, les arthrodèses lombaires, car elle a un pouvoir ostéogène et il n'y a aucun risque immunitaire ni aucun risque de transmission bactérienne et virale [167].

Cette technique dont l'efficacité est parfaitement prouvée, présente des inconvénients et des complications non négligeables.

D'une part, la quantité disponible est limitée et insuffisante en cas de volume important, prolonge la durée opératoire puisque un autre temps opératoire est nécessaire, d'autre part le prélèvement osseux augmente la morbidité péri et post opératoire [12,13,14,15,16] :

Augmentation des pertes sanguines, complications au niveau du site de prélèvement à type douleur chronique, infection, hématome, défauts osseux, fracture, paresthésies etc.

Les allogreffes de banque n'ont pas fait la preuve d'une efficacité comparable aux autogreffes et présentent l'inconvénient d'une possible contamination virale ou bactérienne chez le receveur.

Les xélogreffes et corail se sont avérés décevants.

Ainsi, l'utilisation d'un substitut du tissu osseux peut s'avérer intéressante pour éviter les complications inhérentes à cette prise de greffe osseuse autologue.

Les matériaux de substitution du tissu osseux peuvent remplacer l'usage des greffes autologues et allogreffes, leurs indications sont limitées et les conditions de leur utilisation sont très précises : contact osseux direct, stabilité de l'interface matériau tissu osseux, bonne vascularisation du site à greffer, stabilité régionale par une ostéosynthèse appropriée.

Ces biomatériaux doivent avoir des propriétés proches de l'os et être biocompatibles lors de leurs intégrations dans les milieux biologiques. En plus ces biomatériaux doivent être bioactifs, biodégradables, ostéoconducteurs, et avoir une porosité qui permettrait une bonne résistance mécanique et une repousse osseuse.

Dans cette optique, plusieurs types de substituts osseux ont été développés. La plus couramment utilisée en chirurgie osseuse est la céramique de phosphate de calcium, qui existe sous différentes formes en fonction de sa composition : Phosphate Tricalcique, Hydroxyapatites Synthétiques et biologiques, Biphasées (mélange d'hydroxyapatite et phosphate tricalcique), multiphasées.

2/ Définitions :

- Substitut osseux :

Il n'existe pas de définition officielle pour un substitut osseux.

L'association pour l'étude des Greffes Et Substituts Tissulaires en Orthopédie (GESTO) a proposé la définition suivante :

Peut être considéré comme un substitut osseux : Tout biomatériau d'origine humaine, animale, végétale ou synthétique

- 1- destiné à l'implantation chez l'homme
- 2- dans la perspective d'une reconstitution du stock osseux
- 3- par le renforcement d'une structure osseuse ou le comblement d'une perte de substance osseuse d'origine traumatique ou orthopédique.

Il conviendrait que ce substitut osseux possède une macroporosité pour favoriser la réhabilitation cellulaire et l'ostéoconduction, et qu'il puisse être biodégradable

- Porosité :

C'est le pourcentage (%) qui correspond au rapport du volume des espaces vides de matière sur le volume global du matériau. La porosité est dite continue si les pores sont interconnectés entre eux, et ouverte si les pores débouchent à l'extérieur.

Le biomatériau est dit macroporeux (figure 10) lorsque les pores font plus de 100 micromètres de diamètre et microporeux si le diamètre est inférieur à 100 micromètres. Les rapports microporosité et macroporosité ainsi que la taille des pores conditionnent les propriétés mécaniques et la réhabilitation cellulaire dans le biomatériau.

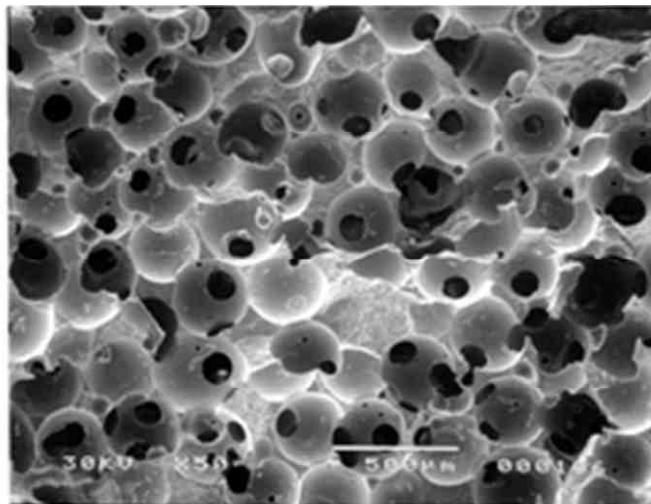


Figure 10 : Architecture d'une biocéramique conventionnelle macroporeuses.

- **Ostéoconduction :**

Propriété passive d'un matériau à recevoir la repousse osseuse, par invasion vasculaire et cellulaire à partir du tissu osseux receveur au contact de ce matériau.

- **Ostéoinduction :**

Capacité d'induire une différenciation cellulaire pour synthétiser une matrice osseuse minéralisable.

- **Ostéoformation, ou Ostéogénèse :**

Construction de la matrice osseuse par des cellules ostéoformatrice.

- **Bioactivité :**

Propriété de permettre des réactions chimiques spécifique, à l'interface implant tissu receveur. En matière de tissu osseux, elle représente l'établissement de liaisons chimiques entre l'implant et l'os environnant.

- **Biodégradation, biodissolution, biorésorption :**

La biodégradation correspond à la perte des propriétés physiques, la biodissolution à la perte des propriétés chimique.

La biorésorption implique une biodégradation qui aboutit à la disparition du matériau.

- **Ostéointégration :**

Propriété d'un matériau bioactif. C'est la capacité de créer une interface mécaniquement fonctionnelle entre l'os et le matériau.

3/ Céramique de phosphate de calcium :

Cette catégorie regroupe l'ensemble des matériaux qui ont subi un traitement en pression et en température pour leur formation (frittage). Les produits de base sont préparés par synthèse chimique et se présentent sous forme de poudre.

Il existe différentes familles de céramiques en fonction de leur composition.

Dans notre cas, la spécificité mécanique et biologique des arthrodèses vertébrales nous a conduits à utiliser une céramique biphasée de synthèse dont on connaît la bonne tolérance et la réelle efficacité en chirurgie orthopédique et traumatologique.

Nous exposons ici les deux marques de céramiques biphasées utilisées dans notre étude, qui sont *TRIOSITE*[®] et BCP BiCalPhos[®].

3.1/ TRIOSIT[®] :

C'est une céramique de synthèse biphasée appelée BCP (Biphasic Calcium Phosphate) constituée d'un mélange de 60% d'Hydroxyapatite (HAP) et 40% de Phosphate TriCalcique Béta (β -TCP).

Le *TRIOSITE*[®] possède une structure originale microporeuse et macroporeuse. La microporosité est indispensable aux interactions avec les fluides biologiques. La macroporosité permet la colonisation vasculaire et cellulaire nécessaire à la résorption de l'implant permettant ainsi son remplacement progressif par un os naturel architecturé et minéralisé.

La microporosité et macroporosité interconnectées représentent 70%, avec 2/3 de macropores de 300 à 600 microns et 1/3 de micropores inférieurs à 10 microns.

Il possède une résistance mécanique inférieure à celle de l'os corticale, en compression elle est inférieure à 10 MPa.

Les premières expérimentations animales datent de 1985 et les premières applications humaines de 1986.

Daculsi [168,169] a réalisé des études fondamentales sur la transformation in vivo des céramiques biphasées avec étude des caractéristiques ultra structurales et physicochimiques.

Plusieurs auteurs ont montré leur efficacité dans les arthrodèses vertébrales postérieures et comblements de défauts métaphysaires inférieures chez l'animal avant son utilisation chez l'homme (travaux sur lapin, mouton et chien) [170,171,172,173]. Par la suite, plusieurs études ont prouvé leur utilité et efficacité dans la chirurgie du rachis, traumatologique et tumorale [174,175,176,177,178].

3.2/ BCP BiCalPhos[®] :

Phosphates de calcium de synthèse constituée d'un mélange de 60% d'Hydroxyapatite et 40% de Phosphate TriCalcique Béta.

Les procédés de fabrication comportent des étapes de deliantage et frittage permettant d'obtenir une structure micro- et macroporeuse à porosité totalement interconnectée et contrôlée. L'uniformité de la taille des pores et des interconnexions permet une meilleure maîtrise du processus biologique de colonisation cellulaire du matériau implanté.

Le BCP BiCalPhos[®] possède une porosité totale de 80%, avec une taille moyenne des macropores de 400-600 μ m et une taille moyenne des interconnexions de 100-150 μ m.

Il possède une résistance mécanique inférieure à celle de l'os corticale, en compression elle est inférieure à 10 MPa.

Les premières expérimentations animales datent de 1999 et les premières applications humaines de 2000.

Plusieurs études chez l'homme ont démontré l'efficacité du BCP BiCalPhos® vis à vis de la fusion et de l'amélioration de la qualité de vie des patients. Le taux de fusion obtenu est équivalent à ceux obtenus avec de l'os autologue ou d'autres substituts osseux [178,179].

L'INTERET DE L'ASSOCIATION CERAMIQUE-MOELLE OSSEUSE

La plupart des céramiques en phosphate de calcium possèdent, à des degrés divers, un caractère ostéoinducteur, par contre aucune n'est ostéoinductrice. Pour pallier à ce problème, différentes associations céramique-cellules ostéogènes ont été envisagées, ces associations ayant pour objectif d'améliorer la cinétique de la colonisation des céramiques et de leur apporter un potentiel ostéoinducteur.

L'association de moelle osseuse à la greffe lors des arthrodèses lombaires est une technique largement utilisée. La moelle apporte des cellules souches et des facteurs de croissance favorables à la repousse osseuse. L'adjonction de moelle osseuse sous sa forme concentrée pourrait en théorie créer des conditions encore plus favorables et majorer la repousse osseuse [180,181,182].

L'intérêt de l'association in vivo de biocéramiques et de moelle osseuse a été démontré à plusieurs reprises [183,184,185]. Il a également été démontré que la mise en culture de CSM issues de prélèvement de moelle osseuse en présence d'HA macroporeuse améliore la différenciation ostéoblastique des cellules souches [186] par rapport à une culture effectuée sans support phosphocalcique. De plus, la réalisation de telles cultures permet de développer, au sein d'un matériau macroporeux, une structure tridimensionnelle s'approchant de la trame osseuse naturelle [187].

Des travaux de recherche permettent actuellement d'élaborer en culture un matériau composé de cellules ostéoprogénitrices et d'une matrice extra-cellulaire à la surface d'une biocéramique, dans un contexte d'ingénierie tissulaire destiné à améliorer la performance des substituts phosphocalciques [188]. L'implantation de ces matériaux issus de ces technologies donne des résultats pré-cliniques très encourageants (association de moelle osseuse autologue prélevée sur l'individu puis mise en culture ex-vivo sur la biocéramique avant réimplantation) [188, 189]. Ces matériaux issus de l'ingénierie tissulaire gardent, une fois implantés chez l'animal, leurs propriétés ostéogéniques et hématopoïétiques et laissent progressivement la place à un os normal [189, 190].

LA SERIE : ARTHRODESE DU RACHIS LOMBAIRE INSTRUMENTEE AVEC UTILISATION D'UNE CERAMIQUE BIPHASEE MELANGEE A DE LA MOELLE OSSEUSE

1/ Introduction :

L'arthrodèse du rachis lombaire par autogreffe iliaque est le gold standard chirurgical de nombreuses pathologies dégénératives et traumatiques du rachis. Les premières arthrodèses ont débuté au début du XXème siècle et se sont développées depuis.

Les premières techniques sont décrites par Albee en 1911[111], par autogreffe rachidienne postérieure immobilisée par corset. Suivant l'évolution des techniques chirurgicales, des dispositifs d'instrumentation [66,112] et différents types de greffe ont été développés, afin de permettre une meilleure correction de la déformation et d'augmenter la stabilisation, la qualité et le taux de fusion.

Le taux d'échec des arthrodèses lombaires postéro-latérales, responsable de réinterventions ou de persistance des symptômes, est estimé entre 10 et 55%.

Parmi les nombreux facteurs intervenant dans cet échec, la pseudarthrodèse joue un rôle essentiel. L'autogreffe spongieuse provenant de la crête iliaque reste à ce jour la technique de référence, mais elle est corrélée à une augmentation de la durée opératoire, des pertes sanguines et de la morbidité associée [12,13,14,15,16]. L'utilisation d'un substitut osseux, telle la céramique de phosphate de calcium qui a déjà montré son efficacité chez l'homme et l'animal concernant la vitesse et le taux de consolidation, est une alternative séduisante à l'autogreffe.

En outre pour plusieurs auteurs [101,102,103,104] l'arthrodèse d'un segment rachidien lombaire modifie la biomécanique des disques jonctionnels. Ces modifications seraient responsables à long terme d'une dégénérescence accélérée de ces niveaux. Néanmoins, pour d'autres [105,106], ces modifications dégénératives observées à long terme seraient liées au vieillissement normal du rachis.

Les objectifs de ce travail ont été : d'une part, de démontrer l'intérêt et l'efficacité de l'utilisation des céramiques de phosphates de calcium (BCP) mélangées à de la moelle osseuse dans l'arthrodèse du rachis lombaire, et d'autre part, d'étudier l'évolution radiographique des niveaux sus- et sous-jacents à la zone arthrodésée ; de déterminer les facteurs pouvant modifier cette évolution ; d'apprécier le retentissement sur le résultat fonctionnel des modifications radiologiques constatées à long terme.

2/ Matériel et méthodes :

Patients :

Il s'agit d'une série rétrospective descriptive clinique et radiologique de patients ayant eu une arthrodèse instrumentée du rachis lombaire avec utilisation des céramiques phospho-calciques de synthèse (BCP : Phosphates Calciques Biphasés= mélange d'Hydroxyapatite « HA » et Phosphate TriCalcique béta « β -TCP »).

Tous les patients opérés pendant la période de 1994 à 2001 ont été contactés. Sur les 119 patients initialement contactés, seuls 56 ont été revus cliniquement et radiologiquement (*tableau 1*). Les patients ont été opérés par deux opérateurs dans le même centre.

Il s'agit de 35 femmes (62%) et 21 hommes (38%). L'âge moyen de ces patients au moment de l'intervention était de 45 ans (extrêmes : 15 - 70 ans ; médiane : 45,2 ans ; écart-type : 13,5 ans).

Vingt patients présentaient des antécédents de chirurgie rachidienne (18 une seule fois, 2 : deux fois) :

1. Une fois :
 - Discectomie seule : Huit un seul étage, Deux 2 étages
 - Laminectomie et arthrodèse : Deux cas
 - Arthrodèse pour spondylolisthésis : Trois cas
 - Ostéosynthèse Fracture vertébrale : Un cas (Fracture L5)
 - Chirurgie ostéome ostéoïde vertébral : Un cas (Ostéome ostéoïde de L5)
 - Ligamentoplastie Graft : Un cas
2. Deux fois : - Deux discectomies au même étage : Deux cas

Les indications d'arthrodèse dans notre série étaient les suivantes (*tableau 2*):

- Discopathie dégénérative : 15 cas ;
- Sténose lombaire sans spondylolisthésis dégénératif : 9 cas ;
- Sténose lombaire avec spondylolisthésis dégénératif : 8 cas ;
- Spondylolisthésis par lyse isthmique : 16 cas (*figure 11*);
- Pseudarthrose : 5 cas ;
- Instabilité vertébrale : 2 cas (Un suite à deux discectomies L5-S1 et L'autre suite à une résection d'un ostéome ostéoïde L5) ;
- Sténose jonctionnelle sous jacente : un cas.

Le recul moyen était de 13,1 ans (médiane : 13 ans ; extrêmes : 10 et 17 ans ; écart type : 2ans).

Cas	Sexe	Antécédents chirurgicaux du rachis	Age au moment de l'intervention (Ans)	Indication arthrodèse	Niveaux fusionnés	Type de fusion	Recul (Ans)
1	F	Non	43	Sténose lombaire sans SPLd	L4-L5-S1	APL	11
2	F	Non	24	SPLi L5-S1 grade 4	L4-L5-S1	Circonf en 2 temps	15
3	F	Discectomie L4L5	46	Discopathie dégénérative L3-L4, L4-L5	L3-L4-L5	APL	14
4	M	Non	39	Discopathie dégénérative L3-L4	L3-L4	APL	13
5	F	Non	26	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	APL	11
6	F	Discectomie L5-S1	50	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	13
7	F	Non	64	Sténose lombaire avec SPLd L5-S1	L5-S1	APL	13
8	M	Graf en L4-L5	53	Sténose lombaire sans SPLd	L4-L5	Circonf par voie post	10
9	F	Non	34	SPLi L5-S1 grade 4	L4-L5-S1	APL	17
10	M	Discectomie L5-S1	38	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	12
11	M	Non	43	SPLi L5S1 grade 3	L5-S1	APL	16
12	F	Non	36	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	APL	13
13	M	Non	35	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	11
14	F	Non	66	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-L5	APL	15
15	F	Non	43	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	11
16	F	Non	18	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	APL	16
17	M	fracture L5 : Ostéosynthèse	30	Pseudarthrose L5-S1	L4-L5-S1	APL	17
18	F	Non	15	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	Circonf en 2 temps	17
19	M	Laminectomie L3 et arthrodèse L2-L3	44	Syndrome sous jacent L3-L4	L2-L3-L4	APL	11
20	M	Non	45	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	12
21	F	Non	53	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-L5-S1	APL	13
22	F	Non	42	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	16
23	M	Discectomie L5-S1	41	Sténose lombaire L5-S1 sans SPLd	L5-S1	APL	14
24	F	Non	46	Sténose lombaire L4-L5 sans SPLd	L4-L5	Circonf par voie post	11
25	M	Non	37	SPLi L5-S1 grade 1	L5-S1	APL	13
26	M	Non	64	Sténose lombaire L2-L5 sans SPLd	L2-L3-L4-L5	APL	11
27	M	Discectomie L4-L5, L3-L4	41	Sténose lombaire L3-L5 sans SPLd	L3-L4-L5	APL	12
28	F	Ostéome ostéoïde de la vertèbre L5 opéré	38	Instabilité L5-S1	L5-S1	APL	13
29	F	SPLi L5-S1 grade 4, arthrodèse L4-S1	19	Pseudarthrose L4-L5, L5-S1	L4-L5-S1	Circonf en 2 temps	15
30	M	Discectomie L4L5	48	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5	APL	15
31	F	Non	60	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-L5-S1	APL	16
32	M	Non	55	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	11
33	F	Non	49	Discopathie dégénérative L2-L3	L2-L3	APL	10
34	F	Non	52	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-L5-S1	APL	13
35	F	Discectomie L5-S1	46	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-L5-S1	APL	16
36	F	Discectomie L5-S1	53	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	13
37	F	Non	63	Sténose lombaire avec SPLd L3-L4	L2-L3-L4	APL	15
38	F	Non	59	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-L5-S1	APL	13
39	F	Non	23	SPLi L4-L5 grade 2	L4-L5	APL	15
40	F	Non	45	SPLi L5-S1 grade 2	L4-L5-S1	APL	14
41	F	Non	46	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	APL	13
42	M	Non	34	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	11
43	M	SPLi L5-S1 grade 3, Arthrodésé	27	Pseudarthrose L5-S1	L5-S1	APL	15
44	M	Non	61	Sténose lombaire L4-S1 sans SPLd	L3-L4-L5-S1	APL	13
45	F	2 Discectomies L5_S1	44	Instabilité L5-S1	L5-S1	APL	15
46	M	Sténose L3-L5: arthrodèse L3-L5 et laminectomie	60	Pseudarthrose L4-L5	L3-L4-L5	APL	12
47	M	Discopathie dégénératives L4-L5, L5-S1	43	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-L5-S1	APL	12
48	M	Non	54	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	11
49	F	Non	69	Sténose lombaire L2-L5 sans SPLd	L2-L3-L4-L5	APL	11
50	F	SPLi L5S1 grade 4, Arthrodèse	37	Pseudarthrose L5-S1	L5-S1	APL	16
51	F	Non	44	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	APL	11
52	F	Non	48	Sténose lombaire L3-L5 sans SPLd	L3-L4-L5-S1	APL	13
53	F	Non	65	Sténose lombaire avec SPLd L3-L4	L3-L4	APL	10
54	M	2 Discectomie L4-L5	43	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5	APL	12
55	F	Non	70	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L3-L4-L5	Circonf par voie post	10
56	F	Discectomie L4-L5	47	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5	APL	12

Tableau 1 : Caractéristiques des patients de la série.

Indications	Nombre de cas	%
Discopathie dégénérative	15	27%
Sténose lombaire sans SPLd	9	16%
Sténose lombaire avec SPLd	8	14%
SPL par lyse isthmique	16	29%
Pseudarthrodèse	5	9%
Instabilité vertébrale	2	3%
Sténose jonctionnelle	1	2%

Tableau 2 : Indications d'arthrodèse chez les 56 patients.



Figure 11 : Nombre de cas de spondylolysthésis par lyse isthmique selon les stades évolutifs d'après la classification de Meyreling.

Morbidité préopératoire :

Tous les patients avaient des lombalgies préopératoires.

Sur les 56 patients, 43 présentaient des radiculalgies (35 monoradiculaire et 8 pluriradiculaire), et 2 un déficit moteur.

Le traitement chirurgical :

Sur les 56 patients, 53 ont été opérés en un temps (postérieur), 3 en deux temps (antérieur puis postérieur) :

1- En un temps opératoire postérieur :

- 50 patients ont eu une arthrodèse postéro latérale seule.

- 3 patients ont eu une arthrodèse circonférentielle par voie postérieure en un temps (APL+TLIF), dont deux cas de sténose lombaire L4-L5 (une cage en L4-L5 : *figure 12*) et un cas de spondylolisthésis dégénératif sévère L4-L5 (deux cages : L3-L4, L4-L5).

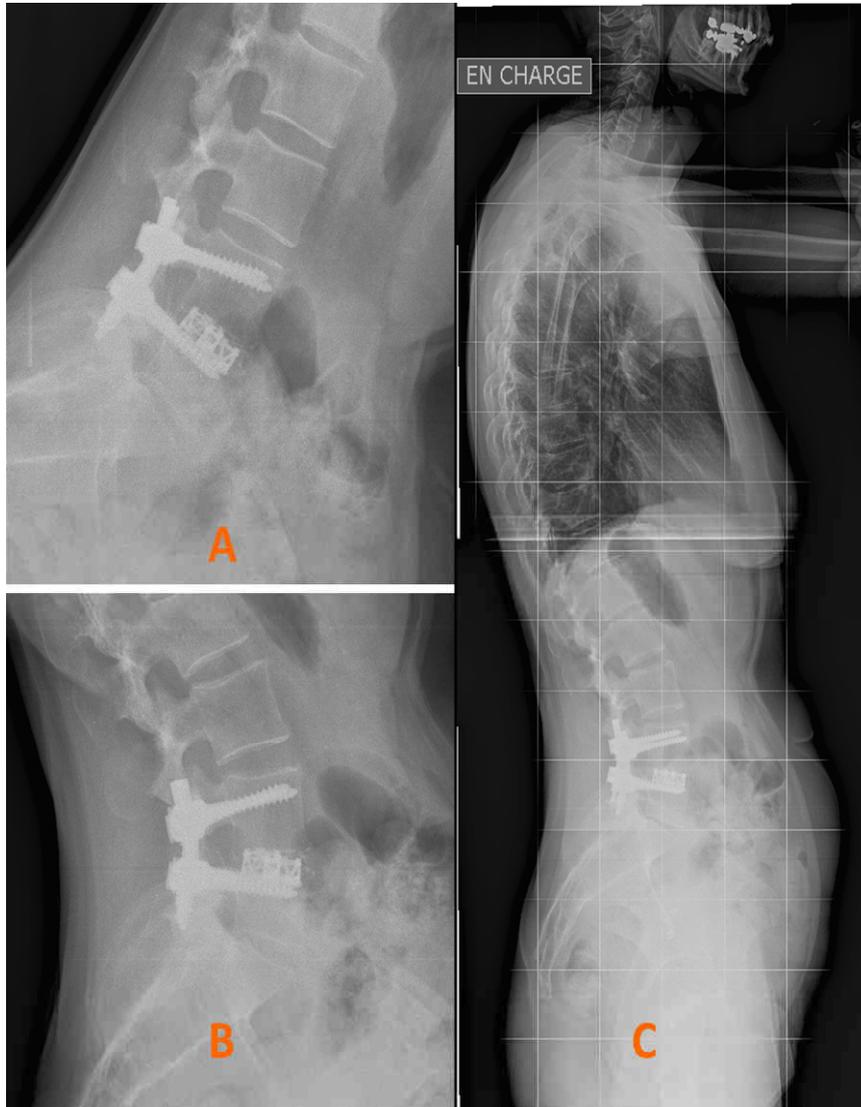


Figure 12 : Exemple radiographique d'un cas d'arthrodèse circonférentielle par voie postérieure à 11 ans de recul (APL L4-L5 et TLIF L4-L5). A : Radiographie en flexion, B : en extension et C : Télérachis en position debout

2- En deux temps opératoires :

3 patients ont eu une arthrodèse circonférentielle en deux temps (antérieur puis postérieur) :

- Deux cas de spondylolisthésis par lyse isthmique L5-S1 grade 4 : le temps antérieur consistait en une discectomie puis arthrodèse intersomatique par cage remplie de TRIOSITE® (BCP) (figure 13).

- Un cas de pseudarthrodèse à 10 mois de recul d'une arthrodèse pour spondylolisthésis par lyse isthmique L5-S1 grade 4. Le temps antérieur consistait en une discectomie puis remplissage de l'espace discal par des granulés de BCP.

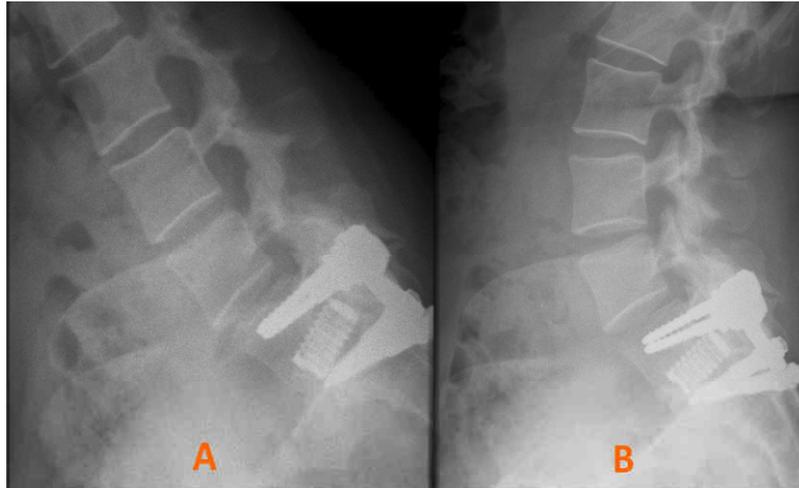


Figure 13 : Exemple radiographique d'un cas d'arthrodèse circonférentielle en deux temps (cage L5-S1 par voie antérieure et APL L5-S1 par voie postérieure) à 17 ans de recul. A : Radiographie dynamique en flexion, B : en extension

Le nombre de niveaux arthrodésés était de 1 à 3 (figure 14) : 33 cas sur un niveau, 19 cas sur deux niveaux et 4 cas sur trois niveaux. Une libération radiculaire a été réalisée chez 44 patients.

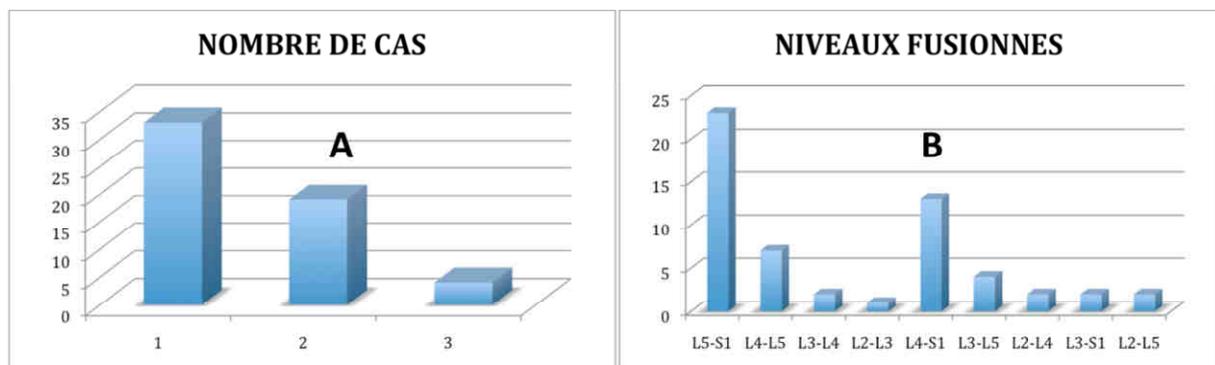


Figure 14 : A) Nombre de cas en fonction du nombre d'étages fusionnés. B) Nombre de cas en fonction des différents niveaux fusionnés.

La greffe postéro-latérale était réalisée dans tous les cas en utilisant de la céramique biphasée (BCP : deux marques ont été utilisées ; *TRIOSITE*® et BCP BiCalPhos ®.) immergée dans une ponction de moelle osseuse (*photo 1*), mélangée aux produits de laminectomie en cas de libération nerveuse. La ponction de moelle osseuse au niveau de la crête iliaque était effectuée à l'aide d'un trocart taille 11 Gauge, soit en percutané à travers une petite incision, ou directement dans la voie d'abord postérieure si la crête iliaque était accessible (*photo 2*).

L'ostéosynthèse était assurée par des vis pédiculaires et deux tiges pré cintrées dans tous les cas (*photo 3*).

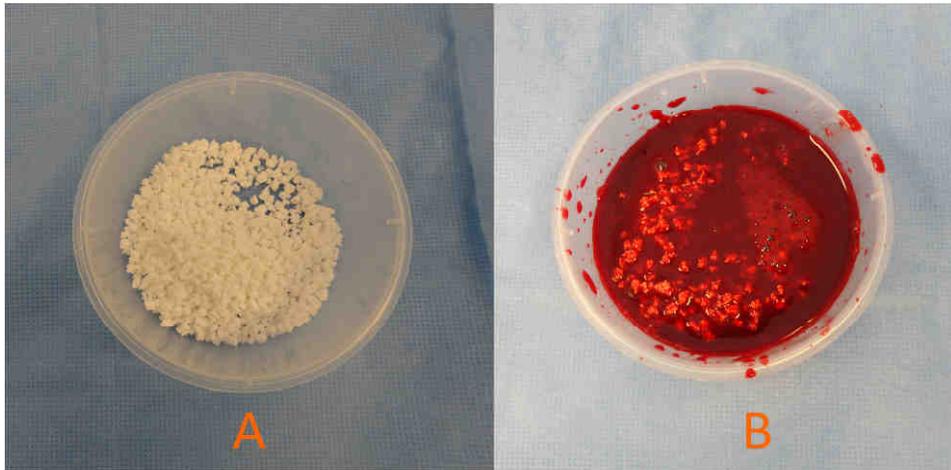


Photo 1 : A) Granulés de BCP B) Granulés de BCP associés à de la moelle osseuse

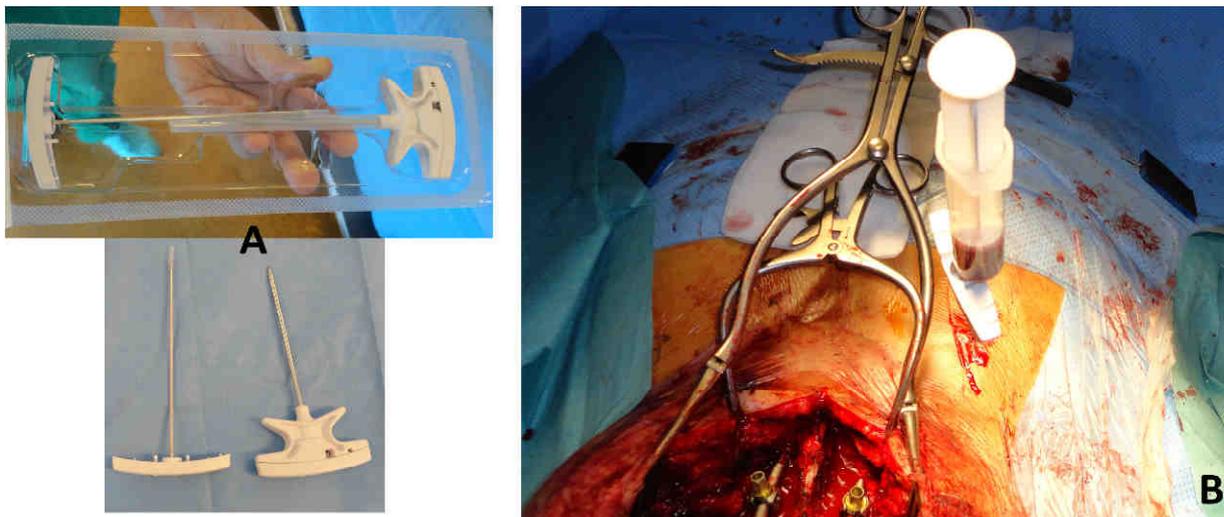


Photo 2 : A) Trocart 11 G

B) Ponction de moelle osseuse dan la crête iliaque postérieure.

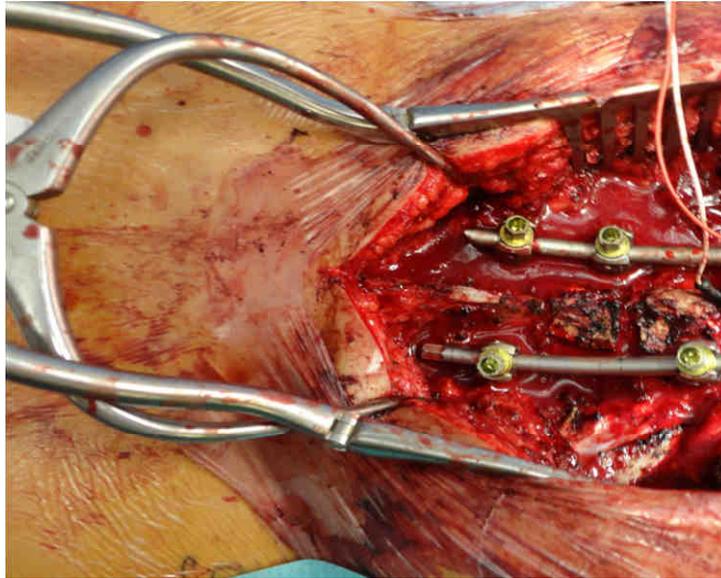


Photo 3 : Instrumentation rachidienne par vis pédiculaires et deux tiges pré cintrées

Evaluation clinique :

Tous ces patients ont été revus au dernier recul. La symptomatologie fonctionnelle a été évaluée à l'aide d'autoquestionnaires remplis par les patients. Nous avons utilisé un autoquestionnaire de qualité de vie, le SF 36, l'Oswestry, et un indice de satisfaction. Ces autoquestionnaires ont été complétés par une évaluation des douleurs lombaires et radiculaires sur une échelle visuelle analogique (EVA dos et EVA jambe).

Evaluation radiologique :

1- Radiographies standards :

Tous les patients ont eu des radiographies standards du rachis lombaire de face et de profil en position debout en pré opératoire, au cours du suivi (tous les ans) et au dernier recul. Les différentes radiographies standards réalisées en préopératoire et au dernier recul ont été comparées afin de déterminer si un glissement intervertébral apparaissait et/ou s'aggravait avec le recul.

Les glissements intervertébraux (anté ou rétrolisthésis) ont été mesurés par le déplacement du bord antérieur du corps vertébral selon la méthode de Morgan et King [191]. Seules les modifications supérieures à 2 millimètres ont été prises en compte (*figure 15*) (apparition ou aggravation d'un glissement préexistant supérieur ou égal à 2mm).

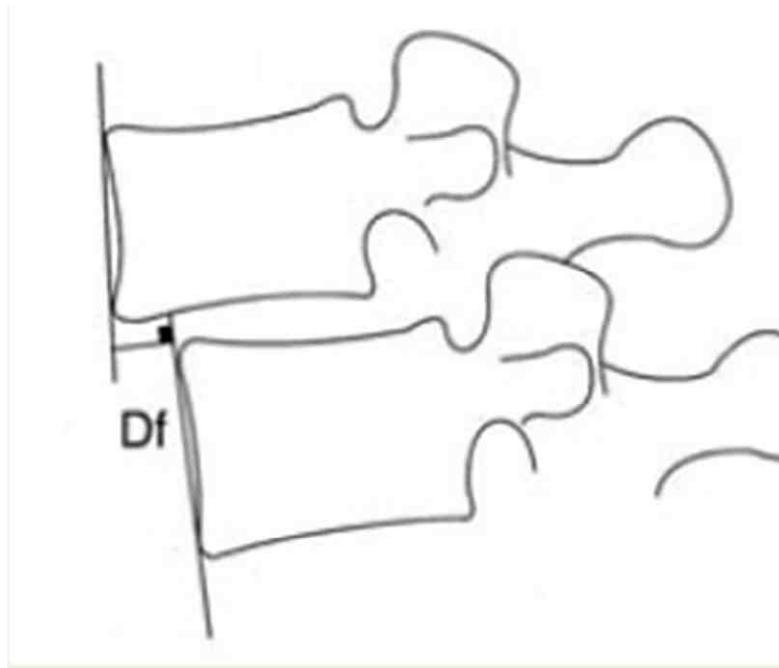


Figure 15 : Mesure du déplacement antéro-postérieur (Df en mm).

2- Télérachis (Rachis entier) :

Au dernier recul, nous avons réalisé des clichés en télérachis debout, de face et de profil pour tous les patients.

Toutes les radiographies ont été numérisées sous un format d'image standard (TIFF ou DICOM). Cette numérisation a été réalisée grâce à un scanner à rouleaux (Vidar Scan Sierra^{Plus}®). Ensuite, un logiciel spécifique (Spineview[®], Surgiview, France) a permis l'analyse des images numérisées, basée sur l'identification des repères anatomiques et générant un calcul automatique d'un grand nombre de paramètres (figure 16). Ce logiciel avait été validé en comparaison à des mesures manuelles [192,193].

Sur les clichés de profil nous avons analysé, 3 paramètres pelviens (incidence pelvienne, version pelvienne et pente sacrée) et 4 paramètres rachidiens (lordose lombaire, cyphose thoracique, gîte sagittale Th9 et axe sagittal vertical ou plumb line en C7), habituellement décrits dans la littérature [6,11,57,155,156,157,158,159,160,166].

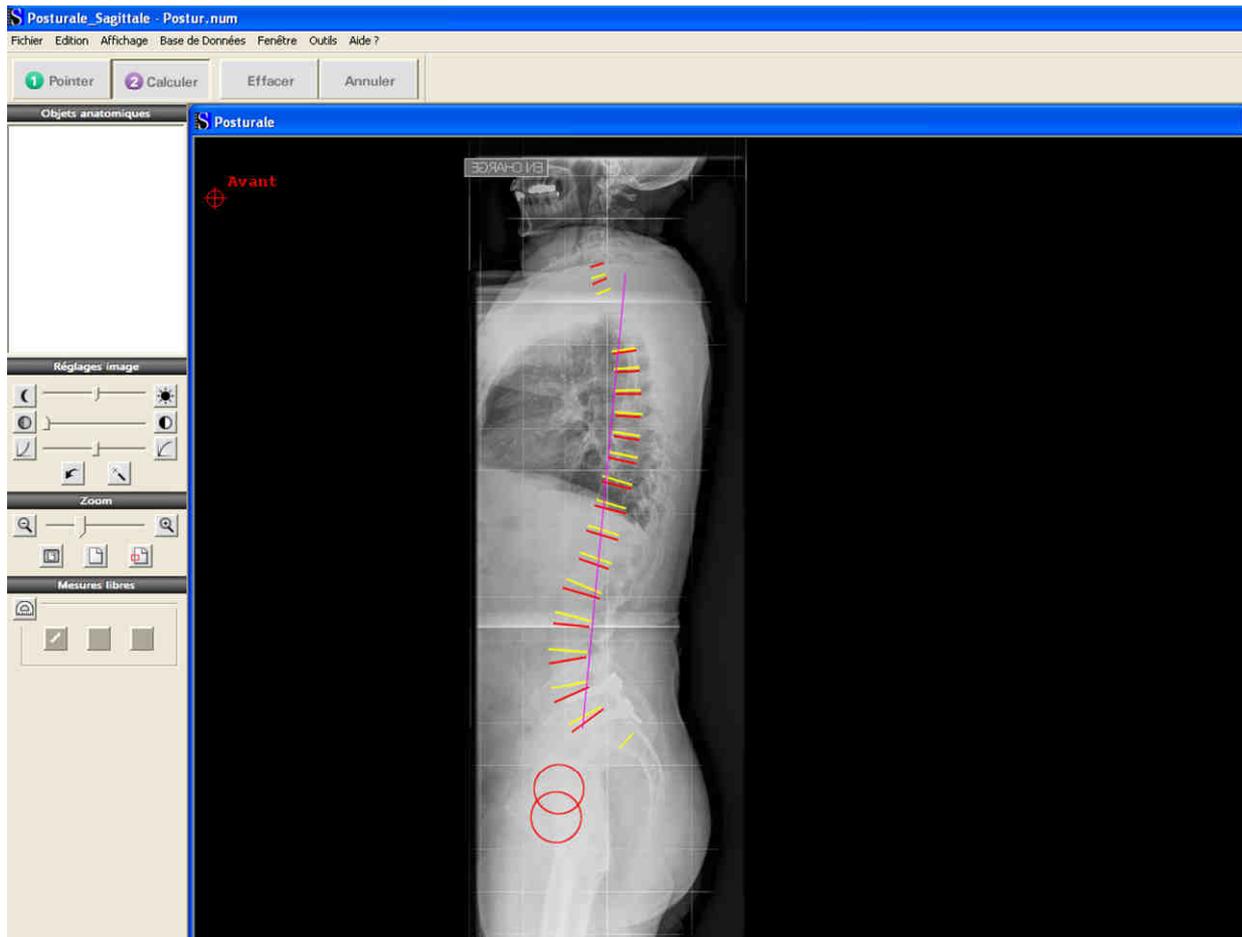


Figure 16 : Identification des repères anatomiques sur un télérachis de profil à l'aide du logiciel Spineview[®] et calcul automatique des paramètres pelviens et rachidiens.

3- Les radiographies dynamiques (flexion-extension) :

Des clichés dynamiques du rachis lombosacré en flexion extension en posture sagittal ont été pratiqués au dernier recul chez tous les patients. Ils ont été réalisés selon la technique de Putto et coll. [194]. Aucune radiographie dynamique n'était disponible en préopératoire. Les radiographies ont été numérisées grâce à un scanner à rouleau (Vidar Scan Sierra^{Plus®}) puis analysées à l'aide du logiciel Spineview[®] (figures 17 et 18).

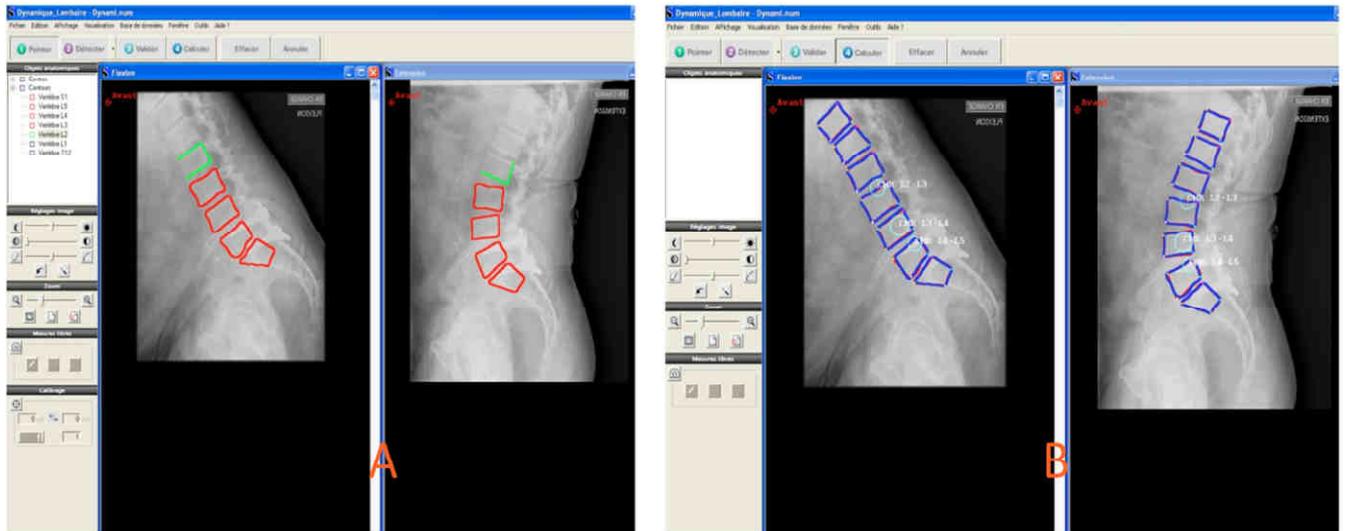


Figure 17 : A- Détection des contours
B- Analyse des radiographies dynamiques lombaires.

Résultats

Réduire Développer Imprimer Images Imprimer rapport Préférences Aide

SpineView

Module: **Dynamique lombaire (version 2.4.2.1)**
 Date: 2012-07-23 14:42
 Signes: La convention de signes utilisée est la convention de signes par défaut.

+ Détails des conventions de signe

Radiographies Flexion et Extension

CMR

- Mobilité Intervertébrale

name	value	m	SD	min	max	n
T12-L1	5°					
L1-L2	7°					
L2-L3	14°	10°	4°	0.9°	15.8°	14
L3-L4	11°	12.1°	5°	3.2°	26.5°	19
L4-L5	16°	13.5°	6°	-2°	22°	19
L5-S1	0°	12.4°	7°	0.3°	22.6°	18

- Coordonnées des Centres Moyens de Rotation (CMR)

Figure 18 : Résultats de la mobilité angulaire intervertébrale des différents niveaux calculés par Spineview.

Sur ces clichés dynamiques nous avons analysé : la mobilité globale du rachis, la mobilité angulaire intervertébrale (mesures effectuées à l'aide du logiciel Spineview®) et le déplacement antéro- postérieur des corps vertébraux (figure 19).

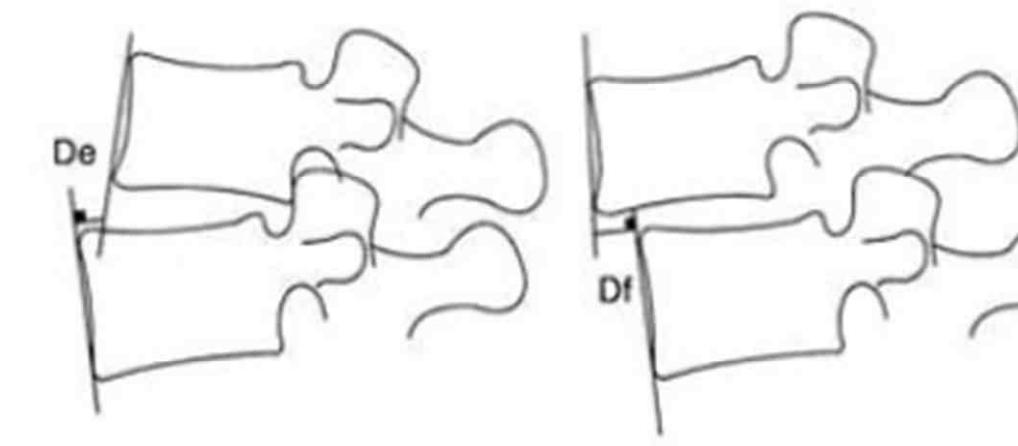


Figure 19 : Technique de mesure de mobilité antéro-postérieure sur les clichés dynamiques :
Mobilité antéro-postérieure (mm) = De + Df.

Pour un étage donné nous avons considéré sur les radiographies dynamiques qu'il existait une hypermobilité antéro-postérieure si le déplacement des corps vertébraux était supérieur ou égal à 2 millimètres et qu'il existait une hypermobilité angulaire si la mobilité angulaire était supérieure aux valeurs normales définies par Dvorak [36,37] : 14° en L2-L3, 15° en L3-L4, 18° en L4-L5 et 17° en L5-S1.

4- Analyse de la fusion :

La qualité de la fusion était appréciée sur les radiographies standards et sur les radiographies dynamiques pour tous les patients au dernier recul. Une greffe a été considérée comme fusionnée si la mobilité au sein de la zone d'arthrodèse était inférieure ou égale à 2° sur les radiographies dynamiques.

5- Dégénérescence adjacente radiographique :

L'évolution radiologique des 2 niveaux sus-jacents au segment arthrodésé et de tous les niveaux sous-jacents a été étudiée. Le diagnostic de dégénérescence adjacente radiologique (radiographies standards et dynamiques) était basé sur la présence de l'un des signes suivant :

- Pincement de la hauteur discale supérieur à 20%.
- Survenue ou aggravation d'un glissement supérieur ou égal à 2 millimètres.
- Apparition d'une hypermobilité intervertébrale définie par Dvorak [36,37].

Méthode statistique :

L'ensemble des résultats cliniques et paracliniques a été analysé à l'aide du logiciel JMP® 7.0.1 (SAS).

Les variables qualitatives ont été comparées par le test du Khi2, et les variables quantitatives ont été analysées par le test de Student après vérification de la normalité de la distribution (test de Kolmogorov-Siminov).

Une analyse multivariée a été effectuée, afin d'identifier les facteurs de risque entrant en jeu dans l'apparition d'une dégénérescence radiologique. 2 analyses ont été effectuées :

- 1- une analyse en prenant en compte les données pré et per-opératoires : âge au moment de l'intervention, le sexe, l'indication de l'arthrodèse (diagnostic) et le nombre de niveaux fusionnés.
- 2- Une deuxième en prenant en compte les données cliniques et radiologiques du dernier recul : SF 36, Oswestry, indice de satisfaction, EVA dos et jambe, lordose lombaire, cyphose thoracique, ASV, Gite T9, incidence pelvienne, pente sacrée et version pelvienne.

Enfin, nous avons réalisé une analyse bivariée dans le groupe présentant une dégénérescence adjacente radiologique en prenant en compte chacune des données clinique avec les paramètres pelviens (ASV, PI, SS, PT), afin de d'identifier le ou les paramètres pelviens influençant les résultats cliniques.

Le seuil de significativité a été retenu pour un risque de première espèce $\alpha=0.05$.

3/ Résultats :

Complications :

Complications peropératoires et postopératoires précoces :

En peropératoire, nous avons eu à déplorer comme complications : 2 brèches de dure-mère suturées sans conséquences cliniques et une fracture de pédicule lors de la pose d'une vis, responsable de radiculalgie en postopératoire avec une récupération complète.

En postopératoire précoce, nous avons observé :

- une thrombophlébite du membre inférieur traitée par une anticoagulation à dose efficace pendant 3 mois ;
- un hématome nécessitant une reprise chirurgicale à 8 jours post opératoire sans conséquence infectieuse ;
- un cas de sepsis à 3 semaines. Un simple nettoyage chirurgical avec une antibiothérapie adaptée a permis d'obtenir une consolidation.

Ces complications précoces de type nosocomial sont sans rapport avec l'utilisation de la céramique biphasée. Nous n'avons pas observé de complication significative en rapport direct avec la ponction de moelle osseuse.

Complications postopératoires tardives :

Cinq patients ont été repris pour ablation partielle ou totale du matériel d'instrumentation. 4 cas pour gêne par des vis d'extension iliaque. L'ablation de ces vis était suffisante avec conservation du reste du matériel d'ostéosynthèse. Dans le dernier cas, une ablation totale du matériel d'instrumentation était nécessaire chez une patiente ayant présenté une rupture du matériel d'ostéosynthèse à 49 mois de recul (*figure 20*). Au moment de l'ablation du matériel, la consolidation était acquise chez les 5 patients.



Figure 20 : Radiographie à 13 ans recul, montrant le cas d'ablation total du matériel d'instrumentation A : Radiographie dynamique en flexion, B : en extension. C : Télérachis debout.

Deux patients ont été réopérés pour une raison directement liée à une modification dégénérative d'un niveau sus ou sous-jacent à leur zone de fusion. Dans un cas, il s'agissait d'une sténose de deux niveaux, l'un sus et l'autre sous-jacents à l'arthrodèse avec apparition d'un glissement à 45 mois de recul chez un patient ayant eu une arthrodèse L4 - L5. Dans l'autre cas, est apparue une discopathie dégénérative multi-étagée douloureuse, deux étages sous-jacents et un étage sus-jacent à la fusion. Cette patiente avait bénéficié d'une arthrodèse L3-L4 sur sténose lombaire avec spondylolisthésis dégénératif L3-L4 associé. Elle a été reprise dans un autre centre à 7 ans de recul pour ablation total du matériel puisque la fusion était acquise, et mise en place de deux prothèses discales L4-L5 / L5-S1 associé à une stabilisation dynamique par Dynésis® à l'étage L2-L3.

Quatre reprises chirurgicales ont été effectuées à cause d'une pseudarthrose symptomatique :

- 1^{er} cas : patiente sans antécédent chirurgical ayant présenté un spondylolisthésis par lyse isthmique, grade 3 de la classification de Meyerding, à l'étage L5-S1 avec radiculaire L5. Une arthrodèse postéro latérale instrumentée L5-S1 a été effectuée, associée à une libération nerveuse de L5. Une pseudarthrodèse douloureuse est mise en évidence, et reprise chirurgicalement à 18 mois de recul par une arthrodèse circonférentielle en deux temps. Un temps antérieur qui consistait en une arthrodèse intersomatique L5-S1 avec un greffon iliaque tricortical, et un temps postérieur par une arthrodèse postéro latérale instrumentée L5-S1 en utilisant des BCP immergés dans de la moelle osseuse.
- 2^{ème} cas : patient ayant présenté un SPLi grade 2 à l'étage L5-S1 associé à une radiculaire L5 sans antécédent chirurgical. Il a bénéficié d'une arthrodèse postéro latérale instrumentée L5-S1 associée à une libération des racines L5. Il a été réopéré à 6 mois post opératoire pour une pseudarthrodèse. Une arthrodèse intersomatique avec un greffon iliaque de l'étage concerné par voie antérieure était suffisante.
- 3^{ème} cas : patient ayant déjà eu une discectomie sur deux étages pour discopathies dégénératives (L4-L5 / L5-S1) et qui restait lombalgique, sans radiculaire. Une arthrodèse postéro latérale instrumentée de L4 à S1 a été réalisée, sans geste de libération nerveuse. Une pseudarthrodèse s'est développée à l'étage L5-S1 qui a nécessité une reprise chirurgicale à 12 mois de recul, par une arthrodèse intersomatique L5-S1 avec un greffon iliaque par voie antérieure.
- 4^{ème} cas : patiente sans antécédent chirurgical, ayant présentée une sténose lombaire dégénérative de L3 à L5 avec pluriradiculaire sans SPLd. Une arthrodèse postéro latérale instrumentée de L3 à S1 associée à une libération radiaire des étages arthrodésés a été réalisée. Une pseudarthrodèse sur deux étages, L3-L4 / L4-L5 s'est développée d'où la nécessité d'une reprise chirurgicale, à 22 mois de recul, par une arthrodèse intersomatique avec cage remplie de BCP par voie antérieure des deux étages concernés.

Cas	Indication d'arthrodèse	Motif de reprise chirurgicale	Recul	Type de chirurgie
1	SPLi L5-S1 grade 4.	Hématome	8 jours	Lavage-drainage
2	Syndrome lésionnel sous jacent L3-L4.	Sepsis	21 jours	Lavage-drainage et antibiothérapie
3	Pseudarthrose SPLi L5-S1 grade 4.	Gène par vis d'extension iliaque	21 mois	Ablation vis d'extension iliaque
4	SPLi L5-S1 grade 4.	Gène par vis d'extension iliaque	24 mois	Ablation vis d'extension iliaque
5	SPLi L5-S1 grade 3.	Gène par vis d'extension iliaque	41 mois	Ablation vis d'extension iliaque
6	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5.	Gène par vis d'extension iliaque	49 mois	Ablation vis d'extension iliaque
7	SPLi L5-S1 grade 2.	Pseudarthrodèse L5-S1	6 mois	Arthrodèse intersomatique L5-S1 avec greffon iliaque par voie ant.
8	Discopathies dégénératives L4-L5 et L5-S1.	Pseudarthrodèse L5-S1	12 mois	Arthrodèse intersomatique L5-S1 avec greffon iliaque par voie ant.
9	SPLi L5-S1 grade 3.	Pseudarthrodèse L5-S1	18 mois	Arthrodèse circoferentielle en utilisant de l'autogreffe iliaque
10	Sténose lombaire L3 à L5 sans SPLd.	Pseudarthrodèse L3-L4 et L4-L5	22 mois	Arthrodèse intersomatique avec cages par voie antérieure.
11	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5.	Lâchage instrumentation	49 mois	Ablation du matériel instrumentation
12	Syndrome suos-jacent L3-L4 sous une arthrodèse L2-L3.	Dégénérescence adjacente	45 mois	Extension de la fusion aux étages adjacents.
13	Sténose lombaire avec SPLd L3-L4.	Dégénérescence adjacente	7 ans	Ablation du matériel d'ostéosynthèse et pose de deux prothèses discales et un Dynesis

Tableau 3 : Motifs de reprise chirurgicale et type de chirurgie réalisée dans la série.

Les résultats cliniques :

Au dernier recul, une analyse des différentes données cliniques a été effectuée. En se basant sur l'indice de satisfaction, 30,3% (17 cas) patients estimaient que le résultat de la chirurgie était excellent, 60,7% (34 cas) bons et 9% (5 cas) passables.

Le score d'Oswestry évalue la capacité physique (un score inférieur à 30% : signifie état quasi-normal, 30 à 50% : incapacité modérée, 50 à 70% : incapacité sévère, et supérieur à 70% : incapacité complète). Au dernier recul, 64% (36 cas) avaient un score inférieur à 30, 29% (16 cas) un score entre 30 et 50, 5% (3 cas) un score entre 50 à 70 et 2% (1 cas) un score supérieur à 70.

Les résultats cliniques de la qualité de vie évaluée par le SF36, EVA dos et EVA jambes sont exprimés dans le *tableau 4*

Données de toute la série				
	EVA dos (sur 10)	EVA jambe (sur 10)	SF36 (PCS%)	SF36 (MCS%)
Moyenne	2,8	1,9	41,3	48,5
Médiane	2,5	1,5	41	53
Extrêmes	0 - 6,5	0 - 7,6	17 - 60	21 - 63
Ecart-type	1,7	2,0	8,7	10,7
Données chez les patients sans dégénérescence adjacente radiographique				
Moyenne	2,3	1,4	43,8	49,2
Ecart-type	0,2	0,3	1,3	1,7
Données chez les patients avec dégénérescence adjacente radiographique				
Moyenne	3,7	3,0	35,9	46,9
Ecart-type	0,4	0,4	1,9	2,5

Tableau 4 : Données cliniques chez les patients au dernier recul.

Les résultats radiographiques :

Après analyse minutieuse des clichés standards statiques et dynamiques du rachis lombosacré, 18 (32%) cas de dégénérescence adjacente radiologique ont été observés (figure 21). Un cas de rupture du matériel a été identifié sur les radiographies avec des mobilités intervertébrales des étages fusionnés inférieures ou égales à 2° (consolidation acquise).

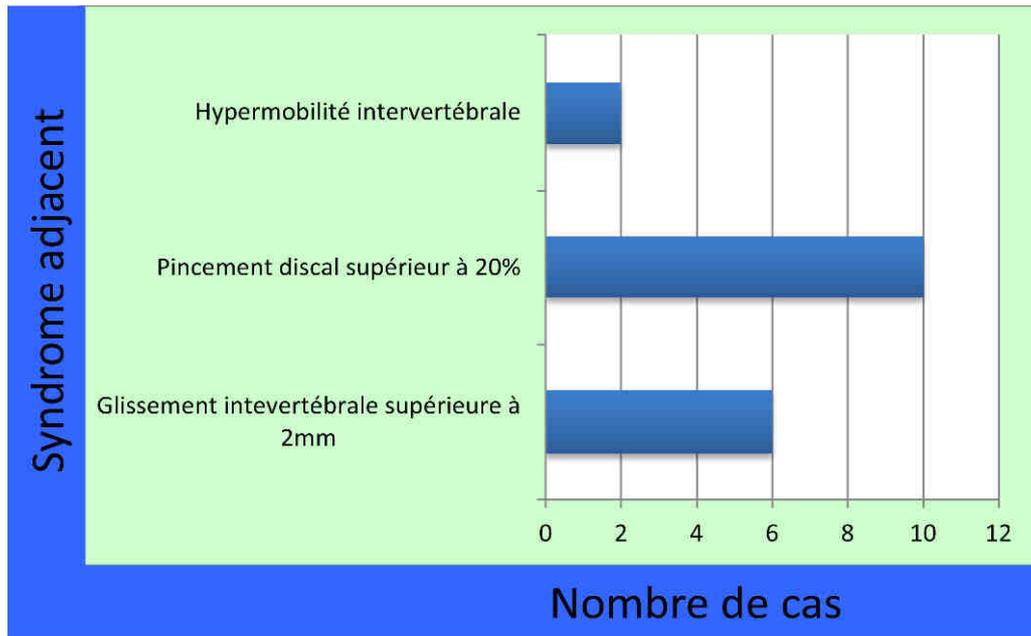


Figure 21 : Nombre de cas de syndrome adjacent en fonction des signes radiologiques identifiés au dernier recul.

Les mobilités des étages fusionnés étaient toutes inférieures ou égales à 2°, sauf dans un cas où la mobilité était de 5° (tableau 5).

Cas	Indication arthrodèse	Niveaux fusionnés	Mobilité L1-L2	Mobilité L2-L3	Mobilité L3-L4	Mobilité L4-L5	Mobilité L5-S1	Syndrome adjacent
1	Sténose lombaire sans SPLd	L4-S1	5	4	5	0	1	NON
2	SPLi L5-S1 grade 4	L4-S1	12	3	0	0	-1	NON
3	Discopathie dégénérative L3-L4, L4-L5	L3-L5	3	3	-3	1	4	OUI
4	Discopathie dégénérative L3-L4	L3-L4	5	-4	-1	-3	8	OUI
5	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	14	9	-4	12	1	NON
6	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	3	12	8	4	0	OUI
7	Sténose lombaire avec SPLd L5-S1	L5-S1	4	7	1	13	2	NON
8	Sténose lombaire sans SPLd	L4-L5	6	6	5	2	2	NON
9	SPLi L5-S1 grade 4	L4-S1	10	3	2	-1	1	NON
10	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	4	-4	-3	-2	1	OUI
11	SPLi L5S1 grade 3	L5-S1	11	8	13	16	-1	NON
12	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	2	4	-1	-1	1	NON
13	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	9	8	8	9	0	NON
14	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-L5		6	15	-1	1	NON
15	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1		2	2	1	1	NON
16	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	8	13	5	1	2	NON
17	Pseudarthrose L5-S1	L4-S1	1	1	2	1	-2	NON
18	SPLi L5-S1 grade 3	L5-S1	5	3	0	3	2	NON
19	Syndrome sous jacent L3-L4	L2-L4	1	0	2	-1	-3	OUI
20	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1		2	-1	1	1	NON
21	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-S1	8	1	2	0	5	NON
22	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	13	11	11	13	0	NON
23	Sténose lombaire L5-S1 sans SPLd	L5-S1	3	10	13	9	0	NON
24	Sténose lombaire L4-L5 sans SPLd	L4-L5	4	12	16	1	10	OUI
25	SPLi L5-S1 grade 1	L5-S1		12	12	5	1	NON
26	Sténose lombaire L2-L5 sans SPLd	L2-L5	7	2	1	2	6	OUI
27	Sténose lombaire L3-L5 sans SPLd	L3-L5			-1	1	1	OUI
28	Instabilité L5-S1	L5-S1		1	2	1	0	NON
29	Pseudarthrose L4-L5, L5-S1	L4-S1	9	7	3	0	0	NON
30	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5	5	1	2	1	6	NON
31	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-S1	1	1	0	0	-1	OUI
32	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	7	14	11	16	0	NON
33	Discopathie dégénérative L2-L3	L2-L3	8	1	3	10	-4	OUI
34	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L4-S1	10	14	15	0	1	NON
35	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-S1	9	9	5	2	-2	NON
36	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1	9	13	7	3	2	NON
37	Sténose lombaire avec SPLd L3-L4	L2-L4	2	1	-1	4	11	OUI
38	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-S1	0	1	0	1	0	OUI
39	SPLi L4-L5 grade 2	L4-L5	8	6	3	2	4	NON
40	SPLi L5-S1 grade 2	L4-S1	4	3	1	15	1	NON
41	Discopathie dégénérative L5-S1	L5-S1		2	12	9	0	NON
42	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1		2	-1	1	-1	NON
43	Pseudarthrose L5-S1	L5-S1		3	1	0	0	NON
44	Sténose lombaire L4-S1 sans SPLd	L3-S1	8	15	2	-1	2	OUI
45	Instabilité L5-S1	L5-S1		10	7	3	-1	OUI
46	Pseudarthrose L4-L5	L3-L5	0	2	-1	-2	0	OUI
47	Discopathies dégénératives L4-L5, L5-S1	L4-S1	2	4	3	-2	1	NON
48	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	6	3	3	9	-1	NON
49	Sténose lombaire L2-L5 sans SPLd	L2-L5	3	2	1	0	10	OUI
50	Pseudarthrose L5-S1	L5-S1	7	0	1	-1	1	NON
51	SPLi L5-S1 grade 2	L5-S1	10	2	8	5	0	NON
52	Sténose lombaire L3-L5 sans SPLd	L3-S1		10	1	1	5	OUI
53	Sténose lombaire avec SPLd L3-L4	L3-L4	9	10	-1	1	5	NON
54	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5		1	4	0	4	NON
55	Sténose lombaire avec SPLd L4-L5	L3-L5	3	2	-2	1	0	OUI
56	Discopathie dégénérative L4-L5	L4-L5	-2	3	2	-1	6	NON

Tableau 5 : Mobilité intervertébrale des étages fusionnés chez les 56 patients au dernier recul.

Les différents résultats des paramètres pelviens et rachidiens mesurés sur les télérachis à l'aide du logiciel Spineview® sont illustrés dans le *tableau 6*.

Résultats de tous les patients de la série.							
	LL (°)	CT (°)	GST9 (°)	SVA (mm)	PI (°)	PT (°)	SS (°)
Moyenne	52,3	-34,4	-9,1	5,3	60,0	21,3	38,7
Médiane	51,5	-34,0	-9,0	7,5	57,0	22,0	38
Ecart-type	14,6	12,9	4,1	5,4	15,9	7,0	6,0
Résultats chez les patients sans syndrome adjacent.							
Moyenne	56,2	-35,6	-8,6	8,1	62,0	21,0	40,9
Ecart-type	2,2	2,5	0,8	10,6	2,5	1,1	1,9
Résultats chez les patients avec syndrome adjacent.							
Moyenne	44,0	-32,4	-9,9	0,3	55,7	21,8	33,9
Ecart-type	3,2	3,2	1,0	14,2	3,7	1,7	2,8

Tableau 6 : Principales valeurs des différents paramètres pelviens et rachidiens mesurés chez les patients au dernier recul.

Au total, nous avons observé :

- Cinq cas (9%) de pseudarthrodèse (4 cas symptomatiques repris chirurgicalement avec une fusion obtenue au dernier recul, 1 cas de pseudarthrodèse radiologique asymptomatique au dernier recul).
- Dix-huit cas de dégénérescence adjacente radiologiques sur les radiographies au dernier recul (les 2 cas réopérés pour syndrome adjacent présentaient à nouveau une dégénérescence adjacente radiologique au dernier recul).

Les résultats de l'analyse statistique :

- ***Etude de corrélation entre les résultats cliniques et la dégénérescence adjacente radiographique :***

Une analyse multivariée a été réalisée, afin de déterminer s'il existait une corrélation entre l'apparition d'un syndrome adjacent radiologique et les différents résultats cliniques (SF36, Oswestry, indice de satisfaction, EVA dos et EVA jambe) au dernier recul. L'EVA dos était fortement corrélée à la présence d'un syndrome adjacent ($p=0,006$). Les patients ayant une dégénérescence adjacente avaient tous une EVA dos supérieur à 2. Par ailleurs il n'existait aucune corrélation avec le reste des résultats cliniques (SF36, satisfaction du patient, Oswestry, EVA jambe).

- ***Etude de facteurs influençant l'apparition d'un syndrome adjacent radiologique :***

Dans un premier temps, nous avons effectuée une analyse multivariée prenant en compte les facteurs pré-opératoires et per-opératoires (âge, sexe, indication chirurgicale et le nombre de

niveaux inclus dans la zone de fusion). Deux facteurs étaient corrélés à l'apparition d'un syndrome adjacent radiologique : l'âge ($p=0,001$) et le nombre de niveaux fusionnés ($p=0,005$). Plus l'âge et le nombre de niveaux fusionnés sont élevés, plus le risque est élevé.

La détermination d'un âge seuil présentant un risque accru de développer un syndrome adjacent radiologique a permis de fixer le seuil à 38 ans. En effet, tous les patients qui avaient un âge inférieur à 38 ans n'avaient pas de syndrome adjacent, et tous les patients ayant un syndrome adjacent avaient plus de 38 ans. L'analyse statistique a été complétée par un test exact de Fisher bilatéral, afin de déterminer le risque relatif (RR). Le résultat était fortement significatif ($p=0,0023$), avec un $RR=1,75$ (1,35-2,27) pour les plus de 38 ans.

Dans un deuxième temps, nous avons effectué une autre analyse multivariée prenant en compte les différents paramètres pelviens et rachidiens (LL, CT, GST9, SVA, PI, PT et SS) mesurés sur les radiographies au dernier recul. Un seul paramètre était corrélé à l'apparition d'un syndrome adjacent radiologique : la lordose lombaire ($p=0,006$), plus la lordose est faible, plus le risque est important. La limite dans notre série étant de 51° .

Enfin, dans le groupe de patients présentant une dégénérescence adjacente radiologique, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre les résultats cliniques et les différents paramètres pelviens et rachidiens.

4/ Discussion :

Complications précoces:

Plusieurs travaux consacrés à l'utilisation des biomatériaux dans l'arthrodèse du rachis lombaire et lombosacré insistent sur le taux important de complications lié au prélèvement osseux au niveau de la crête iliaque. En effet, l'utilisation des substituts osseux permet de s'affranchir d'un prélèvement d'os autologue et des complications qui en découlent.

Dans notre série, nous n'avons pas observé de complication directement liée à l'utilisation de BCP, ni de complication liée au prélèvement de moelle osseuse. Ce résultat est comparable à ceux de la littérature. Dans un travail très similaire au notre, mais avec un recul très inférieur, Louis G [195] n'a pas observé de complication liée au prélèvement de moelle osseuse et à l'utilisation de céramique de synthèse chez 42 patients ayant bénéficié d'une arthrodèse lombaire postéro-latérale instrumentée.

Egalement, Rakover JP et al [196] n'ont pas rapporté de complications en rapport avec l'utilisation de la céramique de synthèse (sans addition de moelle osseuse), dans une série de 264 cas d'arthrodèses postérieures instrumentées.

A notre connaissance, aucune réaction inflammatoire, ni d'infection liées aux BCP n'ont été rapportées dans la littérature.

Concernant les complications per et post-opératoires précoces, nous avons relevé un hématome (1,7%) et un sepsis précoces (1,7%) ayant nécessité une reprise chirurgicale, deux brèches dure mériennes (3,5%) sans conséquence clinique, une phlébite du membre inférieur (1,7%) sans embolie pulmonaire et un cas (1,7%) de radiculalgies résolutive liées à une fracture d'un pédicule lors de la mise en place d'une vis pédiculaire. Ces résultats sont proches de ceux de la littérature.

Dans la série de Rakover JP [196] de 264 cas d'arthrodèses postérieures instrumentées du rachis lombaire, avec comme greffon une céramique biphasée de synthèse, 2 complications neurologiques (1%), deux hématomes (1%) et 5 complications infectieuses (1,9) nécessitant une reprise chirurgicale ont été observées.

Guigui et al [197], dans une étude prospective d'observation réalisée sur 872 patients ayant bénéficié d'une arthrodèse lombaire ou lombosacrée limitée au secteur étendu de L1 au sacrum (sans précision sur la nature du greffon), réalisées dans 21 centres, ont rapporté 5,3% d'infection du site opératoire, dont 5% nécessitait en plus d'une antibiothérapie une ré-intervention chirurgicale (nettoyage du site opératoire), 3,8% de brèches dures (33/872), dont deux brèches dures se sont compliquées d'une fistule dure externe ayant nécessité une ré-intervention chirurgicale, 1,5% de phlébite dont 2 embolies pulmonaires et 1,3% des patients présentant des troubles neurologiques liés au matériel d'ostéosynthèse.

Davne et Myers [198] sur une série de 486 arthrodèses instrumentées du rachis lombaire, ont rapporté un taux d'infection de 2,6% et 1,2% de troubles neurologiques liés à

l'instrumentation (0,6% due aux vis pédiculaires).

Hoffmann NF et al [199], dans une étude d'analyse de 1398 patients ayant bénéficié d'arthrodèse du rachis lombaire (947 en utilisant rhBMP-2, 306 DBM, 145 autogreffe), ont observé 2,1% d'infection (2,3% dans le groupe rhBMP-2) et 2,6% de brèches dures.

Nous avons eu 5 cas (9%) de reprise chirurgicale pour ablation du matériel à cause d'une gêne dans 4 cas, et une rupture du matériel dans 1 cas. Ce résultat est faible par rapport à la littérature. Dans la plupart des études, les auteurs n'ont pas précisé la cause d'ablation du matériel. Steib [200], Wood [201], Greenfield [202] et McAfee [203] ont rapporté des taux d'ablation du matériel d'instrumentation respectifs de 15%, 14%, 13,1% et 20%.

Cependant ces résultats sont difficilement comparables en raison de l'hétérogénéité des séries, des indications d'arthrodèse et de l'étendue de la fusion. Plusieurs auteurs [197,204,205,206], se sont intéressés à l'analyse des facteurs influençant la survenue de complications per et postopératoires immédiates et soulignent le rôle important de l'âge, des comorbidités, de l'indice de masse corporelle, de l'étendue de la zone de fusion et de la réalisation d'une décompression nerveuse.

Qualité de la fusion :

La pseudarthrodèse lombaire ou lombosacrée est l'une des complications les plus courantes des arthrodèses du rachis, mais son diagnostic reste difficile comme l'ont montré Steinmann et Herkowitz [207] dans une étude bibliographique importante. Plusieurs outils ont été utilisés dans la littérature : radiographies standards face et profil, radiographies dynamiques, scanner, scintigraphie, IRM. Steib [200] souligne l'importance de l'évolution de la clinique. Il a constaté, lors de pseudarthrodèse, une bonne évolution clinique au départ qui se détériore après le quatrième mois avec résurgence de la symptomatologie douloureuse.

Pour Cobb [208], c'est l'exploration chirurgicale qui permet un diagnostic de certitude.

Dans notre série, nous avons eu 5 cas de pseudarthrodèse (9%) dont 4 symptomatiques (7,1%) réopérées avec une consolidation acquise et 1 radiologique asymptomatique diagnostiquée sur les radiographies dynamiques au dernier recul (mobilité intervertébrale égale à 6°). Ces résultats sont proches des résultats des arthrodèses postérolatérales instrumentées avec utilisation d'autogreffe iliaque rapportés par la littérature [209,210,211].

Des études histologiques et biomécaniques chez l'animal confirment aussi ce résultat, et montrent que la céramique biphasée associée à de la moelle osseuse permet une arthrodèse postérolatérale avec un taux de fusion comparable à l'utilisation d'une autogreffe [212,213,214]. Li-Yang [215], Tsuyoshi Yamada [216], Wen-Jer Chen [217] n'ont pas constaté de différence, entre B-TCP et autogreffe dans les arthrodèses postérolatérales chez l'homme.

Dans la littérature, nous n'avons pas retrouvé d'étude avec un recul aussi important que le notre sur la qualité de fusion des arthrodèses du rachis lombaire avec céramique de phosphate de calcium. Néanmoins beaucoup d'études à moyen terme ont rapporté des taux de fusion similaires à celui de notre série.

Epstein [218] a observé 3 cas (7,5%) de pseudarthroses radiologiques (sur radios dynamiques et scanner) à 12 mois de recul, chez 40 patients ayant eu une arthrodèse postérolatérale instrumentée, sur un à deux niveaux, avec utilisation de β -TCB plus moelle osseuse et os de laminectomie. Nancy E. [219], avec la même technique d'arthrodèse et le même recul, a rapporté 5% de pseudarthroses constatées sur les radiographies dynamiques et scanner chez 100 patients.

Louis G [195], dans une étude rétrospective de 42 patients avec un suivi de 24 mois, ayant eu une arthrodèse lombaire postérolatérale instrumentée, sur 1 à 2 niveaux, avec utilisation de céramique de phosphate de calcium mélangée à de la moelle osseuse sans autogreffe, a constaté 8 cas (19%) de pseudarthrose radiologique diagnostiqués au scanner dont deux cas symptomatiques n'ayant pas nécessité de reprise chirurgicale.

Plusieurs auteurs soulignent l'importance d'associer de la moelle osseuse aux céramiques de synthèse pour obtenir une meilleure qualité de fusion. Tay et al [220] ont réalisé une arthrodèse postérolatérale chez le lapin en utilisant autogreffe ou β -TCP et moelle osseuse ou β -TCP seule. A 8 semaines, ils ont constaté 75% de fusion dans le groupe autogreffe, 100% dans le groupe β -TCP et moelle osseuse, et 18% dans le groupe β -TCP seule.

Orii et al [221] réalisent la même étude chez le singe. Ils ont rapporté 83% de fusion avec β -TCP et moelle osseuse, 67% avec autogreffe et pas de fusion dans le groupe β -TCP seule. Ces auteurs concluent que les β -TCP servent d'agent ostéoinducteur qui doit être combiné avec un agent ostéogénique (ex : moelle osseuse) pour obtenir un meilleur taux de fusion.

Concernant notre série, nous avons eu deux cas de pseudarthrose dans le groupe de SPLi (un grade 2, un grade 3), qui ont eu une arthrodèse postérolatérale seule. Plusieurs études soulignent la fréquence de cette complication dans les arthrodèses postérolatérales des SPLi de haut grade (2, 3 et 4) et insistent sur l'importance d'y ajouter une arthrodèse intersomatique pour augmenter les chances de fusion.

Mariambourg [222] a rapporté 26% de pseudarthrose dans une série rétrospective de 19 cas de SPLi grade 1 et 2 ayant bénéficiés d'APL seule par voie postérieure et constate que la reprise de pseudarthrose par cage intersomatique permet d'obtenir une consolidation de la greffe avec amélioration de la symptomatologie.

Suk et al. [223] ont rapporté en 1997 une série de 76 patients traités pour SPLi, et ils ont comparé deux types de traitement : arthrodèse postérolatérale instrumentée (patients de groupe 1) et arthrodèse postérolatérale instrumentée plus arthrodèse intersomatique utilisant un greffon tricortical (patients de groupe 2). Les auteurs ont constaté, parmi les patients de groupe 1, 92,5% de fusion et dans le groupe 2, 100%.

Lamberg T et al [224] ont aussi montré que les arthrodèses antérieure et circonférentielle instrumentées donnent des taux de fusion supérieure à l'arthrodèse postérolatérale instrumentée, dans le SPLi de haut grade. Avec un recul de 17,2 ans, chez 69 patients ayant

bénéficié d'arthrodèse pour SPLi haut grade : 21 postérolatérales, 23 antérieures et 25 circonférentielles, ils ont obtenu des taux de fusion respectivement de 86%, 100% et 96%.

Dégénérescence radiologique adjacente :

La dégénérescence adjacente est considérée comme une complication potentielle à long terme des arthrodèses vertébrales. Le taux d'incidence rapporté par la littérature est très variable, allant de 5,6% à 100% [225]. Cette variabilité est le reflet d'études rétrospectives impliquant différentes populations de patients ainsi que différentes méthodologies (techniques d'arthrodèse, périodes de recul et définition de la dégénérescence adjacente).

Pour beaucoup d'auteurs, les critères utilisés pour déterminer un syndrome adjacent sont fondés uniquement sur les résultats radiologiques (dégénérescence discale, sténose, hernie, instabilité, spondylolisthésis, hypermobilité aux niveaux adjacents) plutôt que sur la symptomatologie [102,105,226,227,228,229,230].

En utilisant seulement ces critères radiologiques, l'incidence de dégénérescence adjacente est généralement plus élevée avec des taux variant de 8 à 100%. En revanche, les études basées sur la dégénérescence symptomatique rapportent une incidence allant de 5,2% à 18,5% [104,108,125,166,231].

Dans notre série la survenue de lésions dégénératives (pincement discale, instabilité ou aggravation d'un rétro/antélisthésis) ou l'apparition d'une hypermobilité des segments mobiles adjacents à la zone fusionnée est relativement fréquente. Au dernier recul (13 ans), 32% de nos patients présentaient une dégénérescence adjacente radiologique (DAR). Ce résultat est difficilement comparable à ceux rapportés par la littérature à cause des difficultés suscitées. Néanmoins il reste proche de la moyenne rapportée par des études de grandes séries, de tout type d'arthrodèse et avec un recul aussi important que le notre.

Harrop et al [232], en 2008 dans une analyse de littérature, sur 926 patients avec une moyenne d'âge de 47,45 ans qui ont subi une arthrodèse vertébrale, ont observé 34% de DAR avec un recul moyen de 10,22 ans.

Kumar [166], en 2001 a revu à 5 ans de recul (2 à 12 ans), 83 patients avec une moyenne d'âge de 56,6 ans, ayant bénéficié d'arthrodèse lombaire ou lombosacrée pour pathologie dégénérative (arthrodèse postérolatérale instrumentée avec 30 patients ayant eu un PLIF en plus). Ils ont observé 36,1% de dégénérescence adjacente sur des radiographies standard.

Penta et al [105], en 1995, sur 52 patients ayant subi une arthrodèse intersomatique antérieure avec une discographie pré opératoire normale des disques adjacents, ils ont rapporté 31% de dégénérescence radiologique des disques sous et sus-jacents à plus de 10 ans de recul.

Seitsalo et al, en 1997 [233], sur une série de 145 jeunes patients (14 ans de moyenne) ayant eu une arthrodèse lombosacrée de 1 à 3 étages sur SPLi de L5 (87 postérieure, 55 postérolatérale, 3 antérieure), avec un recul de 5 à 30 ans (moyenne : 13,8 ans), ont constaté 17 à 31% de dégénérescence discale avec une perte de hauteur inférieure à 50%.

Hambly [102], en 1998, sur une série de 42 patients ayant subi une arthrodèse postérolatérale lombaire ou lombosacrée, a constaté sur les radiographies au dernier recul (moyenne de 22,6 ans) : 17% d'antélisthesis, 7,1% rétrolisthesis, 7,1% d'instabilité et 19% de perte de hauteur discale.

En 1987, Lehmann [101], sur une série de 62 patients ayant eu une arthrodèse postérieure médiane, avec un recul compris entre 21 et 52 ans (médiane : 33 ans), a observé 45% d'instabilité et 30% de sténose aux étages jonctionnels.

Malgré la fréquence des évolutions dégénératives des zones jonctionnelles, la symptomatologie douloureuse et/ou troubles neurologiques restent rares (discordance radio clinique), et une réintervention chirurgicale est rarement nécessaire. Dans notre série seuls 2 patients (3,6%) ont été réopérés en raison d'un syndrome adjacent.

Nous n'avons pas trouvé de corrélation statistiquement significative entre la présence de lésions dégénératives des niveaux adjacents et les résultats des questionnaires d'évaluation clinique (SF36, L'OSWESTRY, INDICE de SATISFACTION et EVA RADICULAIRE). Néanmoins, nous avons obtenue une forte corrélation avec l'EVA lombaire ($p=0,006$). Là encore, nos résultats rejoignent ceux de la littérature. Guigui [108], sur une série de 102 patients, avec un recul moyen de 8,9 ans, 8 patients (7,8%) ont été réopérés et n'a pas retrouvé de corrélation entre la clinique et la DAR.

Dans la série de Lehmann [101], seuls 5% des patients ont nécessité une réintervention avec absence de corrélation radioclinique des résultats. Seitsalo [233] a abouti aussi dans sa série à l'absence de corrélation radioclinique du syndrome adjacent.

La fréquence de la lombalgie après arthrodèse lombaire, sans nécessité d'une réintervention, est probablement liée au vieillissement normal de la colonne vertébrale. En effet, nous avons trouvé une forte corrélation statistique entre l'âge des patients et la présence d'une dégénérescence adjacente radiologique ($p=0,001$). Nous avons constaté dans la série que tous les patients âgés de moins de 38 ans n'ont pas développé de dégénérescence adjacente. Dans plusieurs études, l'âge a été montré comme un facteur de risque important dans le développement de lésions dégénératives des niveaux jonctionnels aux zones fusionnées.

Penta et al [105], ont comparé les résultats de leur série de 52 patients ayant eu une arthrodèse lombaire intersomatique à un groupe semblable de patients traités sans chirurgie. Avec recul minimum de 10, ils n'ont trouvé aucune différence dans les taux de dégénérescence du segment adjacent, avec environ un tiers des patients dans les deux groupes.

Chen et al [234], sur une série de 188 patients ayant une arthrodèse lombaire et thoracolombaire, avec un recul minimum de 5 ans, ont constaté que les patients de plus de 50 ans étaient plus à risque de développer une DAR symptomatique que ceux de moins de 50 ans.

Hambly [102] a comparé les résultats radiologiques de sa série de 42 patients, avec un recul de 22,6 ans, à un groupe témoin sans chirurgie avec âge et sexe appariés. Il n'a pas constaté de différence significative de modifications radiologiques se produisant au dessus de la zone fusionnée.

Aota [229] a observé que l'incidence des DAR est plus élevée chez les patients âgés de plus de 55 ans.

Dans notre étude nous avons essayé de déterminer les facteurs de risque qui peuvent être impliqués dans l'évolution dégénérative des niveaux sus et sous-jacents à l'arthrodèse. A partir de notre analyse statistique, nous avons trouvé des corrélations significatives avec l'âge, l'étendue de l'arthrodèse et la lordose lombaire. Par ailleurs nous n'avons pas trouvé de corrélation avec le sexe, CT, GST9, SVA, PI, PT et SS.

Plusieurs auteurs ont essayé d'identifier ces facteurs de risque et les résultats sont contradictoires.

Kumar [166] a retrouvé une corrélation avec SS et C7 plumb line. Il a constaté moins de dégénérescence adjacente chez les patients ayant un SS, LL et C7 plumb line normaux, et pas de corrélation avec le sexe et l'étendue de l'arthrodèse.

Lazennec [6], souligne aussi l'importance de l'angle SS dans le développement de dégénérescence adjacente radiologique et symptomatique.

Disch AC et al [235] ont étudié chez 102 patients, avec un recul moyen de 14 ans (3 à 22 ans), la contribution de l'équilibre sagittal dans le changement dégénératif des niveaux adjacents à une arthrodèse d'un ou de deux étages dans le secteur L4-S1. Les patients souffrant de DAR présentaient une importante réduction des angles SS et LL par rapport aux patients sans DAR.

Cheh et al [234], sur leur série de 188 patients ayant eu une arthrodèse lombaire ou thoracolombaire avec un recul minimum de 5 ans, ont constaté une corrélation entre DAR et l'étendue de l'arthrodèse mais sans corrélation avec la lordose lombaire et l'incidence pelvienne.

William R [236], sur une série de 912 patients ayant eu une PLIF, avec un recul moyen de 63 mois (5 mois à 16 ans), a trouvé des corrélations avec l'âge et l'étendue de la fusion et pas de corrélation avec le sexe et l'indication chirurgicale.

Min JH et al [237], sur une série de 48 patients ayant eu une arthrodèse L4 - L5, ont trouvé aussi une corrélation statistiquement significative avec la lordose lombaire et l'âge.

Gillet et al [238], Ghiselli et al [239] ont retrouvé aussi une corrélation entre DAR et étendue de la fusion.

5/ Conclusion :

Ce travail nous a permis d'étudier l'efficacité des céramiques de phosphate de calcium dans l'arthrodèse postérolatérale du rachis lombaire à long terme, ainsi que l'évolution radiographique des niveaux adjacents à cette arthrodèse et d'essayer de déterminer des facteurs de risque impliqués dans l'évolution dégénérative.

L'utilisation des céramiques de phosphate de calcium dans l'arthrodèse rachidienne est maintenant largement reconnue même si les publications à long terme restent peu nombreuses.

Notre étude montre que le mélange céramique biphasée et moelle osseuse, remplit son rôle de substitut osseux dans les arthrodèses postérolatérales du rachis lombaire avec un résultat qui se maintient à long terme. Son utilisation nous a permis d'avoir des taux de fusion comparables à ceux des arthrodèses utilisant de l'autogreffe iliaque, tout ceci en évitant les complications propres au prélèvement de crête iliaque.

Les règles fondamentales de l'arthrodèse rachidienne restent inchangées. Une technique rigoureuse dans la réalisation de la greffe ainsi qu'une ostéosynthèse solide et stable sont nécessaires pour obtenir un taux de fusion favorable.

Notre étude montre bien que la survenue de lésions dégénératives jonctionnelles radiologiques semble bien être une complication fréquente, à long terme, des arthrodèses lombaires. Cependant, il n'existe pas de parallélisme entre l'apparition de ces lésions dégénératives et le résultat fonctionnel obtenu.

Les facteurs influençant cette évolution dégénérative, dans notre série, sont : l'âge, l'étendue de la fusion et la lordose lombaire.

De nombreux facteurs favorisant l'apparition de ces lésions ont été décrits dans la littérature, néanmoins l'analyse précise du rôle de chacun de ces facteurs reste difficile et souvent contradictoire. Ainsi, pour préciser le rôle de l'ensemble des facteurs concourant à l'apparition ou à l'aggravation des lésions dégénératives, d'autres travaux sont nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C : Pelvic incidence : a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998; 7: 99-103.
- [2] Jackson RP, McManus AC : Radiographic analysis of sagittal plane alignment and balance in standing volunteers and patients with low back pain matched for age, sex, and size. A prospective controlled clinical study. *Spine*, 1994, 19, 1611-1618.
- [3] Jackson RP, Peterson MD, McManus AC, Hales C : Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine*, 1998, 23, 1750-1767.
- [4] Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N, Hales C : Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain. *Spine*, 2000, 25, 575-586.
- [5] Jackson RP, Hales C : Congruent spinopelvic alignment on standing lateral radiographs of adult volunteers. *Spine*, 2000, 25, 2808-2815.
- [6] Lazennec JY, Ramare S, Arafati N, Laudet CG, Gorin M, Roger B, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion : relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J*, 2000, 9, 47-55.
- [7] Rajnics P, Templier A, Skalli W, Lavaste F, Illes T : The importance of spinopelvic parameters in patients with lumbar disc lesions. *Int Orthop*, 2002, 26, 104-108.
- [8] Rajnics P, Templier A, Skalli W, Lavaste F, Illes T : The association of sagittal spinal and pelvic parameters in asymptomatic persons and patients with isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech*, 2002, 15, 24-30.
- [9] Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J : Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J*, 2002, 11, 80-87.
- [10] Van Royen BJ, Toussaint HM, Kingma I, Bot SD, Caspers M, Harlaar J, et al. : Accuracy of the sagittal vertical axis in a standing lateral radiograph as a measurement of balance in spinal deformities. *Eur Spine J*, 1998, 7, 408-412.
- [11] Guigui P, Levasseur N, Rillardon L, Wodecki P, Cardinne L. Valeur physiologique des paramètres pelviens et rachidiens de l'équilibre sagittal du rachis, analyse d'une série de 250 volontaires. *Rev Chir Orthop* 2003; 89:496-506.
- [12] S.W.S. Laurie, L.B. Kaban, J.B. Mulliken, J.E. Murray. Donor site morbidity after harvesting rib and iliac bone. *Plast. Reconstr. Surg*, 1984, 73, 933-938.
- [13] Kurz LT, Gafin SR, Booth RE. Harvesting autogenous iliac bone grafts : a review of complications and techniques. *Spine* 1989 ; 14 : 1324-1331.
- [14] Summers BN, Eisenstein SM. Donor site pain from the ilium : a complication of lumbar spine fusion. *J Bone Joint Surg (Br)* 1989 ; 71-B : 677-80.
- [15] Younger EM, Chapman MW. Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma* 1989 ; 3 :192-5.
- [16] Sasso RC, LeHuecJC, Shaffrey C, Spine Interbody Research Group. Iliac crest bone graft donor site pain after anterior lumbar interbody fusion : a prospective patient satisfaction outcome assessment. *J Spinal Disord Tech* 2005 ; 18 : S77-S81.
- [17] Bono CM. Low-back pain in athletes. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A:382-396.

- [18] Ong A, Anderson J, Roche J. A pilot study of the prevalence of lumbar disc degeneration in elite athletes with lower back pain at the Sydney 2000 Olympic Games. *Br J Sports Med* 2003;37:263-266.
- [19] Schmitt H, Dubljanin E, Schneider S, et al. Radiographic changes in the lumbar spine in former elite athletes. *Spine* 2004;29:2554-2559.
- [20] Hartwig E, Hoellen I, Liener U, et al. [Occupational disease 2108. Degeneration pattern in magnetic résonance tomography of the lumbar spine in patient with differential weight-bearing activity]. *Unfallchirurg* 1997;100:888-894.
- [21] van den Bosch MA, Hollingworth W, Kinmonth AL, et al. Evidence against the use of lumbar spine radiography for low back pain. *Clin Radiol* 2004;59:69-76.
- [22] Battie MC, Videman T, Parent E. Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic influences. *Spine* 2004;29:2679-2690.
- [23] Paris SV. Physical signs of instability. *Spine*. 1985; 10(3): 277-279.
- [24] Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*. 1992 Dec;5(4):383-9; discussion 397.
- [25] Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003 Aug;13(4):371-9.
- [26] White A, Berdnhart M, Panjabi M. Clinical biomechanics and lumbar spinal instability. Lumbar segmental instability. Edited by Marek Szpalski, Robert Gunzburg, and Malcolm H. Pope. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins, 1999. p. 15-25.
- [27] Seligman JV, Gertzbein SD, Tile M, et al. Computer analysis of spinal segment motion in degenerative disc disease with and without axial loading. *Spine* 1984;9:566-573.
- [28] Pope MH, Panjabi M. Biomechanical definitions of spinal instability. *Spine* 1985;10:255-256.
- [29] Frymoyer JW, Selby DK. Segmental instability. Rationale for treatment. *Spine* 1985;10:280-286.
- [30] Fujiwara A, Lim TH, An HS, et al. The effect of disc degeneration and facet joint osteoarthritis on the segmental flexibility of the lumbar spine. *Spine* 2000;25:3036-3044.
- [31] Boden SD, Wiesel SW. Lumbosacral segmental motion in normal individuals. Have we been measuring instability properly? *Spine* 1990b;15:571-576.
- [32] Wood KB, Popp CA, Transfeldt EE, et al. Radiographic evaluation of instability in spondylolisthesis. *Spine* 1994;19:1697-1703.
- [33] Yone K, Sakou T, Kawauchi Y, et al. Indication of fusion for lumbar spinal stenosis in elderly patients and its significance. *Spine* 1996;21:242-248.
- [34] McGregor AH, Cattermole HR, Hughes SP. Spinal motion in lumbar degenerative disc disease. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:1009-1013.
- [35] Guigui P, Chopin D. Bilan de l'utilisation de la ligamentoplastie de Graf dans le traitement chirurgical des sténoses lombaires. À propos d'une série de 26 patients. *RCO* 1994;80:681-688.
- [36] Dvorak J, Panjabi MM, Chang DG, et al. Functional radiographic diagnosis of the lumbar spine. Flexion-extension and lateral bending. *Spine* 1991a;16:562-571.
- [37] Dvorak J, Panjabi MM, Novotny JE, et al. Clinical validation of functional flexion-extension roentgenograms of the lumbar spine. *Spine* 1991b;16:943-950.
- [38] Friberg O. Instability in spondylolisthesis. *Orthopedics* 1991;14:463-465.

- [39] Nachemson AL. Instability of the lumbar spine. Pathology, treatment, and clinical evaluation. *Neurosurg Clin N Am* 1991;2:785-790.
- [40] Herkowitz HN. Spine update. Degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine* 1995;20:1084-1090.
- [41] Iguchi T, Kanemura A, Kasahara K, et al. Age distribution of three radiologic factors for lumbar instability: probable aging process of the instability with disc degeneration. *Spine* 2003;28:2628-2633.
- [42] Muggleton JM, Kondracki M, Allen R. Spinal fusion for lumbar instability: does it have a scientific basis? *J Spinal Disord* 2000;13:200-204.
- [43] Saal JA. Natural history and nonoperative treatment of lumbar disc herniation. *Spine* 1996;21:2S-9S.
- [44] Wilder DG, Pope MH, Frymoyer JW. The biomechanics of lumbar disc herniation and the effect of overload and instability. *J Spinal Disord* 1988;1:16-32.
- [45] Miller JA, Schmatz C, Schultz AB. Lumbar disc degeneration: correlation with age, sex, and spine level in 600 autopsy specimens. *Spine* 1988;13:173-178.
- [46] Matsui H, Kanamori M, Ishihara H, et al. Familial predisposition for lumbar degenerative disc disease. A case-control study. *Spine* 1998;23:1029-1034.
- [47] Tsuji H, Hirano N, Ohshima H, et al. Structural variation of the anterior and posterior annulus fibrosus in the development of human lumbar intervertebral disc. A risk factor for intervertebral disc rupture. *Spine* 1993;18:204-210.
- [48] Taylor TK, Akeson WH. Intervertebral disc prolapse: a review of morphologic and biochemic knowledge concerning the nature of prolapse. *Clin Orthop Relat Res* 1971;76:54-79.
- [49] Simmons ED, Jr., Guntupalli M, Kowalski JM, et al. Familial predisposition for degenerative disc disease. A case-control study. *Spine* 1996;21:1527-1529.
- [50] Gertzbein SD, Hollopeter MR. Disc herniation after lumbar fusion. *Spine* 2002;27:E373-376.
- [51] Humphreys SC, Eck JC. Clinical evaluation and treatment options for herniated lumbar disc. *Am Fam Physician* 1999;59:575-582, 587-578.
- [52] Junghanns H. Spondylolisthesis ohne spalt im Zwischengelenkstück. *Arch Orthop Unfall Chir* 1930 ; 29 : 118-127.
- [53] Newman PH, Stone KH. The etiology of spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br* 1963 ; 45 : 39-59.
- [54] Sanderson PL, Fraser RD. The influence of pregnancy on the development of degenerative spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br* 1996 ; 78 : 951-954.
- [55] Iguchi T, Wakami T, Kurihara A, Kasahara K, Yoshiya S, Nishida K. Lumbar multilevel degenerative spondylolisthesis: radiological evaluation and factors related to anterolisthesis and retrolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 2002 ; 15 : 93-99.
- [56] Nordin J-Y. Spondylolisthesis par lyse isthmique. Spondylolisthesis dégénératif. *Encyclopédie médico-chirurgicale, Appareil locomoteur: Edition Techniques*, 1991.
- [57] E. Morel, B. Ilharreborde, T. Lenoir, E. Hoffmann, R. Vialle, L. Rillardon, P. Guigui. Analyse de l'équilibre sagittal du rachis dans les spondylolisthésis dégénératifs. *Rev Chir Orthop* 2005, 91 : 615-626.
- [58] Bassewitz H, Herkowitz H. Lumbar stenosis with spondylolisthesis: current concepts of surgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 2001:54-60.

- [59] Tsunoda N, Kurose S, Sakaki K. Radiological study of degenerative spondylolisthesis. *Rinsho Seikei Geka* 1980 ; 15:851-859.
- [60] Sato K, Wakamatsu E, Yoshizumi A, Watanabe N, Irei O. The configuration of the laminae and facet joints in degenerative spondylolisthesis. A clinico-radiologic study. *Spine* 1989 ; 14 : 1265-1271.
- [61] Matsunaga S, Ijiri K, Hayashi K. Nonsurgically managed patients with degenerative spondylolisthesis: a 10 to 18 years follow-up study. *J Neurosurg* 2000 ; 93: 194-198.
- [62] Rosenberg NJ. Degenerative spondylolisthesis. Predisposing factors. *J Bone Joint Surg Am* 1975 ; 57 : 467-474.
- [63] Mardjetko SM, Connolly PJ, Shott S. Degenerative lumbar spondylolisthesis: a meta-analysis of the literature 1970-1993. *Spine* 1994 ; 19 (suppl 20) : 2256S-2265S.
- [64] Davis IS, Bailey RW. Spondylolisthesis: indications for lumbar nerve root decompression and operative technique. *Clin Orthop Relat Res* 1976:129-134.
- [65] Roy-Camille R, Saillant G, Beurier J, et al. [L5 S1 spondylolisthesis. Etiological factors and therapeutic indications]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1979;65 Suppl 2:83-84.
- [66] Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res* 1986:7-17.
- [67] Steffee AD, Brantigan JW. The variable screw placement spinal fixation system. Report of a prospective study of 250 patients enrolled in Food and Drug Administration clinical trials. *Spine* 1993;18:1160-1172.
- [68] Ricciardi JE, Pflueger PC, Isaza JE, et al. Transpedicular fixation for the treatment of isthmic spondylolisthesis in adults. *Spine* 1995;20:1917-1922.
- [69] ANAES. Prothèses discales et arthrodèses dans la pathologie dégénérative du rachis lombaire. Paris: Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES), 2000.
- [70] Singh K, Samartzis D, Vaccaro AR, et al. Congenital lumbar spinal stenosis: a prospective, control-matched, cohort radiographic analysis. *Spine J* 2005;5:615-622.
- [71] Katz JN, Lipson SJ, Larson MG, et al. The outcome of decompressive laminectomy for degenerative lumbar stenosis. *J Bone Joint Surg Am* 1991;73:809-816.
- [72] Rillardon L, Guigui P, Veil-Picard A, et al. [Long-term results of surgical treatment of lumbar spinal stenosis]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003a;89:621-631.
- [73] Sengupta DK, Herkowitz HN. Lumbar spinal stenosis. Treatment strategies and indications for surgery. *Orthop Clin North Am* 2003;34:281-295.
- [74] Kornblum MB, Fischgrund JS, Herkowitz HN, et al. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: a prospective long-term study comparing fusion and pseudarthrosis. *Spine* 2004;29:726-733; discussion 733-724.
- [75] Knaub MA, Won DS, McGuire R, et al. Lumbar spinal stenosis: indications for arthrodesis and spinal instrumentation. *Instr Course Lect* 2005;54:313-319.
- [76] Fabris D, Costantini S, Nena U, et al. Traumatic L5-S1 spondylolisthesis: report of three cases and a review of the literature. *Eur Spine J* 1999;8:290-295.
- [77] Major NM, Helms CA, Richardson WJ. MR imaging of fibrocartilaginous masses arising on the margins of spondylolysis defects. *AJR Am J Roentgenol* 1999;173:673-676.

- [78] Belfi LM, Ortiz AO, Katz DS. Computed tomography evaluation of spondylolysis and spondylolisthesis in asymptomatic patients. *Spine* 2006;31:E907-910.
- [79] Tower SS, Pratt WB. Spondylolysis and associated spondylolisthesis in Eskimo and Athabaskan populations. *Clin Orthop* 1990;250:171-5.
- [80] Virta L, Ronnema T. The association of mild-moderate isthmic lumbar spondylolisthesis and low back pain in middleaged patients is weak and it only occurs in women. *Spine* 1993;18:1496-1503.
- [81] Vogt MT, Rubin DA, Palermo L, et al. Lumbar spine listhesis in older African American women. *Spine J* 2003;3:255-261.
- [82] Rossi F, Dragoni S. The prevalence of spondylolysis and spondylolisthesis in symptomatic elite athletes: radiographic findings. *Radiography* 2001;7:37-42.
- [83] Schmitt H, Dubljanin E, Schneider S, et al. Radiographic changes in the lumbar spine in former elite athletes. *Spine* 2004;29:2554-2559.
- [84] Rosenberg NJ, Bargar WL, Friedman B. The incidence of spondylolysis and spondylolisthesis in non ambulatory patients. *Spine* 1981;6:35-38.
- [85] Aihara T, Takahashi K, Yamagata M, et al. Biomechanical functions of the iliolumbar ligament in L5 spondylolysis. *J Orthop Sci* 2000;5:238-242.
- [86] Grobler LJ, Novotny JE, Wilder DG, et al. L4-5 isthmic spondylolisthesis. A biomechanical analysis comparing stability in L4-5 and L5-S1 isthmic spondylolisthesis. *Spine* 1994;19:222-227.
- [87] Wiltse LL, Newman PH, MacNab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop* 1976;117:23-9.
- [88] Marcheiti PG, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: *The textbook of spinal surgery*. Philadelphia: Lippincott Raven; 1997. p.1211-56.
- [89] Mangione P, Sénégas J. L'équilibre rachidien dans le plan sagittal. *Rev Chir Orthop* 1997;83:22-32.
- [90] Roussouly P, Assi C, Schiavi A, Vaz G, Dimmet J. In: *Critères sagittaux de la lombalgie*. In: *La chirurgie du rachis lombaire dégénératif*. Montpellier: Sauramps Médical; 1998. p. 146-53.
- [91] Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, Lenke LG. Correlation of pelvis incidence with low and high grade isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2002;27:2026-9.
- [92] Schwab FJ, Farcy JP, Roye DP, Jr. The sagittal pelvic tilt index as a criterion in the evaluation of spondylolisthesis. Preliminary observations. *Spine* 1997;22:1661-1667.
- [93] Marty C, Boisaubert B, Descamps H, Montigny JP, Hecquet J, Legaye J, Duval-Beaupère G. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 2002 ; 11 : 119-25.
- [94] Kimura M. My method of filling the lesion with spongy bone in spondylolysis and spondylolysthesis. *Orthop Surg* 1968; 19:285-95.
- [95] Buck JE. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Br* 1970;52:432-7.
- [96] Morscher E, Gerber B, Fasel J. Surgical treatment for spondylolisthesis by bone grafting and direct stabilisation of a hook screw. *Arch Orthop Trauma Surg* 1984;103:175-8.
- [97] Lerat JL, Basso M, Trillaud JM, et al. [Treatment of spondylolisthesis in adolescents and adults by intersomatic arthrodesis using a posterior approach. Apropos of 40 cases]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1984;70 Suppl 2:127-133.

- [98] Wiltse LL, Jackson DW. Treatment of spondylolisthesis and spondylolysis in children. *Clin Orthop Relat Res* 1976a;92-100.
- [99] Cloward RB. Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1981;74-82.
- [100] Irwin ZN, Hilibrand A, Gustavel M, et al. Variation in surgical decision making for degenerative spinal disorders. Part I: lumbar spine. *Spine* 2005;30:2208-2213.
- [101] Lehmann TR, Spratt KF, Tozzi JE, et al. : Long-term follow-up of lower lumbar fusion patients. *Spine*, 1987, 12, 97-104.
- [102] Hambly M, Wiltse L, Raghavan N, Koenig C : The transition zone above a lumbosacral fusion. *Spine*, 1998, 23, 1785-1792.
- [103] Schulitz KP, Wiesner L, Wittenberg RH, Hille E : Das Bewegungssegmentoberhalb der Fusion. *Z. Orthop*, 1996, 134, 171-176.
- [104] Rahm MD, Hall BB : Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation : a retrospective study. *J Spinal Disord*, 1996, 9, 392-400.
- [105] Penta M, Sandhu A, Fraser RD : Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion. *Spine*, 1995, 20, 743-747.
- [106] Van Horn JR, Bohnen LM : The development of discopathy in lumbar discs adjacent to a lumbar anterior interbody spondylodesis. A retrospective matched-pair study with a postoperative follow-up of 16 years. *Acta Orthop Belg*, 1992, 58, 280-286.
- [107] Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion: a biomechanical study. *Spine* 1984;9(6):574-81.
- [108] Guigui P, Lambert P, Lassale B, Deburge A. Long-term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis. *Rev Chir Orthop*. 1997;83(8):685-96.
- [109] Kaito T, Hosono N, Mukai Y, Makino T, Yonenobu K. Induction of early degeneration of the adjacent segment after posterior lumbar interbody fusion by excessive distraction of lumbar disc space. *J Neurosurg Spine*. 2010;12(6):671-9.
- [110] Luk KD, Lee FB, Leong JC, Hsu LC. The effect on the lumbosacral spine of long spinal fusion for idiopathic scoliosis: a minimum 10-year follow-up. *Spine* 1987;12:996-1000.
- [111] Albee F. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pottis disease : a preliminary report. *JAMA* 1911 ; 57 : 885-6.
- [112] Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spinal instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* ; 44, 591-610.
- [113] Louis R, Louis C. Chirurgie du spondylolisthesis. In - Et ed. *Encycl Méd Chir-Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie*: Elsevier Paris, 1997:44-179.
- [114] Boxall D, Bradford DS, Winter RB, et al. Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 1979;61:479-495.
- [115] Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 1997:77-85.
- [116] Jouve J. Spondylolyse et spondylolisthésis lombosacré de l'enfant et de l'adolescent. *Conférences d'enseignement de la Sofcot* 2001;78: 171-192.

- [117] Turner JA, Herron L, Deyo R. Meta-analysis of the résultats of lumbar spine fusion. *Acta Orthop Scand*, 1993, 64 : 120-2.
- [118] Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, opérative technique, after care. *J Neurosurg* 1953;10:154-168.
- [119] Lin PM. Posterior lumbar interbody fusion technique: complications and pitfalls. *Clin Orthop Relat Res* 1985:90-102.
- [120] Ray CD. Threaded titanium cages for lumbar interbody fusions. *Spine* 1997;22:667-679; discussion 679-680.
- [121] Cloward RB. Posterior lumbar interbody fusion updated. *Clin Orthop Relat Res* 1985:16-19.
- [122] Han X, Zhu Y, Cui C, Wu Y. A méta-analysis of circumferential fusion versus instrumented posterolateral fusion in the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009 Aug 1 ; 34(17) : E618-25.
- [123] Park J, Kim Y, Hong H, et al. Comparison between Posterior and Transforaminal Approaches for Lumbar Interbody Fusion. *Journal of Korean neurosurgical society* 2005;37:340-344.
- [124] Kuslich SD, Ulstrom CL, Griffith SL, et al. The Bagby and Kuslich method of lumbar interbody fusion. History, techniques, and 2-year follow-up results of a United States prospective, multicenter trial. *Spine* 1998;23:1267-1278; discussion 1279.
- [125] Kuslich SD, Danielson G, Dowdle JD, et al. Four-year follow-up results of lumbar spine arthrodesis using the Bagby and Kuslich lumbar fusion cage. *Spine* 2000;25:2656-2662.
- [126] Brantigan JW, Steffee AD. A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients. *Spine* 1993;18:2106-2107.
- [127] Tsantrizos A, Andreou A, Aebi M, et al. Biomechanical stability of five stand-alone anterior lumbar interbody fusion constructs. *Eur Spine J* 2000;9:14-22.
- [128] Warner DJ, Simmons ED. Comparaison of surgical technique for the treatment of degenerative spondylolisthesis. 9th annual meeting the North American Spine Society, Minneapolis, Octobre 20, 1994.
- [129] Lee CK, Vessa P, Lee JK. Chronic disabling low back pain syndrome caused by internal disc derangements. The results of disc excision and posterior lumbar interbody fusion. *Spine* 1995 Feb 1;20(3):356-61
- [130] Enker P, Steffee AD. Interbody fusion and instrumentation. *Clin Orthop Relat Res* 1994:90-101.
- [131] Salerni AA. A minimally invasive approach for posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurg Focus* 2002;13: e6.
- [132] Commarmond J. Arthrodèse intersomatique monosegmentaire par cages impactées : Voie postérieure unilatérale contre voie postérieure bilatérale. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001;87:129-134.
- [133] Harms J, Rolinger H. [A one-stager procédure in opérative treatment of spondylolistheses : dorsal traction-reposition and anterior fusion]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1982 May-Jun ; 120(3) :343-7.
- [134] Lowe TG, Tahernia AD, O'Brien MF, Smith DA. Unilateral transforaminal posterior lumbar interbody fusion (TLIF) : indications, technique, and 2-year results. *J Spinal Disord Tech*. 2002 Feb ; 15(1):31-8.
- [135] Villavicencio AT, Burneikiene S, Bulsara KR, Thramann JJ. Perioperative complications in transforaminal lumbar interbody fusion versus anterior-posterior reconstruction for lumbar dis dégradation and instability. *J Spinal Disord Tech*. 2006 Apr;19(2):92-7.

- [136] Lane L, Moore E. Transperitoneal approach to the intervertebral disc in the lumbar area. *Ann Surg* 1948;127:537-551.
- [137] Laloux E, Elsig J. Anterior lumbar interbody fusion (ALIF) with carbon composite cages. *Rivista di Neuroradiologia* 1999;12:111-114.
- [138] Oxland TR, Lund T. Biomechanics of stand-alone cages and cages in combination with posterior fixation: a literature review. *Eur Spine J* 2000;9 Suppl 1:S95-101.
- [139] Gerber M, Crawford NR, Chamberlain RH, et al. Biomechanical assessment of anterior lumbar interbody fusion with an anterior lumbosacral fixation screw-plate: comparison to stand-alone anterior lumbar interbody fusion and anterior lumbar interbody fusion with pedicle screws in an unstable human cadaver model. *Spine* 2006;31:762-768.
- [140] Mayer HM, List J, Korge A, et al. [Microsurgery of acquired degenerative lumbar spinal stenosis. Bilateral over-the-top decompression through unilateral approach]. *Orthopade* 2003;32:889-895.
- [141] Regan JJ, Aronoff RJ, Ohnmeiss DD, et al. Laparoscopic approach to L4-L5 for interbody fusion using BAK cages: experience in the first 58 cases. *Spine* 1999;24:2171-2174.
- [142] Vazquez RM, Gireesan GT. Balloon-assisted endoscopic retroperitoneal gasless (BERG) technique for anterior lumbar interbody fusion (ALIF). *Surg Endosc* 2003;17:268-272.
- [143] Crock HV. Internal disc disruption. A challenge to disc prolapse fifty years on. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986 Jul-Aug ; 11(6):650-3.
- [144] Goldner JL, Urbaniak JR, McCollum DE. Anterior disc excision and interbody spinal fusion for chronic low back pain. *Orthop Clin North Am* 1971 Jul;2(2):543-68.
- [145] Kozak JA, Heilman AE, O'Brien JP. Anterior lumbar fusion options. Technique and graft materials. *Clin Orthop Relat Res*. 1994 Mar;(300):45-51.
- [146] Tiusanen H, Schlenzka D, Seitsalo S, et al. Results of a trial of anterior or circumferential lumbar fusion in the treatment of severe isthmic spondylolisthesis in young patients. *J Pediatr Orthop B* 1996a;5:190-194.
- [147] Freeman BJ, Lcina P, Mehdian SH. Posterior lumbar interbody fusion combined with instrumented postéro-lateral fusion : 5-year résultats in 60 patients. *Eur Spine J*. 2000 Feb;9(1):42-6.
- [148] Moore KR, Pinto MR, Butler LM. Ddegenerative disc disease treated with combined anterior and posterior arthrodesis and posterior instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002 Aug 1;27(15):1680-6.
- [149] Whitecloud TS 3rd, Castro FP Jr, Brinker MR, Hartzog CW Jr, Ricciardi JE, Hill C. Degenerative conditions of the lumbar spine treated with intervertébral titanium cages and posterior instrumentation for circumferential fusion. *J Spinal Disord*. 1998 Dec;11(6):479- 86.
- [150] Whitecloud TS 3rd, Roesch WW, Ricciardi JE. Ttransforaminal interbody fusion versus anterior-posterior interbody fusion of the lumbar spine : a Financial analysis. *J Spinal Disord*. 2001 Apr;14(2):100-3.
- [151] Farcy JP, Schwab FJ : Management of flatback and related kyphotic décompensation syndromes. *Spine*, 1997, 22, 2452-2457.
- [152] Korovessis PG, Stamatakis MV, Baikousis AG : Reciprocal angulation of vertebral bodies in the sagittal plane in an asymptomatic Greek population. *Spine*, 1998, 23, 700-704.
- [153] Korovessis PG, Stamatakis M, Baikousis A : Segmental roentgenographic analysis of vertebral inclination on sagittal plane in asymptomatic versus chronic low back pain patients. *J Spinal Disord*, 1999, 12, 131-137.
- [154] Van Royen BJ, De Gast A, Smit TH : Deformity planning for sagittal plane corrective osteotomies of the spine in ankylosing spondylitis. *Eur Spine J*, 2000, 9, 492-498.

- [155] Vialle R, Levasseur N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg (Am)* 2005; 87:260-7.
- [156] Dauzac C, Vialle R, Rillardon L, Guigui P. Analyse de l'équilibre sagittal du rachis dans les spondylolisthésis par lyse isthmique. *Rev Chir Orthop* 2004 Vol.90 Ed.6S.
- [157] Le Huec JC, Roussouly et al. Importance de l'analyse de l'équilibre sagittal dans les lombalgies. Rôle de la balance spino-pelvienne dans les indications chirurgicales. *Rev Rhum* 2011 ;78 :S92-S100.
- [158] Le Huec JC, Aunoble S, Rigal J, et al. Importance of sagittal alignment in indication and technique for short lumbar fusion. *Eur Spine J* 2011 (in press).
- [159] Duval-Beaupère G, Legaye J. Composante sagittale de la statique rachidienne. *Rev Rhum* 2004;71:105-119.
- [160] Tassin JL. Equilibre sagittal du rachis. Conférence d'enseignement, 85. Elsevier éd; 2004. p. 241-69.
- [161] Debarge R, Demey G, Roussouly P. Radiological analysis of ankylosing spondylitis patients with severe kyphosis before and after pedicle subtraction osteotomy. *Eur Spine J* 2010; 19:65-70.
- [162] Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis. *Spine* 2005; 30:346-53.
- [163] Mangione P, Senegas J. L'équilibre rachidien dans le plan sagittal. *Rev Chir Orthop* 1997 ; 83 : 22-32.
- [164] Montigny JP, Boisauvert B, Duval-Beaupère G, Sheikh Ismael S. Le bassin des spondylolisthésis arthrosiques. Proceedings du Groupe d'Étude de la Scoliose 2000. CDRom. GES Éditeur.
- [165] Fiere V, Vaz G, Roussouly P. Analyse prospective morphologique pelvi-rachidienne de profil dans une population de 60 patients opérés de hernie discale lombaire. Proceedings du Groupe d'Étude de la Scoliose 2000. CD-Rom. GES Éditeur.
- [166] Kumar MN, Baklanov A, Chopin D. Correlations between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 2001;10:314-9.
- [167] Bruwell R.G. The fusion of bone marrow in the incorporation of a bone graft. *Clin Orthop*, 1985, 200, 125-141.
- [168] Daculsi G., et al. Transformation of biphasic calcium phosphate ceramics in vivo : ultrastructural and physicochemical characterization. *J Biomed Mater Res*, 1989. 23(8) : p 883-94.
- [169] Daculsi G., et al. Current state of the art of biphasic calcium phosphate bioceramics. *J. Mat. Sci. Med.* 2003. 14 : p 195-200.
- [170] Daculsi, G., E. Goyenvalle, and E. Aguado, Spongious and cortical bone substitution kinetics at the expense of macroporous biphasic calcium phosphate : animal and human évidence. *Biomechanics*, 1999. 12 : P. 287-290.
- [171] Daculsi, G., et al. Macroporous calcium phosphate ceramic for long bone surgery in humans and dogs. Clinical and histological study. *J Biomed Mater Res*, 1990. 24(3) : P. 379-96.
- [172] Passuti, N. and G. Daculsi, *Céramiques en phosphate de calcium en chirurgie orthopédique*, ed. Masson. Vol 18. 1989, Paris : La presse médicale.
- [173] Hardouin, P., et al. Quantitative histomorphometric évaluation of spinal arthrodesis after biphasic calcium phosphate ceramic implantation in sheep. *J. Mat. Sci. Mat. Med.*, 1992. 3: P. 212-218.
- [174] Passuti N., Daculsi G., « Macroporous calcium phosphate ceramic performance in human spine fusion », *Clin. Orthop.*, 1989, 248 : 169-176.

- [175] Ransford, A.O., et al., Synthetic porous ceramic compared with autograft in scoliosis surgery. A prospective, randomized study of 341 patients. *J Bone Joint Br*, 1998. 80(1): P. 13-8.
- [176] Delecrin, J., et al., A synthetic porous ceramic as a bone graft substitute in the surgical management of scoliosis : a prospective, randomized study. *Spine*, 2000. 25(5): P. 563-9.
- [177] Gouin F., Delécrin J., « Complements osseux par céramique phosphocalcique biphasée macroporeuse », *Rev. Chir. Orthop.*, 1993, 81 : 59-65.
- [178] Cavagna R., Daculsi G., Bouler JM., « Macroporous Calcium Phosphate Ceramic : A prospective study of 106 cases in lumbar spinal fusion ». *J. Long-Term Effects Med. Implants*, 1999, 9(4) :403-412.
- [179] Dahl B., Gehrchen P., Blyme P., Kiaer T., Tondevold E. « Clinical outcome after spinal fusion with a rigid vs a semi-rigid pedicle screw system ». *Eur. Spine J.*, 1997, 6 :412-416.
- [180] Deschamps C, Delécrin J, Maugars Y, Heymann D, Romy M, Passuti N. Intérêt de l'adjonction de cellules de moelle osseuse aux céramiques dans l'arthrodèse lombaire intertransversale : Quantification sur modèle animal. SOFCOT 2000.
- [181] Odri GA, Hami A, Pomerio V, Heymann D, Bertrand-Vasseur A, Skalli W, Delecrin J. Adjonction de moelle osseuse concentrée dans les arthrodèses lombaires postéro-latérales pour majorer la repousse osseuse. *Rev chir orthop* 2007; 93: 61.
- [182] Romih M, Delécrin J, Heymann D, Deschamps C, Passuti N. L'intérêt d'associer des plaquettes aux cellules de moelle osseuse sur de la céramique en tant que substitut osseux. *Rev Chir Orthop Suppl*. 2002; 88: 133.
- [183] Grundel RE, Chapman MW, Yee T, Moore DC. Autogeneic bone marrow and porous biphasic calcium phosphate ceramic for segmental bone defects in the canine ulna. *Clin Orthop* 1991; 266: 244-58.
- [184] Ozawa S, Kasugai S. Evaluation of implant materials (hydroxyapatite, glass-ceramics, titanium) in rat bone marrow stromal cell culture. *Biomaterials* 1996;17(1): 23-9.
- [185] Wolff D, Goldberg VM, Stevenson S. Histomorphometric analysis of the repair of a segmental diaphyseal defect with ceramic and titanium fibermetal implants: effects of bone marrow. *J Orthop Res* 1994; 12(3): 439-46.
- [186] Nordstrom E, Ohgushi H, Yoshikawa T, Yokobori AT, JR., Yokobori T. Osteogenic differentiation of cultured marrow stromal stem cells on surface of microporous hydroxyapatite based mica composite and macroporous synthetic hydroxyapatite. *Biomed Mater Eng* 1999; 9(1): 21-6.
- [187] Ohgushi H, Caplan AI. Stem cell technology and bioceramics: from cell to gene engineering. *J Biomed Mater Res* 1999; 48(6): 913-27.
- [188] Ohgushi H, Miyake J, Tateishi T. Mesenchymal stem cells and bioceramics: strategies to regenerate the skeleton. *Novartis Found Symp* 2003; 249: 118-132.
- [189] Yoshikawa T, Ohgushi H, Nakajima H, Yamada E, Ichijima K, Tamais S, Ohta T. In vivo osteogenic durability of cultured bone in porous ceramics: a novel method for autogenous bone graft substitution. *Transplantation* 2000;69(1): 128-34.
- [190] Yoshikawa T, Ohgushi H, Tamais S. Immediate bone forming capability of prefabricated osteogenic hydroxyapatite. *J Biomed Mater Res* 1996; 32(3):481-92.
- [191] Morgan F, King T : Primary instability of lumbar vertebrae as a common cause of low back pain. *J Bone Joint Surg [Br]*, 1957, 39, 6-22.
- [192] Rajnics P, Pomerio V, Templier A, et al. Computer-assisted assessment of spinal sagittal plane radiographs. *J Spinal Disord* 2001;14:135-142.

- [193] Rillardon L, Levassor N, Guigui P, et al. [Validation of a tool to measure pelvic and spinal parameters of sagittal balance]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003b;89:218-227.
- [194] Putto E, Tallroth K : Extension-flexion radiographs for motion studies of the lumbar spine. A comparison of two methods. *Spine*, 1990, 15, 107-110.
- [195] Louis G, Jenis, Robert J. Banco. Efficacy of silicate-substituted calcium phosphate ceramic in posterolateral instrumented lumbar fusion. *Spine* 2010;35:E1058-E1063.
- [196] JP. Rakover, E. Laloux, G. Gagna. Intérêts des céramiques biphasées de synthèse dans les arthrodèses postérieures du rachis lombaire : technique et résultats à propos de 264 cas. *Rachis* 2001, vol. 13, n° 3, pp. 215-222
- [197] P. Guigui, B. Devyver, L. Rillardon, P. Ngounou, A. Deburge, J.-P. Ghosez. Complications per et postopératoires immédiates des arthrodèses lombaires et lombosacrées : Étude prospective d'une cohorte de 872 patients. *Rev chir orthop* 2004, 90, 5-15.
- [198] Davne SH, Myers DL. Complications of lumbar spinal fusion with transpedicular instrumentation. *Spine* 1992;S-17,S184-S189.
- [199] Hoffmann MF, Jones CB, Sietsema DL. Adjuncts in posterior lumbar spine fusion: comparison of complications and efficacy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012 Aug;132(8):1105-10.
- [200] J-P Steib, I. Bogorin, M. Brax, G. Lang. Results of lumbar and lumbosacral fusion: clinical and radiological correlations in 113 cases reviewed at 3.8 years. *Rev chirurgie orthop* 2000; 86: 127-135.
- [201] Wood GW, Boyd RJ, Carothers TA, Mansfield FL, Rehtine GR, Rozen MJ, Sutterlin CE : The effect of pedicle/screw plate fixation on lumbar/lumbosacral autogenous bone graft fusion in patients with degenerative disc disease. *Spine*, 1995, 20, 819-830.
- [202] Greenfield RT III, Capen DA, Thomas JC, Nelson R, Nagelberg S, Rimoldi RL, Haye W : Pedicle Screw Fixation for Arthrodesis of the Lumbosacral Spine in the Elderly : an outcome study. *Spine*, 1998, 23, 1470-1475.
- [203] Mac Afee P, Weiland DJ, Carlow J J : Survivorship analysis of pedicle spinal instrumentation. *Spine*, 1991, 16, 8 suppl., 422-427.
- [204] Deyo RA, Ciol MA, Cherkin DC, Loeser JD, Bigos SJ. Lumbar spinal fusion. A cohort study of complications, reoperations, and resource use in the Medicare population. *Spine*1993;18:1463-1470.
- [205] Fujita T, Kostuik JP, Huckell CB, Sieber AN. Complications of spinal fusion in adult patients more than 60 years of age. *Orthop Clin North Am*, 1998, 29, 669-678.
- [206] Capen DA, Calderone RR, Green A. Perioperative risk factors for wound infections after lower back fusions. *Orthop Clin North Am*, 1996, 27, 83-86.
- [207] Steinmann JC, Herkowitz HN : Pseudarthrosis of the spine. *Clin Orthop* 1992, 284, 80-90.
- [208] Cobb JR : Technique, after treatment and results of spine fusion for scoliosis American Academy of Orthopaedic Surgeons : Instructional course Lectures, vol 9, Ann Arbor, JW Edwards, 1952, 65-70.
- [209] Hoover NW. Method for lumbar fusion. *J Bone Joint Surg* 50A:194-210, 1968.
- [210] Tajima N, Matsumoto K, Tashiro K, et al : Postero-lateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine : A review of long-term results. *J West Jpn Res Soc* 17:152-155, 1991.
- [211] Thompson WAL, Gristina AG, Healy WA. Lumbosacral spine fusion. *J Bone Joint Surg* 56A:1643-1647, 1974.

- [212] Kojiro Tanaka, Mitsuru Takemoto, Shunsuke Fujibayashi, Masashi Neo, Takashi Nakamura. A bioactive and bioresorbable porous cubic composite scaffold loaded with bone marrow aspirate. *Spine* 2011;36:441-447.
- [213] Donna L, Louis G, Matthew E, Kovach et al. Efficacy of silicated calcium phosphate graft in posterolateral lumbar fusion in sheep. *Spine J* 7 (2007), 308-317.
- [214] Guigui P, Plais PY, Flautre B, Viguier E, Blary MC, Chopin D, Lavaste F, Hardouin P. Experimental model of posterolateral spinal arthrodesis in sheep : Evaluation of vertebral fusion obtained with coral (Porites) or with a biphasic ceramic (Triosite). *Spine* 1994;19:2798-2803.
- [215] Li-Yang Dai, Lei-Sheng Jiang. Single-level instrumented posterolateral fusion of lumbar spine with B-Tricalcium phosphate versus autograft. *Spine* 2008;33:1299-1304.
- [216] Tsuyoshi Yamade et al. Hybrid grafting using bone marrow aspirate combined with porous B-Tricalcium phosphate and trephine bone for lumbar posterolateral spinal fusion. *Spine* 2012;37:E174-E179.
- [217] Wen-Jer Chen et al. The fusion rate of calcium sulfate with local autograft bone compared with autologous iliac bone graft for instrumented short-segment spinal fusion. *Spine* 2005;30:2293-2297.
- [218] Epstein NE. A preliminary study of the efficacy of beta tricalcium phosphate as a bone expander for instrumented posterolateral lumbar fusion. *J Spinal Disord Tech* 2006;19:424-9.
- [219] Nancy E, Epstein. Beta tricalcium phosphate : observation of use in 100 posterolateral lumbar instrumented fusions. *Spine J* 9 (2009):630-638.
- [220] Tay BK, Le AX, Heilman M, et al. Use of collagen-hydroxyapatite matrix in spinal fusion. A rabbit model. *Spine* 1998;23:2276-81.
- [221] Orii H, Sotome S, Chen J, et al. Beta tricalcium phosphate graft combined with bone marrow stromal cells (MSCs) for posterolateral spine fusion. *J Med Dent Sci* 2005;52:51-7.
- [222] G Mariambourg. Nonunion of the posterolateral graft after surgery for grade I or II spondylolisthesis by spondylolysis : Revision surgery employing interbody cages. *Rachis* 1997;9:211-216.
- [223] Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Lee JH, Cho KJ, Kim HG. Adding posterior lumbar interbody fusion to pedicle screw fixation and posterolateral fusion after decompression in spondylytic spondylolisthesis. *Spine* 1997;22:210-9, discussion 219-220.
- [224] Lamberg T, Remes V, Helenius I, Schlenzka D, Seitsalo S, Poussa M. Uninstrumented in situ fusion for High-grade childhood and adolescent isthmic spondylolisthesis : long-term outcome. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(3):512-8.
- [225] Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine* 2004;29(17):1938-44.
- [226] Ishihara H, Osada R, Kanamori M, et al. Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord* 2001;14:91-9.
- [227] Kumar MN, Jacquot F, Hall H. Long-term follow-up of functional outcomes and radiographic changes at adjacent levels following lumbar spine fusion for degenerative disc disease. *Eur Spine J* 2001;10:309-13.
- [228] Wimmer C, Gluch H, Krismer M, et al. AP-translation in the proximal disc adjacent to lumbar spine fusion. A retrospective comparison of mono- and polysegmental fusion in 120 patients. *Acta Orthop Scand* 1997;68:269-72.
- [229] Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S. Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders. *J Spinal Disord* 1995;8:464-73.

- [230] Wiltse LL, Radecki SE, Biel HM, et al. Comparative study of the incidence and severity of degenerative change in the transition zones after instrumented versus noninstrumented fusions of the lumbar spine. *J Spinal Disord* 1999;12:27–33.
- [231] Booth KC, Bridwell KH, Eisenberg BA, et al. Minimum 5-year results of degenerative spondylolisthesis treated with decompression and instrumented posterior fusion. *Spine* 1999;24:1721–7.
- [232] Harrop JS, Youssef JA, Maltenfort M, Vorwald P, Jabbour P, Bono CM, Goldfarb N, Vaccaro AR, Hilibrand AS. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty. *Spine* 2008;33(15):1701-7.
- [233] Seitsalo S, Schlenzka D, Poussa M, et al. Disc degeneration in young patients with isthmic spondylolisthesis treated operatively or conservatively: a longterm follow-up. *Eur Spine J* 1997;6:393–7.
- [234] Cheh G, Bridwell KH, Lenke LG, Buchowski JM, Daubs MD, Kim Y, Baldus C. Adjacent segment disease following lumbar/thoracolumbar fusion with pedicle screw instrumentation: a minimum 5-year follow-up. *Spine* 2007;32(20):2253-7.
- [235] Disch AC, Schmoelz W, Matziolis G, Schneider SV, Knop C, Putzier M. Higher risk of adjacent segment degeneration after floating fusions: long-term outcome after low lumbar spine fusions. *J Spinal Disord Tech*. 2008;21(2):79-85.
- [236] Sears WR, Sergides IG, Kazemi N, Smith M, White GJ, Osburg B. Incidence and prevalence of surgery at segments adjacent to a previous posterior lumbar arthrodesis. *Spine J*. 2011;11(1):11-20.
- [237] Min JH, Jang JS, Jung B, Lee HY, Choi WC, Shim CS, Choi G, Lee SH. The clinical characteristics and risk factors for the adjacent segment degeneration in instrumented lumbar fusion. *J Spinal Disord Tech*. 2008;21(5):305-9.
- [238] Gillet P. The fate of the adjacent motion segments after lumbar fusion. *J Spinal Disord Tech*. 2003;16:338-45.
- [239] Ghiselli G, Wang JC, Bhatia NN, Hsu WK, Dawson EG. Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A(7):1497-503.

NOM : ATTOUCHE

PRENOM : Djamel

**Titre de Thèse : Arthrodèse du rachis lombaire instrumentée avec utilisation d'une
céramique biphasée mélangée à de la moelle osseuse.**

RESUME (10 lignes)

Les objectifs de cette étude rétrospective ont été : d'une part, de démontrer l'intérêt et l'efficacité de l'utilisation des céramiques de phosphates de calcium (BCP) mélangées à de la moelle osseuse dans l'arthrodèse du rachis lombaire, et d'autre part, d'étudier l'évolution radiographique des niveaux sus- et sous-jacents à la zone arthrodésée ; de déterminer les facteurs pouvant modifier cette évolution ; d'apprécier le retentissement sur le résultat fonctionnel des modifications radiologiques constatées à long terme. 56 patients ont été revus avec un recul moyen de 13,1 ans.

Les résultats radiologiques montrent d'une part, une fusion favorable avec un faible taux de pseudarthrodèse (5/56), et d'autre part un taux relativement élevé de dégénérescence adjacente (18/56). Cependant, il n'existe pas de parallélisme entre l'apparition de ces lésions dégénératives et le résultat fonctionnel obtenu. Les facteurs influençant cette évolution dégénérative, dans notre série, sont : l'âge, l'étendue de la fusion et la lordose lombaire.

MOTS-CLES

ARTHRODESE

CERAMIQUE BIPHASEE

DEGENERESCENCE ADJACENTE RADIOLOGIQUE

PSEUDARTHRODESE

SYNDROME ADJACENT