



HAL
open science

Corrélations entre les paramètres biomécaniques du rachis et les indices cliniques pour l'analyse quantitative des pathologies du rachis lombaire et de leur traitement chirurgical

Sabina Marcovschi Champain

► **To cite this version:**

Sabina Marcovschi Champain. Corrélations entre les paramètres biomécaniques du rachis et les indices cliniques pour l'analyse quantitative des pathologies du rachis lombaire et de leur traitement chirurgical. Sciences du Vivant [q-bio]. Arts et Métiers ParisTech, 2008. Français. NNT : 2008ENAM0024 . pastel-00004960

HAL Id: pastel-00004960

<https://pastel.hal.science/pastel-00004960>

Submitted on 10 Sep 2010

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

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



Ecole doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Bio-Mécanique"

présentée et soutenue publiquement

par

Sabina MARCOVSCHI CHAMPAIN

le 22 octobre 2008

Président du jury : Professeur Jean-Marc VITAL

**CORRELATIONS ENTRE LES PARAMETRES
BIOMECHANIQUES DU RACHIS ET LES INDICES CLINIQUES
POUR L'ANALYSE QUANTITATIVE DES PATHOLOGIES DU
RACHIS LOMBAIRE ET DE LEUR TRAITEMENT
CHIRURGICAL**

Directeur de thèse : Wafa SKALLI

Co-directeur de la thèse : Christian MAZEL

Jury :

M. Denis KAECH, Docteur, Kantonsspital, CHUR, Suisse..... Rapporteur
M. François-Xavier LEPOUTRE, Professeur, LAMIH, Valenciennes Rapporteur
M. Jean-Marc VITAL, Professeur, CHU Pellegrin, Bordeaux..... Examineur
M. Pierre KEHR, Professeur Honoraire, Université Médecine, Strasbourg Examineur
Mlle Virginie LAFAGE, Docteur, NYU Hospital for Joint Diseases, New York, USA Examineur
M. Christian MAZEL, Professeur, I M Montsouris, Paris Examineur
Mme Wafa SKALLI, Professeur, LBM, ENSAM, Paris Examineur
M. Jean DUBOUSSET, Professeur Emérite, Hôp. St Vincent de Paul, Paris Invité
Mme Anca MITULESCU, Docteur, Marseille..... Invité
M. Guy VIART, Ingénieur, Arras Invité

Laboratoire de Bio-Mécanique
ENSAM, CER de Paris

A mes parents, qui ont sacrifié leurs rêves pour nous donner des ailes sur le chemin vers le savoir et les valeurs fondamentales de l'humanité...

A mon père, qui nous a quitté prématurément durant ce projet, à ma fille Maria, qui est née également durant cette période et à Thomas, notre petit miraculé...

A la science et au bien-être de ceux qui souffrent...

REMERCIEMENTS

Je remercie le Professeur Wafa Skalli, Directrice du *Laboratoire de Biomécanique*, pour avoir dirigé cette thèse avec une grande rigueur scientifique et pédagogique, une confiance et une liberté d'approche, et pour sa passion de la biomécanique du rachis qu'elle a su faire partager.

Je tiens à remercier le Professeur Christian Mazel, pour m'avoir accueilli au sein du service de Chirurgie Orthopédique de l'Institut Mutualiste Montsouris, pour sa volonté de réflexion et de compréhension des mécanismes complexes de la biomécanique du rachis lombaire dégénératif, qu'il a su transmettre tout au long de ce travail, ainsi que pour son soutien.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Guy Viart, Président de la société EuroSurgical pour l'intérêt et le soutien qu'il porta à ce travail, en s'investissant dans ce partenariat universitaire, clinique et industriel. Ces remerciements s'adressent également à Monsieur Alexandre Templier et à toute l'équipe de Surgiview/SpineNetwork pour leur collaboration et soutien.

Un grand merci à Anca Mitulescu, mon partenaire industriel, pour avoir encadré cette thèse avec toute son écoute et sa disponibilité, pour ses conseils avisés et ses grandes qualités humaines.

Merci également aux Professeurs François Lavaste et Gérard Coffignal pour leur accueil et les discussions enrichissantes à différents moments de cette thèse.

Je souhaite exprimer mon respect aux Professeurs Jean-Paul Steib, Jean Marc Vital, Vincent Pointillart et Jean Dubousset pour leur accueil et pour avoir éclairé ce travail de leur expérience et de leur humanisme.

Je remercie chaleureusement les Docteurs Thierry David, Vincent Fièvre, Olivier Gille et Xavier Chiffolot pour leur collaboration et le soutien qu'ils m'ont apporté dans ce travail.

Je remercie la société Scient'X qui a participé au financement de ma thèse, permettant la finalisation de la collecte des données cliniques et de l'analyse.

Merci à tous les chercheurs, le personnel et les étudiants du *Laboratoire de Biomécanique*, pour l'esprit d'entraide et d'entente qui règne au sein du laboratoire.

Que ma famille et mes proches trouvent ici toute mon affection, mon amitié, et ma profonde reconnaissance pour m'avoir soutenu jusqu'ici.

Je remercie l'ensemble des membres du Jury et mes rapporteurs pour avoir accepté de juger ce travail.

En espérant que ceux que j'aurais oubliés veuillent bien me pardonner.

SOMMAIRE

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION GENERALE.....	6
ANALYSE DE LA LITTÉRATURE.....	9
1 Introduction.....	10
2 Anatomie et biomecanique du rachis lombaire.....	10
2.1 Plans de référence.....	10
2.2 Anatomie de la colonne vertébrale	11
2.2.1 Généralités	11
2.2.2 Eléments de base.....	11
2.2.3 Stabilisation et mobilisation du rachis lombaire.....	13
2.2.4 Aspects vasculaires et neurologiques	15
2.3 Rappels de biomécanique du rachis lombaire	16
2.3.1 Stabilité du rachis lombaire.....	16
2.3.2 Mobilité du rachis lombaire.....	17
2.3.3 Définition des efforts supportés par le rachis lombaire	18
2.3.4 Notion d'équilibre.....	20
3 Rachis lombaire pathologique.....	21
3.1 Généralités.....	21
3.2 Pathologies dégénératives du rachis lombaire.....	22
3.2.1 Arthrose articulaire.....	23
3.2.2 Instabilité intervertébrale	24
3.2.3 Hernie discale	24
3.2.4 Spondylolisthesis	25
3.2.5 Sténoses lombaires (canal lombaire étroit).....	29
3.3 Exploration en imagerie du rachis lombaire pathologique.....	29
3.3.1 La radiographie*.....	29
3.3.2 La sacco-radiculographie**.....	30
3.3.3 La discographie***.....	31
3.3.4 Le scanner (CT) ***.....	31
3.3.5 L'imagerie par résonance magnétique (IRM).....	31
3.4 Traitement chirurgical des pathologies dégénératives du rachis lombaire	31
3.4.1 Les voies d'abord	31
3.4.2 Gestes chirurgicaux.....	33
3.4.3 Conclusions.....	43

4 Evaluation des resultats des chirurgies du rachis lombaire degeneratif...	43
.....	
4.1 Résultats des différents traitements dans la littérature pour les pathologies à l'origine des lomboradiculalgies étudiées	44
4.1.1 <i>Hernie discale et séquelles de hernie discale</i>	44
4.1.2 <i>Spondylolisthesis dégénératif et sténoses</i>	45
4.1.3 <i>Spondylolisthesis par lyse isthmique</i>	46
4.1.4 « <i>Low-back pain</i> » - <i>synthèse bibliographique</i>	47
4.2 Moyens d'évaluation clinique et radiologique	52
4.2.1 <i>Evaluation clinique du résultat post-traitement chirurgical</i>	52
4.2.2 <i>Analyse radiologique</i>	54
4.3 Facteurs prédictifs pour les résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire dégénératif.....	60
5 Bilan de l'étude bibliographique	62
TRAVAIL PERSONNEL : ANALYSE MULTICENTRIQUE	63
6 Méthodologie de l'analyse multicentrique	64
6.1 Définition du partenariat clinique	64
6.2 Protocole de collecte de données.....	65
6.2.1 <i>Cadre diagnostique et thérapeutique</i>	65
6.2.2 <i>Données collectées</i>	65
6.2.3 <i>Périodisation du suivi</i>	66
6.3 Gestion de données.....	66
6.4 Analyse de données	66
6.4.1 <i>Analyse de données cliniques</i>	66
6.4.2 <i>Analyse de données radiologiques</i>	66
6.4.3 <i>Analyse statistique</i>	72
7 Etudes spécifiques.....	73
7.1 Discopathies sans déformation/glissement.....	74
7.1.1 <i>Séquelles de hernies discale opérées - arthrodeuse postéro-latérale avec instrumentation dynamique</i>	74
7.1.2 <i>Discopathies à l'origine des lomboradiculalgies - arthrodeuse lombaire intersomatique antérieure avec plaque et cage</i>	83
7.1.3 <i>Discopathies dégénératives -arthrodeuse intersomatique postérieure avec cage et instrumentation rigide</i>	93
7.1.4 <i>Discopathies dégénératives– relations entre les facteurs cliniques, radiologiques et psychosociaux dans l'évaluation du résultat</i>	96
7.2 Discopathies avec glissement vertébral- spondylolisthesis.....	106
7.2.1 <i>Spondylolisthesis dégénératif</i>	106
7.2.2 <i>Spondylolisthesis par lyse isthmique</i>	120

8 Analyse de la population globale.....	150
8.1 Présentation générale	150
8.2 Matériel et méthodes.....	150
8.3 Résultats	153
8.3.1 <i>Présentation des variables « résultats »</i>	153
8.3.2 <i>Analyse descriptive et comparative des paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de rachis en relation avec le résultat global du traitement.</i>	155
8.3.3 <i>Analyse des corrélations entre paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de rachis et résultat global du traitement.</i>	160
8.3.4 <i>Analyse factorielle</i>	162
8.4 Discussion.....	170
8.4.1 <i>Limites de la méthodologie</i>	170
8.4.2 <i>Synthèse des principaux résultats</i>	170
8.4.3 <i>Paramètres clés pour l'évaluation des résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire</i>	173
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	187
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	193
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS	208

INTRODUCTION GENERALE

Les commencements de la biomécanique sont liés à l'ancien Egypte (2600-2200 av JC), qui nous laissa la description des traumatismes de la colonne vertébrale et à l'Inde (3500-1800 av JC), qui garde la trace des premiers traitements des déformations rachidiennes. Son histoire continue avec les découvertes d'Averroès, Hippocrate, Leonard de Vinci et Giovanni Borelli, le dernier publiant le premier traité de biomécanique (*De Motu Animalium*) expliquant l'action des muscles et la transmission des forces au niveau des articulations.

Sur ces racines se greffe une explosion moderne des implants rachidiens, qui introduit la fixation interne et la stabilisation du rachis pathologique comme concepts de base. Dans l'approche biomécanique de la colonne vertébrale ^{Kowalski'05} on retrouve des leviers représentant les vertèbres, des pivots - les facettes et les disques, des éléments passifs (les ligaments) ou actifs (les muscles) et des forces et des moments traduisant les lois fondamentales de la physiologie rachidienne.

La transcription en clinique courante de ces phénomènes physiques est enrichissante mais encore difficile aujourd'hui, surtout dans l'évaluation du vivant et dans le contexte du développement accéléré des technologies médicales durant les dernières décennies, qui impose des critères de sécurité, efficacité et utilité dans le choix des stratégies thérapeutiques. Par conséquent, l'imagerie et la biomécanique doivent trouver ensemble des moyens simples de fournir des informations objectives, complémentaires à l'examen clinique, afin d'appuyer la vision diagnostique, thérapeutique ou préventive du clinicien et le choix d'une stratégie pour un patient donné.

Dans cette démarche et depuis des nombreuses années, le *Laboratoire de Biomécanique (CNRS-ENSAM Paris)* travaille en étroite collaboration avec des chirurgiens et des entreprises orthopédiques pour l'analyse et la compréhension de la chirurgie ostéo-articulaire (évaluations expérimentales et numériques de prothèses, outils d'aide au diagnostique, outils d'analyse de la technique opératoire). Plus particulièrement, au niveau de la biomécanique du rachis, son expertise s'est portée sur l'étude de la scoliose, des différents aspects de la physiologie du disque intervertébral et des caractéristiques des implants à travers des essais *in vivo* ou bien par modélisation en éléments finis.

Par ailleurs, les recherches menées au *Laboratoire de Biomécanique* et en particulier la thèse d'Alexandre Templier ^{Templier'98b} ont posé les bases des évaluations quantifiées des implants « *in vivo* » et ont montré le besoin et l'importance des outils et des méthodes d'analyse quantitative des configurations biomécaniques des patients, basés sur des examens radiologiques de routine. Ces recherches ont conduit au développement de différents outils d'analyse qui permettent aujourd'hui d'appréhender la problématique de la chirurgie du rachis lombaire.

Notre projet s'inscrit dans le contexte de l'incidence annuelle importante et grandissante des pathologies (surtout dégénératives) à l'origine de lomboradiculalgies invalidantes, ainsi que de leur traitement chirurgical, car, malgré la fréquence et le rétentissement de ces affections tant à l'échelon individuel que sur le coût public d'une société, les questions concernant le substratum anatomique, les facteurs prédisposants, les moyens diagnostiques et la meilleure thérapie pour ces symptômes restent aujourd'hui sans réponse claire ^{Poiraudau'94}.

L'objectif de ce travail de thèse, conduit au *Laboratoire de Biomécanique*, en partenariat avec l'Agence Nationale pour la Recherche et la Technologie (ANRT), la société *Eurosurgical/SpineNetwork* et six

centres cliniques, est l'analyse des corrélations entre les paramètres biomécaniques du rachis, le résultat clinique et fonctionnel d'un traitement chirurgical, l'état général du patient et sa qualité de vie, afin de mieux comprendre les causes biomécaniques de la réussite ou de l'échec des traitements chirurgicaux sur le rachis lombaire et d'identifier les possibles facteurs clé pour mieux cibler les indications et les stratégies thérapeutiques.

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes attachés à 3 points essentiels illustrés dans la suite du document :

- *L'analyse de la littérature pour évaluer l'existant.* Ainsi, dans la première partie de ce document seront brièvement présentés quelques notions d'anatomie et de biomécanique du rachis sain, les pathologies du rachis lombaire à l'origine des lomboradiculalgies et leurs traitements chirurgicaux, ainsi qu'une synthèse bibliographique des résultats pour ces différents traitements dans la littérature, surlignant leurs moyens d'évaluation et les éventuels facteurs prédictifs.
- Le protocole mis en place pour la *collecte multicentrique de données cliniques, radiologiques et de qualité de vie*, principalement rétrospective, afin d'obtenir les informations les plus complètes possible et avec un recul suffisant, pour chaque patient. Ce point est illustré dans la description de la méthodologie générale de l'étude, au début de la seconde partie de ce document.
- *L'analyse de l'ensemble de données* : présentée dans la suite de ce document d'abord par pathologie et stratégie thérapeutique, puis globalement, afin d'identifier les facteurs clé qui pourraient influencer le résultat. Des configurations spécifiques sont associées à des tableaux cliniques favorables ou défavorables pour chaque patient et notre analyse cible les paramètres biomécaniques permettant de les caractériser.

Nous finirons ce document par une présentation des conclusions et perspectives de ces études.

ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

1 INTRODUCTION

La première partie de ce document de thèse est consacrée à une analyse bibliographique générale, qui a pour objectif de préciser le tableau des résultats des différents traitements chirurgicaux du rachis lombaire dégénératif, mettant en évidence leurs moyens d'évaluation et les éventuels facteurs prédictifs qui se contournent.

Afin de poser les bases de cette analyse et de faciliter la compréhension du corps de thèse pour le lecteur, nous commençons par un concis recueil d'anatomie, enrichi de quelques rappels de biomécanique du rachis lombaire sain. Les pathologies du rachis lombaire, ainsi que leur traitement chirurgical seront brièvement présentées par la suite, pour préciser les principaux éléments qui seront utilisés ultérieurement dans notre analyse.

Notre présentation évoluera ensuite vers un tableau global des résultats de ces traitements tel que illustrés par la littérature, en nous limitant volontairement aux arthrodèses du rachis lombaire. Une attention toute particulière sera apportée aux moyens et critères d'évaluation de ces résultats, ainsi qu'aux différents paramètres impliqués, cherchant à identifier les différents facteurs ayant une possible influence ou valeur prédictive sur le résultat du traitement.

2 ANATOMIE ET BIOMECHANIQUE DU RACHIS LOMBAIRE

2.1 Plans de référence

La description anatomique du corps humain dans l'espace se fait selon trois plans fondamentaux (Figure 1) :

- Sagittal : plan vertical orienté dans le sens antéro-postérieur ; le plan sagittal médian passe par l'axe du corps et le partage en deux côtés droit et gauche.
- Frontal : plan vertical perpendiculaire au précédent. On définit un plan coronal qui est le plan frontal passant par l'axe du corps, qui délimite les faces ventrale et dorsale du corps.
- Axial (transversal) : plan perpendiculaire aux deux autres qui coupe transversalement le corps.

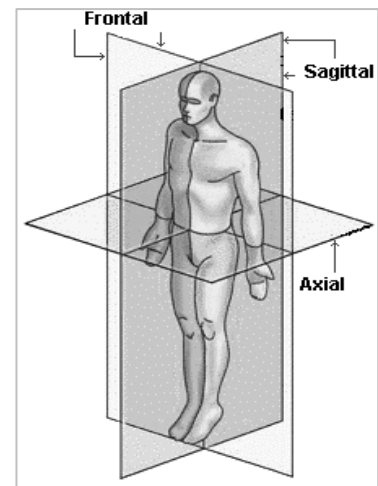


Figure 1 :Plans de référence

Kamina'97

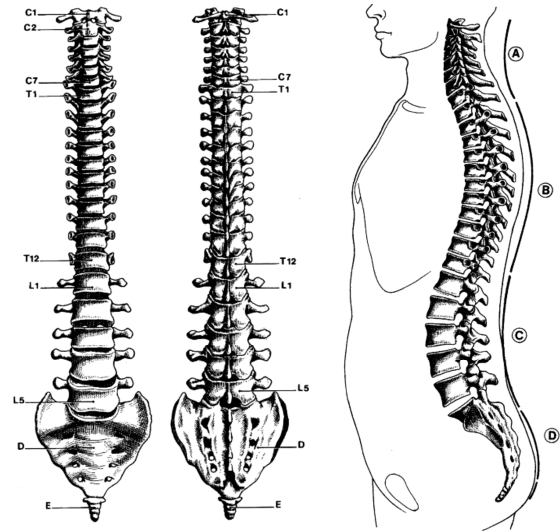
2.2 Anatomie de la colonne vertébrale

2.2.1 Généralités

La colonne vertébrale ou rachis est constituée de vingt-quatre vertèbres libres (7 cervicales (A), 12 thoraciques (B) et 5 lombaires (C)) et de 8-9 vertèbres soudées (D), formant le sacrum (5) et le coccyx (3-4) (Figure 2). Le rachis est aligné symétriquement dans le plan frontal et présente une succession de courbures inversées dans le plan sagittal, développées au cours de la croissance : *lordose cervicale*, *cyphose thoracique*, *lordose lombaire* et *cyphose sacrée*, les segments lordosés représentant des secteurs de mobilité assurant l'autonomie des organes sensoriels pour le rachis cervical et la station érigée et la marche pour le rachis lombaire ^{Dietemann'95}.

Figure 2 : Le rachis dans son ensemble

Kamina'97



La structure de la colonne vertébrale est adaptée à ses multiples fonctions :

- assurer la stabilité et maintenir une posture érigée
- permettre la mobilité de la tête, du tronc et des membres dans l'espace
- supporter et transmettre les chargés appliqués aux parties supérieures du corps aux membres inférieurs
- absorber les chocs
- protéger les structures nerveuses, notamment la moelle épinière.

2.2.2 Eléments de base

Afin d'étudier les différents rôles du rachis ainsi que les particularités du rachis lombaire, il convient d'analyser les éléments segmentaires qui le constituent : les vertèbres et le bassin.

Les Vertèbres

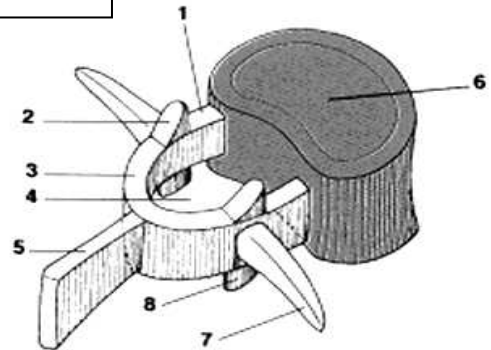
A l'exception de l'atlas et de l'axis (qui appartiennent au rachis cervical), toutes les vertèbres (Figure 3) sont constituées d'un *corps vertébral* et de *l'arc neural*.

- Le corps vertébral est rempli d'os spongieux et est limité par de l'os cortical plus solide. Il constitue la partie la plus massive de la vertèbre, de forme cylindrique moins haute que large, il est ventral et son épaisseur croît caudalement. Les plateaux vertébraux sont recouverts de cartilage.
- L'arc postérieur, dorsal et fragile, est constitué d'os cortical épais. Il comprend *deux pédicules* courts qui se fixent à la partie supérieure de l'arête postéro-latérale du corps vertébral, *deux lames verticales* qui prolongent les pédicules et forment le foramen vertébral, *un processus épineux* saillant en arrière, *deux processus transverses* saillant latéralement ainsi que

de *quatre processus articulaires* (deux supérieurs et deux inférieurs) s'articulant avec leurs homonymes adjacents et situés à la jonction des pédicules et des lames.

Figure 3 : Vertèbre type - schéma ^{Kamina'97}

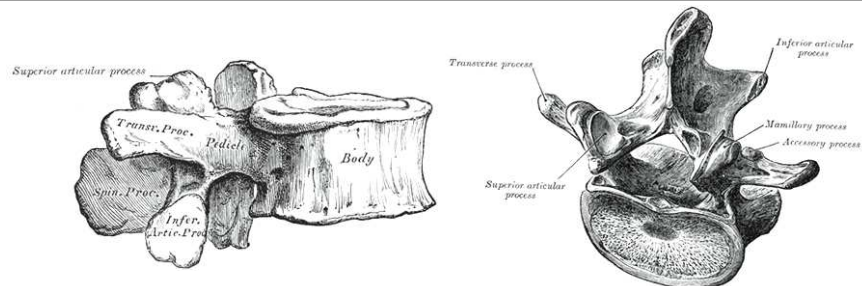
1. Pédicule
2. Processus articulaire sup.
3. Lame
4. Foramen vertébral
5. Processus épineux
6. Surface articulaire sup. du corps
7. Processus transverse
8. Processus articulaire inférieur



Les vertèbres **lombaires** (Figure 4) ont un corps vertébral plus massif, étendu en largeur. Les facettes articulaires sont contenues dans une surface cylindrique centrée sur l'arrière (regardant fortement en dedans et légèrement en

Figure 4 : Vertèbre lombaire ^{Gray'00}

et légèrement en arrière pour la facette supérieure et regardant fortement en dehors et légèrement en avant pour la facette inférieure) favorisant flexion,



extension et inclinaison latérale (également favorisées par une hauteur de disque importante).

Le Bassin

Le bassin (Figure 5), considéré comme vertèbre pelvienne par certains auteurs ^{Dubouset'94}, assure la transmission des charges entre le rachis et les membres inférieurs et participe également à l'équilibre postural. Il a la forme d'un anneau fermé, composé de quatre pièces osseuses : le sacrum, les os iliaques droit et gauche et le coccyx.



Figure 5 : Le bassin ^{Gray'00}

- Le sacrum est un os épais et volumineux résultant de la soudure de cinq vertèbres sacrées.
- L'os iliaque : est un os plat pair et symétrique. Il est constitué de trois parties : un segment supérieur ou aile iliaque perpendiculaire au segment inférieur formé par le pourtour osseux du trou obturateur et un segment moyen, siège de la cavité cotyloïde.
- Le coccyx est un petit os triangulaire à sommet inférieur aplati, articulé en haut avec la dernière vertèbre sacrée. Il est formé par la fusion de deux à six vertèbres coccygiennes.

Ces os sont également le moyen d'attache des membres inférieurs au tronc, au niveau des articulations coxo-fémorales.

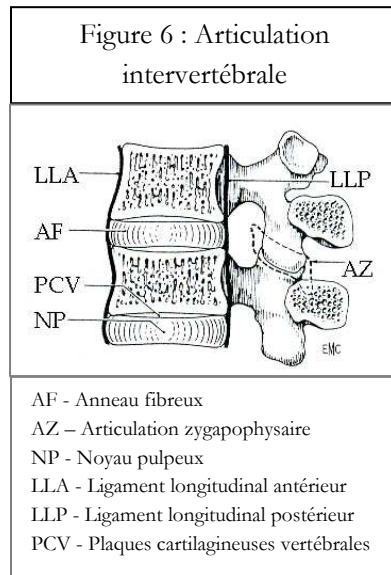
2.2.3 Stabilisation et mobilisation du rachis lombaire

Plusieurs structures assurant la stabilité du rachis (articulations intervertébrales, ligaments, muscles) et sa mobilité (muscles intrinsèques) seront brièvement présentées dans ce qui suit.

L'articulation intervertébrale

a. Antérieure

Les corps des vertèbres sont unis entre eux (et avec le bassin) par une structure souple globalement cylindrique, le **disque intervertébral** (Figure 6 Mayoux-Benhamou⁹⁴) qui permet de résister à la transmission des forces



de pesanteur et d'assurer des mouvements intervertébraux amples et multidirectionnels. Cette structure, qui représente 25% de la hauteur totale du rachis mobile, a la forme d'une lentille biconvexe et elle est constituée de trois parties principales : l'*anneau fibreux* (ou *annulus fibrosus*) en périphérie, une partie centrale appelée *noyau pulpeux* (ou *nucleus pulposus*) et les plaques cartilagineuses interposées entre le corps vertébral et le matériel discal. La partie externe du disque (annulus) est formée de 15-20 lamelles fibreuses disposées de la périphérie vers le centre en couches à peu près concentriques et d'obliquité inversée entre deux lamelles voisines. Le noyau pulpeux, est une substance gélatineuse molle contenant de 70 à 80% d'eau, situé

un peu en arrière du centre du disque, qui se densifie et diminue avec l'âge.

b. Postérieures

Les **articulations zygapophysiales** (AZ, Figure 6), qui autorisent ou freinent les mouvements de glissement, sont planes au niveau cervical et thoracique, et en forme de gouttière verticale au niveau lombaire. La capsule articulaire est formée d'une membrane fibreuse, fixée sur les pourtours articulaires, qui est plus résistante dans la région lombaire, et d'une membrane synoviale.

Le système ligamentaire

Principal système stabilisateur, les ligaments du rachis lombaire (Figure 7) solidarisent les éléments constitutifs à l'échelle globale (ligaments communs antérieurs et postérieurs, ligaments sur-épineux) et segmentaire (ligaments jaune, inter-épineux, inter-transversaires et inter-apophysaires), assurant aussi la liaison avec le bassin (ligament ilio-lombaire).

- Le *ligament longitudinal antérieur* est une longue bande fibreuse tendue de la base de l'occiput jusqu'à la face antérieure de S2 (deuxième vertèbre sacrée). Il adhère à la face antérieure des corps vertébraux et des disques intervertébraux. Il se compose de fibres longues superficielles qui s'étendent sur trois ou quatre vertèbres et de fibres courtes profondes qui unissent deux vertèbres adjacentes.
- Le *ligament longitudinal postérieur* est situé dans le canal vertébral, c'est une longue bande fibreuse. Il est tendu de la face postérieure du corps de l'axis à celle du coccyx. Étroit au niveau des corps vertébraux, il s'élargit pour se fixer sur les disques intervertébraux et sur la

partie adjacente des corps.

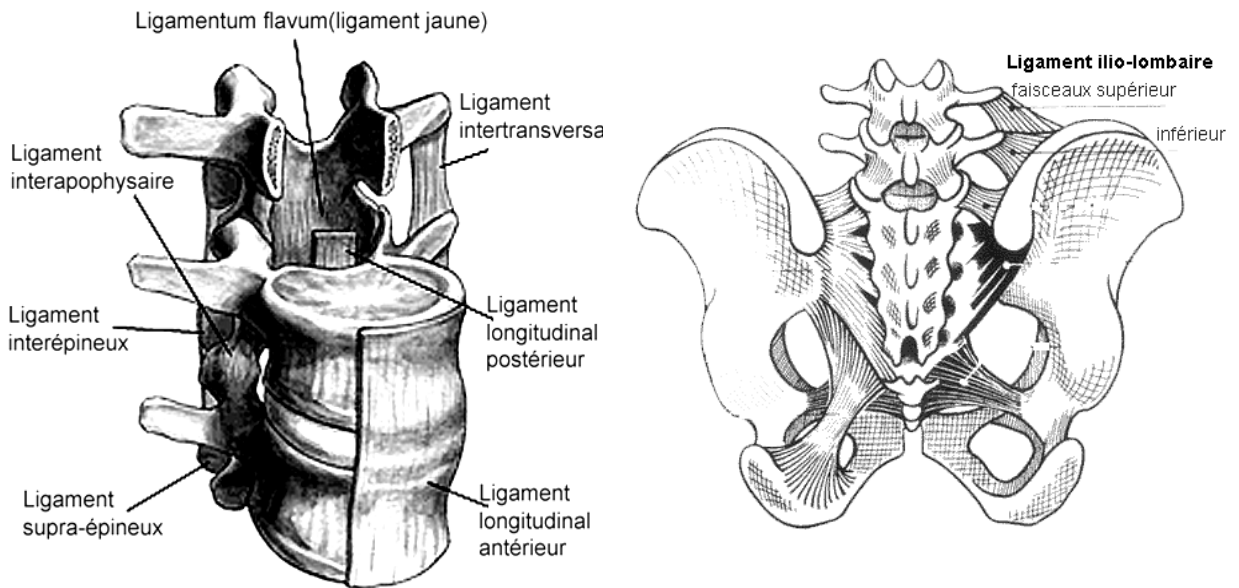


Figure 7 : Système ligamentaire du rachis lombaire (Gray'00, Kapandji'86, Larson'99)

- Le *ligament jaune* se fixe sur le bord des lames sus et sous-jacente. De coloration jaunâtre, il est rectangulaire et particulièrement épais et résistant dans la région lombaire. Il limite la flexion.
- Le *ligament supra-épineux* est un cordon fibreux solide tendu du processus épineux de la septième vertèbre cervicale à la crête sacrale. Il se fixe au sommet des processus épineux des vertèbres.
- Les *ligaments interépineux* unissent le bord des processus épineux sus-jacents et sous-jacents. Solides et très élastiques, ils limitent la flexion du rachis et contribuent au maintien de la posture vertébrale.
- Les *ligaments intertransversaires* sont de fines lames fibreuses unissant les processus transversaires.
- Le *ligament ilio-lombaire*, tendu entre les processus transversaires des deux dernières vertèbres lombaires et l'os coxal est lié à l'acquisition de l'orthostatisme et semble jouer un rôle important dans la stabilisation de la charnière lombo-sacrée.

Le système musculaire

On distingue premièrement des muscles qui s'insèrent directement (intrinsèques) sur le rachis lombaire, qu'ils mobilisent et stabilisent, comme les paravertébraux dorsaux, quadratus lumborum (carré des lombes) et la portion vertébrale du psoas, et ensuite des muscles dits extrinsèques, de la paroi antérolatérale de l'abdomen (sangle abdominale) qui jouent un rôle indirecte dans la stabilisation du rachis.

De la même manière, on peut distinguer dans la première catégorie (intrinsèques) (Figure 8), un ensemble de muscles à court bras de levier, situés dans le plan postérieur profond (muscles transversaire-épineux, inter-épineux, épi-épineux) et un ensemble à long bras de levier, situé dans les plans moyens (petit dentelé supérieur et inférieur) et superficiels (muscle ilio-costal, grand dorsal) ainsi que dans les parties latérales du tronc (carré des lombes, psoas).

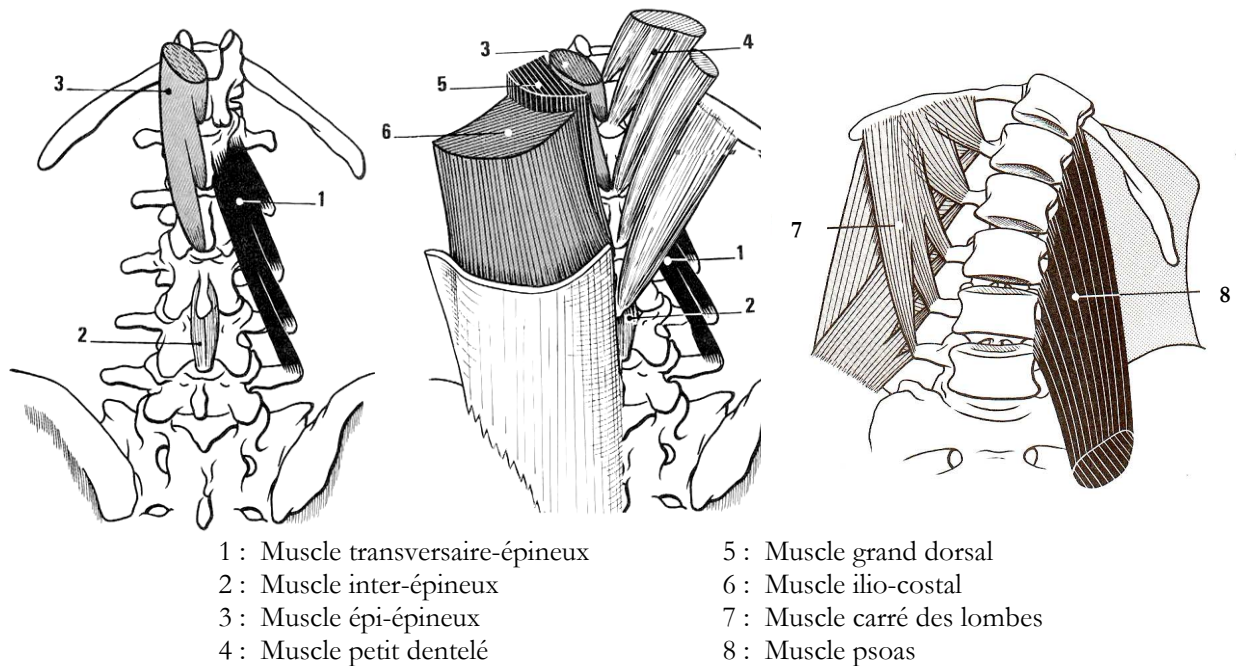


Figure 8 : Système musculaire du rachis (d'après Kapandji'86). On observe, de gauche à droite : le plan postérieur profond, les plans moyen et superficiel et le plan latéral.

Il convient également de mentionner le rôle stabilisateur indirecte des *fascias*, qui limitent la globulisation (augmentation de section) des muscles postérieurs, lors de leurs contractions, entraînant un effet raidisseur du rachis par le serrage de l'ensemble de la structure. Toutefois, les aspects musculaires (moteurs) ne seront pas analysés dans cette étude.

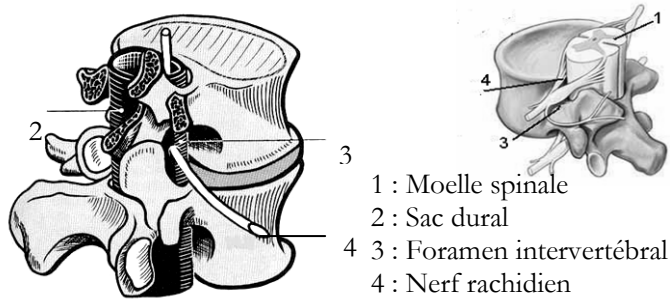
2.2.4 Aspects vasculaires et neurologiques

La *vascularisation* du rachis lombaire, qui ne sera pas discutée dans ce document, est réalisée par les branches collatérales de l'aorte et, au-dessus de sa bifurcation (L4-L5), par un complexe artériel sous-aortique particulièrement exposé à des lésions lors des interventions sur les disques lombaires; le drainage veineux est assuré par un système plexiforme tributaire du système cave, qui s'étend sur toute la hauteur de la colonne vertébrale.

L'*innervation* du rachis est de type métamérique, assurée par deux nerfs segmentaires qui sont le nerf sinuvertébral de Luschka et la branche dorsale du nerf rachidien. Bien que ces aspects ne seront pas discutés dans notre étude, il faut mentionner que la plupart des structures entourant le disque intervertébral ont des terminaisons nerveuses libres nociceptives et sont donc potentiellement source de douleur ; la seule structure dépourvue d'innervation sensitive est le nucleus pulposus. Certaines études^{Kuslich'83} ont montré que l'annulus fibrosus et le ligament longitudinal postérieur sont les tissus principalement responsables de la douleur discogénique.

Un autre aspect de la problématique neurologique concerne la fonction du rachis de protection du système nerveux et notamment de la moelle épinière (Figure 9) qui chemine dans le foramen vertébral jusqu'au niveau de la première vertèbre lombaire. Tout le long du rachis et en dessous de L1, la moelle spinale donne naissance aux nerfs rachidiens qui sortent du canal par les foramens intervertébraux et se distribuent ensuite aux membres via les plexus.

Figure 9 : Moelle spinale et racines nerveuses Kapandji'86.



Bien qu'elle soit protégée par des méninges, la moelle peut être affectée par le rétrécissement du foramen vertébral ou intervertébral (sténoses, hernies ou certaines dégénération arthritiques), le dernier étant observé surtout en extension, rotation et inclinaison homolatérale Panjabi'83;Vital'83.

2.3 Rappels de biomécanique du rachis lombaire

Le rachis lombaire supporte d'importantes charges, du fait du poids du corps sus-jacent et des forces générées par les efforts de soulèvement, ce qui requière une grande *stabilité*. En même temps, il doit assurer, ensemble avec les hanches, la *mobilité* du tronc. A la base de ces fonctions (que peuvent paraître contradictoires) est la notion de segment mobile, qui comprend une articulation intervertébrale et ses deux vertèbres adjacentes, les foramens intervertébraux et les ligaments de l'arc postérieur. Cette approche assimile le modèle de Junghans, représenté par un trépied fonctionnel avec le disque en avant et les articulations zygapophysaires en arrière, complété par les ligaments intervertébraux interapophysaires et interépineux. Le segment mobile Pope'91 est viscoélastique, absorbe de l'énergie, possède 6 degrés de liberté (3 rotations et 3 translations) mais il a une tolérance en fatigue limitée et dépend de ses composants osseux et ligamentaires pour accomplir ses fonctions mécaniques. De plus, la mobilité de ce segment est de type mouvement couplé Panjabi'89, ce qui signifie que le mouvement selon une direction va influencer les déplacements dans les autres directions et, en même temps, que le dysfonctionnement d'un élément du segment mobile retentit sur les autres structures et ensuite sur l'ensemble du rachis Mayoux-Benhamou'94.

2.3.1 Stabilité du rachis lombaire

La stabilité en statique du rachis lombaire (et celle du rachis entier) est liée à l'organisation des segments fonctionnels et à la posture.

Le rôle de l'articulation intervertébrale dans la stabilité du rachis a été mis en évidence par de nombreux auteurs Dubouset'94;Larson'99;Louis'77;Denis'84, qui décrivent une distribution des contraintes dans le plan sagittal au niveau de trois colonnes (Figure 10). Selon Louis, ces colonnes sont représentées par les trois articulations des vertèbres : le disque intervertébral (1) et les facettes articulaires droite (2) et gauche (3). Cependant, la plus répandue théorie cliniquement acceptée est celle de Denis et al, qui définit une colonne antérieure (A), incluant le ligament longitudinal antérieur et la partie antérieure du disque et du corps vertébral, une colonne médiale (B) définie par le ligament longitudinal postérieur, la partie postérieure du disque et du corps vertébral (et peut-être le pédicule) et une colonne postérieure (C) représentée par les arcs postérieurs et leurs

ligaments. Sans trancher entre les deux théories, une analyse rhéologique^{Dietemann} attribue à la colonne antérieure un rôle d'amortisseur et aux structures postérieures des propriétés des ressorts.

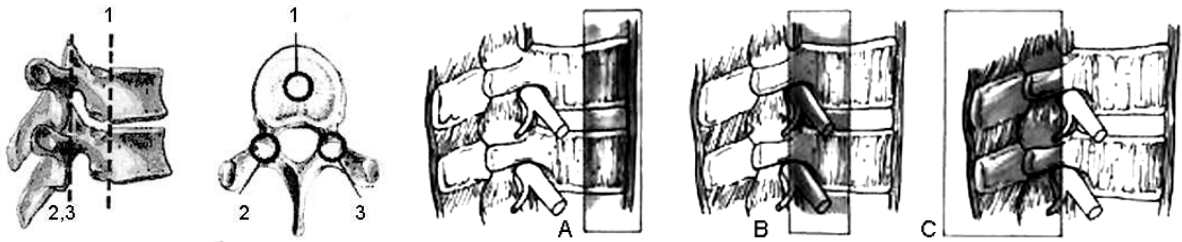


Figure 10 : Les trois colonnes assurant la stabilité rachidienne^{Dubouset'94;Larson'99}.

Toujours au regard de la stabilité en statique, la *posture* est décrite par une succession de courbures inversées dans le plan sagittal, développées au cours de la croissance, qui augmentent la résistance du rachis aux efforts de compression axiale^{Kapandji'86;Mangione'97}, présentés sur la Figure 2 : la lordose cervicale (A), la cyphose thoracique (B), la lordose lombaire (C) et la cyphose sacrée (D). Le rôle de ces courbures est d'absorber les forces de réaction du sol et de transmettre les charges (poids) de la partie supérieure du corps vers les extrémités inférieures, de manière que les articulations intervertébrales supportent uniquement 25-47% de la contrainte totale verticale^{Yang'84}.

La cyphose sacrée^{Marty'02} et la réduite mobilité sacro-iliaque^{Kissling'97;Sturesson'89} interviennent au niveau du bassin, afin d'optimiser la transmission des forces à ce niveau, comme montré sur la Figure 11.

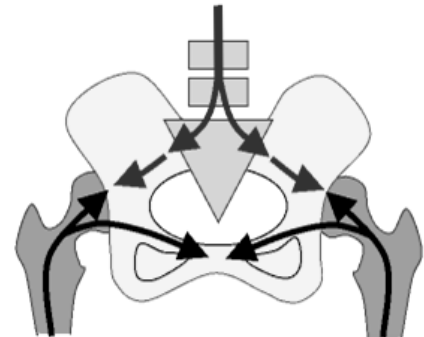


Figure 11 : Transmission de forces au niveau du bassin (représentation selon^{Peltier'65}).

2.3.2 Mobilité du rachis lombaire

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, le disque intervertébral permet une grande étendue de mouvements entre deux vertèbres (6 degrés de liberté), mais ceux-ci sont limités par le jeu des articulations zygapophysaires et la mise en tension des ligaments. Plus précisément, les massifs articulaires se comportent comme des guides dont la fonction est d'orienter le mouvement et les structures capsulo-ligamentaires et les muscles comme des freins qui vont rendre le mouvement harmonieux et lui donner des limites physiologiques.

Les amplitudes de ces mouvements sont très variables suivant les individus (âge, sexe, musculature et élasticité des tissus) et suivant le niveau considéré. La littérature présente surtout des études *in vivo* à partir des radiographies dynamiques (en flexion-extension) qui seront synthétisées dans le chapitre 4.2.2, ainsi que des mesures globales ou sur des pièces anatomiques^{Templier'98b}.

Le mouvement de *flexion-extension* (Figure 12) semble avoir une amplitude totale, variable selon les différents auteurs, entre 57° et 90°^{Castaing'79;Templier'98b;White'90;Yamamoto'89;Tanz'53}. L'amplitude de mouvement segmentaire est maximale à L4L5 et elle décroît de L5S1 et L3L4 à L2L3 et L1L2^{Mayoux-Benhamou'94}. Ce mouvement est prépondérément circulaire autour d'un axe de rotation situé au

niveau du corps vertébral sous-jacent^{Pearcy'85} et il présente certaines particularités, décrites dans la suite. Sur la figure 12 on note la forme ovale du foramen en flexion, qui devient triangulaire en extension, car sa partie inférieure est rétrécie par la protrusion discale et par le bombement du ligament jaune et de la capsule articulaire postérieure

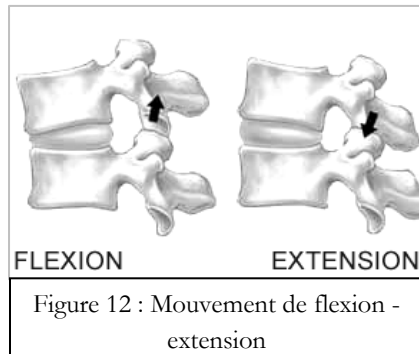


Figure 12 : Mouvement de flexion - extension

Le mouvement d'extension, qui s'accompagne d'une hyperlordose, a une amplitude moyenne de 35°; le noyau se déplace vers l'avant et le disque, recouvert du ligament longitudinal postérieur détendu, bombe en arrière. Le mouvement est arrêté par la butée osseuse des arcs postérieurs et la tension du ligament longitudinal antérieur, phénomène marqué au niveau de l'isthme de L5, où le cisaillement répété qui se crée peut favoriser, dans certaines circonstances, l'apparition d'une fracture de fatigue^{Dietemann'95}.

Le mouvement de *flexion* est accompagné d'un redressement de la lordose et décrit en moyenne 60°^{Mayoux-Benhamou'94}. Dans cette situation, le nucleus se déplace vers l'arrière et exerce une forte pression sur les fibres postérieures de l'annulus, tandis que le ligament longitudinal postérieur, le ligament jaune et la capsule des articulations postérieures sont tendus. Les muscles spinaux développent alors une force supérieure pour équilibrer la balance rachidienne mais, après 60° de flexion, le système ligamentaire postérieur prend le relais des muscles et tient seul le rachis lombaire en arrière, phénomène de flexion-relaxation décrit par Floyd et Silver^{Floyd'50}. La mise en tension de ce système ligamentaire fait reculer L4 et L5, diminuant l'effort tranchant au niveau des articulations inter-apophysaires lombo-sacrées, mais soumet également l'arc postérieur à des contraintes élevées concentrées sur la partie inférieure du pédicule, responsables dans certaines circonstances de la fracture de l'isthme (lyse isthmique)^{Dietemann'95; Yamamoto'90}.

L'*inclinaison latérale* unilatérale (droite ou gauche) se chiffre entre 20 et 28°^{Castaing'79; White'90; Yamamoto'89; Pearcy'84}, avec une forte limitation (amplitude quasi-nulle) au niveau L5/S1, du fait de l'existence des ligaments ilio-lombaires.

La *rotation axiale* est très réduite au niveau lombaire, du fait de la configuration des articulations zygapophysaires; ce mouvement se produit autour d'un axe situé en zone postérieure, sollicitant ainsi le disque intervertébral en cisaillement, ce qui le limite fortement (entre 5°^{Kapandji'86} et 13°^{White'90; Yamamoto'89; Pearcy'84}).

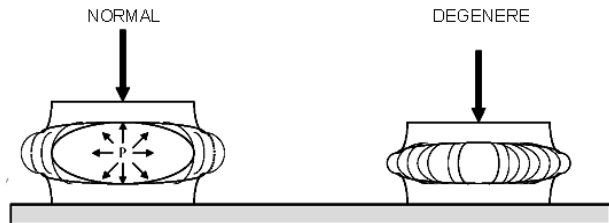
Etant donné que l'inclinaison latérale et la rotation axiale sont couplées (du à la disposition des facettes articulaires postérieures^{Mayoux-Benhamou'94; Panjabi'89}) **les efforts appliqués sur les disques intervertébraux lors des mouvements physiologiques sont une combinaison de compression, traction et cisaillement.**

2.3.3 Définition des efforts supportés par le rachis lombaire

Parmi les efforts supportés par les disques intervertébraux lors de mouvements physiologiques (décrits précédemment), la combinaison de forces de traction et de cisaillement semble plus nocive pour le disque que l'excès de forces de compression, comme montré par Farfan et al^{Farfan'70}. En général, la charge compressive résulte du poids du corps, du transport éventuel de charges et des forces musculaires opposées et elle est transmise au niveau du segment fonctionnel

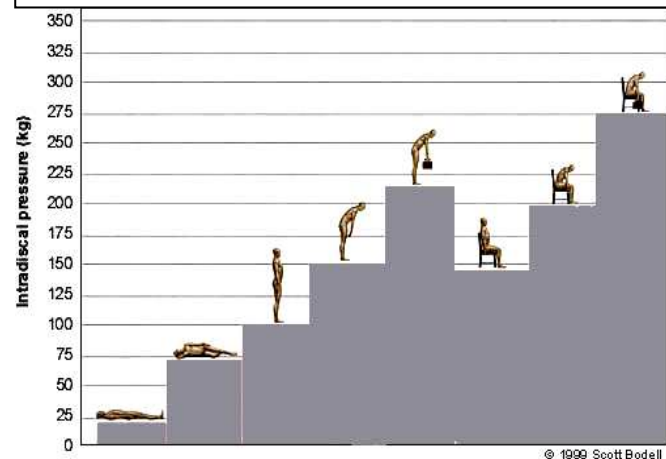
Mayoux-Benhamou⁹⁴ d'une plaque cartilagineuse vertébrale à l'autre par l'intermédiaire de l'annulus et du nucleus. Le nucleus, déformable mais incompressible, transforme les forces axiales en forces radiales (Figure 13) : la forte pression dans le nucleus refoule l'annulus et les plaques cartilagineuses intervertébrales. L'annulus se déforme, mais il reprend ensuite sa forme initiale grâce à ses propriétés élastiques, liées notamment à l'obliquité inversée des fibres des lamelles successives. Quand le disque est dégénéré (Figure 13), la charge est transmise directement par l'annulus car la pression est insuffisante dans le nucleus, donc les pressions exercées sur les plaques cartilagineuses vertébrales sont distribuées en périphérie.

Figure 13 : Transmission des charges au niveau du disque (selon White et Paniabi).



Les contraintes subies par les disques intervertébraux varient avec la posture, comme montré par les mesures de la pression intradiscale (Figure 14) qui ont mis en évidence une augmentation en position assise versus debout (équivalente à une charge de 100-175 kg selon sujet) et par mise en tension de la cavité abdominale (expir forcé), en opposition avec la contention lombaire (ou elle diminue de 25%) Nachemson^{81, '95}.

Figure 14 : Variations de la pression intradiscale avec la posture (Nachemson 1981).



En statique, à chaque étage vertébral existe un équilibre entre :

- le poids du segment corporel sus-jacent,
- la tension des muscles spinaux et des ligaments postérieurs, en arrière,
- la tension des muscles abdominaux, du ligament vertébral commun antérieur, et la force correspondant à la pression régnant dans la cavité thoraco-abdominale, en avant.
- la réaction du segment rachidien sous-jacent.

Les études de Schultz et al^{Schultz/82} ont montré que la résultante de ces forces a une composante de compression et deux composantes de cisaillement (antérieur ou postérieur et latéral), qui s'appliquent au centre du plateau vertébral supérieur. Une étude ultérieure de Lavaste et al^{Lavaste⁹⁰} montre une prépondérance des composantes de compression sur les composantes de cisaillement, le rapport moyen étant de 10, sauf en position verticale où ce rapport est égal à 2 notamment pour L5/S1. Certains auteurs^{Templier^{98b}} attribuent ce résultat à la forte inclinaison du plateau sacré, induisant une répartition équilibrée de la charge verticale entre compression et cisaillement.

Les charges globales supportées par le rachis lombaire, modélisées par Morris^{Morris⁶¹}, Maquet et Bartelink^{Mangione⁹⁷}, ont été représentées par Kapandji^{Kapandji⁸⁶} de la manière suivante (Figure 15) : le poids de la partie supérieure du tronc P exerce un moment fléchissant lors de la flexion vers l'avant (grand bras de levier), équilibré par les muscles spinaux (bras de levier 7 à 8 fois plus

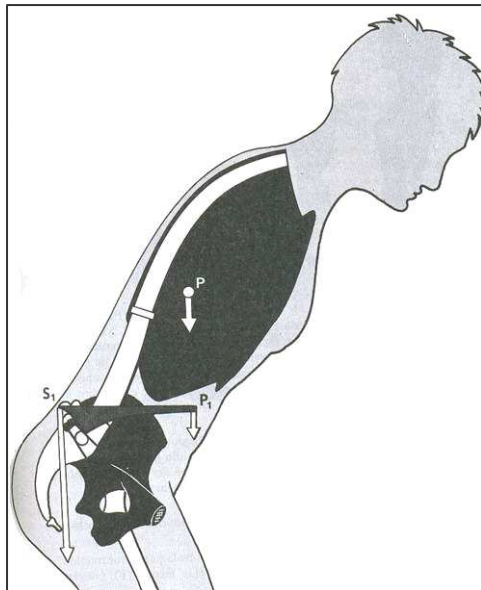


Figure 15 : Modélisation des efforts supportés par le rachis lombaire (selon Morris et Kapandji^{Kapandji'86; Morris'61}).

court) à travers une force S_1 qui doit être 7 à 8 fois plus grande que le poids P_1 . De cette façon, la force s'exerçant sur le disque lombo-sacré est égale à la somme de P_1 et S_1 et augmente avec le degré de flexion du sujet (bras de levier) et avec le port de charges.

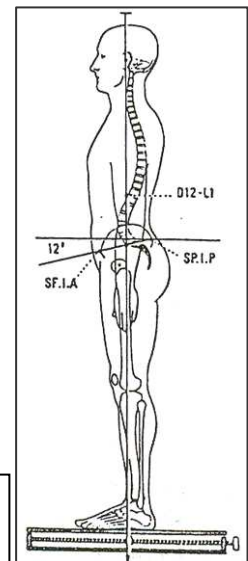
Comme le poids de la portion du corps sus-jacente à l'étage rachidien considéré et son centre de gravité peuvent être déterminés par barycentrométrie^{Duval-Beaupère'92}, des nombreux chercheurs se sont penchés sur l'analyse des charges supportées par le rachis^{Lavaste'90; Lavaste'92; Nachemson'81, '95; Skalli'93; Wilke'01}. Ainsi, pour un sujet de taille moyenne^{Maquet'81} en statique debout les charges supportées (normalement environ 400-450 kg) peuvent aller jusqu'à 1200 kg, ce qui dépasse la limite de rupture calculée pour les disques asymptomatiques : 500-800 kg et pour ceux dégénérés (personnes âgées) : 150 kg

^{Mangione'97}. De plus, pour le rachis *en mouvement* il faut considérer la force multipliée par le bras de levier, ce qui fait que la charge supportée par exemple lors d'une flexion du tronc de 20° est équivalente à 200% du poids du corps entier^{Mayoux-Benhamou'94} et elle augmente avec le port de charges.

2.3.4 Notion d'équilibre

L'équilibre de forces décrit précédemment nous ramène à la notion d'équilibre, qui repose, pour le rachis antéro-postérieur, sur la distribution harmonieuse des courbures vertébrales. Son étude commence en 1509 avec la description de l'axe d'équilibre du tronc par Léonard de Vinci, étant développé à partir de 1950 par les travaux de Delmas, Stagnara^{Stagnara'82}, Bernhardt^{Bernhardt'89}, Mangione^{Mangione'97} et Marnay^{Marnay'88}, qui stipulent qu'en état d'équilibre, les conduits auditifs externes (CAE), les vertèbres C7 et L5 et les centres des têtes fémorales et de la cheville sont alignées sur la même verticale, axe mécanique

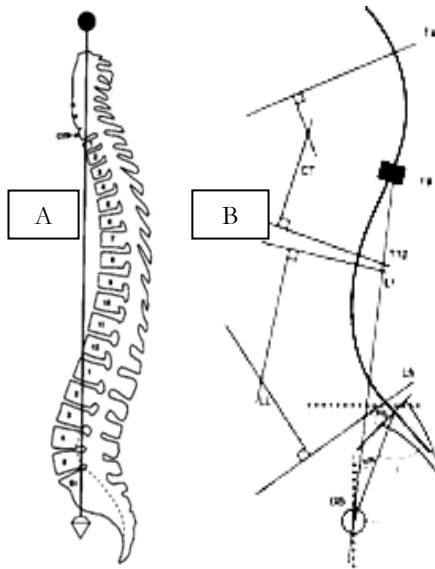
Figure 16 : Position de l'axe de gravité par rapport aux articulations^{Mangione'97}.



du corps ou se projettent les résultantes des centres de gravité instantanés (Figure 16). D'après Vidal et Marnay^{Vidal'83}, l'axe vertical passant par le conduit auditif externe se trouve à l'aplomb du tiers antérieur du disque intervertébral L5-S1 et des têtes fémorales, tout déplacement de l'axe aboutissant à un déséquilibre avec surcharge sur la charnière lombosacrée.

Les travaux de During^{During'85}, Jackson^{Jackson'00a}, Gelb^{Gelb'95}, Duval Beaupère^{Duval-Beaupère'87}, Legaye^{Legaye'98; Legaye'05}, Vialle^{Vialle'05} et Guigui^{Guigui'03} montrent analytiquement l'unicité de la configuration rachidienne de chaque individu, bassin compris, qui peut être décrite par certains paramètres **radiologiques** (Figure 17 A. la plumbligne de C7 de Jackson^{Jackson'00a} et B paramètres rachidiens et pelviens proposés par Duval-Beaupère^{Wodecki'02}) quantifiant sa posture. Ces paramètres rachidiens et pelviens sont liés entre eux (relation mise en évidence par des relations

Figure 17 : Evaluation de la posture et de l'équilibre par paramètres



mathématiques) afin d'assurer un équilibre stable le plus économique possible ^{Duval-Beaupère'87;Legaye'05}. Ces relations mesurables au niveau macroscopique sont reflétées

aussi par les contraintes subies par les segments fonctionnels; par exemple, la variation de la lordose a une influence sur la pression discale, qui est plus élevée en position assise que debout.

Lorsque des troubles posturaux surviennent, la transmission des charges dans le rachis en conditions statiques et dynamiques est modifiée et des mécanismes compensatoires complexes seront mis en place, surtout au niveau du système musculo-ligamentaire, afin de retrouver un équilibre stable. Toutefois, cette nouvelle condition est moins économique et peut engendrer des douleurs et des dysfonctionnements ponctuels ou chroniques qui demandent, à terme, une prise en charge thérapeutique.

3 RACHIS LOMBAIRE PATHOLOGIQUE

Ce travail de thèse concerne les résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire pathologique et leur relation avec les paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de routine. Vu l'étendue du domaine des pathologies du rachis lombaire et l'importance socio-économique du traitement des lombalgies associées à ces pathologies ^{Coppes'00}, nous avons limité cette étude aux affections en relation avec des douleurs dites « mécaniques » et dont l'évolution avant et après traitement fait appel à des notions biomécaniques pour un suivi à moyen ou à long terme. Ce choix est motivé par des études épidémiologiques montrant une incidence des lombalgies de 60-90% (annuelle de 5%), due principalement à des désordres mécaniques du rachis lombaire et responsable d'importants coûts au niveau de la société (1,35 milliards d'euro par an, auxquels s'ajoutent les coûts des arrêts de travail, des hospitalisations, des gestes chirurgicaux, des invalidités et les coûts difficilement calculables des conséquences sociales, économiques et psychologiques individuelles, chiffre estimé pour l'année 1995 par l'INSERM) ^{Coppes'00;Poiraudau'94}.

Nous présenterons d'abord sommairement les pathologies rachidiennes lombaires, selon leur mécanisme anatomopathogénique, pour nous focaliser ensuite sur la description des pathologies liées aux lombalgies (sélectionnées). Les examens en imagerie et les principes de base (voie d'abord, gestes, techniques) des traitements chirurgicaux seront mentionnés par la suite, afin de comprendre le contexte dans lequel un rachis pathologique traité évoluera et la spécificité de son évaluation dans le temps.

3.1 Généralités

On décrit plusieurs types de pathologies affectant le rachis lombaire, classés selon leur

mécanismes anatomopathogéniques en : maladies du métabolisme osseux, infections, tumeurs, déformations, traumatismes et dégénérescences.

L'*ostéoporose* est une des plus connues maladies affectant le métabolisme osseux, caractérisée par une raréfaction du tissu osseux, sans décalcification entraînant une perte des qualités mécaniques des tissus osseux et une fragilisation générale de la colonne; affectant surtout la population âgée, elle ne sera pas présentée dans ce document.

Les *infections* sont des pathologies peu fréquentes pour le rachis lombaire, qui suppose la présence d'un agent microbien - leur évolution avant et après traitement médicamenteux est évaluée principalement par des examens immunologiques et biochimiques.

Les *tumeurs* – primaires ou des métastases à localisation lombaire – sont liées à des mécanismes anatomopathogéniques complexes ; en raison de leur fréquence (environ 10%^{Larson'99}) dans la population globale et de leur traitement principalement non-biomécanique, elles ne seront pas traitées dans ce document.

Les *déformations* du rachis lombaire, représentées surtout par la scoliose, font l'objet de nombreuses recherches couplant biomécanique avec génétique et biochimie ; étant donné leur étude exhaustive en 3D^{Lafage'01}, nous avons choisi d'exclure cette pathologie de notre étude.

Les *traumatismes* impliquent des altérations de structure (géométrie) et de fonction dues souvent à un événement traumatique imprédictible (chute, accident etc). Représentées principalement par les fractures, leur diagnostic et leur traitement ont été largement présentés dans la littérature^{Roy-Camille'85}.

Les *pathologies dégénératives du rachis lombaire*, le plus fréquemment à l'origine des douleurs lomboradiculaires^{van den Bosch'04}, sont représentées par les discopathies dégénératives pures (formes d'arthrose articulaire), les hernies discales et les séquelles de hernie discale opérées - dégénérescence post-décompression), les sténoses lombaires, souvent associés à un spondylolisthesis dégénératif, et les scoliose dégénératives^{ANAES'00}.

Pour les raisons présentées au début de ce chapitre et afin de ne pas surcharger ce document, nous avons limité notre étude à des pathologies dégénératives sans déformation, auxquelles on rajoute le *spondylolisthesis par lyse isthmique*, malgré son étiologie non-dégénérative (fracture de fatigue de l'isthme de L5 le plus souvent) car son diagnostic et son traitement sont liées à des éléments spécifiques discutés dans ce mémoire (lombalgie mécanique, listhesis, équilibre).

3.2 Pathologies dégénératives du rachis lombaire

Une étude récente^{van den Bosch'04} met en évidence sur 2007 dossiers radiologiques une prévalence de 0,8% pour les infections, 0,7% pour les tumeurs et 4% pour les fractures du rachis lombaire, ainsi que des valeurs qui augmentent avec l'âge pour les dégénérescences discales, atteignant 71% chez les patients entre 65 et 74 ans. La prévalence des dégénérescences discales (pour poids et âges comparables) présente des différences selon les pays^{Yoshimura'00;Mijiyawa'00} mais une estimation précise est difficile en raison du regroupement dans la littérature de plusieurs pathologies sous le terme de « low back pain », qui à un caractère beaucoup plus large.

Bien que l'étiologie de ces affections soit partagée entre l'âge, les traumatismes répétés, les facteurs immunobiochimiques ou génétiques, il est reconnu que certains mouvements et conditions professionnelles augmentent le risque de dégénérescence lombaire. On note dans cette dernière catégorie certaines disciplines athlétiques^{Ong'03;Bono'04;Schmitt'04}, les travaux de force, mais également les emplois stressants^{Hartwig'97;Hartwig'03}, contraignant à des positions vicieuses prolongées, ce qui mène à leur classification en tant que maladies occupationnelles dans certains pays^{Elsner'97}. La fréquence et le retentissement des symptômes de ces pathologies tant à l'échelon individuel que sur le coût public d'une société, nécessite une réponse claire aux questions concernant le substratum anatomique, les facteurs prédisposants et les moyens diagnostiques et thérapeutiques mis en œuvre aujourd'hui.

3.2.1 Arthrose articulaire

Définie comme une dégénérescence évolutive de l'articulation intervertébrale^{Battie'04}, elle se traduit, au niveau du rachis lombaire, par une limitation de la mobilité accompagnée souvent de lombalgies. Les lésions dégénératives peuvent siéger sur les apophyses articulaires et/ou sur l'articulation intervertébrale antérieure (discopathie), leur évolution suivant un certain ordre chronologique^{Lerat'06}.

L'altération dégénérative du disque constitue habituellement la lésion initiale :

- Le nucléus pulposus commence sa dégénérescence. Il se déshydrate, se fragmente, le disque perd de son épaisseur (ou de sa hauteur).
- L'anneau fibreux peut se fissurer et des fragments du nucléus peuvent s'insinuer dans les fissures, en réalisant une hernie discale.
- Les ostéophytes apparaissent secondairement, surtout à la partie antérieure et latérale du corps vertébral, parfois à la partie postérieure (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 s'user, au même titre que toutes les articulations.
- Elles sont surchargées à cause du pincement du disque. Les interlignes se pincent et des ostéophytes peuvent se développer sur le pourtour des facettes
- Les ostéophytes, par leur volume, ont tendance à diminuer le calibre des trous de conjugaison et peuvent provoquer des radiculalgies. Ils peuvent aussi proliférer dans le canal médullaire en donnant une sténose ou canal lombaire étroit arthrosique.

L'instabilité

- L'usure des facettes, conjuguée au pincement du disque, peut favoriser le glissement vertébral en avant ou spondylolisthesis.
- 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 dans le sens d'un spondylolisthesis 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 (glissement en arrière)
- En plus de ces déplacements, peuvent se produire des subluxations latérales.

D'après^{Kirkaldy-Willis'82;Farfan'84}, l'évolution naturelle de ces lésions se fait vers une phase de stabilisation, quand la plupart des pathologies dégénératives lombaires deviennent symptomatiques, car les lésions arthrosiques sont très évoluées. Toutefois, même à cette phase,

l'arthrose articulaire pure (non associée à d'autres affections) représente rarement une indication pour le traitement chirurgical.

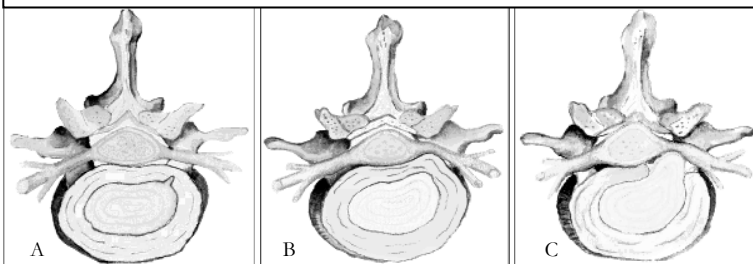
3.2.2 Instabilité intervertébrale

Il est difficile de définir l'instabilité intervertébrale, vu la grande variété de sens qu'on donne à ce terme ^{Templier'98b;Muggleton'00}. Initialement désignant tout trouble cinématique d'origine mécanique, il est assimilé à une perte de rigidité par Pope ^{Pope'91;Pope'92} et à une « *perte de la capacité du rachis à maintenir, dans les conditions physiologiques, ses rapports anatomiques normaux, au risque d'entraîner des signes d'irritation médullaire ou radiculaire, et/ou des douleurs ou des déformations invalidantes* » par White & Panjabi ^{White'90}. Le sens biomécanique du terme est associé à une anomalie de cinématique intervertébrale, objectivée soit par un axe de rotation intervertébrale atypique ^{Seligman'84}, soit par des rotations intervertébrales anormalement faibles ou anormalement élevées ^{Pope'85;Frymoyer'85;Fujiwara'00}. Cette condition ne semble pas corrélée à des paramètres cliniques et des mesures radiologiques pour Stokes ^{Pope'92;Stokes'87}; toutefois, des nombreux auteurs ^{Boden'90b;Herkowitz'95;Wood'94;Yone'96;McGregor'98} utilisent des indices radiologiques qualitatifs ou quantitatifs afin de la déceler. Nous avons retenu les critères utilisés par Guigui et al ^{Guigui'94}, qui tiennent compte des quatre types d'instabilité : rotatoire, translationnelle, rétrolisthésis et acquise iatrogénique, définis par Frymoyer et al ^{Frymoyer'85}. 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 ^{Dvorak'91b;Dvorak'91a} : 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 segmentale du rachis lombaire est considérée comme une cause majeure de lombalgies et radiculgies ^{Friberg'91} et constitue souvent un facteur important dans le choix de l'indication thérapeutique pour arthrodeuse avec décompression ^{Nachemson'91;Herkowitz'95;Muggleton'00;Iguchi'03}.

3.2.3 Hernie discale

La hernie discale lombaire est définie comme une saillie plus ou moins importante du matériel

Figure 18 : Formes évolutives de hernie. A-fissure de l'annulus, B-protrusion du matériel discal, C- prolapse ^{Fardon'01} & www.espalda.org



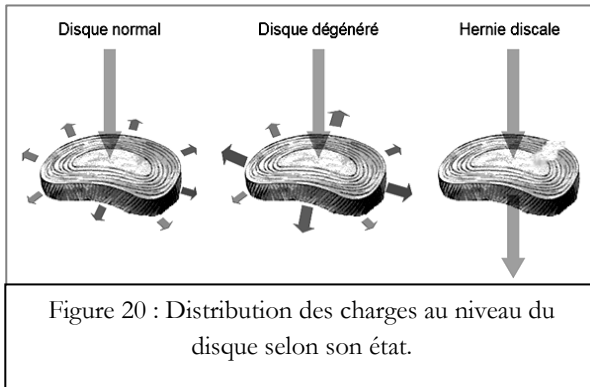
discal (**Figure 18**) à travers une déchirance de l'anneau fibreux, siégeant surtout au niveau de L4L5 ou L5S1 ^{Saal'96}.

Plusieurs termes ont été employés pour désigner cette affection, variant surtout selon le degré d'externalisation du nucleus ^{Fardon'01}.

Pour un disque dégénéré en flexion-compression, la hernie correspond à une migration (protrusion) postérieure et surtout postéro-latérale du nucleus pulposus, tirant sur les fibres de l'annulus ou en les fissurant, qui s'étend au final vers le canal rachidien. Le nucleus peut s'externaliser complètement, restant couvert par le ligament de la face postérieure de l'annulus (situation nommée prolapse) ou bien il peut dépasser ce ligament et se projeter dans le canal, devenant un « fragment discal séquestré ».

Dans toutes ces situations les structures nerveuses peuvent être comprimées, générant des lombalgies ou radiculalgies et d'importantes limitations fonctionnelles ^{Harris'03}.

Les facteurs étiologiques sont multiples : dégénérescence du disque liée à l'âge, traumatisme aigu, traumatismes de faible importance mais répétés ^{Wilder'88;Miller'88;Matsui'98}, déficiences structurelles de l'annulus ^{Tsuji'93}, facteurs biochimiques ^{Taylor'71} ou bien génétiques, responsables de la prédisposition héréditaire pour une hernie discale adulte ou juvénile ^{Simmons'96;Matsui'98}. Plus rarement, une arthrodèse rigide peut être à l'origine d'une hernie au niveau adjacent ^{Gertzbein'02}.



Une étude de Panagiotacopoulos ^{Panagiotacopoulos'87} montre des différences dans le comportement viscoélastique du disque selon son degré de hydratation (Figure 20). Cette transmission modifiée de charges et l'augmentation de la pression intradiscale en position assise et en flexion antérieure avec port de charges ^{Nachemson'81} peuvent expliquer l'exacerbation des symptômes douloureux ressentis par le patient

dans ces positions.

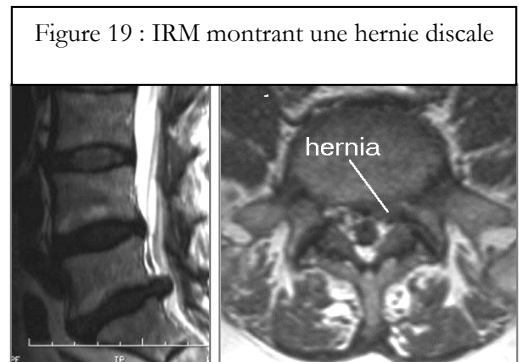
Le diagnostic de la hernie discale se fait principalement en clinique mais l'imagerie est nécessaire afin de donner une description correcte du problème. En raison de leur transparence sur la radiographie, les hernies discales sont mises en évidence sur les examens CT ou IRM (Figure 19), le dernier étant considéré le « gold standard » de l'exploration en imagerie pour cette affection ^{Humphreys'99}.

En cas de données peu concluantes, la discographie peut donner plus d'informations et reproduire la douleur.

Le traitement des hernies ^{Lerat'06} est principalement conservateur, basé sur une médication anti-inflammatoire et analgésique et repos. Dans les 10 -20 % d'échec de ce traitement et dans les formes hyperalgiques et paralysantes, une approche chirurgicale de décompression (techniques de discectomie ou nucleolyse, décrites sommairement en chapitre 3.4.2) est envisagée, habituellement par voie postérieure, une stabilisation par arthrodèse étant rarement nécessaire.

3.2.4 Spondylolisthesis

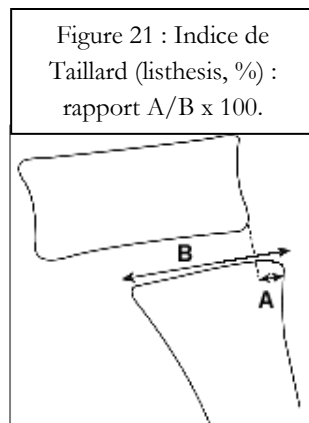
Le terme de spondylolisthesis (dérivé du grec "spondylos", vertèbre, et "olisthesis" glisser vers le bas sur une pente) a été introduit en 1854 par Killian et appliqué à diverses formes de glissement vertébral. Lié à la présence d'une lyse postérieure par Robert (1855), Lambl et Neubauer(1888), il est différencié en spondylolisthesis par lyse isthmique et spondylolisthesis dégénératif à partir de 1930, quand Junghanns décrit le spondylolisthésis à "arc neural intact", étudié ultérieurement par MacNab (1950) et Newmann (1963). Depuis, des nombreux auteurs ont cherché à préciser les aspects cliniques, radiologiques et thérapeutiques des ces deux formes indépendantes de spondylolisthesis ^{Louis'97;Nordin'91;Roy-Camille'79;Wiltse'76b;Taillard'76;Gill'84;Wiltse'83;Gill'55}. Malgré l'identification de



certaines facteurs de progression (le sexe féminin, l'obésité, les contraintes en hyper lordose, l'âge (adolescents en période de croissance)^{Blackburne'77} et la cyphose locale^{Dubouset'97}) l'évolutivité vers l'aggravation du déplacement vertébral demeure difficilement prédictible et peut être mise en évidence uniquement par une surveillance/observation systématique^{Frennered'91} du glissement vertébral.

Glissement vertébral (listhesis) et classification des spondylolisthesis

Pour les deux formes de spondylolisthesis (par lyse isthmique et dégénératif), le glissement du corps vertébral peut se dérouler vers l'avant (antelisthesis, prédominant) ou vers

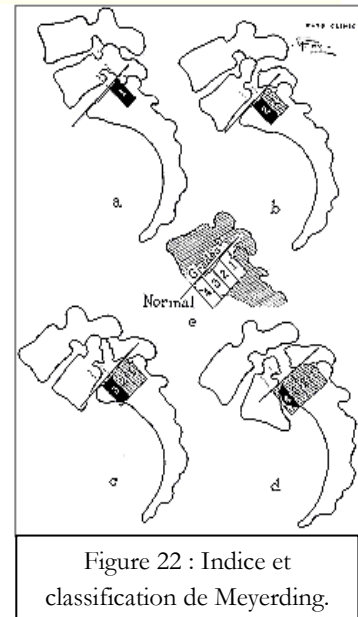


l'arrière (par bascule en cyphose = retrolisthesis). L'antelisthesis peut progresser jusqu'à une ptose, lorsque le corps vertébral perd le support du plateau vertébral sous jacent, sous l'effet du poids du tronc et de la traction du psoas sur le rachis lombaire. Plusieurs indices ont été proposés afin de quantifier le glissement, les plus utilisés étant décrits par la suite.

L'indice de Taillard^{Taillard'76} (Figure 21) évalue le rapport du glissement antéropostérieur de L5 sur la longueur du plateau supérieur de S1, à partir du repère du coin postéro-inférieur de la vertèbre listhésique, en pourcentage de la longueur antéro postérieure du plateau sacré sous jacent. En France, l'évaluation du glissement et du spondylolisthesis se fait en divisant le plateau sacré en trois tiers dans le sens antéropostérieur, de la manière suivante :

- Grade 0 (pas de glissement, ou spondylolyse sans glissement)
- Grade I glissement inférieur à 1/3 du plateau vertébral
- Grade II de 1/3 à 2/3, bord postérieur du corps vertébral en regard du milieu du plateau sacré
- Grade III plus de 2/3
- Grade IV glissement complet (ptose) au-delà de la limite antérieure du plateau sous-jacent.

L'indice de Meyerding^{Meyerding'32} est encore plus simple. Le plateau supérieur du S1 est divisé en quatre parties égales, correspondant chacune à un grade, la ptose représentant un 5ème. La Figure 22 présente la classification originale de Meyerding. Malgré les différences générés par la quotation selon Taillard(France) ou Meyerding(école anglo-saxonne), il est reconnu que les spondylolisthésis dont le glissement (index de Taillard) est inférieur à 33 % ont une évolution et des implications thérapeutiques différentes de ceux dont le glissement est plus important^{Seitsalo'91}. Dans les spondylolisthésis de haut grade, la partie antérieure du plateau vertébral sous-jacent prend un aspect arrondi ou oblique, avec un plateau à double pente^{Takahashi'00}, qui rend la mesure de l'index de Taillard peu précise.



Une autre classification des spondylolisthesis, appartient à Wiltse, Newmann et Macnab^{Wiltse'76b}, qui différencie 5 types essentiels. Le type I "dysplasique" et plutôt rare recouvre un ensemble de malformations congénitales de la charnière lombo sacrée chez l'enfant. Le type II est le type isthmique, avec une forme lytique IIA, une forme avec allongement de l'isthme sans lyse IIB, et

une forme traumatique aiguë avec fracture des isthmes IIC. Le type III correspond au spondylolisthesis dégénératif, le type IV est rare et traumatique et le type V comprend les conditions pathologiques locales (infection, tumeur) ou générales conduisant à la destruction des facettes, pédicules ou des isthmes. Au final, le type VI ajouté ultérieurement est le spondylolisthesis créée par la destruction chirurgicale de l'arc postérieur^{Brunet'84}. En raison de leur incidence, nous allons discuter par la suite les types II et III.

Spondylolisthesis par lyse isthmique (SPL i)

La présentation de cette pathologie^{Steib'05} est liée à la définition de la **spondylolyse** (Figure 23), 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^{Fabris'99}, ou chronique, quand la perte de continuité s'organise sous la forme d'un tissu fibreux^{Major'99} 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^{Belfi'06}, et beaucoup plus dans certains groupes ethniques (Eskimaux, Bushmen)^{Harvald'89;Simper'86;Virta'93;Vogt'03} et chez les sportifs où elle peut atteindre 11-20 %^{Rossi'01;Schmit'04}.

L'étiologie du spondylolisthesis par lyse isthmique est multifactorielle, impliquant une répétition de mouvements en hyper lordose^{Green'94}, des apophyses articulaires inférieures de grand volume à l'avant dernier niveau mobile qui crée un phénomène de butée au niveau de l'isthme aplati du dernier niveau mobile, cisailé par les apophyses articulaires sacrées, à l'origine d'un traumatisme aigu ou chronique. La hyperlordose, l'angle d'incidence élevé^{Schwab'97;Marty'02} et le plateau sacré arrondi "en dôme"^{Marty'02}, sont des facteurs d'aggravation du glissement. L'hypothèse des facteurs congénitaux et héréditaires, évoqués pour expliquer la fréquence accrue dans certaines populations^{Virta'93} et certaines familles^{Wynne-Davies'79}, ne se vérifie pas, vue l'absence du défaut isthmique chez le nouveau-né et l'enfant non ambulateur^{Rosenberg'81}. Lorsque l'isthme est rompu

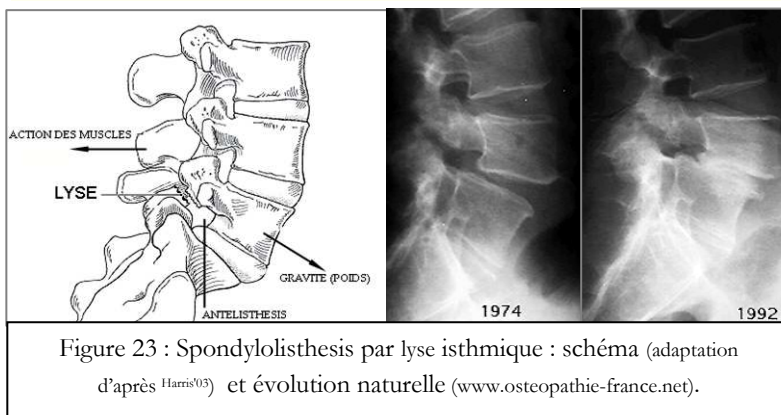


Figure 23 : Spondylolisthesis par lyse isthmique : schéma (adaptation d'après Harris'03) et évolution naturelle (www.osteopathie-france.net).

ou allongé de façon bilatérale, le corps vertébral libéré du contrôle de l'arc postérieur soumet le disque sous-jacent et les ligaments iliolumbaires à la totalité des contraintes de cisaillement qu'il subit, générant un listhésis plus ou moins important (Figure 23), selon les contraintes en cisaillement et la capacité de résistance de l'annulus^{Aihara'00}. L'instabilité qui se crée au final semble plus importante pour les spondylolisthesis L4L5 que pour ceux siégeant en L5S1^{Grobler'94}.

Le diagnostic du spondylolisthesis par lyse isthmique est basé sur l'imagerie, qui doit inclure une radiographie de face et de profil et un *cliché en incidence « trois quarts »*, qui met en évidence la lyse. 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).

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 la racine, avec ou sans correction du glissement, rétablir la lordose lombo-sacrée et stabiliser.

Chez l'enfant, les options chirurgicales disponibles sont la *réparation isthmique* 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 ^{Dietmann'95;Lerat'06;Louis'97;Steib'05;Nordin'91;Wiltse'76a;Roy-Camille'86;Cloward'81} : l'arthrodèse postéro-latérale (PL) non-instrumentée de Wiltse ^{Wiltse'76a}, l'arthrodèse PL 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, applicable depuis peu pour l'adulte (surtout pour les athlètes), qui requière l'intégrité du disque, et l'arthrodèse, préférée par la plupart de chirurgiens ^{Irwin'05}. Plusieurs techniques d'arthrodèse sont disponibles, comme mentionné précédemment, comprenant des gestes de *libération* (laminectomie de Gill ^{Gill'55}), de *stabilisation* (arthrodèse PL ou intersomatique) et de *réduction* pour les cas de glissements importants. La littérature montre une préférence pour les arthrodèses PL in situ dans les cas de glissements peu importants (<33%) et des arthrodèses intersomatiques avec réduction dans les cas contraires. Nous présenterons sommairement ces techniques dans le chapitre 3.4.

Spondylolisthesis dégénératif (SPL d)

Cette forme de spondylolisthesis s'observe le plus souvent à partir de 50 ans et chez la femme après la ménopause, siégeant essentiellement au niveau L4L5 (il peut exceptionnellement intéresser plusieurs étages). La destruction arthrosique des articulaires postérieures (Figure 24), favorisée par l'ostéoporose et le relâchement musculoligamentaire ^{Nordin'91}, autorise le glissement de la vertèbre et de tout le rachis sus-jacent. Ce glissement reste modéré (grade 1-2 selon Meyerding) ^{Bassewitz'01} mais l'arthrose interarticulaire favorise l'apparition des ostéophytes, souvent intracanalaires, et la protrusion postérieure du disque dégénéré, à l'origine des sténoses latérales et centrales, aggravées par l'épaississement du ligament jaune.

Le SPL dégénératif peut être accompagné sur un plan clinique de lomboradiculalgies d'intensité variable et de troubles neurologiques à l'origine de limitations fonctionnelles. Les patients

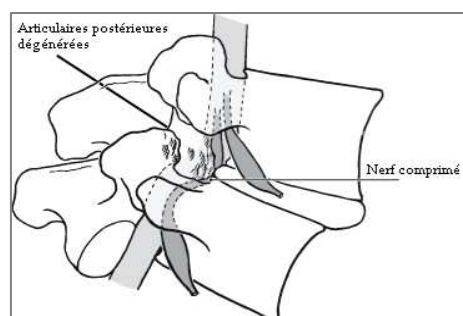


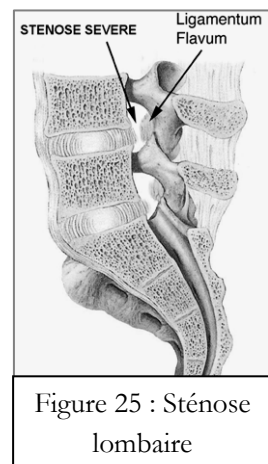
Figure 24 : Spondylolisthesis dégénératif (adaptation d'après Harris'03).

peuvent rester asymptomatiques ou être marqués par des lombalgies modérées ; dans ces cas ils sont traités médicalement (plus kinésithérapie), le traitement chirurgical étant réservé aux formes sévères ou présentant des troubles neurologiques importants.

Chez le sujet jeune le traitement chirurgical peut être envisagé par *arthrodèse non instrumentée par voie postéro-externe de Wiltse*, mais il impose une immobilisation prolongée^{de Loubresse⁹⁶}, il ne permet pas de réaliser une exploration intra canalaire, importante en cas de radiculalgie et rend difficile l'évaluation de la continuité de la greffe, ce qui fait déconseiller cette technique chez l'adulte et pour les spondylolisthésis de grade supérieur à I^{Boxall⁷⁹}. L'arthrodèse postéro-latérale instrumentée avec exploration intra canalaire^{Davis⁷⁶} et vissage pédiculaire est devenue l'intervention de référence^{Roy-Camille⁷⁹;Roy-Camille⁸⁶;Steffee⁹³;Ricciardi⁹⁵}, les autres options d'arthrodèse étant identiques à ceux décrits pour le traitement du spondylolisthésis par lyse isthmique. Ce choix semble motivé par les résultats équivalents des différentes techniques d'arthrodèse dans les formes peu déplacées, ainsi que par le moindre risque de complications.

3.2.5 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^{ANAES⁰⁰}. 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 (Figure 25), à une protrusion discale (hernie) ou au spondylolisthésis, comprimant les structures nerveuses (moelle ou nerfs), 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 multiniveaux de l'affection et une dégénérescence moins présente^{Singh⁰⁵} 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, seule la radiculographie en position debout permet de mettre en évidence la compression canalaire. Le traitement implique une libération par laminectomie ou par recalibrage des trous de conjugaison, complétée souvent par une arthrodèse^{Katz⁹¹;Rillardon^{03a}} surtout dans les cas où la sténose est associée à d'autres affections (spondylolisthésis dégénératif, scoliose etc.)^{Bassewitz⁰¹;Sengupta⁰³;Kornblum⁰⁴;Knaub⁰⁵}.



3.3 Exploration en imagerie du rachis lombaire pathologique

Ce sous-chapitre présentera rapidement l'intérêt des examens en imagerie pour les pathologies étudiées du rachis lombaire ainsi qu'une estimation de leur invasivité, cotée de zéro à *** étoiles^{Millette⁰³}.

3.3.1 La radiographie*

La radiographie est une technique qui a plus de 100 ans, basée sur l'atténuation différentielle des photons dans le spectre électromagnétique de rayons X par l'objet exploré. Le coût accessible, la bonne résolution spatiale et l'excellente définition du tissu osseux, ainsi que l'avantage de la projection en image d'une grande partie du rachis ont maintenu ce type d'examen au cœur de l'exploration en imagerie ^{Hitchon'94}.

La radiographie (Figure 26) de profil standard (A) montre la lordose physiologique et ses perturbations possibles : raideur liée à une contracture douloureuse ou bien hyperlordose, parfois liée à une insuffisance des muscles qui peut compenser une hyper-antéversion des hanches. Sur les clichés « grand-axe » (B) la visibilité des repères comme les conduits auditifs externes, têtes fémorales ainsi que de l'ensemble du rachis est importante, car elle permet l'évaluation des courbures physiologiques (cyphose, lordose) et d'autres paramètres liés à l'équilibre. La radiographie de face (C), essentielle dans le diagnostic de la scoliose, permet une bonne visualisation postéro-antérieure des disques lombaire qui sont, à l'exception de L5-S1, parallèles aux rayons (du à la lordose).

Figure 26 : Radiographies : de profil standard (A), grand-axe (B) et de face (C).



Figure 27 : Clichés dynamiques.



Les clichés dynamiques Figure 27 en flexion-extension permettent le diagnostic des anomalies cinématiques, de l'instabilité et de la fusion, d'où leur importance dans l'évaluation des pathologies étudiées. Chez les sujets asymptomatiques, le cliché en flexion montre un bâillement postérieur des disques, tandis qu'en hyperextension, les disques se pincent ; dans ce contexte, la persistance d'un disque qui bâille en arrière est symptomatique d'une hernie discale.

Les clichés en incidence « trois-quarts » peuvent montrer l'existence d'une spondylolyse, du à l'aspect caractéristique que prend l'arc postérieur (en raison des superpositions), ayant les contours d'un petit chien : museau -apophyse transverse, œil - pédicule, oreille -apophyse articulaire supérieure, pattes - apophyses articulaires inférieures, queue - apophyse épineuse et corps - lame (Figure 28). Le cou du petit chien correspond à l'isthme interarticulaire et l'image d'un petit collier est significative d'une lyse.

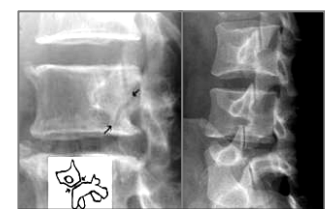


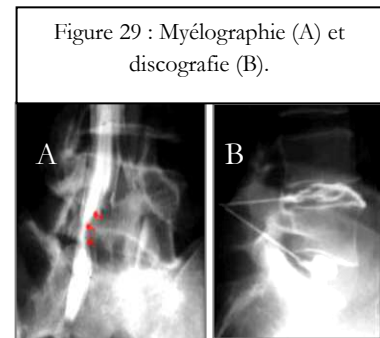
Figure 28 : Incidence oblique "trois-quarts".

3.3.2 La sacco-radiculographie**

L'injection intra-durale de produit de contraste permet de visualiser le contour des racines et du fourreau dural (Figure 29 A), ainsi que toute modification entraînée par un élément compressif, mais cette technique est plus difficile et invasive que la radiographie. Un avantage de la sacco-radiculographie (ou myélographie) réside dans la possibilité de faire des clichés dynamiques et des clichés en position debout, qui peuvent montrer des sténoses d'origine discale, non visibles en position couchée. La myélographie est actuellement souvent couplée au scanner (myelo-scanner).

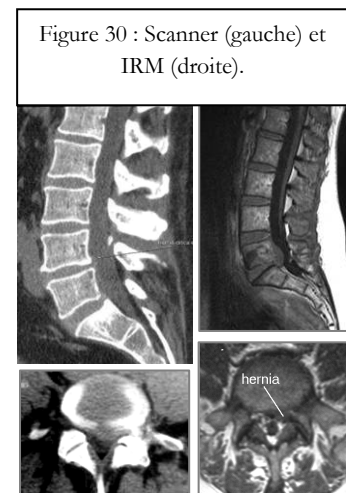
3.3.3 La discographie***

La discographie lombaire (Figure 29 B), par injection directe d'un produit de contraste dans le disque (voie postéro-latérale), permet de vérifier l'état du nucleus pulposus. Cette technique est moins accessible, invasive et relativement difficile, mais elle peut mettre en évidence certaines discopathies (notamment des hernies discales) et peut reproduire et localiser la douleur ressentie par le patient, par augmentation de la pression intra-discale, lors de l'injection du produit de contraste dans le disque dégénéré.



3.3.4 Le scanner (CT) ***

La tomodensitométrie computerisée (Figure 30) permet d'obtenir des coupes transversales, particulièrement utiles pour mesurer le calibre du canal médullaire, qui peut être congénitalement étroit ou rétréci par des hernies discales, des tumeurs, des ostéophytes etc. Le scanner montre aussi les hernies discales très latérales qui échappent à la sacco-radiculographie (hernies intra-foraminales) et il peut être couplé à la discographie. Toutefois, cet examen en position couché évalue un court segment spinal et il est limité pour les affections intra-durales et les hernies antérieures.



3.3.5 L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

Cet examen non invasif et sans rayons X donne des bonnes images des tissus mous et de l'os. L'état de dégénérescence des disques peut être apprécié directement par l'image (Figure 30), puisque l'IRM donne un reflet précis du taux d'hydratation du nucleus (un disque pathologique est très déshydraté par rapport à un disque normal, qui contient 80 % d'eau). On peut visualiser aussi les contours des disques et tous les éléments compressifs intra canalaires. Bien qu'il permette une étude du rachis plus étendue par rapport au scanner, l'examen IRM est moins accessible (prix, claustrophobie) et ne peut pour l'instant quantifier l'équilibre et la posture (examen en position couché).

3.4 Traitement chirurgical des pathologies dégénératives du rachis lombaire

Quand le traitement conservateur échoue, une stratégie chirurgicale s'impose, 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 et à abolir ou restaurer la mobilité du segment fonctionnel traité, de manière à préserver durablement l'amélioration obtenue. Nous limiterons notre exposé à une description sommaire des principales techniques utilisées lors des différents traitements chirurgicaux.

3.4.1 Les voies d'abord

Ce terme désigne l'accès choisi par le chirurgien pour atteindre une certaine structure (rachis lombaire) sous un angle donné et selon l'intervention. Pour le rachis lombaire les voies d'abord

consacrées sont : postérieure, antérieure et double (réunissant les deux précédentes).

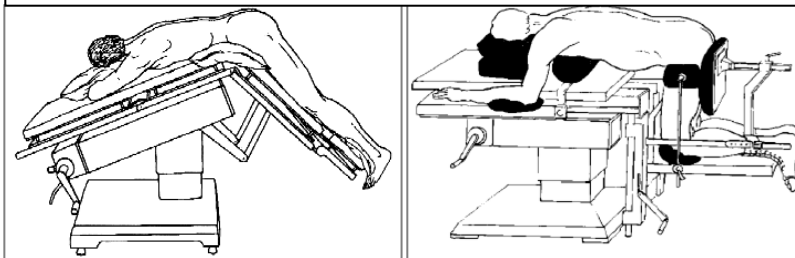
Postérieure

La plupart des interventions en chirurgie du rachis se font par voie d'abord postérieure classique, choisissant entre le décubitus ventral et la position genupectorale selon les habitudes chirurgicales, la technique anesthésique et le patient^{Bruder'96;Lassale'95;Templier'98b}.

Voie d'abord postérieure classique

Le **décubitus ventral** (Figure 31 A) a l'avantage d'une installation rapide et d'un alignement vertébral permettant un repérage chirurgical facile. En revanche, la compression abdominale

Figure 31 : Abord postérieur classique : décubitus ventral (gauche) et position genupectorale (droite).



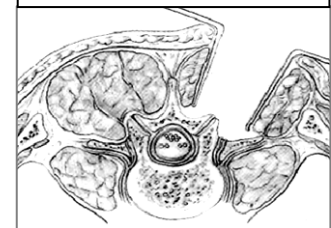
générée par cette position nécessite une surélévation des crêtes iliaques, voire du thorax, mesures souvent insuffisantes chez le sujet obèse. Ceci motive le choix d'une **position genupectorale** (hanches et genoux fléchis à 90°, Figure 31

B), qui permet de libérer entièrement l'abdomen grâce à des appuis au niveau du thorax et des membres inférieurs et entraîne une tension moindre des masses musculaires paravertébrales qui doivent être écartées. L'incision est **médiane**, centrée sur les apophyses épineuses des vertèbres à traiter ; cette voie nécessite une désinsertion des muscles paraspiniaux et une bonne hémostase.

Voie d'abord postéro-latérale

A partir d'une installation identique du patient, Wiltse a décrit un abord transmusculaire postérolatéral (Figure 32) qui présente un abord des massifs articulaires, des apophyses transverses et de l'aileron sacré plus directe et moins traumatisant que dans la voie d'abord médiane. Les avantages sont : un moindre saignement, l'abord des hernies extraforaminales et des visées pédiculaires plus faciles.

Figure 32 : Abord postéro-latéral de Wiltse.

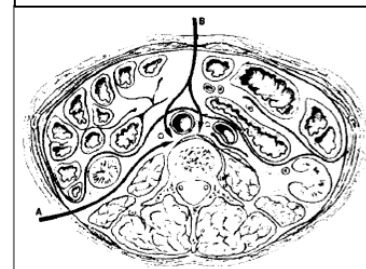


Antérieure

Voie d'abord antérieure rétropéritonéale

Cette voie, qui présente l'avantage de préserver l'intégrité du péritoine, donne accès aux faces antérieures et antérolatérale du rachis lombaire, de L1 à L5. (Figure 33). Le patient est souvent installé en décubitus latéral droit (Figure 34 A). L'incision cutanée débute en arrière de la pointe de la 12e côte et se termine en avant le long de la gaine du grand droit à mi-distance entre l'ombilic et la symphyse pubienne après avoir contourné l'épine iliaque antérosupérieure. Cette voie d'abord, relativement rapide, est délicate en raison de la présence de l'aorte et de la veine cave.

Figure 33 : Voies antéro-latérale (A) et antérieure pure (B).

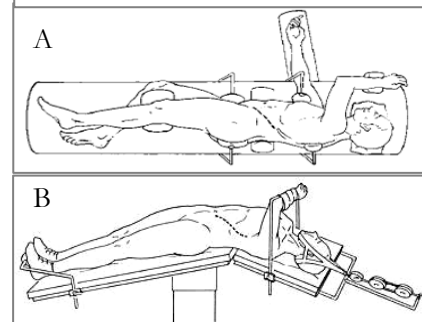


Voie d'abord antérieure transpéritonéale

Cette voie, plus technique et moins utilisée que la précédente, permet une exposition des deux

faces latérales du corps vertébral de L3, situé au sommet de la lordose lombaire. Le patient est installé en décubitus dorsal ou légèrement incliné (idem Figure 34 B) afin de permettre le déplacement du contenu abdominal cranial par rapport au segment à traiter. Un billot permet d'augmenter la lordose lombaire. L'incision cutanée est médiane de part et d'autre de l'ombilic. Après la traversée du péritoine et des viscères, l'accès du rachis est réalisé à gauche de l'aorte, ou à sa droite, entre l'aorte et la veine cave. L'abord antérieur trans ou rétropéritonéal peut s'effectuer également par **techniques endoscopiques**, surtout dans les arthrodèses antérieures avec cages, qui ont montré des bons résultats et une invasivité réduite pour le patient.

Figure 34 : Installation du patient.



La voie double

Cette technique, utilisée pour une fusion à 360°, implique un abord postérieur (habituellement celui de Wiltse) et un abord antérieur, habituellement transpéritonéal pour le niveau L5S1 et rétropéritonéal pour les autres niveaux lombaires^{Gwilym'05}.

3.4.2 Gestes chirurgicaux

Habituellement, le traitement chirurgical des pathologies rachidiennes lombaires a quatre principes de base, qui peuvent être utilisés seuls ou en combinaison, selon les cas : *décompression/libération* visant l'excision des éléments comprimant les structures nerveuses (et responsables de la douleur et des limitations fonctionnelles), *arthrodèse* (fusion pour empêcher le mouvement) avec ou sans réduction du glissement dans les cas de spondylolisthésis de haut grade et *ostéosynthèse* (en support pour la fusion). Dans certains cas, une *restauration fonctionnelle* peut être envisagée à la place de la fusion. Les grandes lignes des gestes chirurgicaux associés à ces principes seront présentées sommairement dans la suite.

Décompression

Les gestes de décompression ou « libération » sont dédiés à l'ablation des éléments comprimant la dure-mère ou les racines. Les éléments osseux réséqués constituent la totalité ou une partie du greffon employé en cas d'arthrodèse.

Dissectomie

En présence d'une hernie discale invalidante, il est souvent nécessaire de libérer les racines comprimées par un geste postérieur consistant à réséquer la matière discale incriminée, voire la totalité du nucleus pulposus. Les principes généraux^{Lerat'06} de la *dissectomie classique* sont : exposition des arcs postérieurs en écartant les muscles spinaux, excision ou décollement du ligament jaune entre les lames, exposition de la racine comprimée par la hernie et ablation de la hernie et du nucleus à la pince spéciale. L'annulus fibrosus et le ligament intervertébral ne conserveront qu'une trace minimale de l'excision ; ainsi, le disque sera déstabilisé le moins possible, bien que l'évolution tardive se fera vers un pincement de l'espace. Un abord micro-chirurgical (*micro-dissectomie*^{Delamarter'97}, devenue gold-standard) permet une incision plus courte, un décollement et une rétraction moins importante des muscles paravertébraux et une laminectomie plus limitée^{Bruder'96}. Deux avancées

récentes sont la *discectomie micro-endoscopique* (avec des résultats comparables à la microdiscectomie pour une complexité importante) et la « *coblation* »^{Marin'05} qui est une version de micro discectomie moins traumatisante pour l'annulus.

Chémonucleolyse

Cette technique, appliquée dans les cas de hernie sous-ligamentaire, consiste à injecter à l'intérieur du disque une enzyme (la discase ou chimiopapaïne), après mise en place d'une aiguille sous repérage radiologique. La totalité du nucléus est alors détruite par l'enzyme qui respecte l'annulus (en cas de hernie exclue l'enzyme risquerait d'endommager les éléments nerveux).

Cette méthode apporte 70 % des résultats satisfaisants pour les sciatalgies mais la destruction complète du nucléus génère un pincement de l'espace discal qui évoluera vers l'arthrose et peut laisser persister des lombalgies transitoires. D'autres inconvénients de cette méthode sont l'existence de réactions anaphylactiques (liées à l'enzyme) et la contre-indication chez les sujets allergiques, pour ceux qui ont ingéré des papayes (anticorps) et ceux qui ont déjà subi une chémonucleolyse. Malgré un taux de succès légèrement inférieur à la discectomie^{Stevens'97}, la durée d'hospitalisation plus courte et les suites opératoires plus simples recommandent cette méthode en première intention quand elle est possible^{Bruder'96}.

Nucleotomie percutanée

Cette technique, moins utilisée actuellement, s'adresse également aux hernies sous ligamentaires. Lorsque la discographie montre l'intégrité du ligament postérieur, on peut introduire dans le disque une canule d'un plus gros calibre, et procéder à la nucleotomie manuellement ou en percutané (micro aspiration). Le disque est ainsi décomprimé, sans altérer l'annulus ni le ligament ; cette méthode ne présente pas le risque de pincement précoce de l'espace discal car le volume de nucléus enlevé est faible, mais les récurrences et la persistance des radiculairegies sont plus fréquentes que pour la chémonucleolyse.

Laminectomie

La laminectomie (Figure 35) est une intervention chirurgicale fréquente permettant une libération radiculaire ou canalaire, qui consiste en une résection partielle ou totale des lames postérieures de l'arc neural, offrant également accès à la dure mère. Cette résection est parfois réalisée sur plusieurs niveaux adjacents^{Lassale'95}. Dans les cas de spondylolisthésis elle comprend aussi la résection des ligaments jaune sus- et sous-jacents et des nodules de Gill^{Gill}.

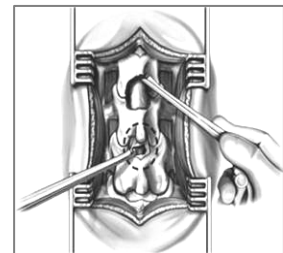


Figure 35 :
Laminectomie.

Facetectomie

Les facettes articulaires dégénérées peuvent être associées à une production ostéophytique entraînant des compressions radiculaires. Dans ce cas la libération peut s'effectuer par ablation des facettes articulaires du niveau pathologique.

Stabilisation : arthrodèse

L'arthrodèse est la réponse la plus courante à l'instabilité générée par une pathologie, un traitement (iatrogène) ou certains gestes de décompression. Les arthrodèses, qui peuvent être

intersomatiques ou postéro-latérales, ont pour objectif la fusion osseuse intervertébrale par apposition de greffon ; souvent, un matériel *d'ostéosynthèse* est utilisé pour assurer la stabilité primaire du greffon. Cette solution sacrifie la mobilité segmentaire pour la "stabilité".

Nature du greffon

Le greffon est le plus souvent prélevé sur le patient opéré (autogreffe) et constitué des éléments osseux réséqués (arc postérieur), complétés si besoin par un prélèvement iliaque spongieux ou tri-cortical (le dernier est 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 ; les inconvénients de ce greffon sont la quantité qui peut être récoltée et la douleur du site donneur. Les alternatives à l'autogreffe sont : banque de greffons (allogreffe), greffon de nature animale (xéno greffe), substitut osseux ou, dans le futur, des biomatériaux injectables par voie percutanée ^{Boden⁹⁹}, avec la mention que tous ces substituts osseux agissent uniquement en tant que matrice ostéoconductrice. Des études récentes ont comparé différents type de greffon pour une même technique chirurgicale, annonçant des résultats comparables entre les autogreffes et les substituts osseux ^{Vaccaro⁰⁵}.

Classification des arthrodèses

Selon la voie d'abord et la localisation du greffon, les arthrodèses sont classées en postérieures, postéro-latérales, intersomatiques et circonférentielles, leurs principales caractéristiques étant présentées dans la suite.

Arthrodèse postérieure

Décrite par Hibbs et Albee en 1911, cette fusion interlaminaire est par définition postérieure aux pédicules mais biomécaniquement insuffisante et ne permet pas des décompressions postérieures majeures ^{Coppes⁰⁰}, raisons qui ont mené à une rare utilisation.

Arthrodèse postéro-latérale (une des plus fréquentes)

Basée sur les travaux de Hibbs, Campbell et des nombreux auteurs ^{Louis⁹⁷;Boxall⁷⁹;Roy-Camille⁸⁶;Duboussset⁹⁷} qui l'ont amélioré dans le temps ^{Pouget⁷⁹}, cette technique (Figure 36) repose sur le principe d'une fusion intertransversaire latérale solide, qui permet une combinaison avec la décompression et une instrumentation postérieure. L'arthrodèse *in situ sans instrumentation* ^{Jouve⁰¹} est conduite par deux voies paramédianes permettant un abord direct des transverses à travers les muscles paraspiniaux. Après avivement des transverses, des massifs articulaires et de la face postérieure du sacrum, une greffe iliaque est disposée au contact des zones osseuses avivées, permettant de constituer un large pont osseux ^{Nordin⁹¹}.

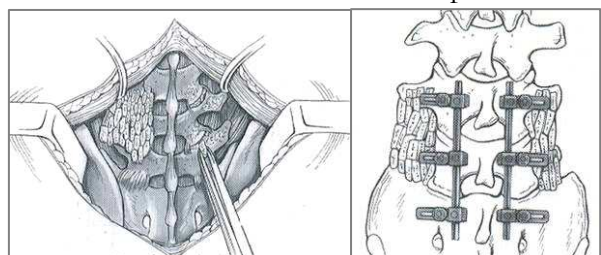


Figure 36 : Arthrodèse postéro-latérale ^{Larson⁹⁹}.

L'avantage de cette technique est dans le respect du hauban musculaire et ligamentaire médian postérieur, favorisant la stabilité et la consolidation de la greffe. Les inconvénients sont l'impossibilité de réaliser une ostéosynthèse et la difficulté à effectuer une décompression par résection de l'arc postérieur. L'arthrodèse postérolatérale *avec instrumentation* (Figure 36) se fait par

une voie d'abord médiane selon les mêmes étapes : dissection des tissus mous et exposition des transverses, des capsules articulaires postérieures et de la face postérieure du sacrum, avivement de ces parties et apposition de la greffe iliaque, offrant en plus la possibilité d'effectuer une décompression et de renforcer la stabilisation par la mise en place d'un matériel d'ostéosynthèse. Cette technique nécessite des décollements importants afin de réaliser un avivement satisfaisant des transverses, mais la stabilisation obtenue semble favoriser la fusion ; de plus, elle permet une contention légère postopératoire qui facilite la reprise des activités.

Arthrodèse intersomatique postérieure ou P.L.I.F. (Posterior Lumbar Interbody Fusion)

Née des études de Briggs (1945) et Jaslow (1946) et de l'idée de Cloward de restituer la hauteur discale^{Cloward'53}, cette technique a été beaucoup développée depuis 1950^{Lin'85;Lerat'84;Ray'97}. Les différentes techniques émergentes suivent deux modèles principaux^{Dietemann'95} : celui de Wiltberger (Figure 37, A), qui utilise des greffons cortico-spongieux apposés dans une tranchée cylindrique intersomatique, et celui de Cloward (Figure 37, B), développé en France par Lerat, qui utilise un écarteur intersomatique permettant la mise en place de quatre greffons corticospongieux ; contrairement à la technique précédente, ce geste redonne de l'hauteur à l'espace L5S1, bien que la greffe reste assez postérieure.

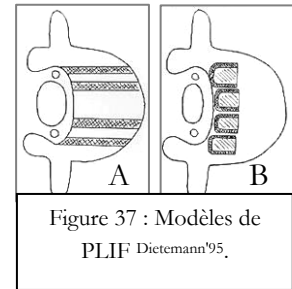


Figure 37 : Modèles de PLIF^{Dietemann'95}.

La technique actuelle peut être basiquement décrite^{Dietemann'95;Louis'97;Nordin'91} de la manière suivante (Figure 38) : après dissection

tissus mous et écartement des muscles et des ligaments, le chirurgien procède à une laminectomie partielle, en refoulant les racines nerveuses selon une technique de Gill. Ensuite, il

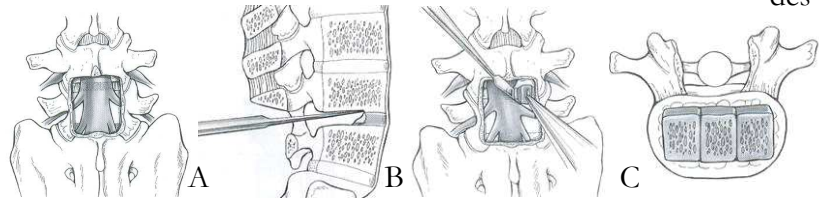


Figure 38 : PLIF : A. laminectomie (ici pour 2 niveaux) B. dissectomie et avivement des plateaux C. insertion du greffon^{Larson'99}.

procède à l'excision totale du disque, suivie par l'avivement de plateaux et l'apposition des greffons ; à ce stade une instrumentation est souvent réalisée afin d'augmenter la stabilité et de faciliter la fusion.

Cette étape consistait initialement dans l'insertion d'une greffe intervertébrale solide (Figure 39 A) entre les corps vertébraux, et générait des bons résultats pour certains auteurs^{Cloward'85} mais pour d'autres des taux de fusion réduits et

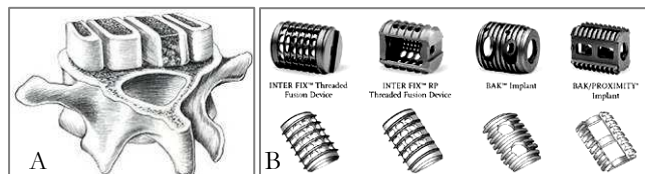
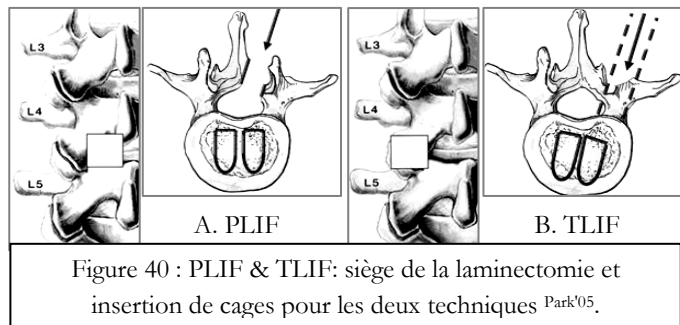


Figure 39 : PLIF : conditionnement du greffon.

variables, des importantes pertes sanguines, des complications neurologiques et des migrations du greffon^{Park'05}, qui ont réduit sa popularité jusqu'au années '90 quand l'inclusion du greffon dans une cage^{Kuslich'98} et les bons résultats qui ont suivi ont mené à sa reconsidération^{Brantigan'93;Kuslich'00}. 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 (Figure 39 B), avec une certaine influence sur la stabilité de l'implant et sur le résultat ^{Tsantrizos'00}.

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 ^{Enker'94}. 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 épidurale et douleurs néurogéniques ^{Park'05}. Les inconvénients susmentionnés, la difficulté de cette technique, l'obligation d'une large libération canalaire, la dissection importante des éléments musculoligamentaires créant des douleurs postopératoires souvent chroniques, la durée de séjour plus importante ainsi que les coûts dérivés ont mené à l'adoption des alternatives moins invasives. Les plus développés sont une version de PLIF réalisée en endoscopie « minimally invasive » ^{Salerni'02} et l'arthrodèse



intersomatique transforaminale ou la T.L.I.F. (Trans Foraminal Interbody Fusion). La dernière est une approche dérivée du PLIF mais plus latérale (Figure 40), qui semble donner des résultats équivalents au PLIF sur le plan biomécanique, avec moins de complications et de morbidité ^{Commarmond'01;Park'05}.

L'arthrodèse intersomatique antérieure ou ALIF (Anterior Lumbar Interbody Fusion)

Utilisée pour la première fois en 1949 par Lane & Moore ^{Lane'48}, elle a été améliorée durant le temps, tout en gardant les principes de base : abord transpéritonéal ou rétro-péritonéal, excision du disque avec avivement de plateaux vertébraux et mise en place dans l'espace intersomatique des greffons corticospongieux iliaques ^{Nordin'91}, ultérieurement conditionnés dans des cages Figure 41, en raison des complications (générales, vasculaires, pseudarthrose, perte de correction) similaire à celles décrites pour PLIF. L'ALIF permet une remise en tension des formations ligamentaires latérales et postérieures ^{Laloux'99}, importante pour la stabilité du rachis. De plus, pour les cas de spondylolisthesis important, cette technique peut être combinée avec une réduction du listhesis et la fixation de L5S1 avec un greffon péronier ou une vis transperçante HMA (technique de Debeyre ^{Nordin'91}).

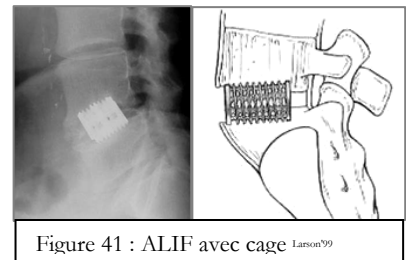


Figure 41 : ALIF avec cage Larson'99

Un certain nombre de complications générales ^{Sasso'03} ou liées aux cages (subsidence, migration etc ^{Tsantrizos'00}) ont mené à l'utilisation des instrumentations postérieures et même du double abord à partir des années 80 ^{Oxland'00}; la technique étant fastidieuse, des stabilisations antérieures ont été introduites récemment pour augmenter la stabilité initiale de l'implant et le taux de fusion ^{Gerber'06}. Néanmoins, des approches minim invasives ^{Mayer'03} et laparoscopiques ^{Regan'99;Vazquez'03} ont été

proposées afin de minimiser les répercussions (complications, incapacité, séjour à l'hôpital et arrêt de travail etc) de cette technique sur le patient.

Arthrodesse circonférentielle, dite " à 360° "

Cette technique (à la fois antérieure et postérieure ^{Louis'97;Tiusanen'96a}) est habituellement réservée aux échecs de fusion des techniques précédentes et aux traitements de spondylolisthesis de haut grade, combinée avec des techniques de réduction présentées dans la suite.

Les techniques de réduction stabilisation ^{Dietemann'95;Louis'97;Steib'05;Nordin'91;Fabris'99} sont axés sur la

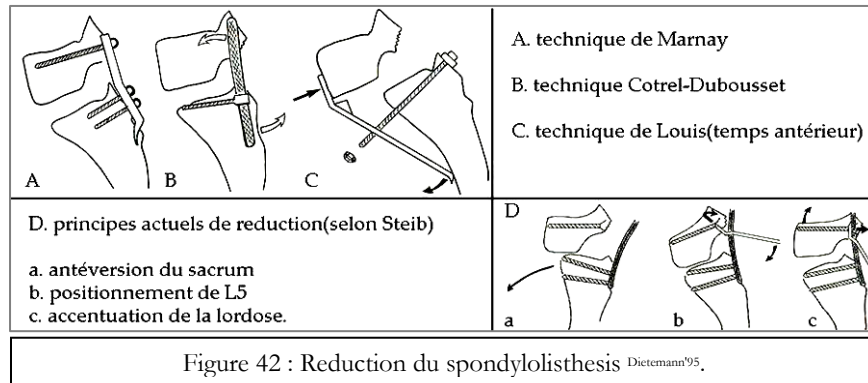


Figure 42 : Reduction du spondylolisthesis ^{Dietemann'95}.

restauration de la lordose lombo-sacrée, afin d'obtenir un équilibre économique à ce niveau. Pour les petits déplacements, les arthrodeses décrites précédemment et/ou des tractions en lordose (surtout chez l'enfant) suffisent pour obtenir la réduction. Dans le traitement de spondylolisthesis de haut grade (Figure 42), ces techniques sont plus compliquées et peuvent être postérieures, dérivées des principes de Harrington (amélioré par Vidal), Roy-Camille et Cotrel-Dubousset ou mixtes, par double abord : techniques de Louis (antérieur premier) et Padovani (inversement). Une technique actuelle, basée sur la meilleure connaissance du profil rachidien, est celle décrite par Steib ^{Dietemann'95}, qui vise à remettre L5 en lordose sur le sacrum suivant un mouvement en direction inverse à celui pathologique, afin d'obtenir une bonne stabilité de la zone arthrodesée (pour grands déplacements, une fusion circonférentielle est recommandée). La plupart des techniques mentionnées engendrent des troubles neurologiques (plus ou moins transitoires) ^{O'Brien'94;Hu'96}, qui semblent dépendre directement de l'amplitude de réduction antéro-postérieure et axiale ^{Ani'91}.

Osteosynthèse (OS)

Principe général

Suivant l'évolution des techniques chirurgicales, les dispositifs d'ostéosynthèse ont été développés afin de permettre une meilleure correction de la déformation et d'augmenter la stabilisation, la qualité et le taux de fusion. Ils sont constitués des éléments d'ancrage (vis, crochet, fils) et d'éléments longitudinaux (tiges, plaques, cadres), combinés de manière à limiter la mobilité du segment traité durant la consolidation du greffon. Les résultats dépendent des caractéristiques de chaque dispositif d'ostéosynthèse ^{Mazel '92b}, car un implant trop rigide peut créer une hypotension (stress-shielding) du greffon (qui se résorbe) ou un descellement des vis pédiculaires, tandis qu'une rigidité insuffisante peut scinder le greffon par excès de déformation ^{Templier'98a}, dans les deux cas la fusion étant compromise.

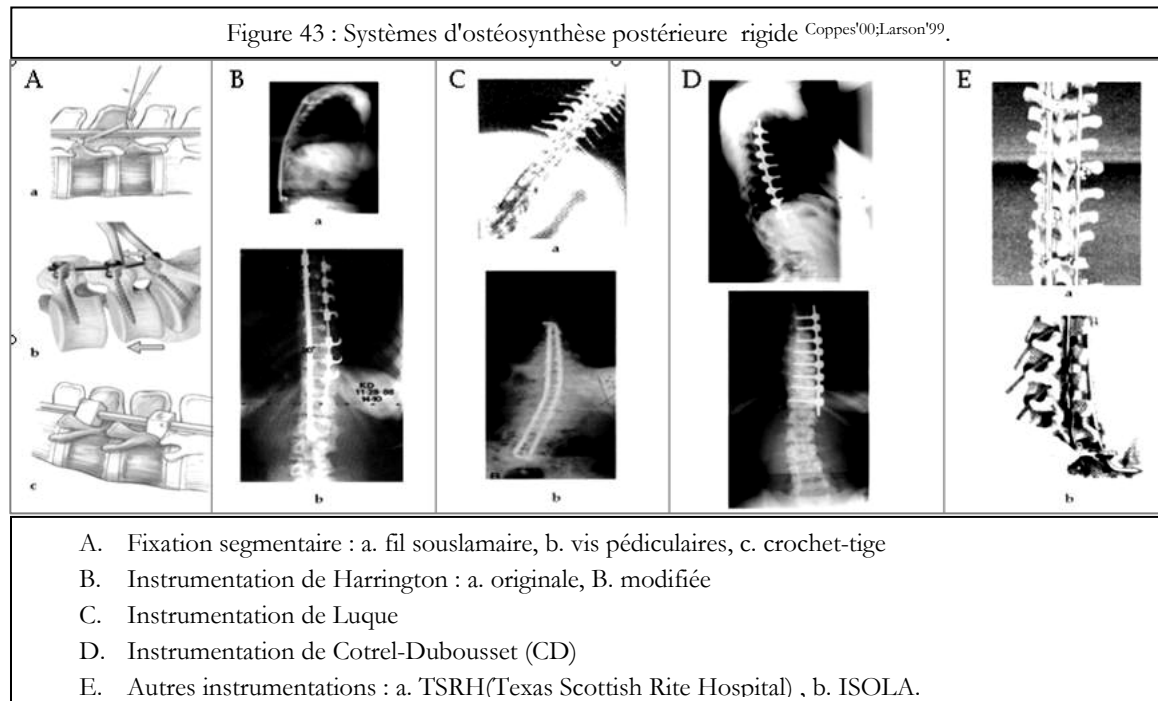
Matériel d'ostéosynthèse

Les divers systèmes existants, ont été décrits par d'autres auteurs ^{Templier'98b;Goel'05;Sengupta'05a} d'un point

de vue de leur localisation, leur géométrie, leurs matériaux, et leurs caractéristiques mécaniques (rigidités, liaisons mécaniques, etc.) ; par ailleurs, la grande diversité des dispositifs demanderait la création d'un vaste catalogue. Par conséquent, nous nous limitons à une brève présentation des différents types d'instrumentations mentionnées dans la littérature.

❖ Instrumentation rigide

L'apparition et l'évolution de ces systèmes (principalement pour OS **postérieure** Figure 43) est liée étroitement à celle des arthrodèses instrumentées en général ^{Hitchon'94}, commençant vers 1891 par Hadra, avec un cerclage cervical pour la maladie de Pott ou, pour le rachis lombaire, en 1911 avec



les travaux de de Hibbs et Albee ; la véritable révolution en ce domaine est représentée par l'invention en 1950 par Harrington du système homonyme tige-crochet, dédié à stabiliser les déformités scoliotiques du rachis. La fixation segmentaire, basée sur une idée de Lang (1910, il attache les apophyses épineuses à une tige) est découverte par Luque (1972), qui utilise des fils sous-lamaires encrés à multiples niveaux sur une tige en forme de L, système évalué par Panjabi qui le trouve plus stable que celui de Harrington.

Diverses évolutions de ces deux systèmes de base ont été imaginées, surtout après le développement des vis pédiculaires par Roy Camille vers 1970 etc. Le dernier avait développé également une instrumentation segmentaire avec des plaques semi-rigides et des vis (à tous les niveaux).

L'introduction du système vis/crochet – tige par Cotrel et Dubousset (système CD) en 1984 a permis une fixation multiniveaux avec application de multiples forces correctrices sur les tiges, réduisant ainsi les complications mécaniques des systèmes précédents (fils sous lamaires), par rapport auxquels il est plus résistant à la torsion, comme montré par Farcy et al. Actuellement, des formes modifiées du CD ont été conçues mais leur supériorité par rapport au système original (CD) n'a pas été démontrée.

Des adaptations de ces systèmes pour la fixation après décompression **antérieure** (Figure 44) ont

été proposées par Dwyer et al (1964), Zielke et al (1975) et Kostuik (basé sur le système de Harrington), le plus récent étant celui de Kaneda et al (1984), comparable avec le CD. Le système de Zielke est représenté par une tige de diamètre réduit (flexible) attachée avec des vis du côté de la convexité.

Actuellement, il existe un large panel d'instrumentations basées sur les modèles de Harrington, de Luque et surtout similaires à celui de Cotrel-Dubousset (TSRH, USI, ISOLA); dans leurs indications figure la plupart des pathologies rachidiennes

nécessitant une arthrodeuse. Du fait que des nombreux auteurs ont associé la rigidité de la fixation à l'obtention d'un taux de fusion satisfaisant ^{Hanley'95}, la plupart des matériels d'ostéosynthèse susmentionnés ont été conçus pour être **rigides** (à l'exception des fixations de Luque, de Zielke et des plaques de Roy-Camille). Cependant, cette rigidité semble être à l'origine d'un certain nombre des complications au niveau du segment traité (stress-shielding, fracture de matériel et pseudarthrose ^{Korovessis'04}) et adjacent (dégradation de l'étage adjacent par augmentation des contraintes à ce niveau) ^{Chow'96;Goto'03;Ghiselli'04;Park'04}.

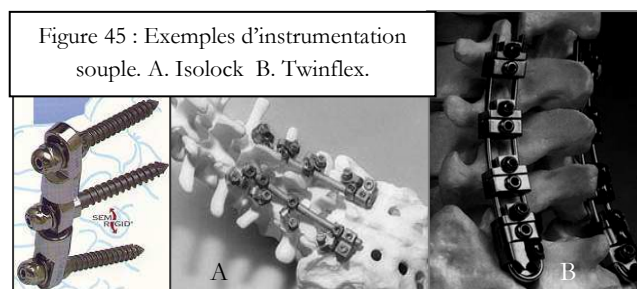
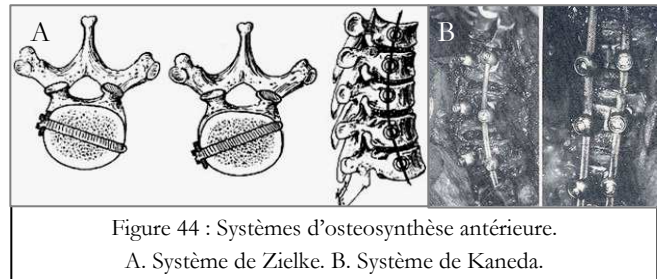
❖ Instrumentation souple

Les complications que nous venons de mentionner ont été mises en évidence par certains auteurs ^{Mazel '92b} et ont conduit au développement des instrumentations moins rigides à partir des années '80-'90, selon deux principes différents : les dispositifs **semi-rigides** utilisent des tiges articulées pre-formées, permettant un micromouvement contrôlé, tandis que ceux **dynamiques** ^{Mazel'95} ont des tiges flexibles, qui ne contrôlent plus les micromouvements, mais permettent une meilleure répartition des contraintes sur les niveaux instrumentés ^{Templier'98b}.

Dans la première catégorie, quelques instrumentations ont été mentionnées dans la littérature, comme Isolock Figure 45 A ^{Benezech'07} (Scient'X). Comme mentionné, la particularité de ces systèmes est d'assurer un certain control de la mobilité résiduelle du segment instrumenté, en autorisant un micromouvement (quelques degrés) prédéfini lors de la fabrication, qui n'est pas adapté cependant à tous les patients.

Dans la deuxième catégorie, un exemple significatif est le Twinflex (Spine Network Figure 45 B) ^{Mazel '92a;Korovessis'04}, qui combine des tiges fines et flexibles avec des vis pédiculaires. Cette flexibilité contrôlable (à travers le matériel et le diamètre) ainsi que la symétrie des tiges semblent assurer une bonne distribution des charges ^{Templier'98a}, plus adaptable à chaque patient que les systèmes semi-rigides, et donnent des résultats comparables aux arthrodeses rigides et semi-rigides ^{Korovessis'04} avec théoriquement moins de morbidité.

Il est important de montrer que l'application du terme « dynamique » crée des confusions dans la littérature, car beaucoup d'auteurs utilisent ce terme pour parler d'instrumentations dédiés à la stabilisation sans fusion, qui seront présentées dans le chapitre des stabilisations souples,



contrairement à Twinflex, qui est un matériel d'ostéosynthèse dédié à l'arthrodèse.

Autres dispositifs utilisés dans les arthrodèses sont les *cages*, qui visent à restaurer et maintenir une certaine hauteur discale et à prévenir des complications liées au greffon, et les *plaques*, utilisées surtout dans la fixation des fractures, un exemple très connu étant celui des plaques de Steffee ^{Adams'96;Steffee'86}. Leur utilisation réduite dans les traitements des pathologies concernées par ce mémoire nous a déterminé de ne pas détailler ce sujet.

Restauration fonctionnelle

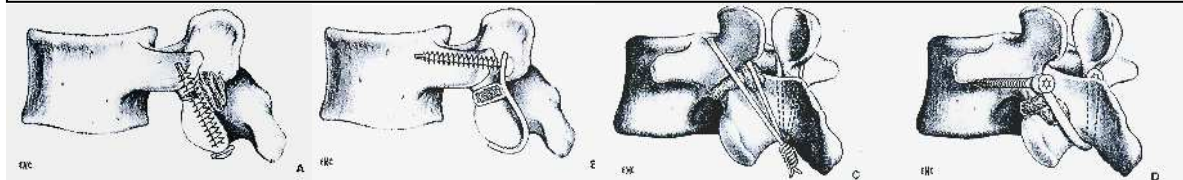
Dans le but d'éviter les complications souvent décrites pour les arthrodèses et dans les cas précis des certaines indications, des alternatives à la fusion ont été développées : réparation isthmique, stabilisations souples, prothèses discales et de nucleus (qui seront décrites par la suite) ainsi que des cales interépineuses, dont le système Wallis ^{Senegas'02} est déjà utilisé, d'autres étant en étude.

Réparation isthmique

Cette méthode est une alternative à l'arthrodèse dédiée au traitement des lyses isthmiques à faible déplacement. Imaginée par Kimura en 1968 ^{Kimura'68}, cette technique vise à restaurer la continuité de l'isthme rompu au moyen d'une greffe osseuse auquel des nombreux auteurs ont rajouté ultérieurement une ostéosynthèse bloquant uniquement l'arc postérieur mobile. La méthode a l'avantage de conserver la mobilité du disque L5-S1, à condition qu'il soit intègre.

Dans la plupart des techniques de réparation isthmique, le patient est installé en position genu pectorale. La résection de l'extrémité distale de l'apophyse articulaire inférieure de la vertèbre sus-olisthésique décrite par Louis ^{Louis'97} est associée (Figure 46) soit à un vissage direct selon la

Figure 46 : Différentes techniques de réparation isthmique : A. selon Buck; B. selon Morscher; C. selon Nicol & Scott; D. selon Cotrel-Dubousset & Gillet ^{Louis'97}.



technique de Buck ^{Buck'70}, soit à un cerclage métallique transverso-épineux (technique de Nicol et Scott ^{Nicol'86}) soit à l'implémentation des crochets-vis bilatéraux (technique de Morscher ^{Morscher'86}) ou d'une anse métallique, passant sous l'épineuse de L5 à partir de deux vis pédiculaires L5 (technique Cotrel-Dubousset et Gillet ^{Gillet'99}). La greffe concerne le défaut osseux mais également la vallée isthmique après avivement de ces différents éléments. Une immobilisation plâtrée est réalisée pour une durée de 2 mois, remplacée par un corset en coutil baleiné pour une durée de 2 mois supplémentaires. Louis ^{Louis'97} utilise un concept différent qui consiste à fixer la charnière L5-S1 de manière provisoire avec une plaque dite «papillon» durant le temps de consolidation de la greffe, suivi du port du corset et retrait de la plaque après 6 mois. Des adaptations des techniques sus-mentionnées ont été développés, avec des résultats satisfaisants ^{Jouve'01} pour des populations jeunes et athlètes, cette technique restant encore peu implémenté chez l'adulte.

Stabilisations souples (postérieures).

Ces systèmes ^{Sengupta'05a} ont été conçus pour stabiliser le rachis pathologique en préservant un

certain degré de mouvement ^{Bordes-Monmeneu'05} et en évitant les répercussions de l'ostéosynthèse sur les niveaux adjacents, rapportés par des nombreux auteurs ^{Schlegel'96;Guigui'97;Ghiselli'04}.

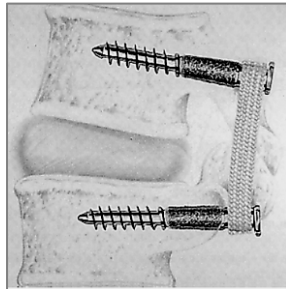


Figure 47 : Stabilisation souple : système de Graf.

Imaginé d'abord comme un système de ligature interépineuse (Senegas) ou bien un système à base de vis pédiculaires et de courroies bilatérales ^{Figure 47} ^{Graf'92}, ils semblent limiter le mouvement de flexion au prix d'une augmentation des contraintes au niveau de l'annulus postérieur ^{Mulholland'02}. Les dispositifs de stabilisation dynamique dérivés du concept de ligamentoplastie de Graff sont peu implémentés dans le traitement des pathologies dégénératives, pouvant être utilisés uniquement dans une phase précoce et en absence d'instabilité, dans des troubles d'intensité modérée ^{Hashimoto'01}. D'autres dispositifs actuels combinent des vis de

différentes flexibilités avec des tiges flexibles, ligaments ou fils, quelques exemples étant présentés dans la suite. Un exemple parlant de ce type d'instrumentation, appelée '*dynamique*' est le système Dynesys® Spinal System (Zimmer Spine, Figure 48), qui permet une stabilisation à l'aide d'un ligament non-élastique connecté à des vis pédiculaires, le degré de lordose restauré et la répartition des contraintes dépendant de la localisation de l'implant et de l'habileté du patient de regagner cette lordose à l'aide de ses muscles extenseurs ^{Mulholland'02}.

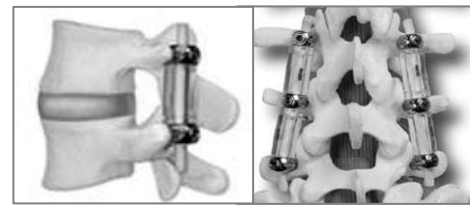


Figure 48 : Instrumentation dynamique : Dynesys.

Cependant, les tests biomécaniques de ce dispositifs ont évalué uniquement la résistance en fatigue ; la distribution des contraintes et la cinématique des étages instrumenté et adjacents n'étant pas encore présentés dans la littérature ^{Sengupta'05a}. Certains auteurs observent un déséquilibre local ou global à moyen et long terme utilisant cette technique ^{Mulholland'02} et de résultats moins bons que ceux obtenus par les patients traités par fusion ^{Grob'05} ; d'autres réservent ce traitement à la prévention de la dégradation discale post-nucleotomie ^{Putzier'05}.

D'autres exemples d'instrumentation dynamique sont représentés par les ligaments interépineux

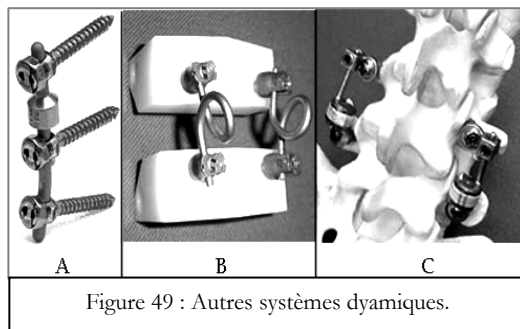


Figure 49 : Autres systèmes dynamiques.

^{Caserta'02}, par le système Isobar (Scient'X, Figure 49 A), qui a une tige flexible sur un segment, le Dynamic Soft Stabilization system (Spinal Concepts Inc. Figure 49 B encore en essai) qui utilise des vis pédiculaires ancrées et couplées par un fil métallique hélicoïdal et un nouveau dispositif, M-Brace (Figure 49 C), réservé aux techniques minimum invasives, qui comporte un mécanisme absorbeur de choc permettant une

certaine mobilité contrôlée.

Prothèses discales

La prothèse de disque intervertébral (Figure 50) consiste en l'implantation d'un système déformable (articulé ou à milieu continu élastique) entre les plateaux vertébraux, ayant pour objectif le remplacement fonctionnel du

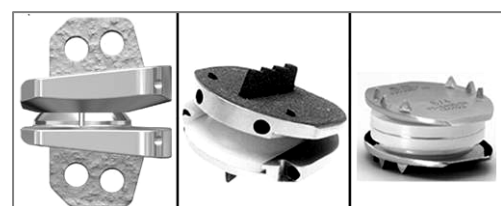


Figure 50 : Prothèses discales : différents

disque dégénéré après son ablation, afin de restaurer la mobilité et la "stabilité" segmentaire. Freeman et al^{Freeman'06} montrent dans une analyse récente de la littérature que cette nouvelle procédure donne des résultats comparables à 2-3 ans de recul aux arthrodèses ou aux fusions intersomatiques avec cages^{Geisler'04;Le Huec'05;Blumenthal'05}. Cette méthode est applicable dans les pathologies dégénératives en phase incipiente à l'exception des cas de hypertrophie articulaire (facéaire), sténose, hernie discale, scoliose et spondylolisthesis^{Huang'04} mais elle préserve la mobilité du segment traité et peut éviter les complications touchant le niveau adjacent à une fusion^{Lemaire'97;Tropiano'05}. Toutefois, les résultats à long terme restent insuffisamment évalués^{de Kleuver'03} et doivent atteindre un niveau suffisant d'évidence afin d'évaluer les avantages et les possibles complications associés à cette stratégie thérapeutique^{Gamradt'05;Freeman'06}.

Nucléoplastie intersomatique

Cette alternative au traitement des hernies par excision du nucleus ou du disque vise la restauration fonctionnelle du nucleus pulposus. Un implant inséré au sein de l'annulus (spirale à mémoire de forme) doit restituer la hauteur discale, la rigidité en compression, la résistance en fatigue à cette compression, la cinématique, et doit remettre l'annulus en tension, afin de rechercher la cicatrisation de ses fibres de collagène endommagées. Une étude récente de Husson et al^{Husson'02} montre des bons résultats à 4 ans de recul mais la technique reste peu répandue pour le moment.

3.4.3 Conclusions

A la fin de cette partie de l'analyse bibliographique, nous avons fait connaissance avec le rachis lombaire, sain et pathologique, en détaillant le domaine des pathologies dégénératives hors scoliose et le spondylolisthesis par lyse isthmique, avec la mention que, malgré le progrès de la médecine et les nombreuses études concernant les pathologies à l'origine des lomboradiculalgies, leur étiologie et leur évolution restent en partie obscures^{Poiraudau'94}. Un survol des principaux traitements chirurgicaux disponibles pour ces affections a mis en évidence les gestes de décompression, l'arthrodèse avec ou sans instrumentation et les techniques de restauration fonctionnelle. La littérature montre que le « gold standard » des traitements chirurgicaux pour la plupart des pathologies étudiées reste la fusion avec fixation segmentaire (vis/crochet et tige), malgré un développement récent des techniques alternatives, qui préservent la mobilité des segments traités^{Sengupta'05a}.

4 ÉVALUATION DES RESULTATS DES CHIRURGIES DU RACHIS LOMBAIRE DEGENERATIF

Ce chapitre débutera avec une image du paysage des résultats des traitements chirurgicaux pour les pathologies étudiées. Ensuite, notre exposé concernera les différents moyens d'évaluation (clinique et radiologique) des résultats, que nous limiterons à l'arthrodèse et à la réparation isthmique. A la fin de ce chapitre, nous présenterons les éventuels paramètres à pouvoir prédictif mentionnés dans la littérature et les conclusions de notre analyse bibliographique.

4.1 Résultats des différents traitements dans la littérature pour les pathologies à l'origine des lomboradiculalgies étudiées

La littérature englobe une large variété d'études concernant les résultats des différents traitements conservateurs et chirurgicaux pour les pathologies que nous avons présentées en chapitre 3.2. La présentation des résultats par pathologie est très hétérogène ^{Bono'05} : nous avons pu délimiter des cadres diagnostiques clairs pour les hernies discales et le spondylolisthesis (associé ou non à des sténoses lombaires), mais la plupart des études concerne une association mal définie des pathologies à l'origine des lombalgies, regroupées sous le nom générique de « low back pain ». Par conséquent, afin de donner au lecteur une vue d'ensemble sur la littérature nous allons présenter une vue synthétique du paysage des résultats pour les cadres diagnostiques mentionnés.

4.1.1 Hernie discale et séquelles de hernie discale

Dans le traitement de la hernie discale l'évolution des techniques chirurgicales durant les deux dernières décennies a mené à une baisse des rechutes (- 40%), de réopérations (entre 5-10% actuellement) et de la durée de séjour (qui passe de 9 à 5 jours environ) ^{Jansson'04}. Il est admis que, pour la plupart des cas, les hernies discales nécessitent simplement une décompression, une arthrodèse n'étant pas nécessaire, et le Tableau 1 donne un aperçu des résultats selon les principales techniques de décompression.

Tableau 1 : Traitements chirurgicaux de la hernie discale et leurs résultats. (r- rétrospectif, p- prospectif).

Auteurs	N cas	Type		Recul (ans)	Chémoneucleolyse	Discectomie	Microdiscectomie	Nucleotomie
		r	p		percutanée	ouverte	endoscopique	
Benoist'93a	42	x		2,5	78% (âgées)			
Delamarter'97	184	x		2			99%	
Hermantin'99	2x30		x	2-4		93%	97%	
Kambin'98	169		x	2				88,2%
Kim'02	300 0	x		14	85%			
Lee'06	2x30	x		3		93,3%	96,7%	
Schoegg'03	672	x		6			76,5%	
Toyone'05	49		x	2		86%		
Yeung'02	307	x		2				89,2%

Dans l'ensemble, les techniques de décompression semblent équivalentes en termes de résultats ^{Hermantin'99;Katayama'06;Lee'06}, poids économique et coût de santé pour le patient, avec toutefois la mention que les techniques endoscopiques réduisent le temps d'hospitalisation et d'immobilisation postopératoire ^{Delamarter'97;Benoist'93b;Yeung'02}. Toutefois, dans la plupart des études, la méthodologie rétrospective, le recul de 2 ans et l'évaluation principalement qualitative limitent l'importance significative des résultats annoncés, comme montré par Asch et al ^{Asch'02}. Ces auteurs établissent, dans une étude prospective sur 212 patients consécutifs traités par microdiscectomie, un taux de

succès de 70-80% pour ce type d'intervention, contrairement à celui de 90%, annoncé par des nombreux autres auteurs, en raison d'une importante variabilité des résultats selon le critère choisi : taux d'amélioration de 80% pour la douleur (VAS), 78% pour les limitations fonctionnelles (Oswestry), taux de satisfaction de 76% , reprise des activités quotidiennes pour 65% des patients et taux de retour au travail de 51%.

Le taux de retour au travail avait été estimé à 70-85% par d'autres auteurs ^{Rodriguez-Garcia'05}, qui montrent aussi le rôle nocif d'une reprise trop rapide d'une activité professionnelle ou sportive qui sollicite particulièrement le dos ^{Lerat'06}, pouvant mener à l'échec dans 10 à 40% des cas.

Par conséquent, le risque de récurrence d'une hernie discale est important (5-15% ^{Swartz'03}) ainsi que celui de réopération après la décompression. Un étude de Ostermann et al ^{Osterman'03} montre que parmi 35309 patients ayant été traités par discectomie, 4943(14%) ont eu au moins une réopération et le risque d'être réopéré dans les 10 années suivantes avait été estimé à 25%. Le traitement des séquelles de hernie discale peut être réalisé par décompression ^{Resnick'05a;Fu'05} ou par arthrodèse ^{Zdeblick'95;Fritsch'96} mais l'évaluation (qualitative et à court terme)de leurs résultats reste limitée dans la littérature.

4.1.2 Spondylolisthesis dégénératif et sténoses

Bien que le spondylolisthesis soit largement étudié dans la littérature depuis quelques décennies, il existe relativement peu d'études qui concernent les résultats des traitements du **spondylolisthesis dégénératif pur**. Dans les années '70-'80 le traitement était essentiellement conservateur ^{Magora'76} ou par simple décompression (laminectomie) ^{Dall'85}. Actuellement il est marqué par des controverses ^{Frymoyer'94 Feffer'85;Yone'96 Thomsen'97} concernant l'efficacité de la décompression seule versus décompression associée à une fusion avec ou sans instrumentation (Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats des différents traitements du SPL dégénératif pur dans la littérature.

APL = arthrodèse postéro-laterale

Etude	Traitement	N	Age moyen (ans)	Recul moyen (ans)	Taux de succès (%)	Taux de fusion (%)
Herron'89	Laminectomie	24	< 60	3	83,3	
Epstein'98	Laminectomie + 3% fusion	290	67	10	82	
Booth'99	APL + instrumentation	49	66,7	6,5	86	
Kimura'01	APL	28	60	2	72,4	82,8
	APL + instrumentation	29			82,1	92,8

Le manque de standard dans le choix d'une stratégie thérapeutique pour le spondylolisthesis dégénératif a été souligné dans une revue de littérature de Mardjetko et al ^{Mardjetko'94}, qui montre des meilleurs résultats pour l'association laminectomie - arthrodèse versus laminectomie seule, les résultats étant satisfaisants respectivement pour 90% vs 69% des cas (dans les 2 catégories). Les auteurs mettent en évidence également la fréquence d'association entre spondylolisthesis dégénératif et sténose dans la définition des cadres diagnostiques des études, expliquée par une

association naturelle de ces deux pathologies.

La plupart des études concernent donc les résultats des traitements associant le **spondylolisthesis dégénératif aux sténoses lombaires symptomatiques**. Le traitement chirurgical de ce cadre diagnostiques est similaire au précédent et implique une décompression (laminectomie) seule ^{Cauchois'76} ou associée à une arthrodèse ^{Katz'91;Bridwell'93}. Les deux stratégies ont été suivies jusqu'à présent car certains auteurs montrent encore des bons taux de résultats pour la laminectomie seule : 71% de satisfaction des patients montré par Toyone et al ^{Toyone'05} et des résultats satisfaisants dans 80% des cas selon Sengupta et al ^{Sengupta'03}. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Herron et al ^{Herron'91} (140 patients, âge moyen 63 ans, 3,5 ans de recul) qui associent des moins bons résultats au sexe féminin, aux facteurs de compensation ou de litigation et au manque d'amélioration des symptômes dans le postopératoire immédiat.

A l'opposé, une étude prospective de Herkowitz et al ^{Herkowitz'91} sur 50 patients consécutifs (âge moyen 65 ans, recul moyen 3 ans) annonce des meilleurs résultats pour l'arthrodèse postéro-latérale (APL) versus laminectomie seule. Ces résultats étaient significativement différents selon la technique utilisée, fait confirmé ultérieurement par d'autres études ^{Bridwell'93;Zdeblick'93}.

Dans ce contexte, les indications des traitements semblent devenir plus claires après l'étude de Knaub et al ^{Knaub'05}, qui recommande une décompression seule pour les sténoses simples et suivie par une arthrodèse instrumentée pour les sténoses multiniveaux, associées à un spondylolisthesis dégénératif ou à une instabilité.

4.1.3 Spondylolisthesis par lyse isthmique

Nous avons montré précédemment que l'importance du glissement vertébral et les caractéristiques des patients (notamment l'âge) orientent le choix du traitement pour cette pathologie. Ainsi, les cas présentant un glissement < 50% sont habituellement traités par *réparation isthmique* ou *arthrodèse postéro-latérale in situ* avec ou sans instrumentation, tandis qu'un déplacement >50% ou une ptose sont traités plus souvent par réduction du glissement associée à une arthrodèse intersomatique (habituellement PLIF) ou circonférentielle.

Ces choix sont motivés par la supériorité des résultats des traitements chirurgicaux versus conservateur, démontrée dans une revue de littérature par Jacobs et al ^{Jacobs'06}, qui désigne aussi l'arthrodèse postéro-latérale avec ou sans instrumentation comme traitement « standard » ^{Lenke'92;Wiltse'83;Osterman'93;Dehoux'04;Kwon'05;Jacobs'06}, malgré un certain nombre de complications et d'arrêts de travail ^{Guigui'97;Jacobs'06}.

La réparation isthmique avec des méthodes actuelles ^{Suh'91;Louis'88;Songer'98} semble donner des résultats cliniques encourageants chez les enfants et les athlètes ^{Hefit'97;Nozawa'03}, mais cette méthode est peu appliquée à l'adulte ^{Hefit'97;Dai'01;Prasartritha'01;Nozawa'03;Roca'05}.

Quant aux spondylolisthesis de haut grade, nécessitant une réduction, certains auteurs ont montré des meilleurs résultats pour les arthrodèses intersomatiques (surtout PLIF ^{Lerat'87;Dehoux'04}) ou circonférentielles ^{Tiusanen'96a}, qui peuvent être combinées avec des techniques de réduction totale ^{Louis'88;Bradford'87;Matthias'86;Fabris'99} ou partielle ^{Hanson'02b}.

Une synthèse des résultats publiés dans la littérature pour ces stratégies thérapeutiques est présentée sur le tableau 3.

Tableau 3 : Spondylolisthesis par lyse isthmique : principales options de traitement chirurgical.

Paramètre	Glissement < 50%		Glissement > 50%
Traitement	Réparation isthmique	Arthrodèse in situ (postéro-latérale ± instrumentation)	Arthrodèse intersomatique ou circonférentielle ± réduction
« Succès » (%) résultat clinique satisfaisant	76-100%, évalué surtout pour adolescents et jeunes athlètes Jouve'01; Suh'91; Hefu'97; Nozawa'03; Roca'05	60-98% Lerat'87; Deguchi'99; Ekman'05; Dehoux'04; Jacobs'05	80- 92,1% selon Lerat'87; Matthiass'86 Souvent évalué comme taux de réduction du glissement
Fusion (%)	Evaluation qualitative et rare car il s'agit uniquement de l'arc postérieur	81-100 ^{Lerat'87; Jacobs'05}	Idem précédent, 80 -93% Lerat'87; Dehoux'04
Retour au travail (%)	Peu de références qui quantifient ce paramètre Gehrchen'02; Nozawa'03; Bono'04 80,4% chez les athlètes ^{Nozawa'03}	62-84% ^{Ricciardi'95; Wenger'05}	
Complications	Mécaniques, rares et dépendantes de l'instrumentation Prasarththa'01; Schlenzka'06	Générales, infectieuses, neurologiques, mécaniques ^{Guigui'02a; Jacobs'05; Schlenzka'06}	Troubles neurologiques 0,3-45% Bradford'87; Matthiass'86; Hanson'02b
Observations	Peu évalué chez l'adulte	<i>Standard pour la littérature</i>	Peu de références

4.1.4 « Low-back pain » - synthèse bibliographique

Nous avons vu précédemment les résultats pour les pathologies définies clairement dans la littérature. Toutefois, elles ne représentent qu'une faible partie de celle-ci, la majorité des études intégrant des pathologies différentes (et souvent mal définies) regroupées sous le vocable général anglo-saxon de « low back pain ».

Ce terme désigne les formes symptomatiques des principales pathologies dégénératives responsables de lomboradiculalgies : discopathies dégénératives, dégénérescences post-décompression, spondylolisthesis dégénératif (SPL d) ± sténoses dégénératives et même le spondylolisthesis par lyse isthmique (SPL i). La stratégie chirurgicale la plus utilisée, devenue « gold standard » pour ces pathologies, est l'arthrodèse^{Glaser'04; Geisler'04} selon des nombreuses études comparant les effets de la décompression seule versus décompression et fusion^{Herkowitz'91; Herkowitz'95; Zdeblick'93, '95; Fischgrund'97; Frymoyer'94; Fischgrund'04}. Par conséquent, la place principale dans l'évaluation des résultats sera occupée par les différents types d'arthrodèse en raison de leur fréquence en France et sur le plan international^{Glaser'04; Irwin'05}. (Nous ne traiterons pas dans ce document les stabilisations souples (encore en développement et insuffisamment évaluées) et les prothèses qui, malgré une évaluation depuis 10 ans, semblent donner des résultats encore peu concluants^{ANAES'00; Freeman'06}).

Bien que ce type de traitement soit amplement présenté dans la littérature, il existe peu de données objectives sur la fréquence de réalisation des arthrodèses sur le plan mondial et en France. Le peu d'études existants montrent des variations géographiques et une grande variabilité des indications selon le chirurgien^{Coppes'00; Irwin'05}, suggérant qu'un certain nombre d'éléments subjectifs interviennent dans la décision d'effectuer une arthrodèse^{ANAES'00; Katz'97}.

Nous présentons dans la suite un tableau synthétique regroupant les plus significatives études (méta-analyses, rétrospectives) présentant les résultats à moyen et long terme de ce traitement, illustrant l'hétérogénéité et la sporadicité des moyens d'évaluation.

Principaux résultats des traitements par arthrodèse dans la littérature

Tableau 4 : Synthèse des résultats des arthrodèses lombaires dans la littérature. R- retrospectif // PLF Arthrodèse postéro-latérale // ALIF arthrodèse

Auteurs	N cas	Recul	Pathologie	Traitement	Succès clinique		Résultat fonctionnel	Fusion
					Global	Douleur		
Turner'92b	47 études, anglais	1966-1991 Min 1 an	Dégénératif divers + SPL i	Décompression ± arthrodèse	Stauffer Coventry 68% (16 – 95) Résultats satisfaisants : 54,1% des études prospectives versus 72,6% rétrospectives	Lombalgie Radiculalgie	Raporté dans 4 /47 études Taux moyen 63%	85,6% (56-100)%
Turner'92a	74 articles, anglais	1966-1990 4(1-14 ans)	Sténoses + dégénératif divers	Conservateur et arthrodèse	Stauffer Coventry 64 (26-100) % Subjectif (auteurs) : 74,4 (90,63-100%)	Raporté par 19/74 études 75 (32-100) %	Rporté par 19/74 études 65% (24-93%)	
Niggemeyer'97	30 articles, 1668 patients, anglais	1975-1995 2-3 ans recul	Sténose lombaire dégénérative	Décompression Décompression + PLF non instrumentée Décompression + PLF instrumentée	Information disponible en 42% des études, montrant des résultats meilleurs pour l'arthrodèse instrumentée, mais différence non statistiquement significative			
Jacobs'05	29/684 Anglais, Selon méthodologie	1966-2004 4(1-7 ans)	SPL i	Conservateur (peu) et arthrodèses : PLF ou circonférentielle ALIF PLIF	Critères de Kirkaldy-Willis PLF et AC comparables : 60-98% 85-94% 45%	Dallas pain quest.	PLF : 81-100% ALIF 47-90% PLIF 80-95%	
Rapport ANAES'00	116/783 anglais et français	1989-1999, recul moyen non-calculé	Rachis lombaire dégénératif et SPL i (« low back pain »)	Arthrodèses : PLF ALIF PLIF circonférentielle	39-85,1% 21-36% 80,8-89% 16,7 - 40%	VAS	Oswestry, Beaujon, JOA, Stauffer-Coventry	47,6-100% 72,1-96,3% 94,4-100% 75,7-100%

Ce tableau est complété par 4 revues de littérature : celle de *Mardjetko et al*^{Mardjetko'94}, analysant sur la période 1970-1993 les articles concernant le traitement (chirurgical) du spondylolisthésis dégénératif associée à des sténoses lombaire, deux de *Gibson et al* (1993-2005)^{Gibson'99;Gibson'05} qui analyse en total 81 études sur le traitement de rachis lombaire dégénératif et, en particulier, du SPL, et celle de *Bono et al*^{Bono'05} (1979-2000), sur 84 articles présentant les résultats des arthrodèses lombaires pour des pathologies dégénératives. Ces rapports montrent surtout

intersomatique antérieure lombaire // PLIF arthrodèse intersomatique postérieure lombaire // ODI=Oswestry // MS= Million score // GFS=General Function score

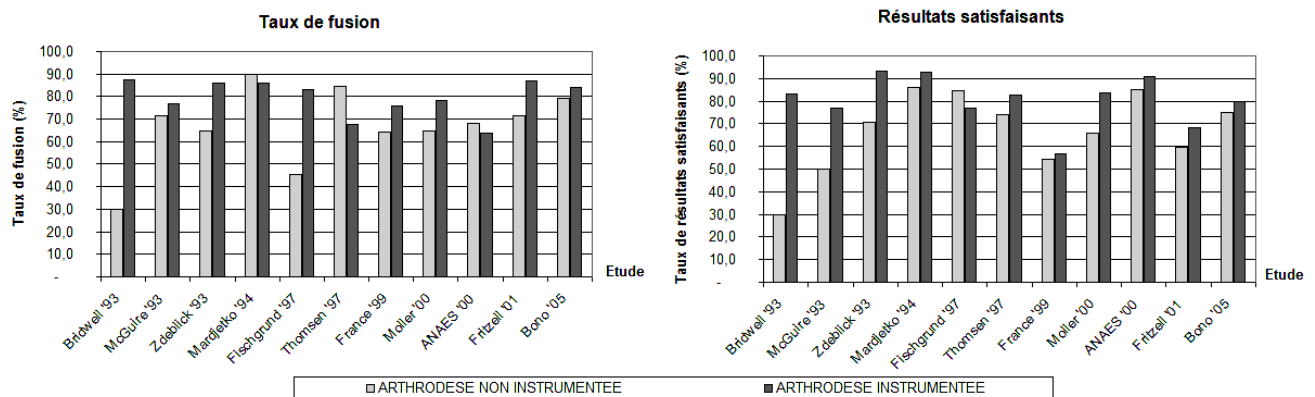
Retour au travail	Complications	Réopération	Evaluation radiologique	Type et paramètres	Corrélation au résultat	Observations
Évalué en 12/47 études 62%	Pseudarthrose 14% Douleur du site donneur de la greffe 9%	Dans 28/47 études 9,6%	non	non	Relation positive entre fusion et bons résultats mais évaluation non statistique	Pronostiques plus réservés pour les patients multi-opérés. Besoin d'une méthodologie prospective et études comparatives entre les différents traitements pour les pathologies dégénératives du rachis lombaire.
Reporté par 11/74 études 62 (14-100)	12,64 (0-51) %	Dans 25/74 études : 8 (0-21) %	Rare et qualitative		Non significatives	N'aboutit pas à établir les facteurs prédictifs Besoin d'une méthodologie d'étude rigoureuse et complexe
						Durée préopératoire des symptômes <7 ans prédisant un meilleur résultat
Evaluation sporadique et échantillons réduits 8/13(62%)	PLF 12% (64/545), 4,3% bris de vis ALIF 16% (19/120) PLIF 24% (37/154)	Non-précisé.	- listhesis pre et postop : 3/29 études - évaluation de la fusion qualitative - 2/29 études calculent la lordose	Evaluation princ. qualitative. Listhesis Hauteur discale Lordose	Non évaluée	Perte de la correction du glissement. Dégradation de l'étage adjacent non évaluée. Fiabilité des mesures non-évaluée.
Données faibles dans la littérature, bien que de plus en plus rapportées à présent	Pseudarthroses : 7,1(0-52,4%) 19,4(3,7- 28,9%) 2,8(0-5,6%) 10,5(0-24,3) %	Non-précisé	Evaluation fusion qualitative ou par calcul de mobilités intervertébrales, méthodes non-validées.	Mobilité intervertébrale hauteur discale et listhesis mais évaluation princ. qualitative des 2 derniers	Fusion – résultat clinique Résultats non-concluants.	Surestimation des bons résultats par les auteurs ? Nécessité d'une évaluation approfondie → meilleure définition des cadres diagnostiques et investigation de résultats.

l'hétérogénéité des données et des résultats (taux de succès de 16 – 95%^{Gibson'05}), le recul insuffisant d'évaluation, ainsi que la tendance vers la fusion comme stratégie thérapeutique, avec un vrai débat dans les deux dernières décennies sur le rôle de l'instrumentation^{Christensen'99} dans l'obtention des meilleurs taux de fusion^{Resnick'05a, b}, supposé à correspondre à des résultats cliniques optimaux.

Nous illustrons sur la Figure 51 la comparaison entre les principaux taux de fusion annoncés par ces études et les taux des résultats satisfaisants correspondants

(ANAES'00;Mardjetko'94;Bridwell'93;McGuire'93;Zdeblick'93;Fischgrund'97;Thomsen'97;France'99;Moller'00;Fritzell'01;Bono'05;Gibson'05).

Figure 51 : Synthèse des résultats concernant les arthrodèses avec et sans instrumentation.



Un autre point que nous souhaitons illustrer à la suite de cette synthèse est la surestimation des résultats reportés par une méthodologie déficitaire ANAES'00 d'évaluation, souvent à un recul assez court (≤ 2 ans). Par exemple, les résultats des arthrodèses intersomatiques Coppes'00 seraient chiffrés plus exactement entre 20-95% pour les ALIF et 40-95% pour les PLIF, avec un certain nombre de bémols sur le plan économique ou celui des complications. De plus, pour les nouvelles techniques émergentes, comme le TLIF, les résultats sont bons en termes de fusion mais l'amélioration des symptômes reste incomplète Potter'05 par rapport aux arthrodèses classiques. Par ailleurs, un syndrome de « failed back surgery » Waguespack'02 a été défini pour classer certains échecs dans l'amélioration des symptômes, observées dans 37,3% des décompressions (121 patients) par Rodrigues et al Rodrigues'06.

Complications liées à ces traitements

Malgré le continu développement des arthrodèses (+ 33% durant la dernière décennie Bono'05;Gibson'05;Maghout Juratli'06), une fusion réussie n'est pas toujours équivalente à une amélioration des symptômes et du résultat clinique Fischgrund'97;Resnick'05a, b;Gibson'05;Maghout Juratli'06, car elle peut être associée à des complications importantes Sengupta'05b.

Ainsi, un rapport de Deyo et al Deyo'93 montrait en 1993 que les traitements impliquant une fusion génèrent 1,9 fois plus de complications que les décompressions simples (17,4% pour la fusion et 7,6% sans fusion). La situation a changé un peu avec le développement des nouvelles techniques et instrumentations. Nous allons présenter à titre indicatif et de manière très synthétique les taux de complications reportées dans la littérature.

Selon le type d'arthrodèse

La fréquence des complications survenant en peropératoire ou postopératoire immédiat et à long terme est très inconstamment et imparfaitement rapportée dans la littérature Turner'92b;Guigui'97;Guigui'02a;Guigui'04. Nous avons dressé un tableau extrapolé à travers des études Coppes'00;Turner'92a;Turner'92b;Katz'91;Hu'96;Hu'97;Guigui'97;Booth'99;Guigui'02a;Guigui'04;Jacobs'05, qui ont évalué l'incidence de ces complications.

Tableau 5 : Principales complications rapportées pour les arthrodèses du rachis lombaire (hors scoliose).

Complications		Taux pour ALIF & PLIF	Taux pour PLF
Peropératoires	Brèche durale	0-15%	0-10 %
	Lésions vasculaires	0-2,5%	0-1,3%
	Lésions neurologiques	0,5-10%	0-8,6%
Postopératoires	Complications « prise de greffe »	8-45%	11,8 (0-17%)
	Infections	0-3,2%	2,7 (1,1-37,1)
	Troubles neurologiques	0,5%	4 (0-16,5)
	Mobilisation du greffon	0,7%	1 (0-2,8%)
	Fracture/mobilisation du matériel	Non rapportée, mais principalement cages	5,3 (0 – 24,7%)
	Ejaculation rétrograde	1%	9,7 (4,0-24,3%)
	Pseudarthrose	5-60%	0-19%
	Dégradation de l'étage adjacent	Non-rapportée, mais recul insuffisant	0-36,1% (à partir de 5 ans)
	Reprise chirurgicale	10-23%	9,5 -17%

Complications mécaniques

Un certain nombre de complications sont liées à l'ajout ou non d'une instrumentation pour obtenir la fusion. Elles ont été chiffrées en 1998 à 18% pour une fusion instrumentée contre 7% pour la procédure sans instrumentation, générant des reprises dans 18% versus 15% des cas ^{Malter⁹⁸}. Une étude récente, à large échelle (16157 patients) ^{Nohara⁰⁴} estime l'incidence des complications pour les fusions sans instrumentation à 6,8% et avec instrumentation à 12,1%, différence statistiquement significative. Toutefois, ces taux élevés ne sont pas exclusivement dus à l'instrumentation même, la morbidité du site donneur de la greffe (voir

Tableau 5) ayant un poids important.

Le taux de complications liées à l'implant, dites « mécaniques », détaillé par rapport aux vis pédiculaires par Yuan en 1994, a été chiffré à 3,1% en peropératoire (mauvaises visées pédiculaires à l'origine des fractures du pédicule ou du matériel) et à l'origine de 12,5% des reinterventions. Les fractures de vis semblent survenir surtout en S1 ^{Weatherley⁸⁶} et leur taux postopératoire varie entre 0 et 25%, avec une moyenne pour la France de 3,6% sur 871 patients et 13 ans de recul ^{Guigui^{02a}}.

Dégradation de l'étage adjacent

Peu rapportées avant les années 2000, les signes de dégénérescence des étages adjacents à une fusion étaient considérées comme une complication inattendue ^{Park⁰⁴}, souvent expliquée par l'âge ^{Davis⁰²} et le sexe du patient ^{Etebar⁹⁹}. Les signes de la dégradation de l'étage adjacent à une arthrodèse, appréciée par la présence d'ostéophytes, la sclérose des plateaux vertébraux et par la diminution de hauteur discale, sont observés à partir de 4-5 ans après chirurgie selon la littérature, sans que les causes exactes ou les facteurs qui influencent ce phénomène soient complètement élucidés.

La littérature décrit des taux variables allant, pour un recul de 10 ans, de 9,9% ^{Wenger⁰⁵} à 36,1% ^{Ghiselli⁰⁴}, avec des variations selon l'âge de la population étudiée (12% pour les populations jeunes ^{Lamberg⁰⁵}). Une analyse de Guigui et al ^{Guigui⁹⁷} montre, à un recul de 10 ans, des facteurs qui se

rajoutent au rétrécissement de l'espace discal (49% des cas) dans le diagnostic radiologique de la dégradation : hypermobilité susjacente, manifeste dans 32% des cas et instabilité chez 35% des patients présentant une dégénérescence du niveau adjacent à une arthrodèse.

En ensemble, *les complications* peuvent être liées à la voie d'abord, à l'utilisation de matériel, au prélèvement des greffons ou au terrain du patient ; toutes ces complications sont souvent à l'origine d'un résultat défavorable. Leur fréquence non-négligeable, allant au-delà de 10% des interventions, demande une meilleure évaluation de leurs causes et une détection précoce.

4.2 Moyens d'évaluation clinique et radiologique

Il est admis aujourd'hui que, malgré une évaluation rigoureuse, les caractéristiques biomécaniques des instrumentations rachidiennes ne peuvent pas prédire leur comportement « in vivo » à long terme et d'autant moins le succès du traitement ressenti par le patient. Des études approfondies et quantifiées « in vivo » sont nécessaire afin d'évaluer les résultats des traitements actuels et futurs pour le rachis lombaire pathologique^{Goel'05;Goel'06}.

Pour les pathologies traitées dans le cadre de ce travail, qui sont pour la plupart des lésions dégénératives primaires ou résultant d'une intervention antérieure (notamment les séquelles de hernie discale post-discectomie) et aussi pour le spondylolisthésis par lyse isthmique, le diagnostic repose sur l'association des signes fonctionnels, des signes d'examen clinique et des signes objectivés sur les examens complémentaires, notamment en imagerie.

La synthèse des résultats présentée en début de ce chapitre nous montre une sporadicité et hétérogénéité des moyens d'évaluation, qui tend à diminuer aujourd'hui, avec les nouvelles normes de recherche imposées par la médecine factuelle. Toutefois, parmi les 14234 études traitant la chirurgie du rachis lombaire référencées sous PubMed début 2007, 562 mentionnaient des scores cliniques, 114 études traitaient une certaine évaluation biomécanique (in vitro) et 81 une évaluation radiologique dont la méthodologie était spécifiée uniquement pour les deux tiers (63/81). Le calcul des paramètres radiologiques était mentionné, sans être toujours expliqué, dans 33 études. Bien que PubMed ne soit pas une référence absolue pour la publication des études scientifiques concernant la chirurgie du rachis lombaire (notamment pour les publications de langue française), cette situation est parlante quant au besoin de définir une méthodologie d'analyse quantitative clinique et radiologique^{Keller'93}. Nous allons donc présenter synthétiquement les moyens existants d'évaluation des résultats, selon deux volets : clinique et radiologique.

4.2.1 Evaluation clinique du résultat post-traitement chirurgical

L'examen clinique est la base de toute évaluation des résultats, fournissant un certain nombre d'informations objectives et subjectives (description de la douleur, localisation, complications etc), qui traduisent l'état du patient. Les signes cliniques associés aux pathologies étudiées sont principalement la lombalgie et les signes d'atteinte neurologique (radiculalgie, syndrome de claudication intermittente, signes déficitaires moteurs, sensitifs, réflexes ou sphinctériens), observés seuls ou en association pour la majorité des patients traités chirurgicalement.

Il est très difficile de préciser des critères de jugement standard du résultat en évaluation clinique,

car ils figurent de manière inconstante et sont très hétérogènes dans la littérature ^{ANAES'00;Turner'92a}. Globalement, on prend en considération : la douleur lombaire ou radiculaire, la capacité de travail, les aptitudes fonctionnelles, et les évaluations psychosociales et l'appréciation subjective du patient.

Il n'y a pas de consensus concernant les outils (scores et questionnaires) investiguant les variables susmentionnées car, en plus du manque de standardisation de l'évaluation en général dans la littérature, des différences géographiques et culturelles accentuent cette hétérogénéité (ces outils subjectifs doivent être adressés à une population spécifique, pour laquelle ils ont été validés ^{Padua'02}).

Nous avons effectué une synthèse des questionnaires les plus utilisés internationalement, présentée dans le Tableau 6, précisant la dimension investiguée et l'état de leur validation pour une population française.

Tableau 6 : Synthèse des principaux scores et questionnaire utilisés dans l'évaluation des résultats.

Dimension évaluée	Score/questionnaire	Validé (français)	Observations	
Perception de la douleur	Visual Analog Scale (VAS ou EVA : Echelle Visuelle Analogue en français) ^{Million'82}	non	Principal outil d'évaluation de la douleur	
	Auto-questionnaire de Dallas (Dallas pain questionnaire) ^{Lawlis'89;Marty'98}	oui	Utilisé dans le choix d'une stratégie thérapeutique ^{ANAES'00}	
	Multidimensional Pain Inventory (MPI) ^{Kerns'85}	non	Rarement utilisé en France	
Limitations fonctionnelles (environ 40 questionnaires) ^{ANAES'00;Hansen'00}	Oswestry Low Back Pain Disability Questionnaire ^{Fairbank'00}	non	Utilisé en France, même s'il n'est pas validé encore validé	
	Roland – Morris Disability Questionnaire ^{Roland'83} et l'équivalent français EIFEL ^{Coste'93}	oui	Evalue également la douleur	
	Echelle d'impotence fonctionnelle de la lombalgie de Quebec (Quebec Task Force) ^{Spitzer'95}	oui	Utilisé dans le choix d'une stratégie thérapeutique ^{ANAES'00}	
	Waddell Disability Index ^{Waddell'80}	non	Pas utilisé en France	
Données psychométriques	DRAM (Distress and risk assessment method) ^{Feuerstein 1987, Hobby 2001}	non	Moins utilisé en France	
	State-trait Anxiety Inventory (STAI) ^{Gauthier'93;Spielberger'84}	oui	Moins utilisé en France et orthopédie	
Qualité de vie	Quality of life index ^{Ferrans'85} ou partiellement SF-36	non	Évalue aussi des données psychométriques	
	Sickness Impact Profile ^{Chwalow'92;Bergner'81}	oui	Pas utilisé en France	
Satisfaction du patient	Index de satisfaction du patient (patient satisfaction index PSI ou subscales PSS) ^{Cherkin'91;Deyo'98}	non	Très utilisé malgré une validation limitée à des populations anglophones	
Multidimensionnels	Etat général de santé	SF-36 et les variantes SF-20, SF-12 ^{Ware'92;Leplege'98}	oui	Evalue l'état général de santé, la qualité de vie, la fonction physique et mentale. ^{Gandek'98} . Aide à établir une courbe d'évolution du patient ^{Graver'95}
		Nottingham Health Profile et sa version française ISPN ^{Bucquet'90;Hunt'81}	oui	Evalue également les limitations fonctionnelles et certains facteurs psychosociaux
	Evaluation du résultat	Score de la Japanese Orthopaedic Association (JOA) ^{Yone'96;Yorimitsu'01}	non	Evaluent la douleur, les activités physiques et les troubles neurologiques
		Beaujon-Lassale ^{Lassale'85;Guigui'02b}	oui	
	Stauffer- Coventry ^{Stauffer'72}		Utilisé aussi dans sa forme modifié par ^{Cauchoux Ghisell'04}	

D'autres questionnaires spécifiques ont été proposés, comme le Lumbar spine questionnaire(

NASS/ SRS/ CSRS)^{Daltroy'96}, le Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI)^{Wetzel'01} ou le Clinical Overall Score (COS)^{Nygaard'00}, mais leur utilisation est encore réduite ou peu fiable.

Globalement, selon la littérature^{ANAES'00}, les scores le plus utilisés sont : le score de la Japanese Orthopaedic Association (JOA), Oswestry et le score de Stauffer Coventry ; en France le score fonctionnel de Beaujon-Lassale est également utilisé, bien qu'il soit conçu et validé pour les sténoses lombaires.

La diversité des scores, ainsi que le nombre réduit des études prospectives comparatives, réalisées par des observateurs indépendants, rendent la comparaison entre séries et techniques chirurgicales difficile et peu fiable. De plus, ces outils ne réalisent qu'une évaluation ponctuelle de l'état du patient, souvent complétée par des examens en imagerie ; une analyse statistique multidimensionnelle et parfois complexe est nécessaire afin de détecter une évolution dans l'état du patient (amélioration ou aggravation de symptômes).

4.2.2 Analyse radiologique

En complémentarité avec l'examen clinique, les examens en imagerie permettent d'investiguer la fusion, la cinématique lombaire, la dégradation des étages adjacents et les éventuelles complications (perte de correction, subsidence, défauts de posture et déséquilibre).

Nous avons présenté les principaux examens en imagerie impliqués dans l'évaluation du rachis lombaire en chapitre 3.3, évoquant le rôle majeur de la radiographie dans l'exploration en imagerie, entretenu par son coût accessible, sa bonne résolution spatiale, l'excellente définition du tissu osseux, ainsi que l'avantage de la projection en image d'une grande partie du rachis et la possibilité d'effectuer les examens en position debout. De plus, cette technique offre plusieurs possibilités d'investigation, à travers des clichés en posture sagittale ou frontale, bending ou dynamiques : flexion-extension.

L'utilisation du scanner se fait surtout pour le diagnostic de la hernie discale, pour laquelle la reproductibilité intra et inter-observateurs est correcte ; sa valeur diagnostique pour les anomalies discales est discutable car il détecte des affections asymptomatiques dans 35% des cas et la reproductibilité pour la plupart des lésions reste faible^{ANAES'00}.

L'IRM semble de plus en plus utilisé pour rechercher des signes de dégénérescence discale ou de sténose canalaire, son caractère non-invasif permettant aussi les études cas-témoins ou sur des sujets asymptomatiques. Un rapport de l'ANAES évaluant la sensibilité de cet examen dans l'évaluation de la dégénérescence discale et de son lien avec la lombalgie montre que le pourcentage de disques dégénérés observés par IRM chez les lombalgiques était plus important que celui observé chez de sujets asymptomatiques; toutefois, malgré une relation présente entre anomalie IRM et lombalgie, une relation de causalité entre ces faits n'a pas pu être établie.

La sacroradiculographie, indiquée surtout pour le diagnostic des sténoses canalaires, est un examen invasive et sans évaluation sur sujets sains, utilisé moins fréquent et dans un cadre précis. La discographie est un sujet controversé, certains auteurs le considérant pertinent pour poser une indication d'arthrodèse^{ANAES'00}.

Une analyse de l'utilisation et la pertinence de ces examens publiée par l'ANAES^{ANAES'00} montre la plurivalence de la radiographie sur la détection des dégénérescences discales, du spondylolisthésis et de l'instabilité, bien que pour le premier diagnostic l'IRM a plus de valeur.

Le même rapport de l'ANAES montre une variation importante dans l'interprétation des signes radiologiques intra et inter-opérateur ^{Coste'91;Deyo'85}, qui peut être liée aux problèmes de mesure (protocole radiologique et d'analyse, erreur de mesure, évaluation souvent qualitative comme dans le cas des ostéophytes et de la sclérose des plateaux vertébraux).

Toutefois, il n'existe pas aujourd'hui une méthodologie formelle permettant de relier les symptômes ressentis par les patients, surtout dans la lombalgie chronique, et l'état anatomique approché par des examens en imagerie (analyse principalement qualitative), ce qui rend difficile l'estimation de la valeur diagnostique de ces examens ^{ANAES'00}.

Par conséquent, nous présentons dans la suite les principales applications de l'évaluation radiologique mentionnées dans la littérature. Souvent utilisée de manière qualitative pour la détection des complications dites « mécaniques » (liées à l'implant), l'évaluation radiologique est principalement dédiée au diagnostic de la fusion et ponctuellement à la cinématique lombaire et à l'évaluation de l'alignement sagittal.

Evaluation de la fusion

Un rôle important dans les études concernant les arthrodèses revient actuellement à **l'estimation de la fusion**, essentiellement associée à la présence des ponts osseux intervertébraux dans l'espace traité et à l'absence de mobilité ^{Godde'03}. Bien que les critères permettant d'affirmer la réalité de la fusion osseuse soient difficile à établir en pratique clinique, les radiographies standard sont le plus souvent utilisées et comportent, selon les études et les critères, soit une incidence de face et une de profil, soit des clichés dynamiques (flexion-extension). D'autres examens, comme le scanner, la scintigraphie ou la tomodensitométrie ont été utilisés pour cette évaluation, mais peu d'études ont évalué la fiabilité de l'évaluation radiologique de la fusion par un de ces moyens pour le traitement des pathologies lombaires hors scoliose. Ainsi, pour les arthrodèses peu étendues (principalement postéro-latérales), l'examen de référence est l'observation et l'évaluation de la masse osseuse fusionnée lors des reinterventions chirurgicales, méthode non-systématique difficile à mettre en pratique courante ^{ANAES'00}. Quelques études ont comparé les résultats de cette observation à ceux de l'évaluation à partir des examens en imagerie de routine, établissant un taux de sensibilité, exposé en Tableau 7.

Tableau 7 : Evaluation de la fusion basé sur des examens en imagerie de routine.

Etude	N	Support	Taux de fusion (%)	Sensibilité ^{ANAES'00}
Brodsky'91	758 niveau, côté	RX Face/Profil	59,37	0,89
	240 niveau, côté	CT	47,08	0,65
	216 niveau, côté	RX dynamiques	61,11	0,96
Blumenthal'93	49 patients	RX Face/Profil	90	0,73-0,81
Kant'95	126 niveau, côté	RX Face/Profil	69	0,85

Toutefois, l'évaluation de la fusion est encore très hétérogène, par rapport au support d'examen, méthode d'évaluation (qualitative/quantitative) et rendu de résultats (selon nombre de patients, niveaux fusionnée et mêmes côtés), ce qui explique la faible reproductibilité du diagnostic de la fusion : 0,36-0,72 pour un même investigateur et 0,26-0,51 en interobservateur ^{Blumenthal'93}. Dans ce contexte, certains auteurs ^{Christensen'04} montrent l'importance d'une classification radiologique fiable et détaillée pour l'évaluation de la fusion à partir des radiographies, car cette méthode reste un

gold standard en clinique courante^{McAfee'01}.

Cinématique lombaire

L'analyse de la cinématique lombaire débute, comme nous l'avons présenté dans le chapitre 2.3.2, avec des études macroscopiques et des évaluations globales, *in vitro* ou sur des sujets asymptomatiques. Après les études de Castaing^{Castaing'79}, donnant des valeurs globales de flexion-extension, celui de Tanz^{Tanz'53} mesure sur les radiographies dynamiques de 10 enfants et 45 adultes des amplitudes de mobilités décroissantes avec l'âge (Tableau 8).

Tableau 8 : Amplitudes de mobilité intervertébrale lombaire.

Niveau	Tanz'53				White'78	Pearcy'84	Yamamoto'89	Hayes'89	Templier'98b
Par âge	5-25	25-50	50-60	65-75	In vivo	In vivo	In Vitro	In vivo	In vivo
L1L2	10	6	4	2	12	13	10	7	10
L2L3	10	8	5	5	14	13	11	9	11
L3L4	13	9	8	3	15	13	11	10	14
L4L5	17	12	8	7	17	16	15	13	18
L5S1	24	8	8	7	20	14	18	14	12

Ces valeurs sont confirmés ultérieurement par Cosentino^{Cosentino'82} sur 20 sujets âgés de 23 à 33 ans ; il insiste sur la supériorité des amplitudes de rotation en flexion par rapport à l'extension, contrairement à ce qui avait été rapporté antérieurement^{Castaing'79;Kapandji'86}.

D'autres valeurs sont proposés ultérieurement^{White'78;Yamamoto'89;Hayes'89;Pearcy'84} avec une évaluation plus détaillée sur des sujets asymptomatiques ou sur des pièces anatomiques (Tableau 8). Boden^{Boden'90b} annonce sur 40 sujets une mobilité allant de $7,7^\circ \pm 5$ en L3L4 à $9,4^\circ \pm 6,1$ en L5S1, avec une moyenne de translation d'environ 1 mm. Dvorak^{Dvorak'91b;Dvorak'91a} évalue sur 41 adultes sains une moyenne de rotation entre les positions de flexion et extension variant entre $11,9^\circ$ et $18,2^\circ$ et les translations du point le plus bas ou le plus haut de la vertèbre entre -0,9 et 3,1 mm et 6,5 à 12,3 mm respectivement. A la même époque, Tallroth^{Tallroth'92} retrouve des moyennes de rotation de 13° à $17,3^\circ$ sur les 3 derniers étages mobiles (la translation variant de 0 à 7 mm) pour 72 patients asymptomatiques. Lin^{Lin'94} calcule pour 89 sujets asymptomatiques les valeurs normalisées (système de calibration) de la rotation intervertébrale moyenne qui varie selon l'étage entre $6,9^\circ \pm 3,1$ et $14,4^\circ \pm 4$. La translation varie en moyenne entre $0,4 \pm 1,7$ mm pour L5S1 et $2,2 \pm 1,2$ mm pour L3L4, elle étant maximale aux étages L3L5.

La grande variabilité des valeurs et des méthodes de calcul de l'amplitude de mobilité intervertébrale a déterminé Templier et al^{Templier'98b} à proposer un protocole radiologique et une méthode informatisée de mesure. Ces auteurs évaluent la précision de leurs mesures et aboutissent à proposer des valeurs de référence (Tableau 8), cependant à partir d'un modeste échantillon (11 sujets).

Le calcul précis de la mobilité intervertébrale lombaire est important dans l'évaluation de l'instabilité, notion qui reste toujours controversée (voir chapitre 3.2.2). En parallèle, certains auteurs ont proposé un autre indice radiologique afin de caractériser la « normalité » du mouvement intervertébral : il s'agit des axes instantanées de mobilité^{Pearcy'84;Seligman'84} ultérieurement appelés centres de rotation^{Skalli'02;Templier'98b}, mais son utilisation est limitée par la variabilité de définitions, l'appréciation souvent qualitative et l'exploitation difficile de ce paramètre en clinique

courante.

Posture et équilibre antéropostérieur

L'analyse de l'équilibre sagittal du rachis constitue une étape fondamentale dans la compréhension et le traitement des pathologies rachidiennes dégénératives ^{Legaye'93;Duval-Beaupere'92;Duval-Beaupere'87;Legaye'98;Rillardon'03b;Guigui'03;Legaye'05}.

Ainsi, des nombreux auteurs suggèrent qu'une anomalie de l'équilibre sagittal persistante en postopératoire puisse être responsable totalement ou en partie de l'échec du traitement chirurgical ^{Swank'90;Schlegel'96;Guigui'97;Lazennec'00}.

L'évaluation de l'équilibre sagittal commence par l'étude des courbures rachidiennes et de la géométrie du pelvis dans un plan sagittal ^{Legaye'05}, entités réunies dans le terme de posture. Sa grande variabilité entre les individus, selon la stature, constitution et occupation, a mené à la définition de morphotypes par certains auteurs ^{Bonne'69} :

- Staffel (1989) compare un modèle de posture normale à quatre autres morphotypes : dos rond, dos plat, lordotique et kypholordotique (Figure 52 A)
- Appleton (1946) montre l'importance de l'inclinaison du pelvis pour la position de la colonne vertébrale et la posture en général ; il propose trois types de postures définies par le sacrum, la vertèbre sommet de la cyphose thoracique, occiput et talons (Figure 52 B)
- Delmas définit en 1951 un indice rachidien (IR) qui lui permet, sur une série de 450 sujets, de classer trois morphotypes : dynamique (rachis à courbures accentuées), statique (rachis à courbures effacées) et intermédiaire ^{Delmas'51}.
- Après les travaux de Cramer (1956), qui étudie la région thoracolombaire et de Leger (1959), qui établit une relation entre la faible inclinaison du sacrum et le dos plat et la forte inclinaison associée à une configuration lordotique, Vidal et Marnay (1988) proposent une nouvelle classification des morphotypes, qui tient compte de l'équilibre du socle pelvien. Ils définissent un couple pelvien charnière (CC, Figure 52 C) qui permet d'évaluer la

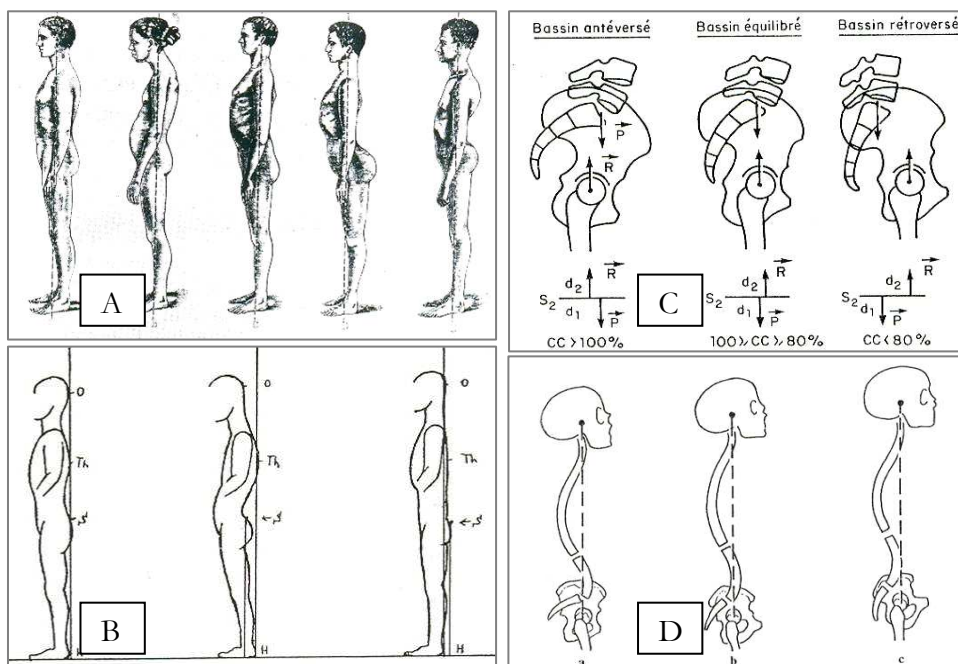


Figure 52 : Morphotypes selon Staffel (A), Appleton (B) et Marnay (C et D).

position du bassin comme antéversée, retroversée ou en équilibre. (Figure 52 D)
Marnay'88;Vidal'83

Ces morphotypes sont reliés dans la mesure où la relation de corrélation entre la verticalité du plateau sacré et l'importance de la courbure lombaire est démontrée par plusieurs auteurs Mangione'97;Legaye'98;Jackson'00a. Ainsi, un bassin antéversé présente une inclinaison du sacrum et une lordose importantes et correspond à un morphotype dynamique, à l'opposé du bassin retroversé qui correspond au morphotype statique de Delmas. Une classification plus récente des morphotypes est proposée, à partir des clichés de 160 volontaires, par Roussouly et al^{Roussouly'05}, qui donne le rôle central à la lordose lombaire, tout en reconnaissant les relations entre la lordose et l'inclinaison du sacrum. Cependant, son analyse (géométrique) concerne uniquement des sujets asymptomatiques et semble difficile à mettre en place pour des évaluations cliniques de routine, tout comme les classifications précédentes.

Afin d'étudier la posture de manière pragmatique, les travaux analytiques de Stagnara^{Stagnara'82} et Bernhardt^{Bernhardt'89} décrivent et analysent les paramètres rachidiens de l'équilibre sagittal cyphose et lordose. Ils retrouvent une très large dispersion de valeurs normales, qui ne permet que le diagnostic des troubles majeurs. En 1985 During^{During'85} précise mieux les relations entre les courbures rachidiennes, le pelvis et la ligne de gravité (obtenue avec une plateforme de force) et décrit des paramètres pelviens (la pente sacrée et l'angle de bascule du bassin, dont la somme était égale à l'angle pelvi-sacré, calculé entre la ligne passant par le centre des têtes fémorales et le centre du plateau sacré et la tangente au plateau sacré).

Il estime que l'équilibre est obtenu grâce à des interrelations entre ces paramètres, bien que les coefficients de corrélation soient faibles. Par la suite, Jackson et Gelb^{Gelb'95} décrivent l'équilibre sagittal en relation avec la ligne de gravité théorique de Strasse et Fick passant par C7 et la capacité de compensation d'un défaut de courbure rachidienne par la bascule du bassin sur les têtes fémorales, mais les paramètres proposés à cette époque semblent peu fiables à la lumière d'une étude ultérieure de van Royen^{Van Royen'98}.

Afin de trouver des références pour l'équilibre sagittal applicables en clinique, un travail global de Duval-Beupère et Legaye^{Legaye'93} expose de façon originale les relations existantes entre l'équilibre du rachis dans le plan sagittal et des nouveaux paramètres caractérisant l'aspect de profil de l'ensemble de la colonne vertébrale et du bassin. Il est basé sur une étude antérieure en barycentremétrie^{Duval-Beupere'92;Duval-Beupere'87}, qui avait montré que l'ensemble pelvis-rachis s'organisait pour positionner en arrière des têtes fémorales le centre de gravité du segment corporel supporté par ces derniers ; la localisation de ce centre aux alentours de T9 a permis de substituer la ligne de projection du centre de gravité segmentaire à un nouveau paramètre, la gîte sagittale de T9 (GST9, Figure 53 A). Cette étude illustre surtout la tendance des sujets de maintenir le corps dans une position où la fatigue musculaire et les contraintes au niveau de la colonne vertébrale étaient minimales, définissant ainsi le caractère économique de l'équilibre (Figure 53 B).

Par la suite, montrant que la plupart des classifications des courbures caractérisant la morphologie sagittale rachidienne étaient purement descriptives^{De Mauroy'78;Marnay'88} et basé sur le fait que les modifications de ces courbures rachidiennes étaient accompagnées des modifications de l'orientation du bassin^{Marnay'88}, l'équipe de Duval –Beupère^{Legaye'93} redéfinit les paramètres

pelviens (Figure 53 C) qui semblent influencer la régulation de l'équilibre sagittal.

Ils postulent que l'incidence pelvienne est un paramètre morphologique ^{Legaye'98} et montrent l'existence d'une chaîne d'interdépendance entre les paramètres pelviens et rachidiens, avec des corrélations fortes entre pente sacrée (PS) et incidence pelvienne (IP) ou lordose, et moins forte entre la cyphose thoracique (CT) et la lordose lombaire (LL). Assimilant l'inclinaison du rachis à la gîte de T9, ils proposent une équation de régression illustrant, à travers des relations entre la lordose, les paramètres pelviens et la gîte sagittale, l'équilibre économique du sujet : $LL = 0,2 CT + 1,17 PS + 0,06 PAF - 0,13 IP - 0,39 VP + 0,99 GST9 + 3,14$. Cependant, l'utilisation de ces équations reste limitée par la taille réduite de l'échantillon étudié (38 sujets sains) ^{Levassor'01}.

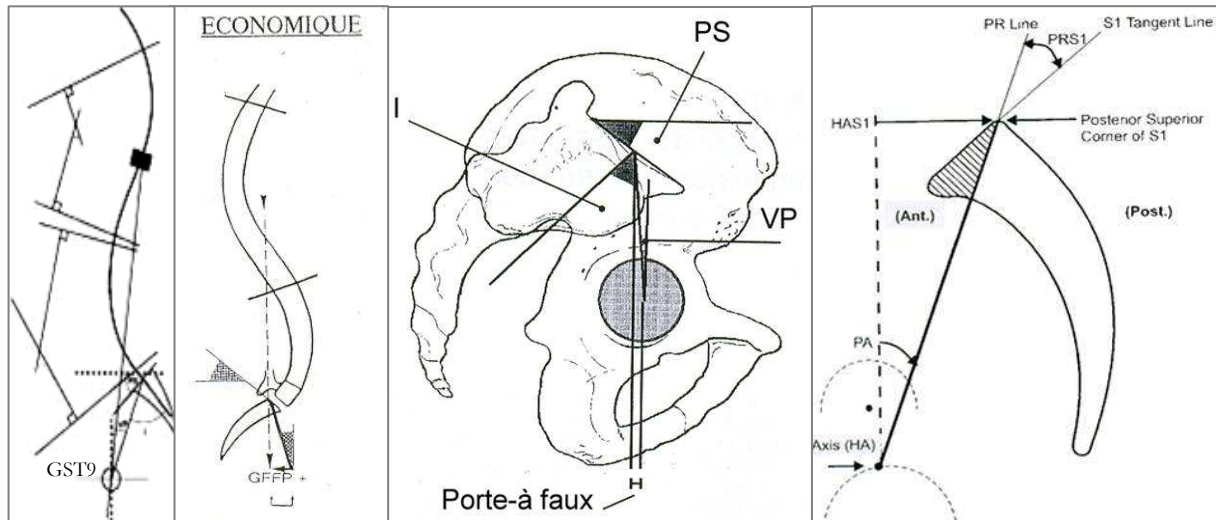


Figure 53 : A. Gîte sagittale de T9 (GST9= angle entre la verticale et la droite unissant T9 et l'axe bicoxofémoral). B. Equilibre économique. C. Paramètres pelviens : pente sacrée (PS= angle entre le plateau supérieur de S1 et l'horizontale), version pelvienne (VP= angle entre la verticale et la ligne unissant le milieu du plateau sacré avec l'axe bicoxo fémoral) , incidence (I= angle entre la perpendiculaire au milieu du plateau sacré et la ligne précédente) et porte-à-faux (distance entre l'axe bicoxofémoral et la projection du milieu du plateau sacré à ce niveau) ^{Legaye'93}. D. Les paramètres pelviens de Jackson remplacent dans le calcul le milieu du plateau sacré avec le coin postéro-supérieur de S1 ^{Jackson'00a}.

Depuis, d'autres travaux ^{Boulay'98;Mangione'97;Legaye'98;Jackson'00b;Jackson'00a;Vaz'02;Marty'02;Legaye'05;Boulay'06} sont venus confirmer l'importance du rôle des paramètres pelviens dans l'équilibre sagittal, malgré des variations de définition et de calcul (Figure 53 D) et la place fondamentale de l'incidence pelvienne. Etant donné la grande variabilité des mesures entre les études susmentionnées et les échantillons restreints, des analyses récentes à plus large échelle ^{Rillardon'03b;Guigui'03;Vialle'05} ont proposé des valeurs de référence pour les paramètres pelviens et rachidiens des populations asymptomatiques.

La très grande variabilité des valeurs est observée également pour les paramètres décrivant la posture Tableau 9 ^{Stagnara'82} ; elle est expliquée partiellement par le type de population (âge, sexe, race) ^{Voutsinas'86}, le manque de standard pour le protocole radiologique (position de référence, verticalité, visibilité des repères anatomiques), le choix des vertèbres limite pour un paramètres donné et les méthodes de mesure de fiabilité rarement quantifiée ^{Stagnara'82;Gelb'95;Trojanovich'95}. Par conséquent, les comparaisons et l'évaluation de la posture et de l'équilibre sagittal restent

difficiles, d'autant plus que la plupart des valeurs de référence ont été calculées à partir des radiographies de sujets asymptomatiques (Tableau 9), les études ayant évalué la posture et l'équilibre avant et après traitement du rachis lombaire dégénératif étant rares^{Gelb'95; Jackson'00b; Marty'02}.

Tableau 9 : Valeurs des principaux paramètres rachidiens décrivant les courbures, à partir des mesures radiologiques (moyenne \pm écart-type et intervalle min-max, AS=sujets asymptomatiques).

Etude	N	Cyphose (°)	Vertèbres limite	Lordose (°)	Vertèbres limite
Stagnara'82	137, jeunes	37	T4/L1	50 \pm 30 (32-84)	L1/S1
Voutsinas'86	630, AS, adolescents	38,5 \pm 8 (max 63)	T2/T12	57 \pm 9	L1/S1
Bernhardt'89	102, AS, adolescents	36 \pm 10 (9-53)	T3/T12	44 \pm 12 (14-69)	T12/L5
Duval-Beaupere'87	14, AS, jeunes	34,3 \pm 8 (20-52)	T4/T12	60 \pm 10 (42-77)	T12/S1
Legaye'98	49, AS, jeunes	45,5 \pm 10 (29-64)	Vertèbres thoraciques les + inclinées	61 \pm 11 (40-79)	Vertèbres lombaires les + inclinées
Gelb'95	100, AS, adultes			64 \pm 10 (38-84)	T12/S1
Jackson'00a	75, AS, adultes	46,3 \pm 11 (22-75)	T1/T12	62 \pm 11 (41-86)	L1/L5
		62,1 \pm 11 (26-75)	T4/T12		
Gangnet'01	26, AS, jeunes	35,8 \pm 8 (22-50)	T4/T12	43,3 \pm 8 (25-57)	L1/L5
Levassor'01	100, AS, jeunes	45,5 \pm 10 (29-64)	T4/T12	60,9 \pm 11 (40-79)	L1/L5
Marty'02	44, AS, jeunes			60 \pm 10 (34-79)	Vertèbre lombaire la + inclinée /S1

Récemment, compte tenu de la difficulté des mesures manuelles pour un nombre grandissant de paramètres et de leur fiabilité limitée (3-10^o Voutsinas'86; Gelb'95; Troyanovich'95; Polly'96), des outils informatiques commencent à être proposés^{Rillardon'03b} afin de rendre pratique une évaluation considérée souvent comme « académique ».

4.3 Facteurs prédictifs pour les résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire dégénératif

Dans le contexte global du progrès des technologies concernant les implants rachidiens et les techniques et stratégies de traitement chirurgical du rachis lombaire dégénératif, la question de l'efficacité de ces traitements a été de plus en plus posée.

Au-delà des évaluations rétrospectives ou prospectives, cliniques et radiologiques, certains auteurs ont essayé d'identifier des facteurs prédictifs pour le résultat mais ce type d'études reste rare et souvent limité à une pathologie et population donnée.

Après une analyse détaillée de la littérature, nous n'avons pas trouvé un consensus concernant ces facteurs prédictifs, qui ciblent souvent un symptôme ou une complication précise d'un type de

traitement donné. Nous présentons sur le Tableau 10 les paramètres les plus répandus et la dimension investiguée, sans que la liste ou les références soient exhaustives.

Tableau 10 : Paramètres prédictifs pour les résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire dégénératif (Cadre : low back pain, SPL= spondylolisthesis)

Paramètre prédictif		Dimension investiguée : succès/échec du traitement
Clinique	Radiculalgie prédominante sur la lombalgie, Lässig positif, et protrusion légère ^{Kim'02;Rousseau'05}	Les patients présentant ces symptômes semblent obtenir des meilleurs résultats.
	Durée de la radiculalgie > 8 mois ^{Nygaard'00}	Prognostic négatif et faible retour au travail
	Durée préopératoire de la douleur et sténose sans SPL versus SPL dégénératif ^{Bitan'84}	Impact négatif des facteurs mentionnés sur le résultat
	Lombalgie égale ou supérieure à la radiculalgie et pas d'arrêt de travail au moment de la 1ère consultation// Fusion instrumentée ^{Snider'99}	Bon impact sur le résultat et succès de la fusion
	Douleur dans l'épaule à la 1ère consultation et historique familial de chirurgie lombaire ^{Snider'99}	Impact négatif sur le résultat et échec de la fusion
	Comorbidité cardiovasculaire et appréciation subjective de l'état de santé préopératoire par le patient ^{Katz'99}	Une faible comorbidité & appréciation préopératoire de bonne santé du patient semblent associées à des bons résultats
	Comorbidité, durée d'intervention, surpoids et reoperations ^{Guigui'02a}	Complications
	Altérations morphologiques : extrusion du disque et racines nerveuses comprimées ^{Schade'99}	Les patients présentant ces signes sont améliorés par le traitement.
	Obésité ^{Capen'96;Guigui'04} mais pas significatif pour ^{Andreshak'97}	Infections
Radiologique	Lordose ^{Roussouly'99}	Une lordose « normale » semble essentielle pour maintenir un bon résultat à long terme
	Fusion ^{Bitan'84;Fischgrund'04}	L'obtention d'une fusion semble associée à des meilleurs résultats
	Perte de correction (diminution de la lordose du segment fusionné) ^{Godde'03}	Dégradation de l'étage adjacent à la fusion
Psychologique	Dépression ^{Arpino'04}	Impact négatif sur le résultat
	Anxiété et dépression préopératoires ^{Graver'95;Schade'99;Trief'00}	Impact négatif sur l'amélioration des symptômes et sur le retour au travail
	Détresse psychologique préopératoire ^{Andersen'06}	Impact négatif sur le résultat
Autres	Economique : Compensations/ litiges pour invalidité : Le revenu au moment de l'opération et l'existence d'une litigiation/demande de compensation, en parallèle des ATCD chirurgicaux, âge et dépression ^{DeBerard'01}	Impact négatif sur le résultat. Toutefois, ce facteur n'a pas d'effet sur le résultat pour d'autres auteurs ^{Hodges'01}
	Combinaisons : hauteur discale réduite sur les clichés, court arrêt de travail et absence de troubles psychologiques + personnalité calme ^{Hagg'03}	Impact favorable sur le retour au travail
	Travail : difficulté des activités (travaux lourds) ^{Schoegg'03}	Impact négatif des travaux lourds (contraintes importantes sur les disques)
	Comportement addictif au tabac ^{Snider'99} , contesté par d'autres études ^{Graver'99}	Impact négatif sur la fusion
	Sexe féminin ^{Graver'99}	Résultats moins bons que les hommes

Nous avons volontairement exclu de cette présentation des facteurs dont l'interprétation est

ambiguë, tel que l'âge, qui semble favoriser des mauvais résultats^{Deyo'93}, en raison cependant de la comorbidité associée^{Malter'98;Fujita'98;Guigui'04}.

5 BILAN DE L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans le contexte des pathologies du rachis lombaire à l'origine de lomboradiculalgies (hors tumeur, trauma et scoliose), un survol rapide de leurs principaux traitements chirurgicaux met en évidence les gestes de décompression, l'arthrodèse avec ou sans instrumentation et les techniques de restauration fonctionnelle. L'efficacité de ces différents traitements est largement débattue dans la littérature, qui donne la place de « gold standard » à l'arthrodèse avec fixation par vis pédiculaires ; toutefois, l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation et la très grande diversité de résultats rendent les études difficilement comparables et limitent la pertinence de leurs observations.

Notre analyse bibliographique met en évidence plusieurs facteurs qui contribuent à cette hétérogénéité :

- les *cadres diagnostiques peu clairs*, car la majorité des études regroupe plusieurs pathologies sous le terme générique de « low back pain », malgré une étiologie et des tableaux cliniques différents
- la *difficulté de préciser des critères standard* de jugement du résultat en évaluation clinique. La littérature mentionne de manière inconstante un ou plusieurs des critères suivants : la douleur lombaire ou radiculaire, la capacité de travail, les aptitudes fonctionnelles, les évaluations psychosociales et l'appréciation subjective du patient.
- l'analyse *qualitative* des examens en imagerie, axée sur les complications, la fusion et ponctuellement la cinématique lombaire ou l'alignement sagittal.
- globalement, une *méthodologie d'évaluation principalement qualitative et un recul souvent assez court* conduisent à une surestimation des résultats reportés.

Ensuite, en raison de nombreuses complications (taux supérieur à 10% pour certains traitements) et de leurs conséquences socio-économiques, plusieurs auteurs ont cherché à identifier des facteurs prédictifs pour le résultat. Cependant, ces études restent rares et ciblent souvent un symptôme ou une complication précise d'un type de traitement donné, sans aboutir à un consensus.

Dans ce contexte, étant donné la difficulté de relier de manière fiable les symptômes ressentis par le patient et l'état anatomique approché par des examens en imagerie, plusieurs études soulignent le besoin d'une démarche d'analyse quantitative. Un certain nombre de paramètres biomécaniques ont été décrits afin d'analyser la posture, l'équilibre et la cinématique ; cependant, la grande variabilité des valeurs de référence obtenues à partir des radiographies des échantillons restreints de sujets asymptomatiques, la fiabilité peu documentée des mesures et le temps nécessaire pour leur calcul limitent pour l'instant leur utilisation dans l'évaluation clinique.

Dans ce contexte général, l'objectif de notre travail est l'analyse quantitative des relations entre les paramètres biomécaniques du rachis, le résultat clinique et fonctionnel d'un traitement chirurgical, l'état général du patient et sa qualité de vie, afin de mieux comprendre les causes biomécaniques de la réussite ou de l'échec des traitements chirurgicaux sur le rachis lombaire et d'identifier les possibles facteurs clés.

**TRAVAIL PERSONNEL :
ANALYSE MULTICENTRIQUE**

La première partie de ce document a posé le contexte du rachis lombaire pathologique, à l'origine des lomboradiculalgies, avec de lourdes conséquences pour le patient et l'économie moderne en général. Malgré le progrès des techniques chirurgicales et des instrumentations rachidiennes, il n'existe pas de standard thérapeutique pour les différentes pathologies concernées par ce cadre diagnostique; cependant, durant les dernières décennies, le choix des chirurgiens du rachis s'est orienté souvent vers une décompression associée à différents types d'arthrodèse. L'efficacité des traitements existants est d'une importance majeure, débattue sous différents angles dans la littérature, qui montre la difficulté de corréler le résultat clinique et radiologique avec les symptômes, les complications et surtout avec la satisfaction du patient. Dans ce contexte, les études mettent en évidence un besoin d'évaluation objective des résultats à partir d'exams de routine, qui permettrait de mieux orienter le choix des stratégies actuelles.

Dans ce cadre, l'objectif de notre travail est l'analyse quantitative des relations entre les paramètres biomécaniques du rachis, le résultat clinique et fonctionnel d'un traitement chirurgical, l'état général du patient et sa qualité de vie, afin de mieux comprendre les causes biomécaniques de la réussite ou de l'échec des traitements chirurgicaux sur le rachis lombaire et d'identifier les éventuels facteurs clés.

Notre présentation abordera dans un premier temps la méthodologie générale de l'étude et les outils spécifiques à notre analyse. Nous exposerons ensuite les études spécifiques (par pathologie et traitement) abordant successivement différents types de discopathies sans et avec glissement. Elles seront suivies par l'analyse statistique de l'ensemble de la population, afin de chercher une relation globale entre les paramètres biomécaniques et le résultat à long terme des traitements chirurgicaux sur le rachis lombaire dégénératif. La partie finale montrera les conclusions et les perspectives ouvertes par ce travail.

6 METHODOLOGIE DE L'ANALYSE MULTICENTRIQUE

Ce chapitre présentera la méthodologie et les différents outils mis en place pour atteindre l'objectif de cette étude, à travers quelques étapes chronologiques : définition du partenariat clinique, élaboration d'un protocole de collecte de données, gestion et analyse de données.

6.1 Définition du partenariat clinique

Afin d'investiguer les relations entre les paramètres biomécaniques du rachis et les résultats cliniques des traitements chirurgicaux les plus utilisés en France pour le rachis lombaire pathologique, nous avons mis en place une large collaboration avec des partenaires cliniques, permettant de cerner les aspects considérés d'intérêt pour chaque pathologie et traitement. Dix chirurgiens expérimentés du rachis, dans six centres cliniques, ont suivi et appuyé nos recherches : Pr Ch. Mazel - Institut Mutualiste Montsouris, Paris, Pr. J. Dubousset et Dr. L. Miladi - Hôpital St Vincent de Paul, Paris, Dr T. David - clinique Bois Bernard, Rouvroy, Dr V. Fièvre - clinique Ste Anne Lumière, Lyon, Pr. JP. Steib et Dr. X. Chiffolot - Hôpital Civil de Strasbourg et Pr. JM Vital, V. Pointillart et O. Gille, Tripode, Bordeaux. Nous avons collaboré ponctuellement avec des psychologues et des statisticiens, mentionnés lors des études nécessitant leurs conseils.

6.2 Protocole de collecte de données

Pour répondre à l'objectif de notre étude, les résultats des traitements investigués devaient être stables et significatifs, impliquant un recul suffisamment long (toutefois dans le contexte d'un projet de thèse limité dans le temps), ce qui explique le choix d'effectuer des études rétrospectives. Etant donné la difficulté d'obtenir des données homogènes pour ce type d'étude, nous avons mis en place une collecte multicentrique de données cliniques et radiologiques, afin d'obtenir des informations les plus complètes possible pour chaque patient.

Le protocole de collecte adopté en concertation avec nos partenaires cliniques définissait le cadre diagnostique et thérapeutique étudié, à travers des critères d'inclusion et d'exclusion, les catégories de données collectées et les périodes du suivi à analyser.

6.2.1 Cadre diagnostique et thérapeutique

Notre étude concerne les pathologies (principalement dégénératives) lombaires à l'origine de lombalgies et radiculalgies, à l'exception des scolioses, tumeurs ou trauma, et en particulier les cas ne répondant pas à un traitement conservateur. Parmi les traitements chirurgicaux réalisés pour ces patients, notre étude s'est focalisée sur les différents types d'arthrodèse réalisés dans les centres cliniques partenaires, choix motivé non seulement par leurs fréquence (pour un recul à long terme) mais aussi par les recommandations de la littérature, qui fait de ce type de traitement le « gold standard » pour la période concernée.

6.2.2 Données collectées

Cliniques

Cette catégorie de données, au sens large, inclut des données générales, médicales (spécifiques à la condition pathologique étudiée) et de qualité de vie, décrite dans la suite.

Données générales : code patient, âge, sexe, poids et taille, comportements addictifs au tabac, historique familial des pathologies dégénératives lombaires, type d'activité professionnelle, arrêt de travail préopératoire, pratique ou non d'un sport.

Données médicales (spécifiques à la condition pathologique étudiée) antécédents médicaux et chirurgicaux, en particulier du rachis, consommation d'analgésiques, diagnostic et siège de la pathologie, durée de l'intervention et pertes sanguines associées, complications per et postopératoires. Des questionnaires spécifiques pré-et postopératoires ont permis d'évaluer la douleur (Echelle visuelle analogique ou VAS), les limitations fonctionnelles (Beaujon, JOA) et leur évolution. Ces scores (Annexe 1), ainsi que d'autres questionnaires spécifiques seront mentionnés/présentés dans la section Matériel & Méthodes de chaque étude. Les gains relatifs des scores utilisés, exprimant le taux d'amélioration après traitement, ont permis un classement objectif des résultats selon les recommandations de la littérature.

Qualité de vie : reprise du travail et changement d'activité quand nécessaire, ainsi que des questionnaires spécifiques, évaluant l'impact du traitement au niveau des activités quotidiennes et de la qualité de vie du patient (exemple SF-12, Annexe 1).

Radiologiques

Les données radiologiques analysés dans cette étude (1860 clichés) consistent principalement en radiographies de profil (surtout grand-axe) et dynamiques (flexion-extension) lombaires,

effectuées lors des examens pré et postopératoires. Dans le cadre de l'analyse spécifique des étages adjacents à un segment traité, leur description préopératoire a été complétée par l'information issue des comptes-rendus des IRM et des bilans scanner préopératoires disponibles.

6.2.3 Périodisation du suivi

Selon la fréquence de réalisation et la disponibilité (rétrospective) des clichés, différente entre les centres partenaires, nous avons regroupé les examens réalisés en préopératoire et postopératoires : court terme (0-1 an), moyen terme (1-2 ans) et long terme (2-5 ans ou plus). Des légères variations de cette périodisation, imposées par la disponibilité des données, peuvent apparaître et seront précisées pour chaque étude.

6.3 Gestion de données

Etant donné l'étendue d'une telle collecte de données, nous avons utilisé une base de données spécifique (ProFile®, Surgiview, Paris), permettant le stockage et la gestion de données correspondant aux 1003 dossiers explorés. Les champs de cette base permettent le remplissage, pour chaque patient, des données collectées, correspondant à un volet général et des volets chronologiques : préopératoire, traitement chirurgical, examens du suivi. L'image (en faible résolution – 8 bit) des examens radiologiques numérisés peut être stockée pour chaque examen, permettant une vue rapide de l'ensemble des données pour un examen et la rédaction de rapports-patient.

6.4 Analyse de données

Cette étape concerne plusieurs types d'analyse, ayant pour but de préciser l'évolution des paramètres décrivant l'état du patient durant le suivi et les relations entre les différents types de variables décrivant cet état, ainsi qu'entre ces variables et le résultat final.

6.4.1 Analyse de données cliniques

Etant donné la hétérogénéité des questionnaires et scores disponibles pour nos études rétrospectives selon les différents centres (manque de standard), l'analyse des données cliniques sera détaillée dans la présentation de chaque étude spécifique. Les grandes lignes de cette analyse sont :

- tester l'évolution des différentes variables (douleur, fonction, satisfaction) durant le suivi, calculer le taux d'amélioration et des complications et, ensuite, le résultat correspondant selon les recommandations de la littérature
- investiguer la normalité de ces valeurs pré et postopératoires en comparaison des références fournies par la littérature pour les questionnaires utilisés (dans l'absence des références, on teste une population asymptomatique afin d'obtenir les valeurs normales).
- comparer les résultats cliniques obtenus à la littérature afin de s'assurer de la superposabilité de l'échantillon étudié sur des populations générales correspondant au même cadre diagnostique et thérapeutique.

6.4.2 Analyse de données radiologiques

Cette analyse requière, dans un premier temps, la numérisation des clichés radiographiques, sous un format d'image standard (TIFF ou DICOM). Cette numérisation est réalisée grâce à un scanner à rouleaux (Vidar Scan VXR12®, GIPS, France) et à une interface spécifique (carte

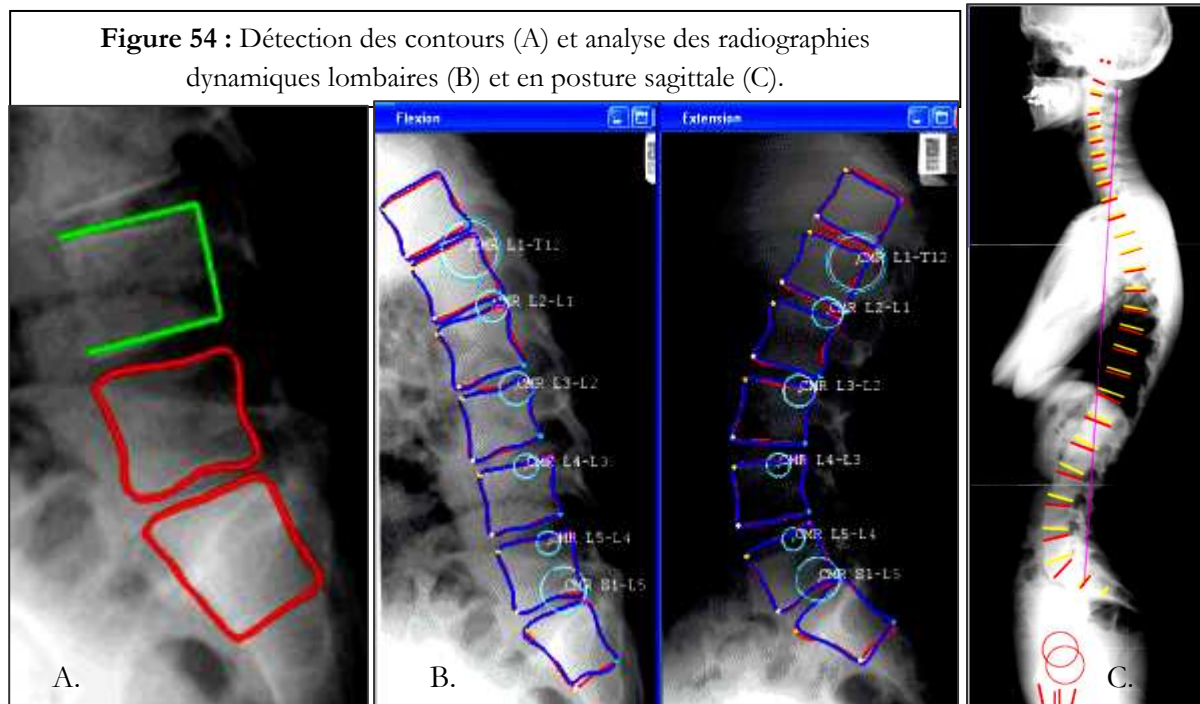
PCMCIA + logiciel adapté) permettant l'acquisition des images de résolution suffisante (75 -150 dpi selon le format des radiographies) et d'une profondeur des niveaux de gris de 12 bit.

Ensuite, un logiciel spécifique (Spineview[®], Surgiview, France) permet l'analyse des images numérisées, basée sur l'identification des repères anatomiques et générant un calcul automatique d'un grand nombre de paramètres. Le logiciel et les principaux paramètres calculés seront présentés dans la suite.

Présentation de l'outil d'analyse radiologique

Le logiciel Spineview a été développé par une étroite collaboration entre le Laboratoire de BioMécanique de l'Ensam, Paris (France), le Laboratoire LIO, Montréal (Canada) et la société Surgiview (Paris, France). Une première version de ce logiciel avait été validée^{Rajnic's'01;Rillardon'03b} en comparaison des mesures manuelles, pour un nombre limité de paramètres calculés à partir des radiographies de profil sagittal. Une deuxième version de ce logiciel a été proposée récemment, permettant le calcul d'un nombre plus important de paramètres et apportant des améliorations concernant le temps de mesure et la détection des contours.

Nous avons utilisé cette dernière version, qui permet l'**analyse** de cinq types de radiographies : flexion-extension cervicales et lombaires, clichés de posture sagittale ou frontale, ainsi que des clichés dynamiques d'inclinaison latérale (bendings). Pour tous ces types de clichés, l'analyse comporte quatre étapes : identification des repères anatomiques sur l'image numérisée, détection des contours des vertèbres (Figure 54 A), validation de ces contours ou correction manuelle et



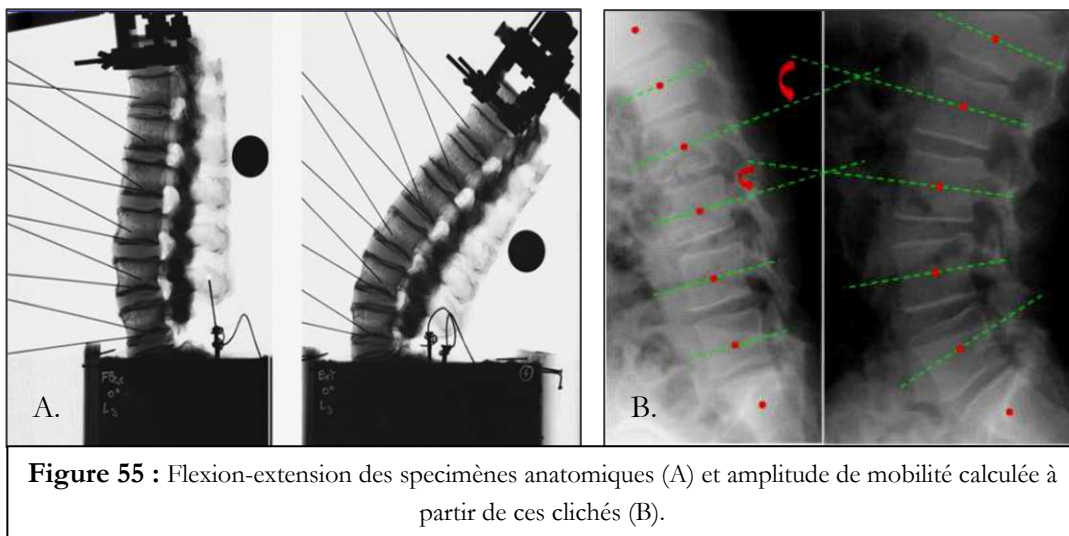
calcul des paramètres à partir des repères identifiés (Figure 54 B et C), avec la possibilité d'enregistrer les données géométriques (contours) et numériques (valeurs des paramètres) de l'analyse.

La **validation** de cette version du logiciel^{Champain'06} s'est déroulée¹ à travers des tests de précision et

¹ Ces travaux se sont déroulés pour la plupart durant l'année de DEA précédant cette thèse^{Champain'02} et ont été

de reproductibilité, évaluant la fiabilité des mesures, suivis d'une investigation de la validité du calcul des paramètres (par rapport à la littérature) et des limites d'utilisation de ce logiciel en activité clinique de routine. Nous présentons dans la suite une synthèse de ces travaux pour l'analyse des radiographies dynamiques (flexion-extension) lombaires et en posture sagittale (pour plus de détails, voir l'article en Annexe 2.1).

La *précision des mesures* a pu être investiguée pour les paramètres angulaires mesurés en flexion-extension, à travers l'analyse de radiographies prises sur des spécimens anatomiques, selon un protocole défini par Templier et al.^{Templier'98b}. Ainsi, 5 spécimens anatomiques de rachis lombaire T12-S1, exempts d'anomalies, ont été instrumentés avec des tiges métalliques (kirschner) au niveau des corps vertébraux. La base des segments était fixée sur un socle et un bras de levier appliqué à l'autre extrémité permettait d'obtenir des positions simulant la flexion ou l'extension physiologiques (Figure 55 A). Les radiographies de ces spécimens ont été réalisées sous un angle d'incidence radiologique de 0° et centrées sur L3 afin de minimiser les distorsions^{Templier'98b}.



A partir de ces radiographies, nous avons pu quantifier les amplitudes de mobilité en flexion – extension (Figure 55 B) pour chaque niveau intervertébral, de la manière suivante :

- la numérisation (sous Matlab[®]) de points sur les tiges de kirschner (repère indéformable, visible sur toutes les radios) permet le calcul des amplitudes de mobilité de référence, avec une erreur de mesure estimée à $\pm 0,8^\circ$ pour un intervalle de confiance à 95% (2 écarts types).

- en parallèle, les valeurs des mêmes paramètres sont obtenues par analyse des clichés radiographiques sous Spineview, à partir des contours vertébraux.

Les tests de Student et Wilcoxon ont montré l'absence d'une éventuelle différence statistiquement significative entre les valeurs mesurées selon ces deux méthodes. La distribution des erreurs de mesure (Spineview versus référence, Δ) étant normale (gaussienne, test de Kolgomorov-Smirnov) et indépendante du niveau intervertébral, nous avons pu calculer un estimateur global de précision (tous niveaux confondus), qui est de $1,96 \times$ l'écart-type de Δ , pour un intervalle de confiance à 95%. Nous avons obtenu une précision de mesure de $\pm 2^\circ$ pour les amplitudes de mobilité du rachis lombaire.

finalisés au début de ce projet.

Pour chaque type de radiographie (posture ou flexion-extension) et chaque variable, la *reproductibilité des mesures* a été investiguée à travers un protocole de test-retest de la manière suivante : trois observateurs ont analysé par séries de 30 analyses (suffisamment espacées dans le temps) trois types de radiographies de qualité différente, choisies aléatoirement dans une classe représentant une visibilité variable des repères anatomiques : bonne (routine), faible et mauvaise. Le total de 270 analyses obtenu pour chaque paramètre a été traité de la manière suivante :

- pour les paramètres calculés pour chaque niveau vertébral, une analyse préliminaire de comparaison de variances a été effectuée, afin de vérifier l'indépendance de la reproductibilité des mesures selon le niveau vertébral
- toutes les variables ont été ensuite testées par ANOVA, afin d'évaluer les erreurs de mesure intra- et inter-observateur. Un coefficient de corrélation intra-classe a été également calculé afin de fournir une estimation complémentaire de la puissance de la mesure inter-observateur.

Les résultats étant caractérisés en termes de moyenne (M), écart type (ET) et coefficient de variation (ET/M), le coefficient de reproductibilité, pour un intervalle de confiance à 95%, est égal à $1,96 \times ET$ et sera considéré un estimateur global de reproductibilité. Il se situe globalement entre 1-4 mm pour les paramètres linéaires (distances) et entre 0,1 et 5,5° pour les paramètres angulaires, avec des variations dépendant sensiblement de la visibilité des repères anatomiques sur la radiographie.

La validité du calcul a été investiguée et démontrée pour les principaux paramètres rachidiens et pelviens par comparaison et superposabilité entre les valeurs obtenues sur des sujets asymptomatiques (60 volontaires, 42% hommes et 58% femmes, âge moyen 43 [22-68] ans) et celles présentées dans la littérature pour des populations équivalentes.

Principaux paramètres biomécaniques issus de l'analyse radiologique

Radiographies en posture sagittale

Selon les repères anatomiques impliqués dans leur calcul, on distingue plusieurs classes de paramètres à signification biomécanique, présentées dans la suite.

Paramètres vertébraux

Pour chaque niveau vertébral, nous avons calculé : les inclinaisons des plateaux vertébraux (angle entre un plateau supérieur ou inférieur et l'horizontale, **Figure 56 A**) les hauteurs vertébrales et les cunéiformisations vertébrales (angle entre le plateau supérieur et le plateau inférieur d'une vertèbre donnée, **Figure 56 B**).

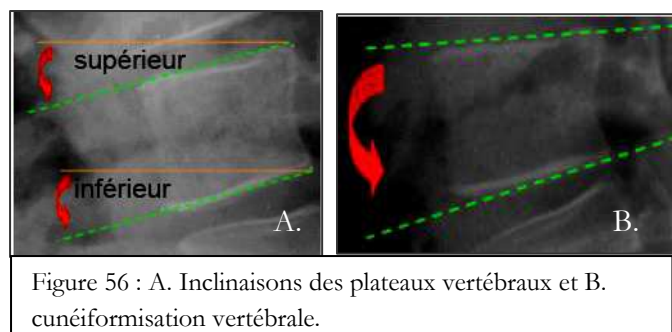
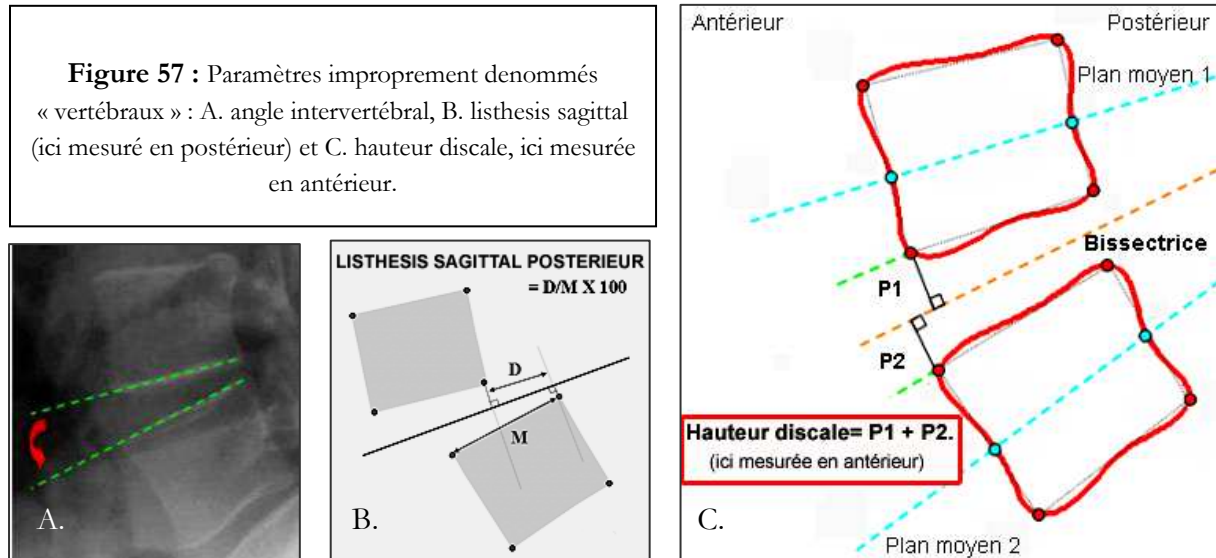


Figure 56 : A. Inclinaisons des plateaux vertébraux et B. cunéiformisation vertébrale.

Ces paramètres permettent une caractérisation de la géométrie du segment mobile analysé, complétée par le calcul des paramètres improprement nommés vertébraux, car ils donnent des informations relatives au disque ou au segment mobile global. Dans cette dernière catégorie on cite les angles intervertébraux (Figure 57A), la hauteur discale ^{Frobin⁹⁷} (Figure 57 C : pour deux vertèbres adjacentes, étant donné la bissectrice de leurs plans moyens, ce paramètre est calculé

(en antérieur et postérieur) comme la somme des distances entre les coins adjacents des vertèbres et cette bissectrice) et les proportions de hauteur disque/vertèbre sous-jacente. A ceci se rajoute un paramètre quantifiant l'alignement sagittal et le glissement d'une vertèbre par rapport à celle sous-jacente : le listhesis sagittal, calculé comme le décalage entre le coin antéro (ou postéro)-inférieur d'une vertèbre et le coin antéro (ou postéro)-supérieur de la vertèbre sous-jacente, et exprimé en pourcentage par rapport au plateau supérieur de la vertèbre sous-jacente (Figure 57 B).



Paramètres rachidiens

Deux classes de paramètres rachidiens ont été mesurés : ceux décrivant les courbures (lordose, cyphose) et ceux dits transversaux, calculés à partir des repères rachidiens et pelviens, décrivant l'équilibre sagittal du rachis.

Dans la première catégorie (Figure 58 A)^{Legaye'93;Stagnara'82}, nous mentionnons le calcul de la **cyphose T4T12** (angle entre le plateau supérieur de T4 et le plateau inférieur de T12), la **lordose L1S1**, mesurée entre le plateau supérieur de L1 et le plateau sacré et la **lordose lombaire** - angle formé par les plateaux supérieur et inférieur respectivement des plus inclinés vertèbres de la courbure lombaire (le plus souvent L1L5).

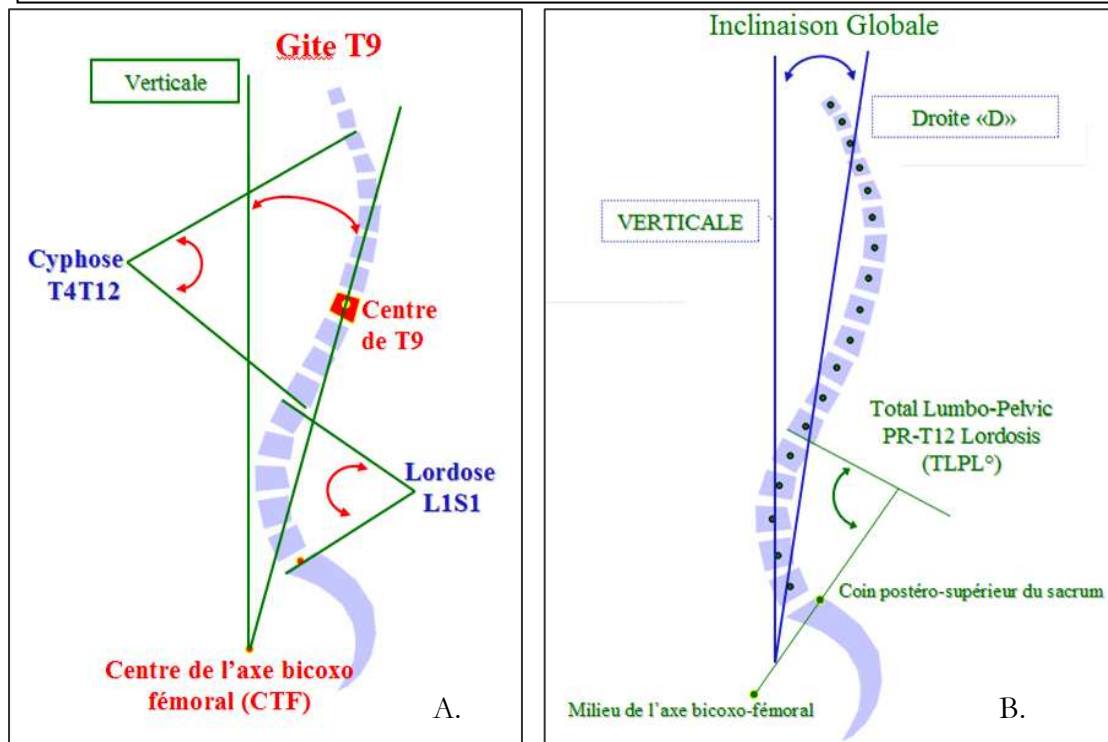
Dans la deuxième catégorie, nous mesurons :

- les **Gites de T1 et T9**, comme angles entre la verticale passant par le centre de l'axe bicoxo-fémoral et la droite reliant ce point au centre du corps vertébral de T1, resp. T9^{Legaye'93} (Figure 58 A)

- et **l'inclinaison globale du rachis** comme angle entre la verticale et la droite passant au sens de moindres carrés par les centres de tous les corps vertébraux, le milieu de l'axe bicoxo-fémoral et les conduits auditifs externes (Figure 58 B).

Un paramètre un peu particulier est la Total Lumbo-Pelvic Lordosis PR-T12 (**TLPL**), angle mesuré entre le plateau inférieur de T12 et le segment « pelviradius » de Jackson^{Jackson'00b}, unissant le centre de l'axe bicoxo-fémoral et le coin postéro-supérieur du sacrum (Figure 58 B).

Figure 58 : Paramètres rachidiens.



Paramètres pelviens

Le rôle de ces variables dans la détection des anomalies du bassin ou de la charnière lombo-sacrée est bien établi dans la littérature^{Boulay'98;Legaye'93;Duval-Beaupere'92;Legaye'98;Boulay'06}, qui cite particulièrement trois paramètres, représentés sur la Figure 59.

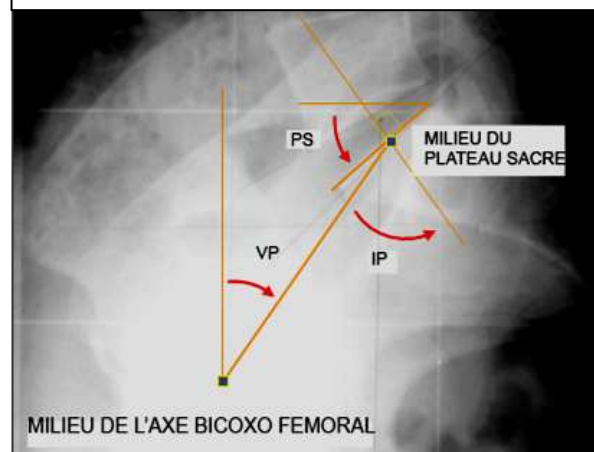
Ils sont :

- **la pente sacrée** : angle formé par le plateau sacré avec l'horizontale^{Legaye'93};
- **la version pelvienne** : angle formé par la verticale et la droite D passant par le milieu de l'axe bicoxo-fémoral et le centre du plateau sacré,
- et **l'incidence pelvienne** : angle entre la perpendiculaire au milieu du plateau sacré et la droite D^{Legaye'93}.

Valeurs de référence (Annexe 2.2)

Afin d'évaluer l'influence du traitement sur la géométrie rachidienne, nous avons calculé des valeurs de référence pour les paramètres susmentionnés à partir des radiographies en posture sagittale d'un groupe « témoin » de 63 sujets asymptomatiques (42% hommes, 58% femmes, âge moyen 43 ± 12 ans)^{Champain'06}.

Figure 59 : Principaux paramètres pelviens. PS= pente sacrée, VP= version pelvienne et IP= incidence pelvienne.



Radiographies dynamiques (flexion-extension lombaire)

L'analyse de ce type de clichés a été axée sur deux paramètres, décrivant la cinématique des segments mobiles lombaires.

La **mobilité intervertébrale (MI)** a été calculée, pour chaque niveau intervertébral, comme la différence entre l'angle intervertébral en flexion et celui en extension. En dehors de son importance pour caractériser la cinématique des niveaux libres, ce paramètre permet également de quantifier la mobilité résiduelle des niveaux instrumentés et d'évaluer la non-union, conformément à la littérature ^{McAfee'01}.

Le **Centre Moyen de Rotation (CMR)** ^{Skalli'02;Percy'88} donne la localisation du point autour duquel la vertèbre susjacent tourne par rapport à celle sousjacent en passant de la flexion maximale à l'extension maximale dans un plan sagittal. Pour un segment intervertébral donné, ce paramètre est exprimé, par superposition des contours sur la vertèbre sousjacent, en coordonnées X et Y dans un référentiel appliqué à cette vertèbre sousjacent (Figure 60). Etant donné que l'incertitude des CMR augmente considérablement pour des MI inférieures à 3° ^{Templier'98b;Champain'06}, le calcul de ce paramètre n'est pas effectué dans cette situation.

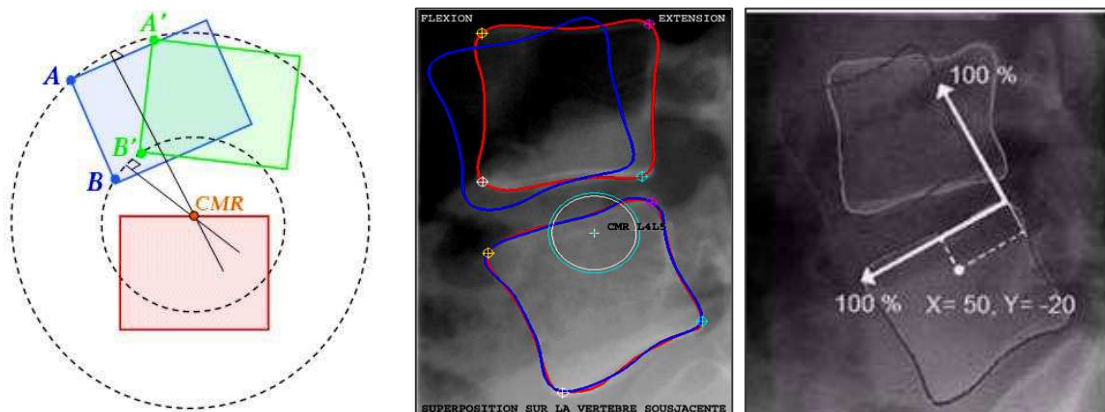


Figure 60 : Centre Moyen de Rotation : calcul géométrique (gauche), image sur les radiographies (milieu) et coordonnées (droite).

Valeurs de référence (Annexe 2.2)

Pour l'analyse dynamique, les valeurs de référence ont été obtenues à partir des clichés dynamiques de 19 volontaires asymptomatiques (11 hommes & 8 femmes, âge moyen 34 ± 10 ans).

6.4.3 Analyse statistique

Les variables quantitatives ont été analysés tout d'abord à l'aide de statistiques descriptives : moyenne, écart-types, modes. Pour les paramètres (cliniques et radiologiques) mesurés en pré- et postopératoire, une comparaison a été effectuée à l'aide de tests de Student (pair pour les mesures d'un même groupe dans le temps et impair pour la comparaison à un moment donné entre deux groupes/ populations) ou Wilcoxon (non-paramétrique) afin d'établir si la différence était statistiquement significative.

De plus, pour l'ensemble de paramètres radiologiques, les incertitudes de mesure (coefficients de reproductibilité pour un intervalle de confiance à 95%) issues des travaux de validation ^{Champain'06} et présentées dans le Tableau 11 ont été considérées comme valeurs-seuil pour évaluer les

changements significatifs dans leur évolution.

Tableau 11 : Coefficients de reproductibilité pour les principaux paramètres rachidiens et pelviens (calculés pour un intervalle de confiance à 95%).

Paramètre	Unités	Coefficient de reproductibilité
Analyse des radiographies de profil sagittal		
Inclinaison du plateau supérieur	°	3
Cunéiformisation vertébrale	°	4
Hauteur discale	mm	3
Proportion hauteur disque/vertèbre	%	10
Listhesis	%	8
Lordose du segment fusionné	°	4
Lordose L1S1et lombaire	°	4
Pente sacrée	°	4
Version pelvienne	°	1.2
Incidence pelvienne	°	3.4
Analyse des radiographies en flexion-extension lombaire		
Mobilité intervertébrale	°	2
Coordonnées des CMR	%	15

Dans une étape suivante, les inter-relations entre les différentes classes de variables ont été analysés à l'aide de tests de corrélation de Pearson et Spearman. Plus encore, afin de rechercher les relations entre les variables cliniques définissant le résultat (souvent qualitatives) et les paramètres radiologiques mesurés durant le suivi des patients, les analyses factorielles : des correspondances multiples et discriminante ont été utilisées ; ce dernier volet de l'analyse statistique sera détaillé dans le chapitre dédié à l'analyse globale.

L'ensemble des analyses a été effectué à l'aide des logiciels (validés) Statview 5.0[®](Abacus Concepts Inc, CA, USA) et XLStat 7.5[®](Addinsoft SARL, New York, NY, USA). La méthodologie générale décrite ci-dessus a été adaptée aux spécificités de chaque étude que nous avons mise en place avec nos partenaires cliniques, avec des variations (analyses et paramètres supplémentaires) qui seront détaillées pour chaque étude.

7 ETUDES SPECIFIQUES

Notre analyse a été orientée vers une investigation quantitative et précise des relations entre les paramètres biomécaniques mesurés à partir des radiographies du rachis et les résultats cliniques des traitements chirurgicaux communément pratiqués en France.

Nous présenterons cette investigation sous forme d'études classées par pathologie et traitement, abordant dans un premier temps les discopathies dégénératives sans déformation/glisement et ensuite les différents types de spondylolisthesis.

7.1 Discopathies sans déformation/glissement

Nous avons exposé précédemment les traitements chirurgicaux proposés pour ces types de pathologies, qui consistent principalement en gestes de décompression, associés ou non à une stabilisation par arthrodèse. Notre étude n'évalue pas la décompression seule, car ses résultats sont assez discutés dans la littérature, mais implique différents types d'arthrodèse réalisés par nos partenaires cliniques : postéro-latérale avec différents types d'instrumentation et intersomatique antérieure et postérieure.

7.1.1 Séquelles de hernies discale opérées - arthrodèse postéro-latérale avec instrumentation dynamique²

Introduction

Nous avons montré dans le chapitre 4.1.1 que les gestes de décompression seule, notamment la discectomie, peuvent générer des échecs ou des récurrences ^{Osterman'03;Swartz'03} qui sont habituellement traitées par arthrodèse ^{Zdeblick'95;Fritsch'96}. L'évaluation des résultats de ces arthrodèses post-discectomie est principalement axée sur des critères qualitatifs et subjectifs, comme le diagnostic de la fusion ^{Tajima'89;Christensen'01}. L'analyse concerne aussi les complications : les douleurs résiduelles, la pseudarthrose, la dégradation des étages adjacents ^{Schlegel'96;Akamaru'03;Goto'03;Okuda'04;Ghiselli'04}, les fractures du matériel d'ostéosynthèse ou la hernie récurrente ^{Christensen'01;Osterman'03;Schofferman'03}.

Toutefois, la quantification des résultats est difficile en raison du manque de consensus dans l'évaluation qualitative de la fusion ^{Brodsky'91;Hamill'97;Siambanes'98;McAfee'01;Santos'03} et dans le choix des paramètres décrivant la dégradation de l'étage adjacent au segment fusionné ^{Schlegel'96;Okuda'04;Ghiselli'04}. A ceci se rajoutent les controverses concernant le choix des moyens d'imagerie durant le suivi, le manque de consensus entre les études comparant les données radiologiques issues des radiographies, IRM ou scanner avec des découvertes chirurgicales ^{Brodsky'91;Kant'95;Siambanes'98;Christensen'01} et la variabilité de la fiabilité des mesures ^{Hamill'97}, par ailleurs rarement documentée.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude a été d'évaluer l'intérêt de l'analyse radiologique quantifiée du rachis lombaire dans l'investigation des résultats des arthrodèses postéro-latérales instrumentées et d'identifier les paramètres biomécaniques clés impliqués.

Matériel et méthodes

1. Etude clinique. Les données cliniques ont été collectées (rétrospectivement) pour 108 patients réopérés après discectomie lombaire par le même chirurgien orthopédique (Ch.M.) entre 1991 et 2000 à l'Institut Mutualiste Montsouris, Paris, France, et enregistrées dans la base de données ProFile. Nous avons sélectionné pour cette étude les dossiers contenant à la fois les données cliniques et radiologiques, avec un recul radiologique de minimum deux ans.

Le groupe sélectionné était composé de 49 patients : 43% hommes et 57% femmes, âgés de 29 à 73 ans (en moyenne 47 ans). Les principales indications pour la réopération ont été la hernie discale récurrente (10 cas), la formation d'une cicatrice épidurale (4 cas) et/ ou des lombalgies invalidantes ou sciatiques, sans réponse au traitement conservateur (35 cas).

Tous les patients ont subi une fusion posterolatérale lombo-sacrée avec greffe d'os iliaque et instrumentation dynamique (Twinflex ®, SpineNetwork, France) ^{Mazel'95}. L'arthrodèse intéressait

² coll. I.M.Montsouris, Paris : Pr. Ch. Mazel, voir article publié en European Spine Journal en Annexe 2.3.

les niveaux suivants : L3-sacrum en 25% des cas, L4-sacrum en 53% des cas et L5-sacrum pour les autres 22%, ce qui signifie un nombre total de 93 disques traités. Les données cliniques ont été collectés pour l'ensemble de la population et le score de Beaujon Lassale^{Lassale'85} a permis d'évaluer la condition générale et neurologique du patient. Le gain relatif de ce score a été calculé d'après la définition de Lassale & al.^{Lassale'85} :

$$\text{Gain relatif (\%)} = \frac{\text{score final} - \text{score initial}}{20 - \text{score initial}} \times 100.$$

Ce calcul permet une estimation des résultats selon le pourcentage d'amélioration obtenue : résultats très bons (de 71% à 100%), bons (de 41% à 70%), moyens (entre 11% et 40%) et mauvais, si le gain relatif est inférieur à 11%.

Le suivi allait de 2 à 10 ans (5 ans en moyenne) et il a été divisé en trois périodes, de la manière suivante : court terme (inférieur à un an), moyen terme (de 1 à 3 ans) et long terme (entre 3 et 5 ans et plus). Huit patients (16%) dans cette population n'ont pas atteint le long terme.

Réopérations : Durant le suivi, 6 patients ont été ré-opérés. Dans quatre de ces cas la raison a été la dégradation du niveau adjacent (6-8 ans après la fusion), associée pour un des patients avec une fracture de vis et pseudarthrose. Dans les deux autres cas, les patients actifs (sportifs & activités physiques intensives) ont demandé l'ablation de l'instrumentation environ 3 ans après la fusion.

2. Etude radiologique

Pour l'ensemble de 49 patients, 118 radiographies lombaires de profil et 140 paires de clichés flexion-extension (dynamique) lombaires ont été numérisées et analysées à l'aide du logiciel Spineview[®]. Etant donné le caractère un peu hétérogène des données radiologiques disponibles, le type et le nombre exact des radiographies analysées sont présentés dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Radiographies sélectionnées (exprimées en tant que nombre des patients et % de la population) pour les différentes périodes du suivi.

Type de radiographie	Préopératoire (n= 49)	Court terme 0-1 an (n= 49)	Moyen terme 1-3 ans (n= 49)	Long terme 3-5 ans (n= 38)	Dernier recul disponible pour 100% des cas
Profil sagittal	28 (57%)	30 (60%)	30 (60%)	26 (68%)	3 ± 0.5 ANS
Dynamiques lombaire (flexion-extension)	19 (39%)	39 (76%)	45(92%)	37(97%)	4 ± 1.5 ANS

Note : le suivi radiologique a été disponible à long terme pour 38 patients, car 8 patients n'ont pas atteint cette période et trois autres patients considérés complètement guéris n'ont pas effectué des radiographies à partir de 5 ans.

La principale évaluation a été basée sur des radiographies dynamiques, car les clichés de profil n'ont pas été prescrits systématiquement au même moment du suivi (pour éviter l'irradiation du patient). Malgré la disponibilité hétérogène des clichés de profil (court et long terme, moyen et long terme ou court et moyen terme pour un patient donné), au moins deux clichés lombaires de profil ont pu être analysés pour chaque dossier et tous les patients ont eu une radiographie sagittale à 3 ± 0.5 ans après la chirurgie.

2.1 Analyse des radiographies de profil

a. Afin d'évaluer la *géométrie lombaire et pelvienne*, les paramètres suivants ont été calculés à partir des radiographies du rachis lombaire sagittal, à différents moments du suivi jusqu'au dernier recul : la

lordose L1S1, la lordose lombaire (L1L5), la pente sacrée, la version pelvienne et l'incidence pelvienne, conformément aux définitions décrites précédemment et à la littérature^{Legaye'93}.

b. *La dégradation des niveaux adjacents* a été investiguée également. Les radiographies et les IRM préopératoires ont été utilisées pour évaluer des signes de dégradation préexistants. La présence des ostéophytes et la sclérose des plateaux vertébraux (gradées de 1 à 4) et/ou la sténose du niveau susjacent ont été considérées comme critères qualitatifs de dégénérescence^{Schlegel'96;Okuda'04;Ghiselli'04}. L'analyse quantitative a été axée sur des paramètres calculés à partir des radiographies lombaires de profil : l'inclinaison du plateau vertébral supérieur, les cunéiformisations vertébrales, le listhesis sagittal, la hauteur discale^{Frobin'97}, les proportions de hauteur disque/vertèbre et la lordose du segment fusionné (l'angle entre les plateaux supérieur cranial et inférieur caudal du segment fusionné). Nous avons également analysé les relations entre les critères qualitatifs et quantitatifs.

2.2 *La cinématique du rachis lombaire* a été investiguée à partir des radiographies dynamiques (flexion-extension) lombaires. Les mobilités intervertébrales (MI) ont quantifié la mobilité résiduelle des niveaux instrumentés et ont permis d'évaluer la non-union^{McAfee'01}. Les critères suivants ont été postulés pour interpréter les résultats : une mobilité intervertébrale non significative (0-3°) peut être considérée comme fusion solide, une mobilité faible (3-5°) comme fusion douteuse et, au final, une mobilité égale ou supérieure à 5° en tant que pseudarthrose, dans l'hypothèse que la fusion devrait être acquise à partir d'un an après la chirurgie. Les Centres Moyens de Rotation (CMR)^{Skalli'02;Pearcy'88} ont été calculés également afin de compléter l'analyse cinématique.

2.3 Analyse des paramètres et valeurs de référence.

Pour l'ensemble de paramètres, les incertitudes de mesure calculées lors de la validation du logiciel Spineview ont été considérées comme valeurs-seuil pour évaluer les changements significatifs dans leur évolution. De plus, afin d'évaluer l'influence de l'instrumentation sur le segment fusionné, les valeurs des paramètres calculés dans l'étude ont été comparées aux références obtenues lors de l'étude de validation (Annexe 2.2)^{Champain'06}. Ces valeurs de référence sont complétées pour les paramètres vertébraux sur le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Valeurs de référence pour les paramètres vertébraux (moyenne \pm 2 écart types).

Niv.	Inclinaison du plateau supérieur (°)	Cunéiformisation vertébrale (°)	Niv.	Hauteur discale post. (mm)	Proportion hauteur disque/vert. post. (%)	Listhesis sagittal (%)	Niv.	Lordose du segment fusionné (°)
S1	40 \pm 14	10 \pm 10	L5S1	6 \pm 4	22 \pm 12	0 \pm 4	L5S1	57 \pm 18
L5	19 \pm 16	9 \pm 6	L4L5	7 \pm 4	23 \pm 14	-1 \pm 4	L4S1	46 \pm 18
L4	3 \pm 16	4 \pm 6	L3L4	7 \pm 4	23 \pm 10	-1 \pm 2	L3S1	31 \pm 16
L3	-8 \pm 14	3 \pm 6	L2L3	7 \pm 2	23 \pm 10	-1 \pm 2		
L2	-14 \pm 12	1 \pm 6	L1L2	7 \pm 2	22 \pm 10	-1 \pm 2		
L1	-16 \pm 12	-1 \pm 3						

3. Analyse statistique

L'ensemble de variables cliniques et biomécaniques a été analysé dans un premier temps par des tests descriptifs (moyenne, écarts-types, min-max, etc.) ; ensuite, des tests spécifiques ont permis

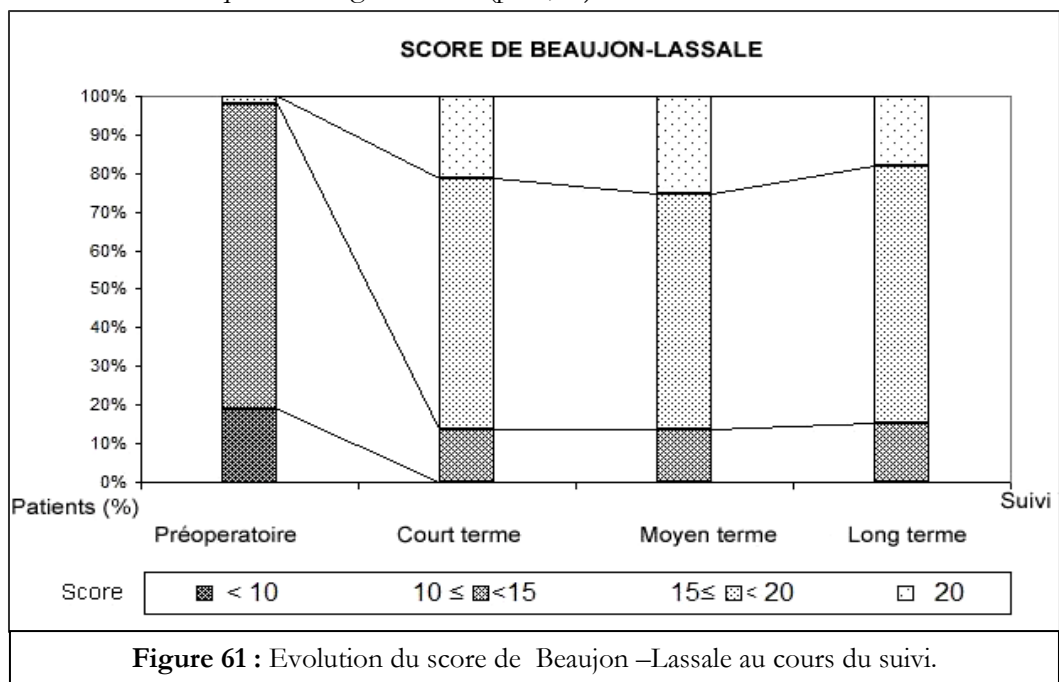
une analyse approfondie de leur évolution, comme suit.

Les scores cliniques ont été investigués statistiquement par des tests de significativité (Student t) et par analyses de variance univariées (ANOVA); une valeur de p inférieure à 0,05 a été considérée significative. Ensuite, les données cliniques et les paramètres biomécaniques ont été analysés à travers des tests ANOVA et des tests de régression linéaire et corrélation. Les tests statistiques ont servi également à comparer l'évaluation qualitative de la fusion, telle que rapportée dans les notes du chirurgien orthopédique (Ch.M.), avec les résultats de l'analyse quantifiée, correspondant au protocole décrit précédemment.

Résultats

1. Analyse clinique.

L'évolution des scores de Beaujon-Lassale (pouvant aller de 0 à 20) est représentée sur la Figure 61. Une différence statistiquement significative ($p=0,03$) a été trouvée entre les valeurs des scores



calculées à différents moments dans le temps.

Les gains relatifs ont permis de classer les résultats en tant que : très bons pour 61 % des patients, bons pour 29 % des cas et moyens pour 10 % des patients.

Les complications postopératoires ont été représentées par des douleurs résiduelles (15%), dégradation du niveau adjacent (8% à 5 ans), fracture de l'instrumentation (6%) et pseudarthrose (4%).

2. Analyse radiologique

2.1 Radiographies de profil lombaire (sagittales)

a. Géométrie lombaire et pelvienne. L'analyse statistique n'a pas montré des différences significatives entre les valeurs calculées à des différents moments du suivi pour la lordose et les paramètres pelviens. De plus, leurs valeurs étaient dans les plages de normalité Legaye'93;Vialle'05;Champain'06 dans le temps, à l'exception de trois cas (6%) sans évolution notable, où les valeurs de la lordose et des paramètres pelviens étaient soit faibles (deux patients) soit élevées (surtout pour la version pelvienne et l'incidence, un cas) à tous les examens (y compris

préopératoire).

b. Dégradation des niveaux adjacents. Globalement, le taux de dégradation acquise du niveau adjacent a été de 8 % (4 cas) à 5 ans et 18% (4+5 nouveau cas) à 9 ans post-op., selon les critères qualitatifs et quantitatifs; les plus significatives découvertes seront présentées dans la suite.

Dans l'analyse *qualitative*, les ostéophytes et la sclérose des plateaux vertébraux ont été associées avec la dégénérescence dans 7/9 cas (à l'exception de 2 cas de sténose). Les plus significatifs paramètres *quantitatifs* ($p < 0.0001$, Tableau 14) associés individuellement avec la dégradation du disque ont été la diminution évolutive de la lordose du segment fusionné, des variations significatives (>4 mm) de la hauteur discale et la hypermobilité du niveau adjacent. L'association de ces paramètres n'a pas augmenté le coefficient de corrélation.

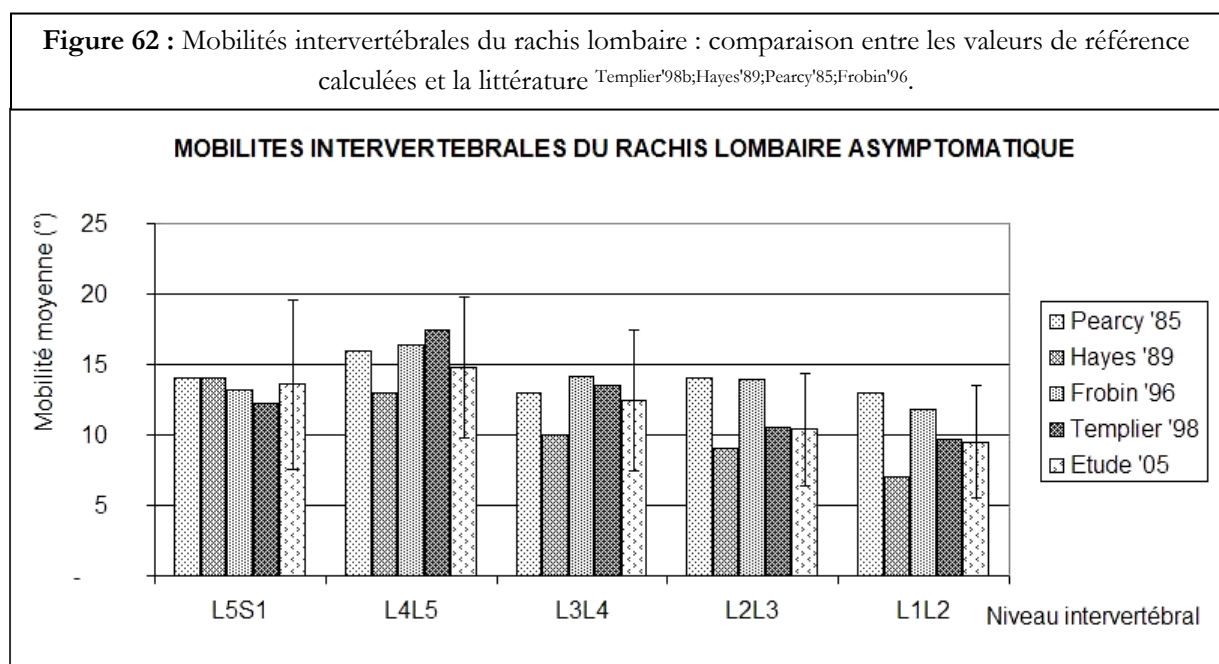
Tableau 14 : Tableau de corrélation entre les paramètres vertébraux quantitatifs et la dégradation du niveau adjacent (test de Pearson : $p < 0.0001$).

Critère	PARAMÈTRE	COEFFICIENT R
1	Modifications significatives de la lordose du segment fusionné	0.4
2	Diminution évolutive de la lordose du segment fusionné	0.5
3	Modifications significatives de la proportion de hauteur postérieure disque/vertèbre (niveau adjacent)	0.8
4	Diminution de la hauteur discale (adjacente) postérieure	0.6
5	Critères 2&4	0.6
6	Critères 1&3	0.8
7	Hypermobilité du niveau adjacent	0.6
8	Critères 2&3&7	0.6

De plus, en comparaison aux valeurs de référence, des faibles valeurs de la lordose du segment fusionné ont été observées en 5/49 patients à tous les examens (y compris préopératoire), sans être associées à la dégradation du niveau susjacent.

2.2 Analyse des clichés en flexion-extension lombaire

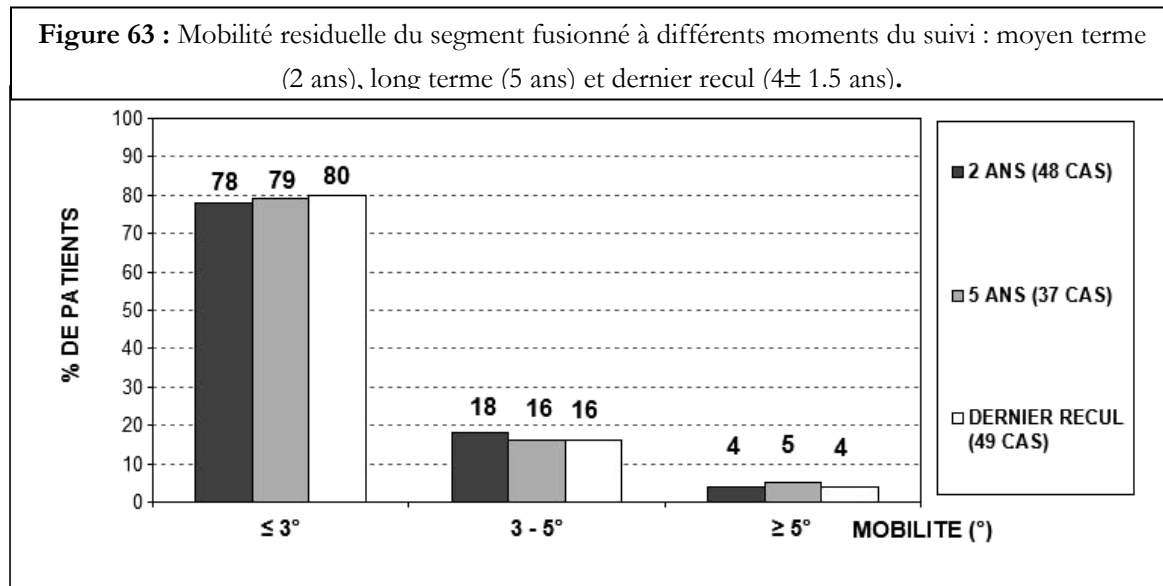
Les paragraphes suivants résument les résultats de l'analyse (à tous les niveaux intervertébraux)



des mobilités intervertébrales (MI) et de la localisation des centres moyens de rotation (CMR) comparée aux valeurs de référence qui ont été trouvées en accord avec la littérature (Figure 62 pour MI, ^{Templier'98b;Percy'88;Percy'84} pour CMR).

a. Analyse du segment fusionné

Les mobilités intervertébrales (MI) des segments intervertébraux instrumentés ont été entre 0 et 5° durant le suivi, à l'exception des deux patients présentant des MI de, respectivement, 5° et 6° aux examens de moyen et long terme. Les valeurs des MI obtenues à 2 ans, 5 ans et au dernier



recul ont été similaires/comparables, comme présenté sur la Figure 63.

Par conséquent, au dernier recul, la mobilité du segment instrumenté était :

- non significative (0-3°) dans 39 (80 %) cas, pour lesquels les résultats cliniques étaient très bons et bons.
- faible (3-5°) en 8 cas (16 %), ayant des résultats bons et moyens associées aux douleurs résiduelles et en 4/8 cas à la dégénérescence à long terme du niveau susjacent.
- évocatrice d'une pseudarthrose (>5°) pour 2 patients (4%), présentant des fractures de vis et résultats cliniques moyens (une réopération a été nécessaire dans un de ces cas).

Basé sur ces résultats, la fusion à long terme a été acquise en 80% des cas et une bonne corrélation ($r=0.8$) a été observée entre la fusion acquise et un résultat clinique satisfaisant. De plus, une concordance a été observée entre l'évaluation qualitative du chirurgien et ces résultats dans 87% des cas, la différence correspondant surtout au cas classés comme fusion douteuse (16 %) selon nos critères. Le taux de pseudarthrose pour cette série est de 4 %.

b. Concernant les niveaux adjacents, la mobilité moyenne a été quasi-constante dans le temps : 7° à court terme et 9° à moyen et long terme, décrivant une plage de 0 à 19°. Toutefois, une certaine évolution a été mise en évidence analytiquement : le Tableau 15 présente les mobilités intervertébrales et les localisations des CMR pour le niveau adjacent, par comparaison aux valeurs de référence pour les différentes périodes du suivi.

Tableau 15 : Cinématique des niveaux adjacents au segment fusionné dans le temps : les résultats sont présentés par rapport aux valeurs de référence (% des patients dans chaque catégorie).

Paramètre (comparé à la référence)	Mobilité intervertébrale			Centre Moyen de Rotation		
	Normale	Elévée	Faible	Normal	Anormal	Non calculé (ROM<3°)
Court terme	32	0	68	65	8	27
Moyen terme	62	2	36	75	8	17
Long terme	36	5	59	49	8	43

De plus, pour le niveau au-dessus de l'adjacent les MI ont été normales à long terme pour 45% des patients, faibles en 48 % des cas et élevées (en comparaison aux valeurs de référence) en 7 % des patients. La localisation des CMR était normale pour 48% de ces patients, anormale pour 20 % et non calculée pour autres 32 % (ROM < 3°).

Discussion

1. Analyse clinique

L'objectif de notre étude a été d'évaluer l'intérêt de l'analyse quantitative dans l'appréciation des résultats. Une corrélation significative ($r=0.8$) a été trouvée entre le résultat clinique global (bons et très bons pour 90% des patients) et la fusion (taux de 79% à moyen terme et 80% à long terme). Ces résultats sont en accord avec une méta-analyse de la littérature de Turner et al.^{Turner'92b}, qui ont évalué la plage des bons résultats à 16-95% (moyenne 68%) et le taux de fusion à 85.6% (56-100%), avec une relation positive entre fusion et résultat satisfaisant. Deux autres études ont investigué une relation statistique entre fusion et résultat clinique : une faible corrélation a été observée par Diedrich & al.^{Diedrich'01} (taux de fusion 61.4% à moyen terme et 77.8% à long terme), et Wetzel & al.^{Wetzel'99} ont trouvé une bonne corrélation, correspondant à un taux de fusion de 61%. Bien que nos taux de fusion sont comparables à la première étude, nos résultats semblent plus en accord avec la dernière étude et globalement comparables à la littérature.

2. Analyse radiologique

Même si l'analyse quantitative peut paraître compliquée pour le chirurgien orthopédiste moyen, les méthodes assistées par ordinateur rendent le calcul rapide (10 minutes en moyenne) et reproductible, étant d'une précieuse aide dans l'appréciation des résultats. De cette façon, un grand nombre de paramètres a été calculé afin de décrire avec précision la géométrie et la cinématique du rachis lombaire dans le temps. Toutefois, juste quelques uns ont été pertinents pour l'évolution postopératoire du patient et seront discutés dans la suite.

2.1 Analyse des radiographies de profil lombaire

a. Géométrie lombaire et pelvienne.

L'analyse statistique n'a pas mis en évidence une évolution pertinente ou des valeurs anormales pour les paramètres rachidiens et pelviens, montrant une certaine stabilité durant le suivi. De plus, pour la population étudiée, ces paramètres ne sont pas directement corrélés avec le résultat clinique, en accord avec les études de Lazennec et al.^{Lazennec'00}, qui ont évalué une possible corrélation entre les paramètres pelviens, la lordose L1S1 et la douleur en postopératoire, et celle de Korovessis & al.^{Korovessis'04}, qui ont investigué le rôle de la pente sacrée, lordose et des certains paramètres vertébraux dans l'évaluation des résultats des fusions postéro-latérales lombaires.

b. Dégradation des niveaux adjacents

La fusion solide semble accélérer la dégradation des niveaux adjacents. Ghiselli & al^{Ghiselli'04} ont annoncé un taux de dégradation symptomatique de 16.5% à 5 ans et 36.1% à 10 ans de recul, qui est supérieur aux valeurs observées dans notre population : 8 % à 5 ans et possiblement 18 % (calculés sur la base de 49 patients : population initiale) à 9 ans de recul. Toutefois, la dernière valeur (à 9 ans) doit être interprétée avec prudence, puisque le recul radiologique de 9 ans n'a pas été disponible pour tous les patients. Néanmoins, il est généralement difficile d'estimer si la dégradation à 9 ans de recul est due strictement à la chirurgie ou au processus de vieillissement, puisqu'il n'y a pas, à notre connaissance, d'étude évaluant clairement la dégradation symptomatique des disques liée au vieillissement, qui permettrait une analyse plus fine.

Plusieurs études cliniques^{Schlegel'96;Goto'03;Okuda'04;Ghiselli'04} ont rapporté une dégradation du niveau adjacent après la fusion lombaire, investiguant des facteurs variés comme le rétrécissement de la hauteur discale, le glissement progressif du corps vertébral, les ostéophytes et la sclérose des plateaux vertébraux, mais aucune a pu démontrer une corrélation. En comparaison à une étude de Okuda & al^{Okuda'04}, qui ont émis l'hypothèse que la dégradation du niveau adjacent serait liée à l'inclinaison laminaire qui affecte la stabilité sagittale et à une rotation anormale, qui augmente les contraintes dans le disque, dans notre étude les paramètres vertébraux décrivant la stabilité sagittale n'ont pas été directement associés avec la dégénérescence, corrélée uniquement avec la hypermobilité ($r=0.6$). De plus, à l'opposé d'une étude de Schlegel & al^{Schlegel'96}, la fixation hypolordotique du segment fusionné (observée en 5 cas dans notre population) n'a pas été associée avec la dégradation du niveau adjacent, probablement en raison d'un alignement sagittal globalement normal.

Dans la présente étude, les paramètres quantitatifs corrélés à la dégénérescence des étages adjacents à la fusion ont été la diminution évolutive de la lordose pour le segment fusionné, ainsi que les changements significatifs dans la hauteur discale postérieure (et de la proportion de hauteur postérieure disque/ vertèbre) et la hypermobilité pour les niveaux adjacents. Ces signes quantifiés de dégradation peuvent être observés avant l'apparition des ostéophytes (commençant avec les grades 1 et 2), ce qui signifie une possible détection précoce du risque de dégradation.

2.2 Analyse des clichés en flexion-extension lombaire

Généralement, le manque des moyens d'investigation standard en imagerie^{Brodsky'91;Kant'95;Hamill'97;Christensen'01} ou des critères standard^{McAfee'01;Santos'03} rend difficile l'appréciation du succès des fusions postero-latérales lombaires ou lombo-sacrées. Une étude de Christensen & al.^{Christensen'01} a montré une fiabilité acceptable (70%) dans l'interprétation radiographique de la fusion postero-latérale lombaire. Les critères les plus répandus sont qualitatifs et dépendants de l'expérience de l'observateur^{Hamill'97}, comme l'absence de mobilité sur des clichés dynamiques et la présence des ponts osseux intervertébraux sur les clichés statiques de profil^{Kant'95;Diedrich'01;Godde'03}. Tajima & al.^{Tajima'89} et Santos & al.^{Santos'03} ont quantifié la mobilité des segments fusionnés et ont proposé une valeur seuil de 2° pour la mobilité résiduelle, mais cette valeur ne tient pas compte de l'erreur de mesure (manuelle) qui n'a pas été documentée. Une limite de 5° a été prescrite par la FDA (The United States Food and Drug Administration)^{McAfee'01}. En utilisant cette valeur, le taux de fusion dans cette étude devrait être de 96 %, qui est presque au-dessus des valeurs de la littérature^{Turner'92b;Tajima'89;Kant'95;Wetzel'99;Christensen'01;Diedrich'01;Santos'03;Godde'03}. Nous avons utilisé une valeur seuil

de 3° pour détecter la mobilité résiduelle, qui est supérieure à l'incertitude de mesure des angles ^{Champain'06}, permettant de quantifier des faibles (3-5°) mobilités, associées pour les patients avec douleurs résiduelles et dégradation de l'étage susjacent, que nous avons classés en tant que fusion douteuse, qui devrait être étudié ultérieurement.

Dans cette analyse rétrospective, les taux de fusion obtenus à moyen et long terme et au dernier recul ont été similaires (79% vs 78% vs 80% pour ROM <3°), ce qui nous a encouragé de considérer leur validité. De plus, en comparant les résultats de l'évaluation qualitative du chirurgien orthopédique (Ch. M.) aux résultats obtenus selon nos critères, une concordance a été observée dans 87% des cas. Les différences correspondaient aux cas assignés comme fusion douteuse. Etant donnée la variabilité dans l'évaluation de la fusion par analyse qualitative de radiographies ^{Hamill'97} et la bonne corrélation entre le résultat clinique et la fusion acquise pour notre population, les critères postulés pour évaluer la non-union semblent pertinents. Cependant, une étude prospective à plus grande échelle est nécessaire afin de valider cette évaluation dans la pratique clinique de routine.

La mobilité réduite de l'étage adjacent pourrait être expliquée pour le suivi à court terme par des limitations fonctionnelles dues à la douleur en postopératoire; toutefois, à partir du moyen terme, elle semble suggérer plus une rigidité accrue qui pourrait correspondre au vieillissement du rachis et/ou à des distributions modifiées des contraintes, liées à l'instrumentation dynamique.

En *conclusion*, cette étude rétrospective nous a offert un aperçu détaillé des résultats des fusions postéro-latérales lombo-sacrées avec instrumentation dynamique, combinant l'évaluation clinique avec une analyse quantitative précise de la géométrie et de la cinématique lombaire. De cette manière, en plus des résultats cliniques comparables à la littérature, l'analyse biomécanique met en évidence deux aspects majeurs :

- L'évaluation de la dégradation des étages adjacents à la fusion, observée pour 8% des cas à 5 ans de recul, est associée pour ce niveau avec la présence des ostéophytes (qualitatif) mais aussi à des paramètres vertébraux et cinématiques (quantitatifs), traduisant une diminution évolutive de la lordose du segment fusionné et hypermobilité adjacente et des changements significatifs dans la hauteur discale postérieure (et proportion disc/vertèbre associée) du niveau adjacent.
- L'analyse précise des mobilités intervertébrales ($\pm 2^\circ$) a permis de vérifier certains critères proposés pour l'évaluation de la fusion à partir des radiographies dynamiques lombaires, qui associent des mobilités supérieures à 5° à une non-union, entre 3 et 5° à une fusion incertaine et des mobilités inférieures à 3° à une fusion solide. Ces critères semblent pertinents et sont en accord avec l'analyse qualitative du chirurgien orthopédique (concordance en 87% des cas), mettant en évidence un taux de pseudarthrose de 4%, une relation significative entre le résultat clinique et la fusion et, surtout, une possible relation entre une faible mobilité résiduelle du segment fusionné, la dégradation de l'étage adjacent et la douleur, conduisant à des résultats moins bons. Toutefois, toutes ces observations doivent être validées par des futures études prospectives à une plus large échelle.

7.1.2 Discopathies à l'origine des lomboradiculgies - arthrodèse lombaire intersomatique antérieure avec plaque et cage³

Introduction

L'arthrodèse antérieure intersomatique lombaire (ALIF) est largement utilisée dans le traitement des discopathies dégénératives, car elle semble offrir les mêmes avantages qu'une approche postérieure^{Madan'03b;Madan'03a}, et peut-être moins d'invasivité si réalisée par des techniques laparoscopiques^{Regan'99;Vazquez'03} ou "mini-open"^{Zdeblick'00;Chung'03}. De plus, cette technique préserve les muscles para-spinaux postérieurs, renforçant la stabilité du rachis^{Evans'85;Tsantrizos'00;Choi'06}.

Les cages ont été introduites dans les procédures d'ALIF pour prévenir la pseudarthrose^{Newman'92;Madan'03b;Madan'03a}, en créant un milieu rigide d'un point de vue biomécanique qui semble améliorer la stabilité initiale et le taux de fusion^{Kuslich'98;Tsantrizos'00;Burkus'02;Rao'05}. Cependant, des nouvelles complications (liées aux cages) sont apparues, comme la subsidence, migration ou colapsc^{Kumar'93;Cheung'03;Rao'05}, malgré la diversité des matériaux^{Gerber'06} et designs^{Tsantrizos'00} évaluées, aboutissant à une diminution dans l'utilisation des ALIF non-instrumentées durant les dernières années^{Gerber'06}.

Dans ce contexte, certains auteurs ont évalué une approche de "360 degrés" pour l'ALIF, dédié au rachis instable^{Oxland'00;Thalgott'02;Lee'04}, pendant que d'autres études ont montré que l'ALIF avec cages semble efficace dans le traitement des discopathies dégénératives^{Blumenthal'03;Sasso'04}. De plus, des investigations récentes ont montré que les deux techniques : ALIF et PLIF non-instrumentées peuvent produire une instabilité^{Vishteh'05} et des résultats comparables ont été trouvés entre l'ALIF avec cages Hartshill et la fusion circonférentielle par PLIF instrumentée^{Madan'03a}. Par conséquent, une nouvelle alternative a été proposée, consistant en ALIF avec cage et instrumentation antérieure (tige/vis ou plaque/vis)^{Weber'06}, qui semble augmenter la rigidité^{Gerber'06} du segment fusionné, mais une analyse quantifiée des résultats de ce type de traitement n'a pas encore été réalisée.

L'objectif de la présente étude a été d'évaluer, à travers une analyse quantitative, les résultats préliminaires dans une population traitée par ALIF avec cage et plaque et de mettre en évidence les paramètres biomécaniques clé impliqués.

Matériel & Méthodes

POPULATION Du décembre 2002 à juin 2005, 51 patients consécutifs ont été inscrits dans une étude prospective, à la Clinique Sainte Anne-Lumière (Lyon). Les critères d'inclusion ont été : discopathie dégénérative ou spondylolisthesis de bas grade, causant des lombalgies et des radiculgies invalidantes, échec du traitement conservateur après au moins 6 mois et limitations fonctionnelles importantes. Les critères d'exclusion ont été : antécédent d'arthrodèse (antérieure ou postérieure), présence du spondylolisthesis de haut grade, infection aigue, obésité majeure (IMC > 38), pathologie cardiaque ou vasculaire importante, ostéoporose, tumeur ou troubles psychologiques majeurs.

Les dossiers des patients ayant un recul minimum d'un an, c.à.d. 41 cas, ont été sélectionnés et analysés rétrospectivement, afin d'évaluer les résultats à court et moyen terme d'un point de vue clinique, radiologique et de qualité de vie. Ce groupe était composé de 16 hommes et 25 femmes, âgés de 19 à 65 ans (en moyenne 42 ans), souffrant de lombalgies et radiculgies rebelles et

³ coll. Clinique Ste Anne Lumière, Lyon : Dr Fièrè V, voir article dans l'Annexe 2.4.

invalidantes depuis en moyenne 2,5 ans (minimum 1 an). Parmi ces patients, 39 était employés (46% travail de force, 5% sédentaires et difficulté moyenne pour les autres) et en arrêt maladie au moment de la consultation préopératoire ; les autres deux cas étaient en invalidité.

Les examens en imagerie (radiographies et IRM) ont mis en évidence (qualitativement) 34 cas de discopathies dégénératives (dont 12 cas liées à un antécédent de discectomie lombaire) et 7 cas de spondylolisthésis.

Tous les patients ont été traités par ALIF mono-niveau avec un système de cage impactée (ANTELYS®, Scient'X, Guyancourt, France), constitué d'une plaque stabilisante antérieure rigidement fixée à une cage en PEEK (Figure 64).

La technique chirurgicale a été ALIF classique, comme décrite dans la littérature^{Mayer'97 Fiere'03}. L'abord a été transpéritoneal pour l'insertion des cages

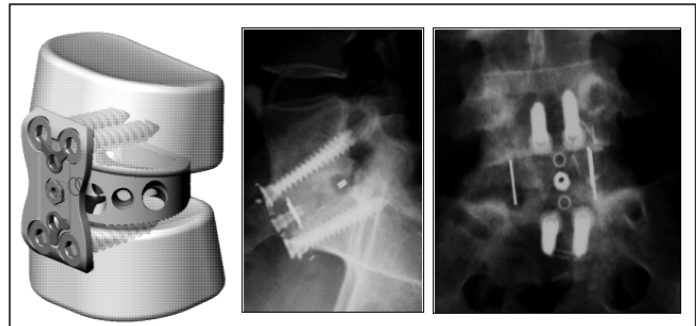


Figure 64 : Le système de cage et plaque Antelys® (PEEK) :
vue latérale et frontale du segment traité.

au niveau L5S1 et retropéritoneal combiné avec une lombotomie pour les cages au niveau L4L5. Une greffe autologue iliaque a été utilisée pour tous les patients. Les niveaux impliqués ont été L4L5 en 7(17%) cas, L3L4 en 1(2%) cas et L5S1 pour les autres 33(81%) cas. Des cages lordosantes de petite inclinaison (0-9°) ont été utilisées pour 20 patients et d'inclinaison moyenne (9-17°) dans les autres 21 cas.

Le recul moyen a été de 1.8 ± 0.4 ans et 34 patients (83 %) ont atteint le suivi à 2 ans au moment de l'étude.

METHODES D'ANALYSE Les données cliniques, socioprofessionnelles, qualité de vie et radiologiques, ont été collectées durant les examens pré et postopératoires (3, 6, 12 et 24 mois).

1. Données cliniques, socioprofessionnelles et qualité de vie

Les résultats des examens cliniques ont été complétés par ceux issus de plusieurs scores et auto-questionnaires, pour une évaluation objective et précise. Ils investiguaient la qualité de vie liée à la santé (SF-12), la perception de la douleur (VAS), l'évolution fonctionnelle (score JOA) et la satisfaction du patient (PSI).

a. Medical Outcomes Study Short Form^{Ware'02} (SF-12, Annexe 1.3) mesure le fonctionnement physique (SF12-PCS) et mental (SF12-MCS), afin d'analyser l'effet de l'intervention sur la qualité de vie, qui est un résultat secondaire important. Les valeurs de référence^{Ware'02;Gandek'98} sont 54 ± 12 points pour PCS et 52 ± 15 pour MCS; le seuil de signification statistique de leur variation a été calculée à 7.5 points, pour le groupe étudié.

b. La visual analogic scale^{Zanoli'01} (VAS, Annexe 1.1) est une méthode subjective, auto-rapportée (par le patient) qui quantifie la lombalgie et la radiculalgie sur une échelle de 0 (pas de douleur) à 100 (maximum, douleur intolérable).

c. Le score de la Japanese Orthopaedic Association (JOA, Annexe 1.2)^{Yorimitsu'01} est un questionnaire rempli par le clinicien, qui examine certains aspects de l'état physique du patient : symptômes subjectifs (9 points), signes cliniques (6 points) et fonction de la vessie (-6 points), avant et après chirurgie. Le score peut varier de 15 points (pas de dysfonction) à -6 points (dysfonction maximum) et les taux

d'amélioration/ rétablissement ont été calculées selon la méthode de Hirabayachi^{Yorimitsu'01} :

Taux de rétablissement (%) = $\frac{JOA_{final} - JOA_{initial}}{15 - JOA_{initial}} \times 100$. Ce calcul permet une estimation des

résultats^{Costanzo'05} en tant que : satisfaisants si le résultat a été supérieur à 75%; pas totalement satisfaisant, pour résultats entre 50% et 74%; insatisfaisant, si le résultats étaient entre 49% et 25%, et complètement insatisfaisants si inférieurs à 24%.

d. L'index de satisfaction du patient (PSI)^{Daltroy'96} (Annexe 1.4) évalue la satisfaction du patient après chirurgie, basé sur l'auto-appréciation du soulagement des symptômes pondérée par la douleur et le discomfort provoquées par l'intervention.

En plus de ces questionnaires et scores, plusieurs données ont été enregistrées, comme les complications et les données concernant le retour au travail du patient. L'évaluation de la fusion réalisée par le chirurgien à partir de clichés de profil (1-2 ans postopératoire) selon les critères d'évaluation qualitative décrites dans la littérature : ponts d'os trabéculaire entre les plateaux vertébraux adjacents et absence de lignes radiotransparentes autour de plus de 50% de l'implant pour le niveau traité^{Regan'99;Madan'03b;Godde'03}.

2. Données radiologiques

Les radiographies en posture sagittale (grand-axe) ont été disponibles pour l'ensemble des patients en préopératoire et postopératoire immédiat, pour 93% des cas à 1 an et pour 83% des cas à 2 ans. Tous les clichés ont été scannés et analysés à l'aide du logiciel SpineView[®] et les paramètres biomécaniques ont été calculés à partir des radiographies en posture sagittale à tous les examens (du préopératoire jusqu'au dernier recul), afin d'évaluer la géométrie et l'équilibre du rachis et d'investiguer leur relations avec le résultat global. Ces paramètres sont présentés dans la suite, couvrant deux grands axes.

a. Géométrie du segment traité

Afin d'évaluer avec précision les changements dans la géométrie du segment intervertébral, l'évolution de plusieurs paramètres a été analysée : angles intervertébraux, hauteur discale, proportion disque/vertèbre sousjacente, listhesis sagittal et la lordose du segment fusionné. La définition de l'hauteur discale est variable dans la littérature : notre étude utilise celle proposée par Frobin et al, qui semblent obtenir une meilleure précision en minimisant la distorsion^{Frobin'97}. Afin de comparer les résultats à la littérature, une valeur moyenne a été calculée à partir des hauteurs discales antérieures et postérieures; les facteurs d'échelle ont été calculés dans la calibration des radiographies afin de convertir les distances (paramètres linéaires) de pixels en mm.

b. Géométrie du rachis et équilibre

La géométrie du rachis a été décrite par les paramètres rachidiens et pelviens suivants : cyphose T4T12, lordose L1S1, gîte sagittale de T9, pente sacrée, l'incidence, et la total lumbo-pelvic lordosis PR-T12^{Jackson'00a}. L'équilibre a été évalué en calculant l'inclinaison globale du rachis.

3. Valeurs de référence

Dans le but d'évaluer l'influence de l'instrumentation sur le segment fusionné, les valeurs des paramètres calculés à partir des radiographies en posture sagittale ont été comparés aux valeurs correspondant à un groupe de 63 sujets asymptomatiques (42% hommes, 58% femmes, âge moyen 43 ± 12 ans), disponibles des études précédentes.⁴

4. Statistiques

L'ensemble des données cliniques, scores et des paramètres biomécaniques ont été analysés de manière "aveugle" par un observateur indépendant (SC), non-rélié à l'équipe chirurgicale. Les tests suivants ont été utilisés : statistiques descriptives, test de Student non-apparié pour la comparaison des groupes indépendants et le test de Student apparié pour la comparaison des mesures pré- et post-opératoire (même groupe), test de corrélation de Pearson, le test non-paramétrique de Mann-Whitney et ANOVA. Le seuil de signifiacnce a été établi au niveau $P < 0.05$ et tous les tests ont été effectués à l'aide du logiciel Statview 5.0® (SAS Institute, Cary, NC, USA).

Résultats

1. Analyse des résultats cliniques

Des complications ont été notées en post-opératoire dans 10% des cas (4 patients). Deux cas présentaient une éventration à 6 mois post-opératoire et dans les autres deux cas la vis inférieure de L5S1 a été cassée à 3 et à respectivement 6 mois du suivi. Une réopération a été nécessaire dans les deux cas d'éventration et dans un troisième cas ayant développé une instabilité susjacente, un an après son opération. Les taux de reprise du travail étaient de 40% à 1 an et de 74% à deux ans.

a. Qualité de vie liée à la santé – SF-12

L'évolution des scores MOS SF-12 (Figure 65) a mis en évidence une différence statistiquement significative entre les examens préopératoire et immédiatement post-opératoire pour la fonction physique (PCS) et aucune concernant la fonction mentale (MCS) ou l'évolution post-opératoire des deux composants.

Avant chirurgie, les valeurs de PCS étaient inférieures à la référence en 20 cas (49%) et ils ont augmenté après, en particulier pour le premier examen post-opératoire, atteignant des valeurs normales en 34 cas (83%) au dernier recul. Les valeurs de la MCS ont été dans les plages normales à tous les examens et leur évolution post-opératoire a été non-significative.

b. Perception de la douleur – VAS

Une différence statistiquement significative a été trouvée pour les valeurs de la VAS enregistrées avant et après chirurgie, correspondant à une évolution moyenne de la lombalgie de 70 à 33 mm et de la radiculalgie de 44 à 26 mm ; leur évolution ultérieure a été non-significative.

c. Evaluation fonctionnelle – le score de la JOA

Nous avons trouvé une différence statistiquement significative entre les valeurs du score de la JOA correspondant à l'examen préopératoire et celles post-opératoire et aucune durant le suivi. En effet, les valeurs moyennes ont évolué de 9 ± 1 (entre $3 \div 11$) avant chirurgie à 14 ± 1 (entre $9 \div 15$) dans tous les examens postopératoires. Le taux de rétablissement a mis en évidence 92% de résultats satisfaisants, comme présenté dans le Tableau 16.

Figure 65 : Le score MOS SF-12 dans le temps, exprimé en tant que moyennes et écarts types pour chaque examen et composante (PCS et MCS, qui évaluent respectivement les fonctionnements physique et mental).

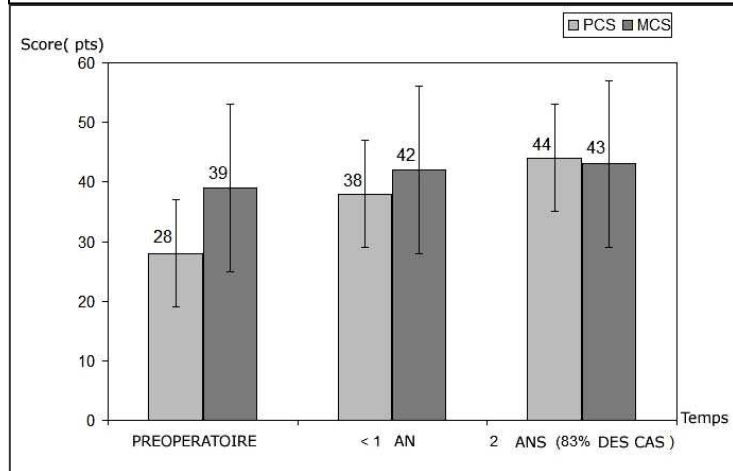


Tableau 16 : Taux de rétablissement du score JOA et indice de satisfaction, exprimés comme % des patients pour les principaux examens du suivi (postop.).

Score	Critère	Interpretation	% des patients	
			1 an (n= 41)	2 ans (n= 34)
Taux de rétablissement du score JOA	>75%	Réussite	80	83
	50-74%	Réussite incomplète	12	10
	25-49%	Pas complètement satisfaisant	5	2
	<25%	Complètement insatisfaisant	3	5
Indice de satisfaction	1	Pleinement satisfait	73	68
	2	Accepterait de subir la même chirurgie pour le même résultat	22	27
	3	N'accepterait pas de subir la même chirurgie pour le même résultat	5	5
	4	Etat stationnaire ou aggravé par rapport au préopératoire	0	0

d. *L'index de satisfaction du patient – PSI (Tableau 16)*

Les niveaux de satisfaction estimés à 1 an et 2 ans postopératoire ont été rapprochés : respectivement 73% et 68% des patients étaient entièrement satisfaits de leur traitement et 95% des cas, dans les deux examens, seraient d'accord à suivre le même traitement pour le même résultat.

Le taux de fusion reporté par le chirurgien, basé sur l'analyse qualitative (visuelle) des radiographies a été de 95% au dernier recul, mettant en évidence un cas de pseudarthrose et un cas de fusion incertaine. Les deux patients présentant des fractures de vis ont acquis une fusion solide à 1 an, résultat confirmé par l'analyse de leurs radiographies à 2 ans de recul.

2. Analyse radiologique

a. Géométrie du segment traité

Les valeurs des paramètres discaux calculés durant le suivi ont été comparées aux valeurs de référence. Une synthèse est présentée dans le Tableau 17 et les plus significatifs détails de leur analyse seront présentés dans la suite.

Les angles intervertébraux (AI) des niveaux traités ont été dans les plages de normalité avant chirurgie pour 93% des patients, à court terme pour 85% et à 2 ans pour 90% des cas. Ce paramètre a été corrélé avec la proportion disque/vertèbre du même niveau pour les angles L5S1($r=0.7$) et L4L5 ($r=0.5$) avant chirurgie et pour tous les niveaux ($r=0.7$) en postopératoire.

Dans l'analyse de *l'hauteur discale moyenne (HDM)*, des valeurs normales ont été trouvées avant chirurgie pour 46% des patients, 1 an après pour 76% des cases et à 2 ans pour 78% des patients; les valeurs anormales étaient inférieures à la référence avant chirurgie et soit inférieures soit supérieures ultérieurement. De plus, les hauteurs discales moyennes ont été intercorrélées avant chirurgie pour les niveaux sains et en postopératoire pour tous les niveaux (tous $r=0.7$).

Les proportions des hauteurs *disque/vertèbre (pr HDV)* ont été dans les plages de normalité pour 90% des patients durant le suivi. Ce paramètre a été corrélé avant chirurgie pour le niveau L5S1 avec la cyphose et la lordose (tous $r=0.5$).

Tableau 17 : Les principaux paramètres discaux pour les niveaux instrumentés : incertitudes de mesure, valeurs normales et calculées du préopérateur à 2 ans de recul, présentées en tant que moyenne \pm écart type pour chaque niveau intervertébral. (* Pour un intervalle de confiance à 95%.)

Paramètre	Incertitude de mesure*	Niveau	Valeur de référence	Préopérateur	3 -6 mois	1-2 ans
Angle intervertébral	$\pm 3^\circ$	L5S1	11.6 \pm6	10.9 \pm4	11.7 \pm6	10.7 \pm5
		L4L5	11.1 \pm4	8.2 \pm3	8.4 \pm4	8.8 \pm5
		L3L4	8.2 \pm3	5.8 \pm2	7.8 \pm3	9.0 \pm4
		% de valeurs normales		93	85	90
Hauteur discale moyenne	± 3 mm	L5S1	11.2 \pm2	7.9 \pm3	10.9 \pm3	10.0 \pm3
		L4L5	10.7 \pm2	10.7 \pm3	11.1 \pm3	10.7 \pm3
		L3L4	10.0 \pm1	10.8 \pm2	11.4 \pm3	11.2 \pm3
		% de valeurs normales		46	76	78
Proportion antérieure des hauteurs disque/vertèbre	$\pm 10\%$	L5S1	40 \pm12	32 \pm13	40 \pm14	40 \pm12
		L4L5	43 \pm8	43 \pm11	40 \pm12	40 \pm12
		L3L4	39 \pm7	39 \pm7	39 \pm7	41 \pm10
		% de valeurs normales		90		
Proportion postérieure des hauteurs disque/vertèbre	$\pm 10\%$	L5S1	22 \pm7	17 \pm8	24 \pm9	22 \pm7
		L4L5	23 \pm6	23 \pm6	25 \pm8	23 \pm6
		L3L4	24 \pm5	24 \pm4	25 \pm6	23 \pm4
		% de valeurs normales		90		

Entre les examens pré- et post-opératoire immédiat, nous avons observé une augmentation statistiquement significative des valeurs des paramètres discaux pour les niveaux traités (en relation avec la distraction initiale). Elle était peu importante pour les hauteurs discales des patients ayant reçu de cages lordosantes de faible inclinaison ($0-9^\circ$) et significative dans les cas instrumentés avec des cages lordosantes de moyenne inclinaison ($9-17^\circ$). Cependant, aucune relation statistiquement significative n'a été observée entre le type de cage et l'évolution de l'hauteur discale ou le résultat.

En postopératoire, des changements significatifs ont été observés uniquement pour les hauteurs discales moyennes des niveaux L5S1 et L4L5, ainsi que pour la proportion antérieure des hauteurs discale et vertébrale du niveau L5S1, illustrant une diminution des valeurs moins importante que l'augmentation initiale. En détaillant, l'évolution en postopératoire a mis en évidence des variations significatives des paramètres discaux en 2 cas (5%) pour le niveau adjacent et en 13 patients (32%) pour le niveau instrumenté, traçant cinq configurations possibles :

- Augmentation concomitante de HDM, AI et des pr. HDV antérieures (2 cas)
- Diminution concomitante des mêmes paramètres (2 cas)

- Diminution des HDM, associée avec une variation limitée des autres paramètres discaux et synergique avec la variation de la lordose du segment fusionné, de la lordose L1S1, de l'inclinaison globale et/ou du listhesis (5 cas)
- HDM constantes (variation < 3mm) et diminution des proportions postérieures HDV (2 cas).
- HDM constantes et diminution des AI et des proportions antérieures et postérieures HDV ratio, associée avec retrolisthesis et fracture de vis (2 cas).

Listhesis sagittal

Les valeurs du listhesis ont été anormales en préopératoire en 15 cas (dont 3 cas de spondylolisthesis grade 2) et au dernier recul en 11 cas (2 cas de grade 2); elles ont été constantes en postopératoire en 73% des cas. Le listhesis du niveau L5S1 a été corrélé avec la pente sacrée et l'incidence à tous les examens ($r=0.5-0.7$, $p < 0.0001$).

La lordose du segment fusionné

L'évolution de ce paramètre entre pré- et immédiatement post-opératoire est liée à l'utilisation des cages lordosantes. En postopératoire, cette lordose locale a diminué significativement (différence entre 9 et 15°) dans trois cas : entre la 1^{ère} et la 2^{ème} année pour 2 patients, et progressivement durant le suivi dans un troisième cas. Les résultats associés à cette perte de correction ont été satisfaisants pour les premiers deux patients et moins bons pour le troisième.

b. Géométrie du rachis et équilibre

Il n'y a pas eu de différence statistiquement significative entre les valeurs calculées en pré et postopératoire pour les paramètres rachidiens et pelviens, présentés dans le Tableau 18. Ces paramètres ont été constamment entre les limites normales durant le suivi pour 71 % des patients; la condition spécifique des autres 29% étant décrite dans la suite.

Tableau 18 : Paramètres rachidiens et pelviens : incertitudes de mesure (pour un intervalle de confiance à 95%), valeurs de référence et moyennes du suivi, exprimées en tant que moyenne \pm écart-type.

Paramètre (°)	Incertitude de mesure	Valeurs de référence	Préopératoire	Court terme (0-1 an)	2 ans
Cyphose T4T12	5,2°	39 \pm 8	37 \pm 10	37 \pm 9	33 \pm 8
Lordose L1S1	4,4°	57 \pm 11	55 \pm 12	53 \pm 12	54 \pm 14
Gîte de T9	0,2°	11 \pm 3	9,7 \pm 4	10,6 \pm 4	10,2 \pm 4
Inclinaison globale	0,1°	0 \pm 3	0,5 \pm 3	0,1 \pm 5	2,4 \pm 4
Pente sacrée	4,0°	39 \pm 8	39 \pm 10	37 \pm 9	38 \pm 10
Incidence pelvienne	3,4°	51 \pm 11	55 \pm 13	53 \pm 12	53 \pm 14
Total Lumbo-Pelvic Lordosis	2,4°	92 \pm 9	89 \pm 11	87 \pm 9	88 \pm 9

Les valeurs de la lordose et des paramètres pelviens étaient plus élevées que la référence et constantes du préopératoire jusqu'au dernier recul pour 5(12%) patients, présentant un *spondylolisthesis*. Egalement, des valeurs faibles de la lordose et de la cyphose ont indiqué un *syndrome du dos plat* dans 7(17%) patients, observé en préopératoire en cinq cas (dont un sera amélioré à 2 ans) et uniquement en postopératoire (acquis) en deux autres cas (constant durant le suivi). Le

syndrome du dos plat a été associé avec une diminution mineure de l'hauteur discale, de la lordose du segment fusionné et/ ou avec déséquilibre en quatre patients, sans influence sur le résultat clinique (bons taux de rétablissement du score de la JOA et indice de satisfaction).

L'évolution de l'inclinaison globale a été statistiquement significative entre le premier et le dernier examen post-opératoire et a souligné un déséquilibre acquis pour 5 patients (12%), associé avec des bons résultats cliniques, mais aussi avec une moindre satisfaction pour ces cas.

3. Analyse croisée

Une bonne corrélation a été trouvée entre les valeurs du score de la JOA d'un côté et SF-12 PCS et PSI de l'autre, à tous les examens du suivi ($r=0.7$). La satisfaction du patient a été corrélée avec les valeurs à court terme des proportions disque/vertèbre, de la cyphose T4T12 et de la gîte sagittale de T9 (tous $r=0.5$, $p<0.001$).

Le test de Pearson a mis en évidence des bonnes corrélation à tous les examens du suivi entre la lordose, la pente sacrée et l'incidence, en accord avec la littérature^{Legaye'98;Marty'02}. De plus, des corrélations ont été trouvées à tous les examens entre la gîte sagittale de T9 et l'inclinaison globale ($r= 0.7$) ou la pente sacrée ($r=0.6$) ainsi que entre la cyphose T4T12 et la total lumbo-pelvic lordose PRT12($r= -0.7$).

Discussion

Cette étude des résultats après l'ALIF avec cage et plaque est une évaluation de la condition fonctionnelle, socio-économique, de qualité de vie et radiologique du patient, qui ne semble pas redondante.

1. *L'analyse clinique* a eu pour objectif l'identification des changements dans la condition générale du patient après la chirurgie, concernant les aspects fonctionnels et socio-économiques, prenant en compte leur impact sur la qualité de vie du patient.

L'analyse des scores a mis en évidence globalement une évolution postopératoire positive, la plupart des changements apparaissant immédiatement après chirurgie et étant maintenus ultérieurement. Etant donné que uniquement 83% de la population globale (34 cas) ait atteint l'examen de 2 ans, les résultats correspondant au suivi à un an ont été choisis pour représenter les résultats à court terme pour la population étudiée. De cette façon, des résultats satisfaisants ont été observés pour 83% des patients d'un point de vue de la qualité de vie (MOS SF-12), dans 92% des cas basé sur des critères fonctionnels (taux de rétablissement de la JOA) et pour 73% des cas selon la satisfaction du patient, bien que 95% des cas accepterait de subir la même intervention pour le même résultat. En comparaison, dans une meta-analyse générale de la littérature, Turner et al.^{Turner'92b} ont annoncé que 68% des patients ont acquis des résultats satisfaisants après une arthrodeuse lombaire (entre 16 et 95%). Inoue et al.^{Inoue'84} ont reporté sur une large série (350 patients), qui a été traitée par discectomie et fusion intersomatique antérieure, un taux de fusion de 94.3% et bons résultats cliniques en 73% des patients. Penta et Fraser^{Penta'97} ont observé un taux de satisfaction du patient de 68% et un taux de fusion de 72.4%, 10 ans après ALIF. Tiusanen et al.^{Tiusanen'96b} ont reporté un taux de fusion solide de 71% et 74% des patients se sont améliorés beaucoup cliniquement après ALIF avec des fixateurs externes postérieurs. Dans une étude plus récente, Madan & Boeree^{Madan'03a} ont annoncé une qualité de vie satisfaisante pour 71.8% (28 cas) des patients et des résultats satisfaisants issus du score de Oswestry en 79.5% des cas après ALIF avec des cages Hartshill.

Nos résultats sont globalement en accord avec ces études.

2. Analyse radiologique

L'analyse radiologique a été axée sur la géométrie vertébrale et celle du rachis global, équilibre et leur possible relation avec les résultats cliniques, dans le but de décrire les résultats à court et moyen terme et les possibles complications liées à l'ALIF avec cage et plaque (notamment la subsidence).

Par conséquent, tous les paramètres décrivant la géométrie du segment intervertébral ont été explorés afin de donner une description précise de son évolution dans le temps. Trois paramètres discaux : l'angle intervertébral, la hauteur discale moyenne et la proportion des hauteurs disque/vertèbre sous-jacente (en antérieur et en postérieur), ont joué un rôle important dans l'évaluation quantitative du segment vertébral traité, analyse enrichie par des données concernant le listhesis sagittal et la lordose du segment fusionné.

Etant donné le fait que nombreux auteurs, comme Dunlop et al.^{Dunlop'84}, ont montré que le rétrécissement de l'espace discal est associé avec douleur et une pression accrue dans les facettes articulaires, le calcul de la hauteur discale a été d'une importance majeure. Toutefois, les valeurs de référence sont très hétérogènes quand présentées dans la littérature, à cause des différentes méthodes de calcul, générant des valeurs normalisées : Frobin et al.^{Frobin'97} a utilisé en tant que norme la profondeur moyenne du corps vertébral, Yorimitsu et al.^{Yorimitsu'01} ont présenté la hauteur discale comme une proportion entre les valeurs pré et post-opératoire, normalisées avec la hauteur de la vertèbre sus-jacente et Choi et al.^{Choi'06} ont calculé une hauteur discale moyenne à partir des mesures antérieures et postérieures, normalisée par la largeur antéropostérieure du corps vertébral. Les hauteurs discales moyennes obtenues comme référence dans cette étude semble être en accord avec la valeur de 10,5 mm considérée par Natarajan et al.^{Natarajan'99} et ont permis de détecter 54 % des valeurs faibles en préopératoire pour la population étudiée. De plus, les changements dans la géométrie du segment fusionné entre les examens préopératoire et postopératoire immédiat ont été liées au type de cage utilisé, en accord avec une étude de Tsantrizos et al.^{Tsantrizos'00}, qui ont montré que la hauteur et l'inclinaison de la cage semble avoir un effet sur la stabilité initiale et doivent être étudiées à large échelle. Toutefois, nous n'avons pas trouvé une relation claire (statistique) entre le type de cage et l'évolution postopératoire de la hauteur discale ou le résultat clinique.

Les valeurs des paramètres discaux ont été quasi-constantes en post-opératoire pour le segment traité en 68 % des patients; l'évolution des autres cas semble liée à des réarrangements intervertébraux mineurs ou au rétrécissement de l'espace discal. La dernière situation est souvent associée à la subsidence : comparant les hauteurs discales après ALIF, plusieurs auteurs ont annoncé une réduction de ce paramètre, après la distraction initiale, restant en général inférieure à la l'augmentation initiale de l'hauteur^{Dennis'89;Kumar'93;Fraser'95;Beutler'03;Choi'06}.

Beutler et al.¹ ont annoncé que la subsidence après ALIF avec cages BAK est survenu en 15% des cas, surtout au niveau L4L5, dans la région postéro-supérieure du disque et semble être associé uniquement à des cages larges et à une profondeur d'alésage accrue. Ils ont stipulé que la subsidence n'était pas associée avec l'âge, le sexe et le poids du patient, et qu'elle n'influçait pas le résultat, en accord avec une étude de Kumar et al.^{Kumar'93}, qui observe toutefois un taux de subsidence de 85%, intéressant surtout la région postérieure du plateau vertébral. Dans une étude récente, Choi et al.^{Choi'06} ont montré que la subsidence des cages est un phénomène prévisible après

ALIF utilisant cages rectangulaires sans autre instrumentation, qui apparaît vers 3 ou 4 mois en postopératoire et sans corrélation avec la récurrence des symptômes ou la fusion. Ils ont trouvé un taux de subsidence de 76.7% sur 90 patients, avec un recul moyen de 27 mois, intéressant le plateau supérieur dans 39% des cas, l'inférieur en 17.3% des cas et les deux pour 43.6 % des patients.

Notre série a mis en évidence 6 cas (15%) où un certain rétrécissement de l'espace discal est apparu au niveau instrumenté, en principal entre 6 mois et 1 an postopératoire, mais les situations étaient un peu différentes par rapport à la définition classique de la subsidence. Quatre cas de rétrécissement de l'espace discal : 2 (5%) global et 2 autres postérieur, n'ont pas été détecté par une variation significative de la hauteur discale moyenne (supérieure à 3mm). De plus, parmi 6 autres cas où une diminution de la hauteur discale a été mise en évidence, les valeurs des paramètres discaux ont diminué synergiquement uniquement en deux patients, montrant un rétrécissement discal antérieur. Dans les autres quatre cas, les angles intervertébraux et les deux proportions de hauteur disque/vertèbre ont présenté une variation continue à la limite de la significativité, en relation avec l'évolution de la lordose du segment fusionné, de la lordose L1S1, de l'inclinaison globale et/ ou du listhesis, variation qui peut être attribuée au mécanismes qui régule l'équilibre et la stabilité segmentale locale.

Prenant en compte toutes ces observations, il semble que l'analyse de la hauteur discale, de la façon dont elle est utilisée par la plupart des auteurs, est difficile et peut-être insuffisante pour détecter un rétrécissement discal, comme suggéré par Nachemson et al.^{Nachemson'96}, qui ont montré que des valeurs supérieures à l'incertitude de mesure apparaissaient uniquement à partir de 50% de réduction dans la hauteur discale. Par conséquent, une association de ce paramètre avec les proportions de hauteur disque/vertèbre et els angles intervertébraux pourrait mettre en évidence certains détails importants et faciliter une analyse précise. Une étude prospective détaillée à une plus large échelle, comparant plusieurs designs d'implant pour ALIF serait nécessaire afin de valider ces hypothèses et pour mieux préciser la définition de la subsidence; toutefois, cette perspective n'est pas encore considérée, étant donné que certains auteurs ont trouvé que la subsidence n'était pas liée au résultat clinique^{Kumar'93;Beutler'03}, hypothèse soutenue aussi par la présente étude.

Concernant la géométrie globale du rachis, il n'y a pas eu d'évolution significative des paramètres rachidiens et pelviens. L'analyse biomécanique a mis en évidence une grande proportion des patients présentant des valeurs constantes en post-opératoire pour les hauteurs discales (80%), le listhesis sagittal (73%), la lordose du segment fusionné (73%) mais aussi pour la lordose L1S1 (95%), suggérant un équilibre lié à l'implant qui a été suffisamment économique pour assurer une stabilité segmentale locale et pour préserver les valeurs restaurées (après distraction initiale). Pour les autres patients, l'analyse des corrélations et les évolutions des paramètres discaux, listhesis, lordose du segment fusionné et inclinaison globale montrent l'impact de changements dans la géométrie du segment intervertébral sur l'ensemble du rachis, impliquant des mécanismes d'équilibrage complexes, qui doivent être étudiée dans de futures études. Même si l'équilibre n'a pas été associé de façon significative au résultat pour les patients étudiés, la corrélation entre les paramètres liés à l'équilibre et la satisfaction du patient suggère son influence sur l'appréciation subjective du résultat.

En conclusion, les résultats à court et moyen terme après ALIF avec cage et plaque ont été en accord avec la littérature d'un point de vue clinique et fonctionnel, complété par des bons niveaux de qualité de vie et de satisfaction du patient. L'analyse biomécanique des hauteurs vertébrales, angles intervertébraux et proportions disc/vertèbre a permis une détection précise des changements de géométrie pour les segments traités, mettant en évidence un certain rétrécissement de l'espace discal dans 15% des cas ; toutefois, ce phénomène peut être lié à la subsidence dans un nombre limité de cas (5%) : pour les autres 10%, une évolution simultanée de la lordose du segment fusionné, lordose et inclinaison globale et listhesis suggèrent un lien avec les mécanismes de régulation de la stabilité locale et de l'équilibre. L'analyse synergique des paramètres vertébraux, rachidiens et pelviens donne un aperçu détaillé de l'évolution du segment traité et de son impact sur la stabilité et l'équilibre du rachis, mettant également en évidence une relation entre bon équilibre et satisfaction du patient.

7.1.3 Discopathies dégénératives -arthrodèse intersomatique postérieure avec cage et instrumentation rigide ⁴

Introduction

Dans l'étude précédente nous avons montré une analyse détaillée de la détection du phénomène de subsidence dans les arthrodèses intersomatiques antérieures. Il apparaît à cette occasion que les taux de subsidence rapportés dans la littérature (15-85%) sont excessivement élevés par rapport à nos découvertes concernant l'ALIF avec plaque et cage. Nous avons souhaité, à travers une mini-étude rétrospective, évaluer le taux de subsidence, en parallèle du résultat clinique et de la stabilité, pour une arthrodèse intersomatique postérieure avec cage et instrumentation postérieure.

Matériel et méthodes

Le groupe étudié est composé de 30 patients, 15 hommes et 15 femmes (âge moyen de 51 ± 12 (29-76) ans, IMC 25 ± 4 (19-36)), traités chirurgicalement pour discopathies dégénératives et sténose lombaire, entre janvier 2002 et mai 2004, au CHU de Bordeaux, par le même chirurgien orthopédique (G. O.).

Le diagnostic a été basé sur l'examen clinique et complété par les résultats de l'IRM et de la radiographie préopératoire. Le traitement, effectué par abord postérieur, a consisté en : décompression (recalibrage, discectomie et/ou laminectomie) arthrodèse intersomatique postérieure (autogreffe arc postérieur) avec cages (Oria Natura, SpineNetwork) de faible angulation, et instrumentation avec matériel d'ostéosynthèse rigide de type vis/tige (AZUR). Les niveaux traités ont été : L3L5 en 20% des cas, L4L5 en 47 % des cas, L4S1 en 17 % des cas et L5S1 en 16 % des cas.

Les données cliniques générales, les complications et les scores (VAS et satisfaction du patient), ainsi que les radiographies de profil sagittal (clichés centrés) ont été recueillies avec un recul moyen de 2 ± 1 (de 1 à 4) ans.

L'analyse radiologique a été axée sur le calcul des hauteurs discales moyennes, angles intervertébraux, proportions disque/vertèbre sousjacent ($\%$ hauteur), listhesis, lordose et

⁴ coll CHU Bordeaux, Dr Gille O.

paramètres pelviens (pente sacrée surtout, car les têtes fémorales manquaient souvent sur les clichés).

Résultats

Analyse clinique

Le taux de complications générales a été de 27 % (8 cas) dans cette série, dont 5 cas de fracture du matériel d'ostéosynthèse, nécessitant une deuxième intervention en 2 cas (7 %).

Le score investiguant la douleur (Echelle visuelle analogique – VAS, total 10 points), montre une évolution équivalente des lombalgies et des radiculalgies qui passent de $8 \pm 1,5$ points en préopératoire à $3 \pm 1,5$ points à 1 an postop. Au dernier recul, 64% des patients étaient satisfaits avec le résultat de leur opération.

Les résultats, selon le calcul de l'amélioration relative, ont été bons en 19 (64%) cas, moyens en 10 (33%) cas et mauvais en 1 cas (3%).

Analyse radiologique

L'analyse de *paramètres vertébraux et discaux* a mis en évidence une évolution statistiquement significative pour les valeurs de la hauteur discale moyenne des *niveaux traités* calculées avant et après traitement. L'évolution postopératoire de ce paramètre est globalement non-significative, à l'exception de 10 cas (33%) présentant une diminution de l'hauteur discale moyenne (**Figure 66**) ; cette variation, attribuée au phénomène de subsidence, est associée à des résultats moyens ou des complications dans 4/10 cas à ce recul.

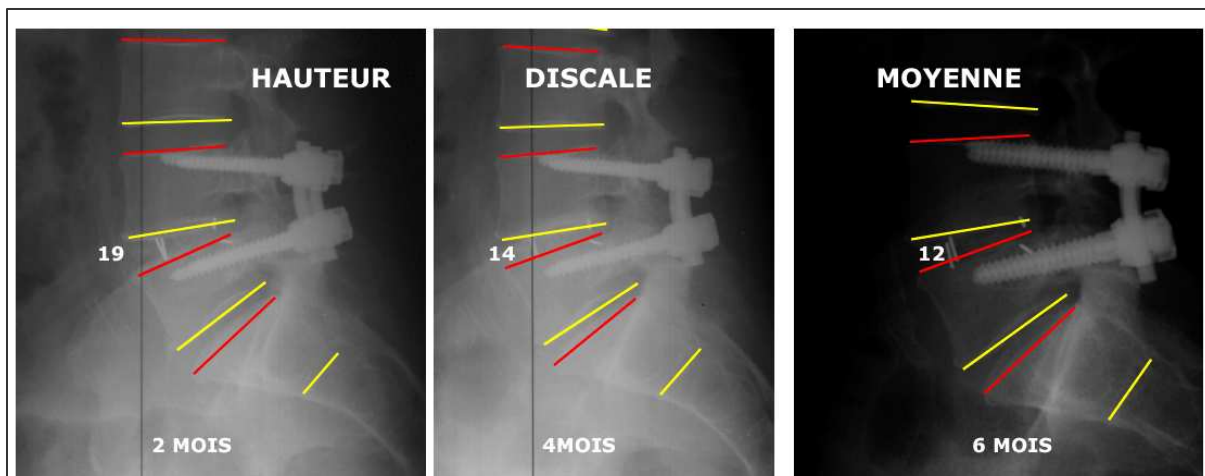


Figure 66 : Exemple de diminution progressive de la hauteur discale moyenne du segment traité.

Pour *les niveaux susjacentes*, la hauteur discale moyenne et les proportions postérieures disque/vertèbre sous-jacente ont montré un rétrécissement postérieur du *disque* en 9 cas, dont 7 communs avec les précédents.

La lordose locale a diminué en postopératoire et son évolution a été stable, sans variations significatives. En revanche, la lordose L1S1 a diminué de manière significative en postopératoire immédiat (en moyenne $47,5 \pm 12^\circ$ versus $52,3 \pm 12^\circ$ en préopératoire) mais ses valeurs ont augmenté légèrement durant le suivi, atteignant une valeur moyenne de $52,7 \pm 13^\circ$ à partir de 3 ans. Par rapport aux valeurs de référence, les valeurs de la lordose ont été normales, sauf pour 4 cas présentant une faible lordose durant tout le suivi (à partir du préop.) et deux autres cas

présentant des valeurs élevées à 2 ans. Ces derniers patients présentaient également des valeurs élevées des paramètres pelviens durant tout le suivi. Les résultats associés à tous ces patients (6) étaient moyens.

L'analyse des corrélations montre une relation significative entre les paramètres angle intervertébral, listhesis et hauteur discale moyenne pour les niveaux traités ($r=0,6$), relation qui est plus faible pour les étages sous et sus jacent à l'arthrodèse. Les mêmes paramètres étaient liés aussi à l'âge ($r=0,5$) et le listhesis sous-jacent avec l'IMC ($r=0,4$).

La lordose et la pente sacrée ont été corrélés ($r=0,5$) avec les angles intervertébraux sous et sus jacents ($r=0,9$), surtout pour l'angle cranial des arthrodèses bi-étagées ($r=1$). Dans le cas particulier de ces arthrodèses bi-étagées (repr. 33% des fusions), le listhesis de l'étage cranial est corrélé avec l'apparition des complications ($r=-0,5$).

Une relation significative a été mise en évidence globalement entre l'angle intervertébral de l'étage traité ($-0,5$) ou l'hauteur discale moyenne de l'étage sous-jacent à l'arthrodèse ($r=-0,6$) et le résultat à deux ans.

Discussion

Les résultats cliniques de cette mini-étude sont superposables à la littérature^{Brantigan'93;Kuslich'98;Tsantrizos'00;Kuslich'00} donc nous allons discuter principalement l'effet de la cage sur la géométrie du segment traité et celle régionale lombaire. Trois paramètres : angle intervertébral, hauteur discale moyenne et listhesis vertébral traduisent par une corrélation significative ($r=0,6$) pour les niveaux traités leur importance dans la régulation de la stabilité au niveau de ce segment. Etant donné les modifications de géométrie locale imposées par la distraction initiale (insertion de la cage), ces paramètres comportent des variations dont seules celles de la hauteur discale moyenne apparaissent comme statistiquement significatives. Toutefois, les variations des angles intervertébraux sont liées à des modifications de la lordose locale et L1S1 et indirectement, par mécanisme de compensation, de la pente sacrée ($r=0,9$), montrant l'impact des changements de géométrie des segments traités sur le rachis lombaire et la charnière lombo-sacrée.

Ces observations sont en accord avec une étude de Godde et al^{Godde'03}, montrant l'influence de la géométrie de la cage sur l'alignement sagittal dans les PLIF. Ces auteurs associent l'utilisation de cages rectangulaires (assimilables à celles de faible angulation de cette étude) à une diminution postopératoire de la lordose locale et L1S1 et une modification compensatoire de la pente sacrée, attirant l'attention sur la potentielle influence de cette diminution dans l'apparition du syndrome du dos plat et d'un déséquilibre responsable d'un moins bon résultat.

Notre étude relie des résultats cliniques satisfaisants à deux ans à des valeurs normales de l'angle intervertébral pour le segment traité ($r=0,5$) et de la hauteur discale sous-jacente ($r=0,6$), correspondant toutefois à un échantillon et un suivi limités. Par conséquent, nous prendrons en considération surtout les résultats relatifs à la subsidence. Ainsi, une diminution de la hauteur discale moyenne est enregistrée dans 10 cas (33% de notre groupe) pour le niveau traité, associée à des résultats moyens et/ou des complications dans 4 de ces 10 patients.

Par conséquent, les arthrodèses intersomatique postérieures avec cages et instrumentation rigide étudiées semblent générer un taux plus élevé de subsidence (33%) que l'ALIF que nous venons de discuter précédemment (15%). La subsidence n'est pas

associée systématiquement à des résultats non-satisfaisants mais il existe un certain nombre de cas (4/10) pour lesquels la géométrie vertébrale du segment traité et l'alignement sagittal correspondant sont à l'origine des limitations fonctionnelles et/ ou complications à 2 ans de recul.

7.1.4 Discopathies dégénératives– relations entre les facteurs cliniques, radiologiques et psychosociaux dans l'évaluation du résultat⁵

Introduction

Durant les dernières décennies, les critères cliniques du succès des arthrodèses postéro-latérales lombaire (APL) ont été largement présentés dans la littérature [ANAES'00;Turner'92b], étant axés sur une ou plusieurs des variables suivantes : complications, fusion [Christensen'01;Kuroki'02;Finkenber'01], lombalgie et radiculalgie [Andersen'03], reprise du travail [Grubb'92;McGuire'93;Zdeblick'93] et évaluations fonctionnelles [Thomsen'97;DeBerard'03], sans atteindre un consensus concernant les facteurs « clés » ou une évaluation « standard » des résultats.

L'appréciation des résultats à long terme peut être difficile en raison de la perception différente, des fois, entre le patient et son chirurgien orthopédiste [Epstein'97], puisque certains patients, considérés en tant « succès technique » peuvent ressentir encore la douleur et l'incapacité fonctionnelle, leur causant/ à l'origine de une moindre satisfaction [Deyo'98;LaCaille'05]. Dans ce contexte, plusieurs études [Hasenbring'94;Junge'96;Leplege'98;DeBerard'03;LaCaille'05] ont souligné l'importance des variables psychosociales dans l'appréciation des résultats, permettant une évaluation plus de la santé perceptuelle du patient, des résultats et des coûts médicaux [Führer'89;Waddell'80;DeBerard'03;LaCaille'05].

De plus, afin d'assurer une évaluation plus complète et plus objective, plusieurs scores ont été proposés, soit génériques (SF-36, NSP/ISPN [Ware'91;Ware'92;Bucquet'90;Hunt'81] etc.), soit focalisés sur des facteurs spécifiques influençant le résultat : douleur, incapacité fonctionnelle, troubles socioprofessionnels et psychologiques. D'un autre côté, l'analyse quantifiée des paramètres à partir de radiographies de routine [Legaye'93;Templier'98b;Pearcy'84;Marty'02;Vialle'05;Champain'06] est de plus en plus implementée en support pour les examens cliniques, permettant une description objective de la configuration biomécanique spécifique à chaque patient.

Toutefois, bien que une relation entre les paramètres cliniques, psychosociaux et biomécaniques avait été considérée intuitivement, spécialement dans les investigations liées au travail [Kerr'01], ces trois dimensions du résultat global n'ont jamais été analysés simultanément et objectivement jusqu'à présent. L'objectif de la présente étude a été d'investiguer préliminairement la relation entre les paramètres cliniques, biomécaniques et psychosociaux dans l'évaluation à long terme des résultats des arthrodèses postéro-latérales lombaires.

Matériel & méthodes

⁵ coll CHU Bordeaux : Pr Pointillart V, Pr Vital JM, Dr Gille O et Université V Ségalen (Psychologie) : Kolec M Voir article en Annexe 2.5. Etant donné le poids attribué par certains auteurs aux facteurs psychosociaux et surtout aux symptômes dépressifs sur l'obtention des moins bons résultats, nous avons souhaité effectuer une analyse interdisciplinaire, en collaboration avec une équipe de psychologues de l'Université Victor Ségalen de Bordeaux, afin d'identifier les relations entre les paramètres cliniques, biomécaniques et psychosociaux dans l'évaluation des résultats, 7 ans après fusion postéro-latérale lombaire.

Population Cette étude rétrospective a concerné 60 patients traités chirurgicalement par arthrodèse postéro-latérale lombaire au CHU Tripode (Bordeaux) en 1987, par le même chirurgien orthopédiste (JM V). L'indication principale a été représentée par des lombalgies d'origine mécanique, rebelles au traitement conservateur, et les critères d'exclusion ont été la présence de la scoliose et/ou celle de troubles psychologiques majeurs.

A partir des dossiers complets, conservant à la fois les données cliniques et les bilans radiologiques, nous avons pu localiser, 7 ans après la chirurgie, un nombre de 26 patients qui ont accepté de se présenter pour une évaluation à long terme. Il s'agissait de 16 hommes et 10 femmes, âge moyen 53 ans (de 26 à 77), souffrant au moment de l'intervention de lombalgies et radiculalgies, causées par un spondylolisthesis dans 38% des cas, par une hernie discale récurrente en 27% des cas et par une discopathie dégénérative pure dans les autres 35% des cas.

Au moment de l'intervention 18 patients (69%) étaient employés et 8 (31%) retraités; parmi les employés, 16/18 étaient en arrêt maladie au moment de la consultation préopératoire.

La fusion postéro-latérale lombaire a été réalisée, comme décrit dans la littérature, aux niveaux suivants : L4S1 34 %, L5S1 31%, L4L5 35%. En 35 % des cas la fusion a été non-instrumentée, en 54 % des patients une instrumentation rigide transpediculaire de type vis/tige a été utilisée (Diapason[®], Stryker, UK) et les autres 11 % des cas ont été instrumentés avec cadre et fil en inox de 5 mm (Hartshill[®], Surgicraft, UK).

Le recul moyen a été de 7 ans (entre 6.5 et 7.5 ans).

Collecte de données et méthodes d'analyse

L'évaluation clinique à long terme (7 ans) a été réalisée par deux chirurgiens orthopédistes (V P & O G), ne faisant pas partie de l'équipe chirurgicale initiale. Un observateur indépendant (SC) a collecté et analysé de manière aveugle les données générales, cliniques, socioprofessionnelles, psychosociales et radiologiques pour l'ensemble des patients.

Données générales et cliniques : antécédents, comorbidité, comportement addictif, activité physique, médication (analgésiques), douleur (type, durée, % d'amélioration postopératoire) ainsi que les complications per- et postopératoires.

Données socioprofessionnelles : type de travail, reprise du travail, le soutien de la famille.

Les facteurs psychosociaux et la qualité de vie ont été également investigués en collaboration avec une équipe de psychologues de l'Université Bordeaux 2 Victor Segalen (France), à 7 ans de recul, utilisant quatre questionnaires validés et fiables, présentés dans la suite.

Le State Trait Anxiété Inventory (STAI) de Spielberger [^{Bergeron'83;Gauthier'93;Spielberger'83;Spielberger'84}] est composé de 2 sous-scores de 20 questions chaque, ce qui nous a permis d'évaluer l'anxiété en 2 dimensions temporelles : au moment de l'investigation, comme un processus temporaire : "anxiété- état", et en général, comme tendance générale vers l'anxiété : " anxiété - trait." Les réponses sont quantifiées de 1 à 4 points sur une échelle de Likert et les résultats globaux peuvent varier de 20 à 80 proportionnellement avec un niveau croissant d'anxiété. Les mêmes dimensions 'état'-'trait' ont été investiguées avec deux versions de la CES-D (Centre for Epidemiologic Studies Depression Scale) [^{Führer'89;Koleck'03;Radloff'77;Gatchel'95}] afin de détecter et quantifier la dépression. Les réponses sont notées de 0 à 3 pour chacun des 20 items et la somme totale peut varier entre 0 et 60. Les résultats considérés significatifs pour des symptômes dépressifs sont supérieurs à 17 pour les hommes et supérieurs à 23 pour les femmes.

La version française du *Nottingham Health Profile* [^{Hunt'81}] (ISPN [^{Rémy'99;Bucquet'90}]) a été utilisé aussi, car elle permet de quantifier les limitations fonctionnelles à partir des questions investiguant la douleur et la mobilité physique et la détresse psychologique à partir de questions portant sur l'isolement social, les réactions émotionnelles, le sommeil et l'énergie.

Au final, le questionnaire *MOS SF-20* (version courte de SF-36) [^{Ware'91;Leploge'98}] a permis d'évaluer les limitations fonctionnelles, le bien-être et la santé perçue du patient.

Valeurs de référence En plus des quelques références publiées dans la littérature pour les facteurs psychosociaux, l'ensemble des paramètres susmentionnés a été calculé pour un groupe témoin, composé de 26 sujets asymptomatiques, âge moyen 48 ans (entre 22 et 65), avec une composition appariée à celle de notre population.

Le résultat clinique a été investigué utilisant l'indice de Stauffer-Coventry [^{Stauffer'72}], basé sur les données cliniques enregistrées dans le dossier du patient et ceux collectés à 7 ans de recul, pour l'ensemble de la population. Cet indice est basé sur l'amélioration de la douleur, le retour au travail, les restrictions des activités physiques et l'utilisation d'analgésiques. Pour chaque catégorie, le résultat a été évalué selon les critères suivants [^{LaCaille'05}] : 1) bon : 76% à 100% d'amélioration de la lombalgie et de la radiculalgie, reprise du travail au même niveau, restrictions absente ou minimales des activités, pas d'analgésiques ou usage occasionnel de faibles doses; 2) moyen : 26% à 75% d'amélioration de la lombalgie et de la radiculalgie, reprise d'un travail plus léger, restrictions modérées des activités physiques, usage régulier d'analgésiques non-narcotiques 3) mauvais : 0% à 25% d'amélioration de la lombalgie et de la radiculalgie, pas de reprise du travail, sévères restrictions des activités physiques, usage occasionnel ou régulier d'analgésiques narcotiques. Le moins bon résultat des quatre items investigués désigne le résultat global. Ces résultats ont été comparés au résultat subjectif de l'évaluation à 7 ans de recul, effectuée par les chirurgiens orthopédistes (V P & O G).

La satisfaction du patient [^{Deyo'98}] a été également investiguée à 7 ans de recul, utilisant deux questions avec réponses de type oui/no, évaluant la satisfaction du patient par rapport à la chirurgie et si il/elle serait d'accord à subir la même opération pour le même résultat.

Les données radiologiques ont été collectées rétrospectivement de la manière suivante :

Les radiographies dynamiques (flexion-extension) lombaires ont été disponibles en préopératoire et à 1 an de recul pour l'ensemble de la population. *Les radiographies en posture sagittale (grand-axe)* ont été disponibles pour les 26 patients en préopératoire, à court terme (0-1 an), moyen terme (1-2 ans) et long terme (7 ans). Pour le début du suivi postopératoire les clichés correspondant à l'examen de 1 an ont été sélectionnés, afin de refléter aussi fidèlement que possible la géométrie sagittale des patients au moment quand les radiographies dynamiques ont été prises (pour correspondre au moment de l'évaluation de la fusion).

Globalement, 104 radiographies en posture sagittale (grand-axe) et 62 paires de clichés en flexion-extension lombaire ont été numérisées et analysés à l'aide du logiciel SpineView. Les principaux paramètres calculés à partir des radiographies seront détaillés dans la suite, couvrant deux grands axes.

a. Analyse dynamique (flexion-extension) lombaire, à travers le calcul des *mobilités intervertébrales* (MI) en flexion-extension et des *centres moyens de rotation* (CMR). Concernant le segment fusionné, l'interprétation des mobilités permet de classer la fusion en tant que solide pour MI <3°,

douteuse pour MI entre 3 et 5° et en tant que pseudarthrose pour MI > 5° [Champain⁰⁷].

Les valeurs de référence pour ces paramètres, disponibles de nos précédentes études, nous ont permis d'évaluer les patterns cinématiques de chaque niveau intervertébral.

b. Analyse de la géométrie sagittale et de l'équilibre

La *géométrie sagittale du rachis* a été décrite par les paramètres suivants : cyphose T4T12, lordose L1S1, Total Lumbo-Pelvien Lordosis PR-T12 (TLPL), ainsi que les paramètres pelviens pente sacrée et incidence ; le calcul de l'inclinaison globale a permis une évaluation de *l'équilibre*.

Analyse statistique

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour caractériser l'ensemble des paramètres. Le test de Student apparié a été utilisé pour évaluer l'existence de différences statistiquement significatives entre les valeurs des paramètres calculés à différents moments du suivi, mettant ainsi en évidence leur évolution. Le test t impair a été utilisé pour comparer les populations traitée et témoin dans l'analyse de variables psychosociales. Les tests de Pearson et Spearman nous ont permis d'évaluer les éventuelles corrélations (uniquement pour $p < 0.001$ en raison du nombre de sujets < 30) entre les paramètres calculés et leur relation avec le résultat global. Le seuil de signification statistique a été établi à $p = 0.05$.

Résultats

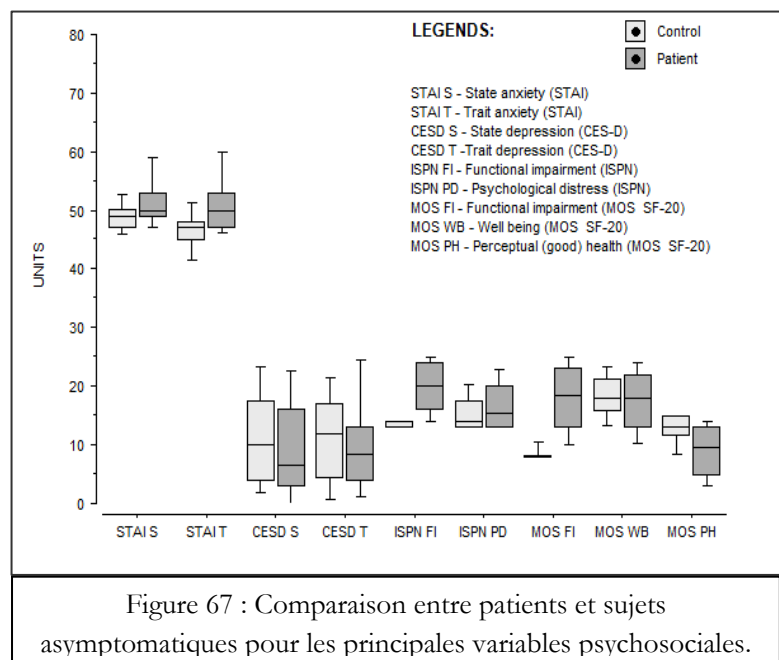
Analyse clinique

A 7 ans de recul, les patients ont déclaré leur lombalgie comme absente ou très légère en 39 % des cas, modérée en 38 % et sévère en 23% des cas.

Le *taux de complications* a été de 27 % dans cette population (7 cas), représenté par : fracture de vis en 3 cas, infection nécessitant l'ablation du matériel en 1 cas et dégénération du niveau adjacent en 4 cas (dans un de ces derniers cas il y avait aussi une fracture de vis). Une *reprise chirurgicale* a été réalisée sans autres complications en 5 (19%) cas.

Données socioprofessionnelles : parmi les patients actifs, 83 % ont repris le travail après la première année : au même niveau pour un tiers d'entre eux et en reconversion à un métier moins sollicitant pour les autres. Les retraités ont repris leurs activités quotidiennes dans la première année après chirurgie, mais des limitations se sont auto-imposées dans la plupart des cas. L'ensemble des patients a déclaré avoir eu le soutien de leurs familles après l'intervention.

Les variables psychosociales et la qualité de vie : Globalement, une différence statistiquement significative a été trouvée entre la population traitée et le groupe témoin asymptomatique pour les variables psychosociales : anxiété, limitations fonctionnelles, détresse psychologique et santé



perceptuelle (Figure 67).

Les niveaux de dépression n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes, mais ils étaient supérieurs à la référence en 6 patients et associés, pour quatre d'entre eux, avec des niveaux d'anxiété significativement élevés par rapport aux sujets asymptomatiques.

Tous les facteurs psychosociaux investigués était intercorrélés, les plus significatives relations étant observées entre : anxiété- état –dépression-trait, détresse psychologique - bien-être et aussi entre limitations fonctionnelles - santé perceptuelle ($r=0.7 - 0.8$), la relation étant inversement proportionnelle pour les deux derniers couples.

Les *résultats cliniques globaux* issus du score de Stauffer-Coventry étaient bons en 46% des patients, moyens en 39% et mauvais en autre 15% des patients. Il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les résultats quantifiés selon le score de Stauffer-Coventry et ceux subjectives (évalués par le chirurgien) ; toutefois, les proportions des résultats bons et mauvais étaient légèrement différentes, comme présenté dans le Tableau 19.

Résultat clinique	Subjectif (évalué qualitativement par le chirurgien)	Objectif (score Stauffer-Coventry)
Bon	54	46
Moyen	38	39
Mauvais	8	15

Tableau 19 : Résultats cliniques : comparaison entre les notations subjective et objective, exprimés en tant que pourcentage des patients en chaque catégorie

La *satisfaction du patient* correspondait aux situations suivantes : très satisfait en 16 cas (62%), modérément satisfait en 6 cas (23%) et insatisfait en 4 cas (15%), qui ne voudrait plus subir la même opération pour le même résultat.

Analyse radiologique

a. Analyse dynamique lombaire

L'analyse des mobilités intervertébrales et des centres moyens de rotation nous a permis de quantifier la mobilité résiduelle du segment fusionné et les patterns cinématiques des autres niveaux à 1 an de recul. Concernant le *segment fusionné*, les amplitudes de mobilité ont été inférieures à 3° en 17 cas (66%), considérés comme fusion solide, entre 3 et 5° en 4 cas (15%), classés en tant que fusion douteuse et supérieures à 5° en 5 cas (19%), évoquant une pseudarthrose (une fracture de vis a été observée en 2 de ces 5 cas).

Les patterns cinématiques des *niveaux adjacents* étaient normaux en 19 cas (73 %) pour ceux susjoints à l'arthrodèse et en 16 cas (62%) pour les niveaux au-dessus; les patterns anormaux ont été caractérisés par une mobilité inférieure à 5° et CMR anormaux.

b. Analyse de la géométrie sagittale et de l'équilibre

Les tests de Student T et Fisher z ont montré une différence statistiquement significative entre les valeurs calculées à 1 an et à très long terme pour l'inclinaison globale. Aucune autre évolution n'a été soulignée statistiquement pour les autres paramètres ou moments du suivi.

Globalement, les valeurs des paramètres rachidiens et pelviens (présentées en Tableau 20) étaient dans les plages de normalité pour 17 cas en préopératoire et pour 18 patients dans tous les examens postopératoires.

Les principales situations où des valeurs anormales ont été observées sont discutées ci-dessous :

- La lordose et les paramètres pelviens (spécialement pente sacrée) étaient inférieurs aux valeurs de référence et associés à un syndrome de dos plat pour 5 patients (19%) dans le temps, sans évolution significative.
- Des valeurs élevées des paramètres pelviens, caractéristiques aux patients souffrant de spondylolisthesis [Marty⁰²] ont été trouvées en préopératoire chez 4 patients et en postopératoire pour deux d'entre eux (à tous les examens).
- Des faibles valeurs de la TLPL ont été observées pour 5 patients durant tout le suivi : en trois cas ils étaient associés à un syndrome de dos plat et à des faibles niveaux de satisfaction et dans les deux autres avec un spondylolisthesis.
- Des valeurs élevées de la cyphose sont apparues à long terme pour 2 patients, associées avec un déséquilibre en aggravation.

Variable (°)	Incertitude de mesure*	Valeurs de référence	Examen		
			Préopératoire	1 an	7 ans
Cyphose T4T12	5.2°	39 ± 8	-34 ± 10	-35 ± 9	-37 ± 11
Lordose	4.4°	57 ± 11	49 ± 16	47 ± 18	50 ± 13
TLPL	2.4°	92 ± 9	80 ± 9	77 ± 10	75 ± 15
Inclinaison globale	0.1°	0 ± 3	2 ± 4	3 ± 4	6 ± 5
Pente sacrée	4.0°	39 ± 8	36 ± 10	34 ± 11	37 ± 10
Incidence	3.4°	51 ± 11	57 ± 11	57 ± 11	59 ± 8

Tableau 20 : Valeurs des paramètres rachidiens et pelviens : référence et observées dans la population étudiée, présentées en tant que moyenne ± écart type (* = pour un intervalle de confiance à 95%).

L'équilibre était normal en préopératoire dans 22 cas, à 1 an dans 23 et à long terme dans 15 cas; au dernier examen les 11 patients (42%) présentant des valeurs anormales importantes de l'inclinaison globale étaient penchés/inclinés vers l'avant.

La lordose et les paramètres pelviens étaient intercorrélés dans tous les examens ($r=0.8 - 0.9$), en accord avec la littérature [Legaye⁹⁸;Marty⁰²;Vialle⁰⁵]. La cyphose T4T12 était corrélée avec la TLPL ($r=-0.6$) en préopératoire et avec l'inclinaison globale (0.7) à 7 ans de recul.

L'âge était corrélée avec l'inclinaison globale en préopératoire et à long terme ($r=0.6$), avec la lordose en préopératoire et à court terme ($r=-0.5$) avec la cyphose T4T12 ($r=-0.6$) à 7 ans de recul. De plus, à long terme, la dégénération des niveaux adjacents était corrélée avec la lordose, la TLPL (les deux $r=-0.5$) et l'inclinaison globale($r=0.5$).

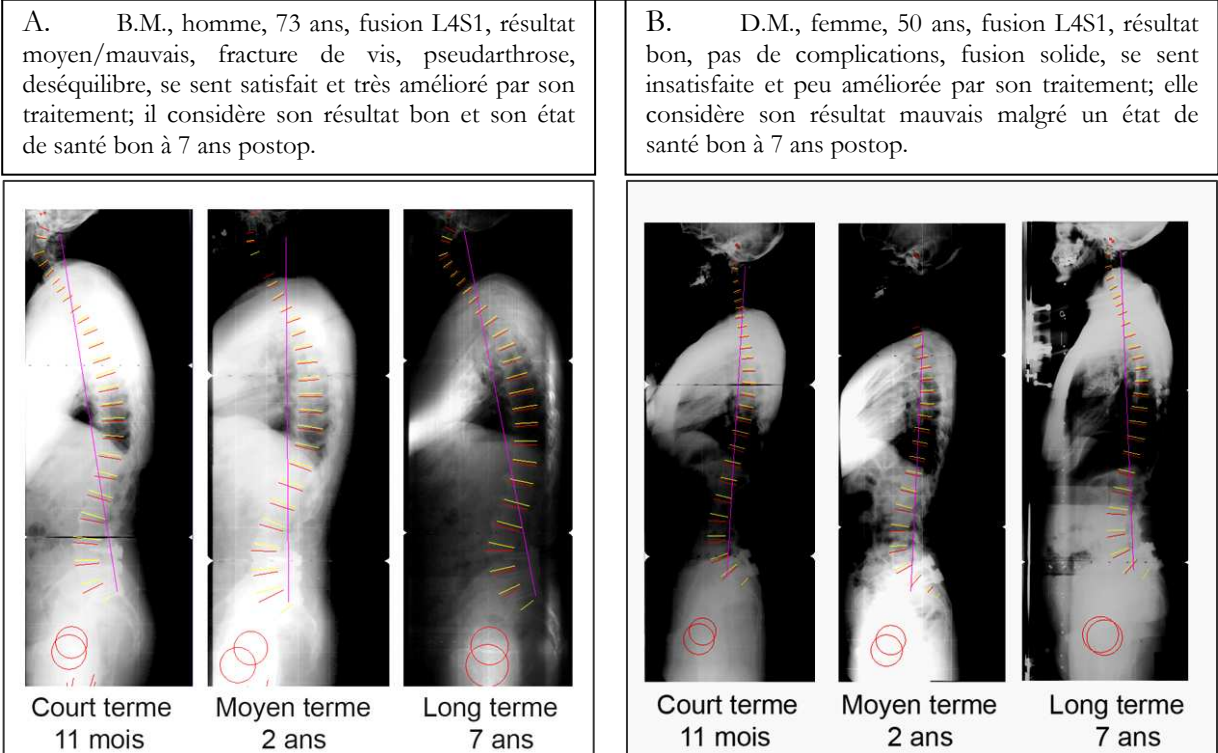
Relations entre les variables cliniques, biomécaniques et psychosociales

Les résultats cliniques évalués subjectivement et objectivement étaient en concordance avec la satisfaction et la santé perceptuelle des patients dans 62% des cas uniquement. Les principales situations rencontrées pour les autres 38% des cas étaient :

- résultats cliniques bons et paramètres biomécaniques normaux associés avec une faible satisfaction et santé perceptuelle (6 cas) ou
- résultats cliniques faibles, complications et paramètres biomécaniques anormaux associés avec des bons niveaux de satisfaction (4 cas).

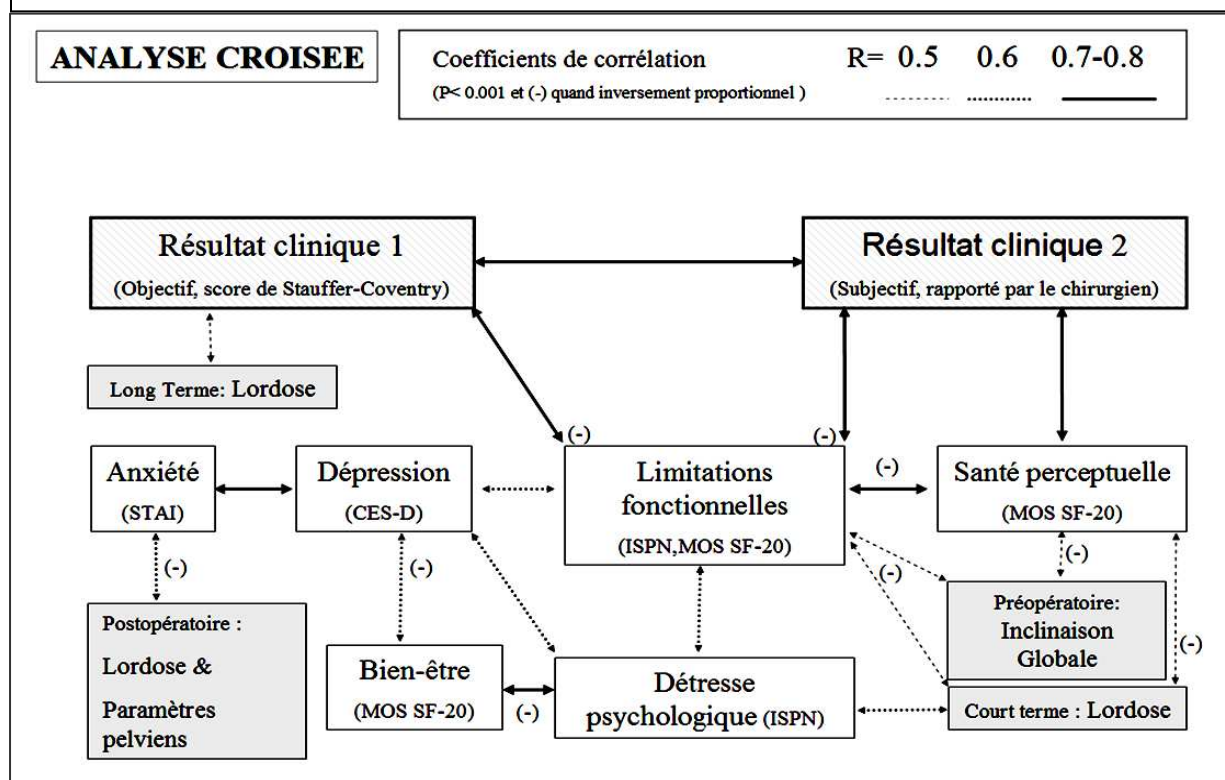
Un exemple typique pour chaque situation est présenté sur la Figure 68.

Figure 68 : Exemples de dissonance entre le résultat clinique, l'analyse biomécanique et la satisfaction du patient.



Les relations entre les variables psychosociales, paramètres biomécaniques et résultat clinique sont représentées sur la Figure 69, telles que résultant de la matrice de corrélation (test de Pearson, $p < 0.001$).

Figure 69 : Corrélations entre les résultats cliniques, les variables psychosociales et les paramètres biomécaniques.



La satisfaction était corrélée avec les résultats cliniques ($r=0.6$), les limitations fonctionnelles et avec la santé perceptuelle ($r=0.5$).

Pour compléter ce tableau, aucune corrélation n'a été trouvée entre résultats cliniques et antécédents, activité physique ou comportement addictif et juste une faible avec la comorbidité ($r=0.4$, $p<0.001$). La lombalgie a été corrélée avec les résultats cliniques, les complications et la dégénération acquise du niveau adjacent ($r=0.6$) et aussi avec l'anxiété et la santé perceptuelle ($r=0.5$).

Discussion

Les limites de l'étude, comme l'hétérogénéité des pathologies et des niveaux traités, ont axé notre analyse sur la condition générale du rachis lombaire dégénératif traité par arthrodeuse postéro-latérale lombaire (APL), ce qui est une option justifiée pour une étude préliminaire. Néanmoins, comme plusieurs auteurs n'ont pas trouvé de différence significative entre les résultats de la fusion avec et sans instrumentation d'un point de vue clinique [^{Katz'97;Ekman'05}], de la douleur [^{Andersen'03}] ou de la fusion [^{McGuire'93;Thomsen'97;Christensen'01}], les résultats globaux ont pu être évalués sans considération séparée pour les patients de l'étude. Par conséquent, malgré le faible nombre de sujets et ces limitations, nous avons décidé de présenter cette analyse préliminaire, car elle offre pour la première fois un aperçu général des résultats des APL à long terme, par une évaluation simultanée clinique, psychosociale et biomécanique.

L'efficacité de la fusion postéro-latérale lombaire pour les patients étudiés joue un rôle important dans notre analyse multidimensionnelle, même si elle n'est pas considérée représentative pour les résultats généraux des APL, ce qui a motivé une comparaison avec d'autres études. Les méthodes d'évaluation des résultats présentées dans la littérature sont variables [^{Grubb'92;Turner'92b;Zdeblick'93;Thomsen'97;Kuroki'02;Finkenberg'01}], générant une variété de taux de succès : dans une méta-analyse de 47 études, Turner et al. [^{Turner'92b}] ont évalué les taux de bons résultats qui variaient entre 16 et 95% (moyenne 68%) et les taux de fusion à 85.6% (56-100%). Les taux de 81% pour la fusion et de 85% pour les résultats satisfaisants obtenus dans notre étude sont comparables à ces intervalles. De plus, ces auteurs ont trouvé une relation positive entre une arthrodeuse solide et un résultat clinique satisfaisant, en accord aussi avec une étude de Finkenberg et al. [^{Finkenberg'01}] qui ont évalué la fusion avec un système de fixation intrasegmentale sur 259 patients à 2 ans de recul et ils ont obtenu un taux de fusion de 88% et 89% de résultats satisfaisants. Contrairement à cette étude, Grubb [^{Grubb'92}] et Zdeblick [^{Zdeblick'93}] ont trouvé des taux différents de bons résultats par rapport à la fusion comparés à ceux issus de l'évaluation de la douleur et de la reprise du travail, différences qui semblent être en accord avec notre analyse, qui a mis évidence une forte relation entre résultats, lombalgie, complications et dégénération acquise du niveau adjacent.

Toutefois, bien que les résultats estimés ont été en accord avec la littérature, ils/ceci ne peuvent pas expliquer les situations quand le niveau de satisfaction du patient et le résultat clinique ont été différents, ce qui semble plus en relation avec des difficultés liés à la conversion professionnelle, à la qualité de vie et à la perception de la douleur. Des preuves éloquentes ont été présentés sur l'influence significative des *facteurs psychosociaux* sur la reprise du travail [^{Schade'99;Thorbjornsson'00;Vingard'00;Hoogendoorn'00;Kerr'01}], la perception de la douleur dans les lombalgies et le développement de la chronicité de la douleur [^{Hasenbring'94;Junge'96}]. Afin de détecter les facteurs

prédictifs pour un résultat insatisfaisant, certains auteurs ont proposé des modèles biopsychosociaux basés sur des variables mesurées en préopératoire, comme la dépression [DeBerard'03;LaCaille'05], l'anxiété [Graver'95] et l'âge [DeBerard'03]. Toutefois, des tels modèles nécessitent des questionnaires complexes et exhaustifs, dont l'usage systématique en examen clinique de routine est difficile.

Dans notre étude, quatre questionnaires validés ont été choisis par une équipe de psychologues, afin d'investiguer un panel de paramètres incluant l'anxiété, la dépression, les limitations fonctionnelles, le bien-être, la détresse psychologique et la santé perceptuelle. Comme l'évaluation préopératoire de ces variables psychosociales n'a pas été disponible (étude rétrospective), la dépression et l'anxiété ont été investigués dans deux dimensions temporelles, afin de détecter le niveau qui caractérise habituellement un patient donné pour mieux évaluer celui calculé à long terme. De plus, certaines intercorrélations ont été observées entre toutes les variables, en particulier entre la détresse psychologique et le bien-être et entre les limitations fonctionnelles et la santé perceptuelle ($r = -0.7 - 0.8$), suggérant une certaine complémentarité entre ISPN et MOS-SF-20; par conséquent, le nombre des questionnaires nécessaire pour cette évaluation pourrait être réduit à trois (STAI, CES-D et MOS SF-20). Ils ont permis l'identification des paramètres spécifiques pour notre population : c.à.d. l'anxiété, les limitations fonctionnelles, la détresse psychologique et la santé perceptuelle, contrairement à la dépression et au bien-être, qui n'était pas statistiquement différentes dans les deux populations (étudiée et témoin).

Un autre volet de notre étude a été représenté par l'analyse biomécanique, qui a "tracé" une vue objective des configurations des patients à long terme, discutée en grandes lignes dans la suite. Ainsi, l'analyse quantitative en flexion - extension a permis une estimation précise du taux de fusion (81% pour cette population) et de la mobilité des niveaux adjacents, qui a été inférieure à 5° en 27% des cas, suggérant une rigidité lombaire accrue. L'analyse de la posture sagittale a mis en évidence peu d'anomalies notables dans l'évolution des patients : à part les quelques cas de spondylolisthesis ou de dos plat, constants dans le temps, nous avons observé 11 cas (42%) de déséquilibre postopératoire à long terme. Cette condition doit être associée dans ces patients non seulement avec l'effet à long terme de leur chirurgie mais surtout avec l'évolution de la cyphose et de l'inclinaison globale à 7 ans de recul, sous l'influence de l'âge, comme montré dans d'autres études [Jenkins'94;DeBerard'03]. De plus, le fait que la cyphose a été corrélée, pour l'ensemble des patients, avec la TLPL en préopératoire et avec l'inclinaison globale à long terme reflète peut-être un changement dans les mécanismes régulant l'équilibre, qui serait intéressant à investiguer dans une étude prospective à large échelle.

Par ailleurs, en plus des corrélations entre la lordose et les paramètres pelviens, déjà présentées dans la littérature [Legaye'98;Marty'02], la TLPL et la lordose étaient corrélées avec les résultats cliniques (issues du score de Stauffer Coventry) et avec la dégénération du niveau adjacent ($r = -0.6$). Ceci peut suggérer une relation entre des faibles valeurs de la lordose (idem pour la TLPL), la dégénération du niveau adjacent et des résultats moindres et semble en accord avec les études de Schlegel et al. [Schlegel'96] et Akamaru et al. [Akamaru'03], qui ont montré qu'un alignement sagittal incorrecte ou la fixation hypolordotique d'un rachis fusionné causent une dégénération au niveau adjacent.

Pour ce qui tient de la relation entre le résultat clinique, les facteurs psychosociaux et les

paramètres biomécaniques, une comparaison avec la littérature est très difficile car la plupart des études ont évalué au plus les relations entre le résultat clinique et la fusion, la dégénération du niveau adjacent ou l'alignement sagittal [Guigui'97;Lazennec'00] ou bien entre certains facteurs psychosociaux et la lombalgie [Junge'96;Schade'99]. Une étude de Lazennec et al. [Lazennec'00] a investigué les données cliniques et quelques paramètres biomécaniques, mettant en évidence une relation entre douleur, résultat et alignement sagittal déficient. Pour nos patients, la lordose et la TLPL ont été corrélées à long terme avec les résultats cliniques, l'anxiété-état et les limitations fonctionnelles, ce qui semble en accord avec l'étude susmentionnée.

Les relations entre d'un côté : les limitations fonctionnelles et l'inclinaison globale préopératoire, la lordose à court terme et la TLPL à long terme et de l'autre entre l'anxiété-état et les valeurs en postopératoire de la lordose, de la TLPL et de la pente sacrée, semble suggérer que des faibles valeurs de ces paramètres biomécaniques, reflétant une géométrie rachidienne anormale, sont liées à des restrictions des activités et pourrait augmenter l'anxiété ou la dépression du patient. Comme la dépression a été souvent associée à des résultats insatisfaisants [Hasenbring'94;Junge'96;Gatchel'95;Schade'99], et en particulier si liée à des faibles niveaux de soutien social, haut stress [LaCaille'05] et inactivité [Farmer'88], ceci pourrait expliquer certains cas présentant une moindre satisfaction et santé perceptuelle. Un autre point intéressant s'est détaché de l'entretien avec le patient, car il paraît que certains patients ayant entretenu des activités physiques quotidiennes (jardinage, promenade, courses) ont atteint de bons résultats à long terme, malgré leurs complications. Ce fait est en accord avec les découvertes de Kjellby et al. [Kjellby-Wendt'01;Kjellby-Wendt'02], qui montraient que la rééducation affecte l'interférence de la douleur et celles de Junge et al. [Junge'96], qui mettaient en évidence le rôle des activités physiques pour combattre la dépression et le besoin d'implémenter des stratégies dite de « coping » [Hasenbring'94;Klasen'06]. Néanmoins, les patients ayant un fort sentiment de bien-être semblent faire face plus facilement aux limitations fonctionnelles et à la douleur; ils pourraient par conséquent percevoir une meilleure qualité de vie et un meilleur résultat par rapport à ceux estimés cliniquement et/ou biomécaniquement, comme reflété par leur santé perceptuelle et satisfaction à long terme.

L'influence de tous ces facteurs confusionnels (parasites) pourrait expliquer partiellement les cas où le patient considérait que le traitement chirurgical n'a pas été un succès même si le problème morphologique avait été traité correctement, en accord avec une hypothèse de Schade et al. [Schade'99]; par conséquent, bien qu'une analyse complète peut sembler un peu complexe, elle pourrait évaluer de manière précise et expliquer les cas dans lesquels les résultats cliniques et biomécaniques était en dissonance avec la satisfaction du patient et sa perception du résultat.

Ces découvertes ouvrent les perspectives d'une évaluation complémentaire dans laquelle, en support pour l'examen clinique, l'analyse radiologique quantifiée donnerait une évaluation de la configuration biomécanique du patient et détecterait les changements cliniquement importants, tandis que l'analyse des facteurs psychosociaux aiderait à établir des stratégies personnalisées de management de la douleur (et la gestion de celle-ci, anglais « coping »), à partir du postopératoire immédiat, qui pourrait améliorer les résultats à long terme et la satisfaction du patient, tout en réduisant les coûts médicaux.

En conclusion, les résultats de cette étude suggèrent que les variables décrivant la qualité de vie, même par une approche transversale comme celle expérimentée dans cette analyse, peuvent donner un aperçu de la perception du résultat propre au patient et lié à son niveau de satisfaction. L'analyse biomécanique trace une vue objective de la configuration et de l'évolution du patient, non seulement du point de vue de la fusion (81%), mais aussi de celui de la géométrie rachidienne globale et de l'équilibre, qui semble liées aux limitations fonctionnelles, à l'anxiété et au résultat global. Ainsi, dans le contexte de l'immobilisation des segments mobiles L4L5 et L5S1, des faibles valeurs de la lordose et des anomalies pelviennes traduisent une faible compensation lombo-pelvienne qui augmente les limitations fonctionnelles et la détresse psychologique du patient, générant des moindres niveaux de santé perceptuelle. Egalement, le déséquilibre (inclinaison globale supérieure à $\pm 6^\circ$) est associé aux limitations fonctionnelles et aux moindres niveaux de santé perceptuelle, mais aussi à des moindres résultats cliniques (calculés selon l'évaluation de Stauffer-Coventry). Par conséquent, l'utilisation de plusieurs paramètres simples (cliniques, psychosociaux et biomécaniques) permet une analyse complémentaire pour un patient donné, qui semble permettre une meilleure appréciation du résultat global, en support pour l'examen clinique.

7.2 Discopathies avec glissement vertébral- spondylolisthesis

L'étude du spondylolisthesis a été largement effectuée durant les dernières siècles, avec des particularités dans le diagnostic et le traitement selon le type étiologique : par lyse isthmique ou dégénératif pur (voir chapitre 3.2.4). Etant donné que le choix de la meilleure stratégie chirurgicale reste toutefois controversé dans la littérature^{Gibson'05}, nous allons présenter dans ce chapitre l'évaluation des traitements couramment réalisés en France pour ces pathologies.

7.2.1 Spondylolisthesis dégénératif

Arthrodèse postéro-latérale avec instrumentation dynamique⁶

Introduction

Depuis la description du spondylolisthesis dégénératif par Junghans (1931), MacNab (1950) et Newmann (1976), cette pathologie a été largement étudiée mais les stratégies thérapeutiques restent controversées^{Sengupta'05b;Gibson'05}. Quand le traitement conservateur^{Frymoyer'94;Vibert'06} échoue, un traitement chirurgical est envisagé, ayant comme principales options^{Mardjetko'94} : décompression sans arthrodèse^{Cauchoix'76;Herron'89}, décompression et arthrodèse non-instrumentée^{Herkowitz'91;Feffer'85} ou décompression et arthrodèse avec instrumentation^{Zdeblick'93;Gertzbein'96;Kawakami'02;Asazuma'04}. Plusieurs études décrivent des meilleurs résultats pour la dernière stratégie^{Herkowitz'91;Bridwell'93;Zdeblick'93;Bono'05}, qui est destinée à améliorer le taux de fusion et à réduire la durée de la rééducation^{Herkowitz'91}, mais l'effet de l'instrumentation semble influencer principalement le taux de fusion et dans une moindre mesure le résultat clinique global^{Fischgrund'97}, ce qui induit une ambiguïté certaine quant à l'utilisation des instrumentations dans le traitement

⁶ coll. IMMontsouris, Pr. Mazel Ch.

du spondylolisthesis dégénératif.

L'évolution des instrumentations rigides et dynamiques pour la fixation pédiculaire n'a pas résolu cette ambiguïté et ne clarifie pas non plus les indications respectives. L'utilisation de l'instrumentation rigide semble la plus répandue parmi les études publiées. La concentration des contraintes qu'elle produit génère un nombre conséquent de complications qui, associées au coût de l'intervention, doivent être mis en balance avec le résultat estimé ^{Fischgrund'97}. Les systèmes dynamiques ^{Korovessis'04} et semi-rigides ^{Gertzbein'96;Asazuma'04} semblent offrir les mêmes avantages que ceux rigides et de mieux répartir les contraintes au niveau du segment traité et du disque adjacent, avec toutefois une durée plus longue pour la consolidation de la greffe ^{Korovessis'04}.

L'analyse quantifiée des résultats cliniques et des configurations biomécaniques des patients doit pouvoir apporter une plus grande objectivité ^{Marty'03;Jackson'00b;Marty'02;Vialle'05;Legaye'05;Morel'05} et permettre d'évaluer l'effet de l'instrumentation sur le résultat global.

Par conséquent, cette étude a eu pour objectif l'évaluation quantitative des résultats d'une arthrodèse postéro-latérale instrumentée avec un matériel dynamique chez des patients souffrant d'un spondylolisthesis dégénératif, avec claudication neurogène prédominante plus ou moins associée à des lombalgies rebelles et invalidantes.

Matériel et méthodes :

Cette étude rétrospective concerne les patients traités par arthrodèse postéro-latérale avec instrumentation dynamique pour spondylolisthesis dégénératif entre 1996 et 2000 à L'Institut Mutualiste Montsouris, par le même chirurgien orthopédique (Ch. M.). Il s'agit d'un groupe de 138 patients, âgés de 64 ± 17 ans, dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 21. Au sein de cette population, nous avons isolé un groupe homogène de 30 patients dédié à une analyse quantitative clinique et biomécanique. La sélection a été réalisée par tirage au sort de 50 numéros de dossiers et tri en fonction de la disponibilité des données cliniques et radiologiques à un recul de minimum 1 an et en excluant les cas de scoliose. Les caractéristiques de ce groupe sont présentées en comparaison de la population globale sur le Tableau 21. Il s'agit de 20 femmes et 10 hommes, âge moyen de 62 ± 12 ans, dont 16 (53,3%) étaient retraités et 14 (46,7%) étaient employés, en arrêt maladie au moment de la consultation préopératoire.

Tableau 21 : Caractéristiques de la population globale et de l'échantillon d'analyse. Légendes : IMC = indice de masse corporelle ; SPL= spondylolisthesis ; CLE= canal lombaire étroit ; DD= discopathie dégénérative; SHD= séquelle de hernie discale opérée.

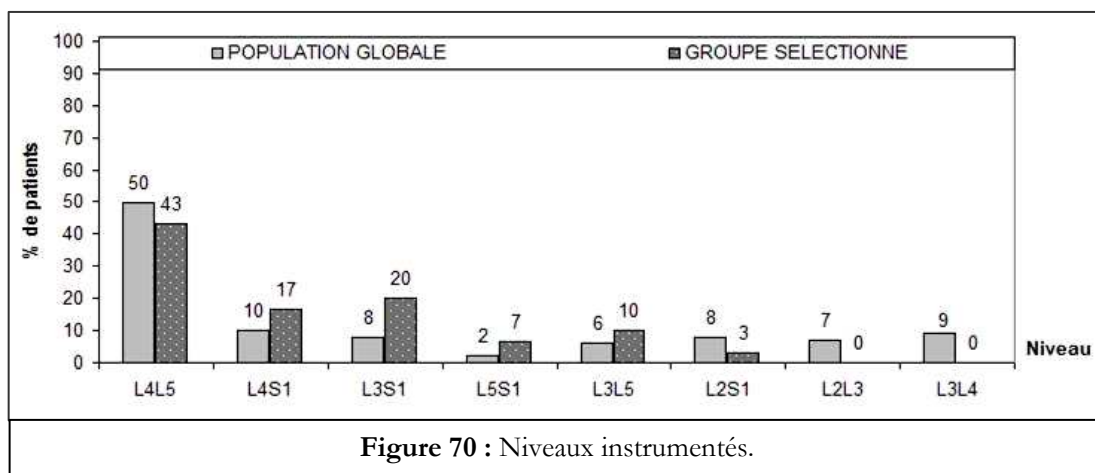
Population	N°	Age (ans)	Sexe (%)		IMC	Siège du SPL : niveaux (%)							Pathologie associée (%)			
		Moyenne (min-max)	F	H		L5S1	L4S1	L3S1	L4L5	L3L5	L3L4	Autre	CLE	DD	Les deux	SHD
Globale	138	64±17 (27-88)	79	21	26±4	3	51	4	23	12	3	4	58	28	15	7
Groupe sélectionné	30	62±12 (35-84)	67	33	26±4	7	40	7	30	13	3	0	40	50	10	13

Le diagnostic de spondylolisthesis dégénératif symptomatique a été basé sur les radiographies du rachis lombaire (flexion extension et profil) et complété par un examen spécifique : scanner ou IRM, associés à une sacroradiculographie dans 63% des cas. Les niveaux pathologiques et les éventuelles discopathies ou des sténoses lombaires associées sont présentés sur le tableau ci-dessus.

La technique chirurgicale impliquait pour tous les patients un abord postérieur, une décompression par laminectomie avec arthrodèse postéro-latérale (greffe iliaque dans tous les cas) et stabilisation postérieure à l'aide de matériel d'ostéosynthèse postérieure (vissage pédiculaire) représenté par une instrumentation dynamique Twinflex® Inox (Eurosurgical, Beaurains, France). La procédure a déjà été décrite ailleurs ^{Mazel⁹⁵}.

Les principaux niveaux instrumentés (pour les deux populations) étaient : L4L5, L4-sacrum et L3-sacrum, comme présenté sur la Figure 70, le nombre total de disques traités étant de 242 pour la population globale et de 53 pour notre groupe.

Les données cliniques ont pu être collectées et analysées avec un recul moyen de 4 ans (1,8-12) pour la population globale ; pour le groupe de 30 patients le recul moyen était de 4±2 ans (de 1,8 à 7,8 ans) pour les données cliniques et quasi-équivalent : 3,6 ±1,9 ans (de 1,9 à 7) pour les radiographies.



Analyse clinique (population de référence et groupe sélectionné)

Les données générales, liées au diagnostique, antécédents, complications et les scores de Beaujon –Lassale ont été collectées et analysées pour tous les examens du suivi avec un pourcentage de données manquantes de 2,5%. Le gain relatif du score de Beaujon a été calculé selon la formule suivante (selon Lassale et al) :

$$\text{Gain relatif (\%)} = \frac{\text{score final} - \text{score initial}}{20 - \text{score initial}} \times 100. \quad \text{Ce calcul nous a permis de classer les}$$

résultats en très bons (71-100%), bons (41-70%), moyens (gain insuffisant : 11-40%) et mauvais (gain relatif < 11% : échec), conformément à la littérature ^{Lassale⁸⁵}.

Analyse radiographique (pour le groupe de 30)

Les radiographies en posture sagittale (clichés centrés et grand axe) et en flexion-extension lombaires ont été numérisées et analysées à l'aide du logiciel Spineview. L'analyse de la posture sagittale a permis une description de la géométrie vertébrale et globale du rachis ainsi qu'une évaluation de l'équilibre dans le temps. Les principaux paramètres calculés ont été : le listhesis sagittal (glissement d'une vertèbre par rapport à la sous-jacente, calculé en % selon la formule de Taillard ^{Taillard⁷⁶}), la cyphose T4T12, la lordose L1S1, les gîtes de T1 et T9, l'inclinaison globale, la pente sacrée, la version pelvienne, l'incidence et la Total Lumbo-Pelvic Lordosis (TLPL).

L'analyse de la cinématique lombaire a été possible grâce à deux paramètres : amplitude de mobilité vertébrale et centres moyens de rotation, qui ont permis également une évaluation quantitative de la fusion.

Pour l'ensemble de paramètres calculés, les valeurs de référence calculées lors d'études précédentes nous ont permis d'évaluer l'effet de l'instrumentation sur le segment traité.

Statistiques

L'ensemble de données cliniques (âge, IMC, score de Beaujon, gain relatif, résultat) et radiographiques (paramètres susmentionnés) a été caractérisé par des statistiques descriptives et leur évolution évaluée grâce au test de Student t apparié (appliqué aux mesures successives des paramètres pour les mêmes patients). Les relations entre les différentes variables ont été mises en évidence par le test de corrélation de Pearson, le seuil de signification pour tous ces tests étant établi à $\alpha = 0,05$.

Résultats

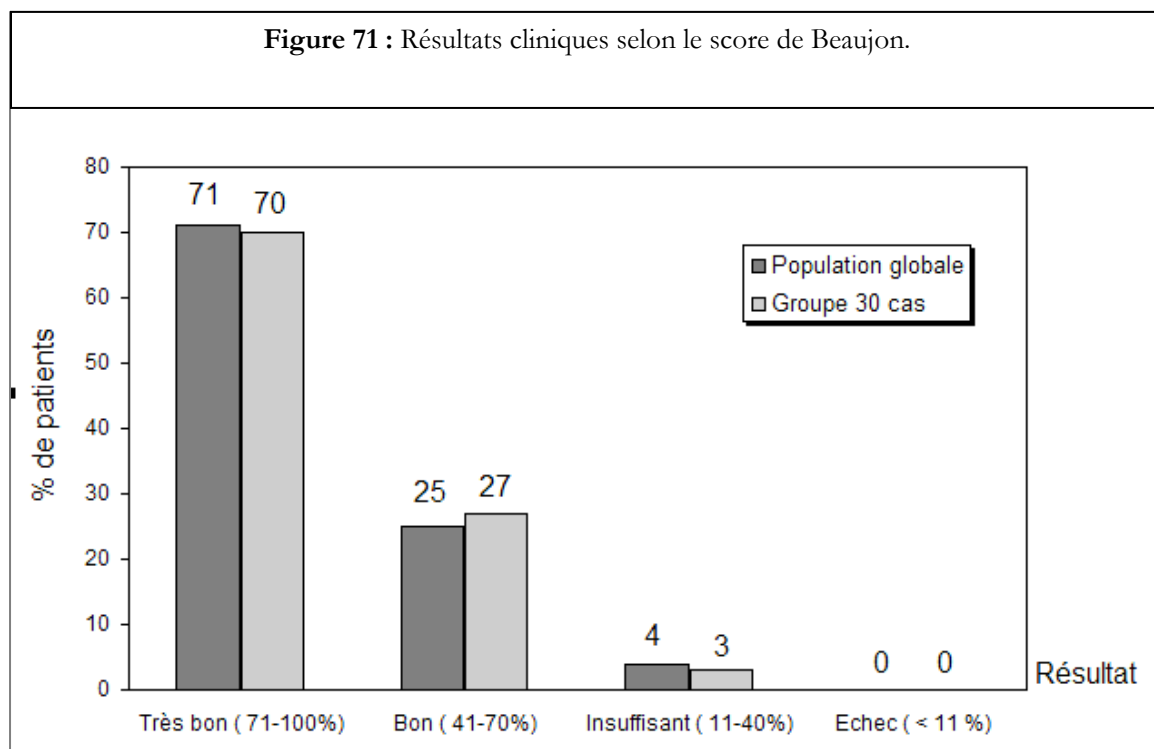
Évaluation clinique. Pour la population globale, la durée moyenne de l'intervention a été de 126 ± 38 minutes (de 50 à 265) et le volume de pertes sanguines de 730 ± 380 ml (entre 150 et 1999 ml), les valeurs obtenues pour le groupe de 30 patients étant comparables : 114 ± 27 minutes (entre 60 et 180) et 617 ± 252 ml (de 500 à 1500). Les complications enregistrées sont présentées par type dans le Tableau 22; les taux globaux de complications postopératoires étaient de 14,49 % pour la population globale et de 13,32% pour le groupe de 30 patients, 2,17% et 3,33% des cas respectivement ayant nécessité une reprise chirurgicale.

Tableau 22 : Taux de complications et de reprise chirurgicale dans les populations étudiées.

Complication		Population globale (n=138)	Groupe sélectionné (n=30)
Brèche durale		19 (13,7%)	4(13,33%)
Infections (superficielles)		2 (1,45%)	1(3,33%)
Troubles neurologiques		4 (2,9%)	
Dégradation de l'étage adjacent		10 (7,25%)	1(3,33%)
Fracture de matériel	Vis	3(2,17%) cas = 1,03 % des vis implantés	1(3,33%) cas = 0,69% des vis implantés
	Tige	3(2,17%) cas = 1,08 % des tiges implantées	1(3,33) cas = 1,6% des tiges implantées
Pseudarthrose		1(0,72%)	1(3,33%)
Reprise chirurgicale (raisons)		3 (2,17%)	2(6,67%)
		Pseudarthrose (1 cas) et sténose sus-jacente (2 cas)	Pseudarthrose (1 cas) et sténose sus-jacente (1 cas)

L'analyse du score de Beaujon a mis en évidence une évolution positive et statistiquement significative entre les bilans préopératoire et postopératoire court terme (0-1an) pour l'ensemble de la population. Cette évolution s'est maintenue ultérieurement, à l'exception de 3 patients (deux cas présentant des complications infectieuses traitées médicalement et un cas de pseudarthrose), dont les scores ont diminué de trois points entre 2 et 4 ans.

Le calcul du gain relatif du score de Beaujon-Lassale entre les bilans au dernier recul versus préopératoire a mis en évidence pour la population globale 71% de résultats très bons (dont 40% présente un gain relatif de 100%), 25% bons et 4% moyens, où l'amélioration a été jugée insuffisante. Ces chiffres sont en concordance avec ceux obtenus pour le groupe de 30, comme montré sur la Figure 71.



Evaluation radiologique du groupe sélectionné

Analyse de la géométrie vertébrale

L'analyse du paramètre *listhesis sagittal*, illustrant l'évolution du glissement vertébral, montre un déplacement en préopératoire de $18 \pm 7\%$ (8-31%), correspondant à 24 cas de grade 1 et 6 cas de grade 2 selon Meyerding. L'évolution de ce paramètre a été statistiquement significative entre les examens préopératoire et postopératoire immédiat, quand le glissement dévient $11 \pm 7\%$ (0-24%) et non-significative ultérieurement (le glissement reste stable durant le suivi dans 73% des cas). A long terme le glissement est de $12 \pm 8\%$ (2-28%) car une légère augmentation ($9 \pm 2\%$), comparable à l'incertitude de mesure (10%), a été enregistrée dans 5 cas (17% du groupe).

Analyse de la posture et de l'équilibre

Les valeurs de référence et celles calculées durant le suivi pour les principaux paramètres

rachidiens et pelviens sont présentées dans le Tableau 23.

L'analyse des paramètres rachidiens et pelviens montre des configurations normales (90 % des cas), à l'exception de trois cas de dos plat (caractérisés par des valeurs faibles des paramètres cyphose, lordose, gîtes et pente sacrée), et quelques perturbations transitoires des paramètres pelviens et des gîtes de T1 et T9, liées à des modifications d'équilibre.

Concernant les paramètres pelviens, nous avons notamment observé une variation de l'incidence pelvienne (de 5 à 10 °) dans 13 cas présentant des résultats très bons (9 cas) et bons (4 cas, dont deux présentaient une mobilité résiduelle ou une pseudarthrose).

Tableau 23 : Evolution des principaux paramètres rachidiens et pelviens durant le suivi (moyenne \pm écart type). TLPL = Total Lumbo-Pelvic Lordosis PR-T12. *Vialle'05;Champain'06

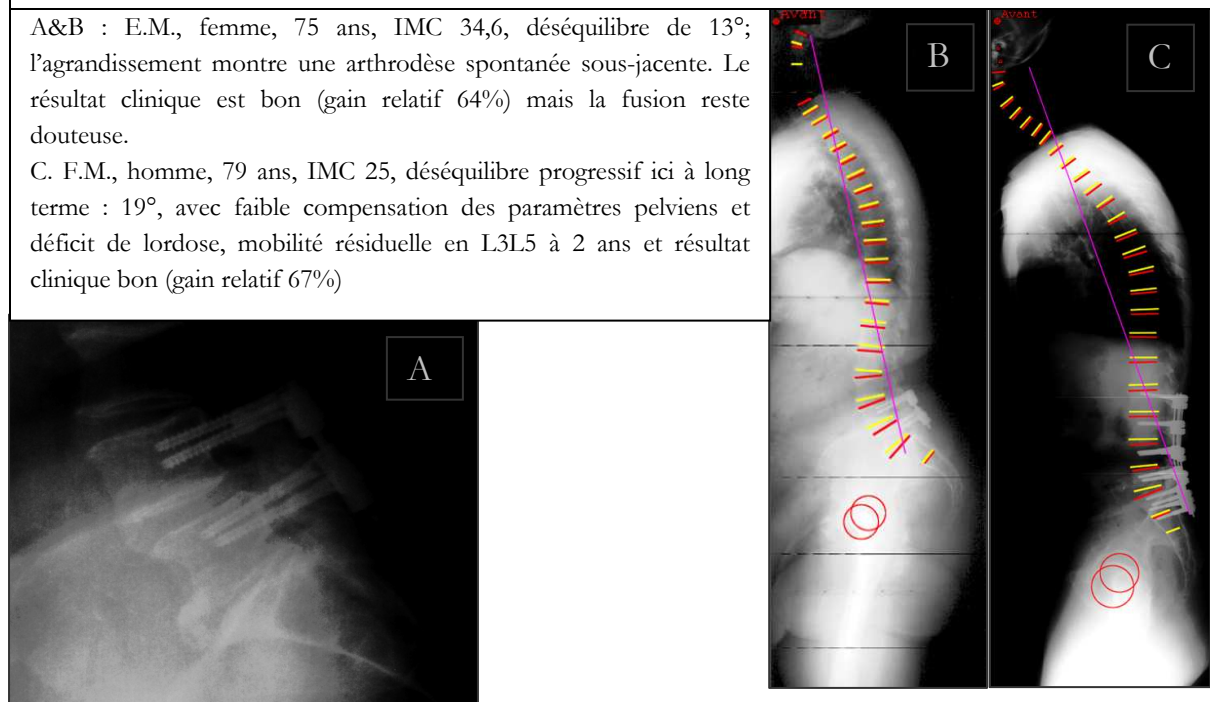
Paramètre (reproductibilité)	Cyphose T4T12 (± 5)	Lordose L1S1 (± 4)	Sagittal tilt Gîte T1 (\pm 0,1)	Gîte T9 (sagittal tilt of T9) ($\pm 0,2$)	Inclinaison globale ($\pm 0,1$)	Pente sacrée (\pm 4)	Version pelvienne (± 1)	Incidence pelvienne (± 4)	TLPL (± 2)
Valeurs normales*	-39 \pm 8	57 \pm 11	-3 \pm 3	-11 \pm 3	0 \pm 3	39 \pm 8	13 \pm 7	51 \pm 11	92 \pm 9
Préop.	-42 \pm 13	54 \pm 15	-3 \pm 4	-11 \pm 4	2 \pm 5	37 \pm 11	20 \pm 7	57 \pm 14	84 \pm 11
Court terme (0-1 an)	-40 \pm 13	50 \pm 13	-3 \pm 4	-10 \pm 4	3 \pm 5	34 \pm 10	19 \pm 8	54 \pm 14	81 \pm 9
Moyen terme (1-2 ans)	-39 \pm 13	51 \pm 14	-2 \pm 4	-9 \pm 4	4 \pm 5	35 \pm 11	19 \pm 7	54 \pm 16	81 \pm 9
Long terme (2-4 ans)	-37 \pm 15	51 \pm 13	-2 \pm 4	-10 \pm 5	4 \pm 6	36 \pm 11	20 \pm 8	57 \pm 16	81 \pm 12

L'analyse de l'équilibre a été basée sur le calcul de l'inclinaison globale du rachis, disponible pour 23 patients (76% des cas) ayant des radiographies en posture sagittale « grand axe ».

Pour les sujets asymptomatiques, ce paramètre illustre un profil rachidien incliné de $0 \pm 3^\circ$ par rapport à la verticale ; des valeurs supérieures à 6° sont considérés comme déséquilibre majeur et ont été observées pour les patients analysés dans 8 cas en préopératoire, 6 à court terme, 5 à 1-2 ans et 4 au dernier recul (3-5 ans). Ce déséquilibre est évolutif : amélioration dans 6 cas entre les examens pré et postopératoire immédiat, déséquilibre dans quatre nouveaux cas à court terme, amélioration de deux patients à moyen terme et déséquilibre pour un autre qui se re-équilibre au dernier recul, mais persistant pour quatre cas (inclinés vers l'avant de 11 à 19°).

Ces derniers patients, âgés de 68 à 79 ans (moyenne 73,5 ans), présentaient un déséquilibre à plusieurs examens du suivi, caractérisé pour deux d'entre eux par une inclinaison globale élevée (11° et 13°) et stable à tous les examens. Les deux autres présentaient des valeurs en progression entre le court et le long terme, atteignant 13 et 19° ; il s'agit d'un cas (13°) avec un IMC de 34 qui a développé une arthrodèse spontanée sous-jacente (**Figure 72 A et B**) à l'étage opéré, et pour l'autre (19°) d'un montage étendu (L2S2) avec une lordose et compensation des paramètres pelviens faibles (**Figure 72 C**).

Figure 72 : Exemples de déséquilibre postopératoire persistant.



Globalement, les variations de l'incidence, inclinaison globale, lordose et TLPL ne semblent pas liées de façon significative aux complications ou aux anomalies cinématiques de l'étage adjacent, mais leur possible lien avec le résultat clinique semble intéressant à étudier dans une étude prospective à large échelle.

Notre analyse a mis en évidence un certain nombre de corrélations (Tableau 24), dont certaines ont été déjà décrites dans la littérature, comme celles entre la lordose et les paramètres pelviens, mais aussi une série de corrélations spécifiques qui seront mentionnées dans la suite. Ainsi, l'inclinaison globale a été corrélée à tous les examens à la gîte de T9 et uniquement en postopératoire à la TLPL. Ce dernier paramètre a été corrélé à la cyphose, à la lordose, à la gîte de T9 et à la version pelvienne à tous les examens.

Tableau 24 : Corrélations entre les principaux paramètres biomécaniques.

Légende : R - tous examens ; R – postop. TLPL = Total Lumbo-Pelvic Lordosis PR-T12.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. CyphoseT4T12	1,0							
2. LordoseL1S1	-0,6	1,0						
3. Gite de T9	0,6		1,0					
4. Inclinaison Globale			0,6	1,0				
5. Pente Sacree		0,8			1,0			
6. Version Pelvienne						1,0		
7. Incidence		0,6			0,9	0,8	1,0	
8. TLPL	- 0,5	0,6	- 0,6	- 0,5		- 0,6		1,0

Analyse de la cinématique lombaire

Evaluation de la mobilité du segment fusionné

Les valeurs *postopératoires* des amplitudes de mobilité vertébrale dans le segment fusionné, sont représentées à différents moments de l'évaluation sur la **Figure 73**.

Au dernier recul (3-5 ans) elles étaient :

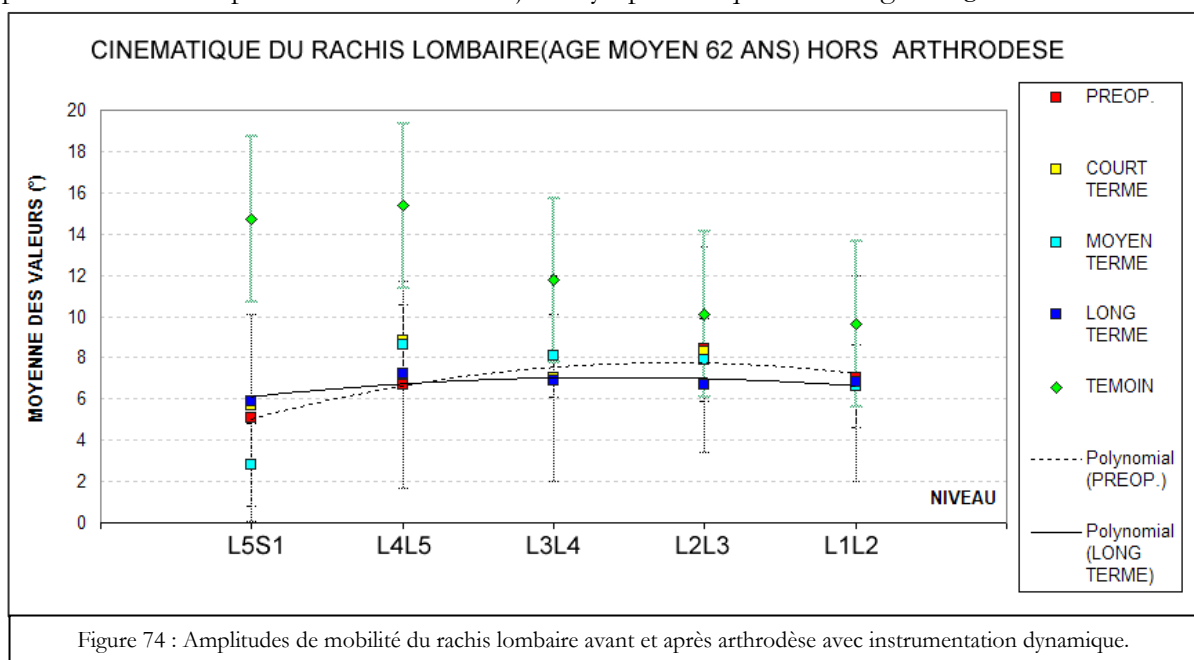
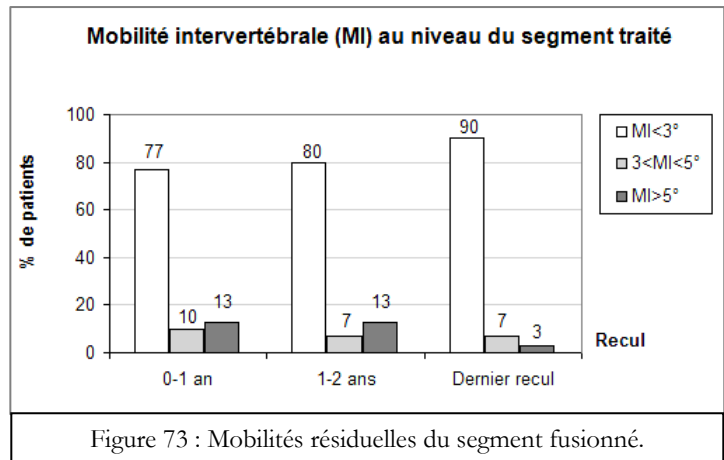
- inférieures à 3° (absence de mobilité attribuée à une fusion solide) pour 27 patients (90 %),
- entre 3 et 5°, évocatrices d'une fusion incertaine, pour 2 cas (7%)
- supérieures à 5°, preuve d'une pseudarthrose, dans 1 cas (3 %)

Cette analyse a mis en évidence certaines

particularités concernant les 7/30 cas (23%) de fusion incertaine, observées à court terme surtout chez des patients âgés de 70 ± 9 ans. Dans 4 de ces 7 patients, une évolution a été observée entre le court et le long terme. La mobilité du segment fusionné diminue, passant de valeurs supérieures à 5° à des valeurs entre 3 et 5° et puis inférieures à 3°. Les trois autres cas sont sans évolution et correspondent à deux pseudarthroses, dont une, associée à une fracture de matériel, a été reprise à 1,5 ans (âge 75 ans, résultat final très bon) et l'autre (âge 74 ans, résultat final très bon) est restée stable à moyen et long terme ; le troisième cas (âge 75 ans, IMC 34,6, résultat final bon) présentait une mobilité résiduelle en L4L5 de 4° et a spontanément fusionné l'étage L5S1.

L'étude des étages adjacents à l'arthrodèse

Pour les niveaux non-instrumentés, les amplitudes moyennes de mobilité intervertébrale sont présentées en comparaison à celles des sujets asymptomatiques sur la figure **Figure 74**.



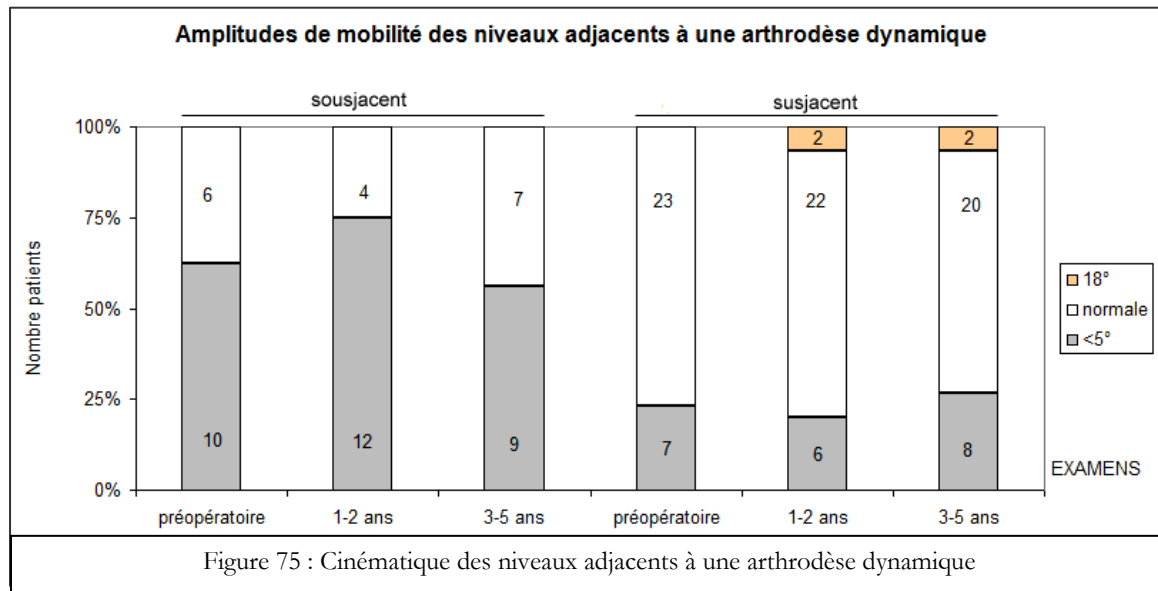
Cette comparaison met en évidence des mobilités *postopératoires* normales pour les niveaux L1L2

et L2L3 et de plus en plus faibles mais comparables aux valeurs préopératoires pour les niveaux L3L4, L4L5 et L5S1, adjacentes aux segments fusionnés.

Détaillant, l'analyse des segments **adjacents** à l'arthrodèse a mis en évidence quelques anomalies cinématiques (**Figure 75**). Pour le niveau sous-jacent L5S1 (arthrodèses L4L5 et L3L5 : 16 cas), les amplitudes de mobilité étaient inférieures à 5°, avec des centres moyens de rotation impossibles à calculer, dans 12 cas à court et moyen terme et dans 9 cas à long terme. Cette mobilité faible était identique à celle observée en préopératoire pour deux tiers de ces patients et inférieure pour l'autre tiers (présentant initialement des amplitudes normale mais des CMR anormaux).

Pour les étages *sus-jacents* (30 cas), la mobilité était :

- inférieure à 5° dans 6 cas (20%) à court et moyen terme et dans 8 cas (27%) à long terme, avec des CMR impossible à calculer
- supérieure à 18° (hypermobilité) en 2 cas (7%) à moyen et long terme avec des CMR normaux
- normale dans 22 cas (73%) à court et moyen terme et dans 20 cas (67%) à long terme, avec des CMR normaux sauf dans 3 cas (10%) où la localisation de ce centre était anormale.



L'évolution des mobilités pour les niveaux sus-jacents entre les examens préopératoire et postopératoire est non-significative pour 21 patients, dont 3 présentaient une mobilité faible. Les amplitudes de mobilité augmentent dans 4 patients, atteignant des valeurs normales en postopératoire, et elles diminuent dans 5 autres cas, principalement entre le moyen et le long terme. Ces derniers cas présentaient également une faible mobilité de l'étage sous-jacent, mais la diminution de mobilité est associée pourtant à des résultats fonctionnels très bons dans tous les cas. Il est de même pour les deux patients ayant une mobilité de 18° à long terme.

L'analyse croisée a souligné une série de faits, comme :

- Une corrélation ($r=0,6$) entre l'âge et la cyphose T4T12 (traduisant une cyphose plus importante chez les patients âgés) et une relation plus faible mais significative entre l'âge des patients et la fusion, l'inclinaison globale et la version pelvienne (tous $r=0,4$), traduisant une

tendance à une moindre consolidation et des anomalies d'équilibre global ou pelvien chez ces patients.

- Une relation statistiquement significative ($p < 0,0001$) a été observée entre le taux de consolidation et l'inclinaison globale ($r=0,6$), la version pelvienne ($r=0,4$) et la TLPL ($r=-0,5$), expression d'une possible influence de la géométrie lombo-sacrée et de l'équilibre sur l'acquisition de la fusion.
- L'amplitude de mobilité de l'étage adjacent à l'arthrodèse est liée à la cyphose ($r=0,7$) et à la gîte de T9 ($r=0,5$), dans le sens d'une moindre mobilité pour les patients ayant de faibles valeurs de ces paramètres.
- Des corrélations entre les résultats issus du gain relatif du score de Beaujon et les paramètres : gîte de T1 ($r=0,6$), taux de consolidation, gîte de T9 ($r=0,4$) et TLPL ($r=-0,4$), traduisant une relation entre les bons résultats fonctionnels et l'équilibre (global et à la charnière lombo-sacrée) ou la fusion.

Discussion

Méthodologie et limites de l'étude

Afin d'évaluer l'apport d'une analyse concertée clinique et biomécanique dans l'évaluation du résultat global, nous avons sélectionné un groupe homogène de 30 patients sur les 138 traités pour spondylolisthésis dégénératif à l'Institut Montsouris entre 1996 et 2000, sur des critères visant à minimiser les données manquantes (inhérentes aux études rétrospectives). Nous avons vérifié que ce groupe était comparable en tout point à la population globale de référence, les caractéristiques étant similaires pour le diagnostic, le traitement, la durée de l'intervention, les pertes sanguines et les résultats cliniques.

Ceci nous a permis d'effectuer une évaluation quantifiée, qui offre une image détaillée de l'évolution des spondylolisthésis dégénératifs traités par arthrodèse postéro-latérale avec instrumentation dynamique. Malgré son caractère observationnel (pas de comparaison avec d'autres traitements), cette étude est intéressante, surtout dans le contexte du manque de clarté quant aux indications des différentes instrumentations et de la rareté des évaluations quantifiées cliniques et biomécaniques de leurs résultats.

Analyse des résultats

Le spondylolisthésis dégénératif étant souvent associé aux sténoses lombaires, l'évaluation des résultats^{Gibson⁰⁵} se devait de comporter un volet clinique permettant une bonne appréciation de l'évolution des troubles neurologiques et un autre biomécanique pour quantifier le glissement (listhésis) et les configurations spécifiques des patients. Nous présentons successivement ces deux volets.

Analyse clinique

L'analyse des *complications* montre pour l'ensemble de patients 13,7% d'incidents peropératoires (brèche durale), sans retentissement sur le résultat, et 14,49 % de complications postopératoires, représentés par 6/138 cas de fractures de matériel (équivalents à 1,03 % des vis et 1,08% des tiges implantés, dont un cas de pseudarthrose), 2/138 cas d'infection superficielle (1,45%), 4/138 cas de troubles neurologiques (2,9%) et 10/138 cas de dégradation des étages adjacents (7,25% à 4 ans).

Ce taux est légèrement supérieur à celui de 11% établi par Bono et al dans une meta-analyse de la

littérature^{Bono'05}, désignant globalement des complications des traitements chirurgicaux du spondylolisthésis dégénératif : liées à l'implant, hématomes, troubles neurologiques, dégradation de l'étage adjacent et infections ; toutefois la population sur laquelle ce taux global avait été estimé comptait 1096 patients.

Nous pouvons aussi comparer nos résultats à d'autres séries de spondylolisthésis dégénératif traités par décompression et arthrodèse postéro-latérale / instrumentation rigide :

- Booth et al^{Booth'99} (49 patients, 5 ans de recul) annonce 24% de morbidité de l'étage adjacent et 2% de fractures d'implant ;
- Wenger et al^{Wenger'05} (132 patients, 10 ans de recul) observe 2,3% d'infection, 5,3% de pseudarthrose et 9,9% de dégradation de l'étage adjacent.
- Nork et al^{Nork'99} (30 patients, âge moyen 60 ans) dénombre 13 cas (43%) de complications peropératoires et 8 cas postopératoires (27%) : 2 cas de pseudarthrose (7%) et 1 cas d'infection profonde qui ont nécessité une reprise chirurgicale (3 cas de reprise : 10%).

Pour finir cette comparaison, il faut mentionner également l'étude de Grob et al^{Grob'05}, concernant des stabilisations souples (Dynesys) pour le même cadre diagnostique ; ainsi, à 2 ans de recul, 64-67% d'amélioration de la lomboradiculalgie et 50% d'amélioration de la qualité de vie étaient mis en balance avec les 6/31(19%) cas de reprise dues principalement à des mobilisations de l'implant.

Le taux global de complications de notre étude semble comparable à ceux observés dans la littérature pour les arthrodèses et il est inférieur à ceux des stabilisations souples ; la morbidité de l'étage adjacent est inférieure aux taux correspondants dans la littérature.

Justification de l'instrumentation

Nous avons réalisé une comparaison entre nos résultats (71% résultat très bons, 25% bons et 4% considérés comme moyens) et ceux publiés pour ce type de traitement pour les arthrodèses lombaires en général (Tableau 25).

Tableau 25 : Résultats des arthrodèses postéro-latérales à travers des revues de littérature. APL = arthrodèse postéro-latérale, SPL = spondylolisthésis

Analyse	Pathologie traitée	Instrumentation	Taux de fusion	Taux de succès (résultats satisfaisants)
Turner'92b	Dégénérative lombaire (général)	Divers	85.6% (56-100 %)	68% (16-95 %)
Jacobs'05	SPL par lyse isthmique	Divers	81 -100 %	60 -98 %
Mardjetko'94	SPL dégénératif ± sténose	Rigide	93%	86 %
		Sans	86%	90%
Bono'05	SPL dégénératif ± sténose	Rigide	80%	84 %
		Sans	75%	79%
Etude	SPL dégénératif ± sténose	Dynamique	97%	96%

L'analyse de la littérature montre, parmi les différentes options de traitement du spondylolisthésis dégénératif, de meilleurs *résultats*^{Herkowitz'91;Herkowitz'95;Zdeblick'93;Fischgrund'97;Frymoyer'94} pour la décompression avec arthrodeuse versus décompression seule^{Herkowitz'91;Herron'89}. En approfondissant cette analyse, l'ajout d'une instrumentation à l'arthrodeuse est associé à de meilleurs taux de fusion et à une meilleure amélioration des symptômes^{Bridwell'93;Yone'96;Fischgrund'97;Bono'05;Wenger'05;Gibson'05}. Une étude biomécanique publiée par Chen et al^{Chen'02} montre que les contraintes au niveau des pédicules et de l'arc postérieur sont doublées en cas de fusion non-instrumentée versus rachis intact et que l'addition d'une instrumentation réduit leur ordre de grandeur.

Nous évoquons dans l'introduction de cet article le manque de clarté concernant les indications des différents types d'instrumentation proposés aujourd'hui pour l'ostéosynthèse. Bien que les différentes rigidités des dispositifs ne semblent pas influencer la fusion^{Dahl'97;Pfeiffer'03;Korovessis'04}, la stabilité créée par ces implants étant plusieurs fois supérieure à celle assurée physiologiquement par le système musculo-ligamentaire^{Goel'05}, les dispositifs rigides empêchent les mouvements de façon intrinsèque et concentrent les efforts aux extrémités du montage, alors que ceux dynamiques redistribuent uniformément les charges sur les niveaux traités^{Templier'98a}.

Nous présentons dans le Tableau 26 une comparaison entre les résultats obtenus pour différents types d'instrumentation, bien que les références pour les instrumentations dynamiques et les évaluations quantifiées restent rares.

Tableau 26 : Résultats des arthrodeses postéro-latérales et circonférentielles selon le type d'instrumentation utilisé.

Etude	Type de fusion	Instrumentation	Taux de fusion	Taux de succès
Fischgrund'97	Postéro-latérale	Rigide	82%	76% (excellents 57%, bons 21%, moyens 12 % et mauvais 12 %)
		Aucune	55%	85% (excellents 49%, bons 36 %, moyens 3 % et mauvais 12%)
Herkowitz'91	Postéro-latérale	Rigide	96%	-
Nork'99	Postéro-latérale	Rigide	93%	-
Gertzbein'96	Circonférentielle	Semi-rigide	97%	-
Asazuma'04	Postéro-latérale	Semi-rigide	96%	-
Zdeblick'93	Postéro-latérale	Rigide	86%	95%
		Semi-rigide	77%	89%
		Aucune	65%	71%
Etude	Postéro-latérale	Dynamique	97%	96%(excellents 71 %, bons 25 %, moyens 4 %)

Aux vues des comparaisons présentées dans les tableaux 25 et 26, les résultats de l'arthrodeuse avec instrumentation dynamique dans le traitement du spondylolisthésis dégénératif semblent se

situer aux niveaux des meilleurs résultats de la littérature, à un taux de complications comparable et une moindre morbidité de l'étage adjacent.

Analyse biomécanique

L'analyse quantifiée réalisée sur le groupe de 30 patients met en parallèle les résultats cliniques et les paramètres radiologiques et surligne quelques aspects particuliers que nous allons détailler.

Concernant *l'alignement sagittal*, la littérature montre que le traitement du spondylolisthesis par décompression sans fusion est peu efficace sur le glissement vertébral, qui progresse significativement dans 31% des cas traités ^{Mardjetko'94}. Pour les arthrodèses, ce paramètre est insuffisamment évalué, la plupart des études se contentant d'analyser les résultats cliniques et fonctionnels et la fusion. Dans une revue de littérature concernant le spondylolisthesis par lyse isthmique, Jacobs et al ^{Jacobs'05} montre que seulement 4 études sur les 29 sélectionnées avait évalué la réduction du listhesis (en moyenne de 12,3%) et la perte de réduction (5,6% en moyenne) qui l'a suivi, suggérant le fait que le listhesis pouvait être réduit dans une certaine mesure mais rarement jusqu'à la correction complète et la moitié de cette correction est perdue de toute façon dans le temps. Dans le cadre du spondylolisthesis dégénératif, les études évaluant quantitativement le glissement sont sporadiques et les unités de mesure difficilement comparables. Pour notre population, les valeurs du listhesis était peu élevées donc la réduction a été moins spectaculaire (0-22%, moyenne 7,2 %) mais la perte de correction reste minime (0-12, moyenne 2,8%). Ceci traduit globalement le fait que l'arthrodèse postéro-latérale avec instrumentation dynamique est capable de réaliser une stabilisation durable du glissement.

La relation entre les *paramètres radiologiques posturaux* et les résultats des arthrodèses postéro-latérales dans le traitement du spondylolisthesis dégénératif est rarement évaluée dans la littérature. Dans une étude sur 47 patients (âge moyen 63 ans, recul 3,6 ans), Kawakami et al ^{Kawakami'02} met en évidence le manque de données radiologiques quantifiées, et calcule le glissement (en mm), la lordose du segment fusionné et un paramètre linéaire (distance entre la plumbligne passant par le centre de la vertèbre L1 et le coin postérieur du sacrum) qui semble avoir un pouvoir prédictif. Toutefois, l'incertitude de mesure de ce paramètre linéaire n'a pas été documentée. Connaissant la variabilité de mesure des distances (très influencée par la technique radiologique) nous avons préféré suivre les recommandations de la littérature ^{Legaye'93;Marty'03;Jackson'00b;Lazennec'00;Marty'02;Legaye'05} choisissant des paramètres angulaires pour décrire la géométrie sagittale, et dans le cas précis de la région traitée (lombaire) la lordose.

La littérature décrit des valeurs significativement élevées pour ce paramètre chez les patients souffrant de spondylolisthesis isthmique en comparaison aux sujets sains ^{Legaye'93;Marty'02;Morel'05}, il est de même pour les paramètres pelviens pente sacrée et incidence ^{Marty'02;Hanson'02a}. Les valeurs calculées dans notre étude sont moins élevées, probablement en relation avec des mécanismes de compensation différents dans le spondylolisthesis dégénératif de faible glissement.

Korovessis et al ^{Korovessis'04} avaient montré que la lordose est moins élevée en postopératoire après arthrodèse avec instrumentation dynamique par rapport à une instrumentation rigide chez des patients traités pour spondylolisthesis dégénératif. Nos résultats sont en accord avec cette étude et semblent appuyer l'hypothèse de la re-stabilisation du patient en postopératoire, possible avec une instrumentation dynamique par rapport à la fixation avec une instrumentation rigide. Plus encore, si on fait un rapprochement entre ces valeurs, le bon alignement sagittal obtenu en

postopératoire et les résultats cliniques, nos résultats sont en accord aussi avec une étude de Lazennec et al^{Lazennec'00} qui montre l'importance de l'alignement sagittal et des *paramètres pelviens* dans la douleur résiduelle (postfusion).

Une autre observation, un peu surprenante, dans l'étude des paramètres pelviens est la variation postopératoire de l'incidence pelvienne chez 13 patients. Ce paramètre est pourtant considéré comme morphologique et donc invariable par certains auteurs^{Duval-Beaupere'92;Legaye'98;Boulay'06}. Nos résultats semblent en accord avec une étude récente de Skalli, Dubousset et al^{Skalli'06}, qui observent des variations de ce paramètre, traduisant une certaine *mobilité sacro-iliaque*, mise en évidence auparavant par d'autres études^{Kissling'97;Sturesson'89}.

L'*évaluation de l'équilibre* est une partie importante de l'analyse radiologique, comme montré par plusieurs auteurs^{Legaye'93;Duval-Beaupere'92;Guigui'03;Legaye'05;Morel'05}, qui ont évalué des paramètres décrivant la posture (cyphose, lordose et paramètres pelviens), sans toutefois aboutir à mettre en évidence une relation directe avec le résultat clinique. Notre étude propose une évaluation de l'équilibre à travers l'« inclinaison globale » du rachis, qui peut être calculée de manière fiable ($\pm 0,1^\circ$) grâce aux méthodes computerisées. Malgré les limites, comme le nombre réduit de patients participant à l'analyse radiologique (30) et le cadre diagnostique précis, cette étude laisse entrevoir un lien entre le déséquilibre, défini comme une inclinaison globale dépassant 6° , et des résultats cliniques moins bons ($r=0,6$). Ce fait devra être validé ultérieurement par une étude prospective à large échelle.

L'analyse radiologique des clichés dynamiques a permis une *évaluation de la fusion et de la cinématique lombaire*. Le taux de pseudarthrose de 3% observé dans notre étude est en accord avec l'analyse qualitative et avec les plages de valeurs observés dans la littérature (voir tableaux 25 et 26). Toutefois, l'analyse biomécanique a mis en évidence 2 cas (7%) présentant une mobilité résiduelle, qui fait passer le taux de non-fusion à 10%. Ce dernier taux est inférieur aux taux de non-fusion de 18% annoncé par Fischgrund et al^{Fischgrund'97} pour une instrumentation rigide et celui de 13% obtenu par Zdeblick et al^{Zdeblick'93} dans le cas d'une instrumentation semi rigide. En même temps, ce pourcentage de non-fusion semble supérieur à d'autres études, comme celle de Gertzbein^{Gertzbein'96} ou Nork^{Nork'99}, qui annonçait 4,9% et respectivement 6% à un recul comparable, sans toutefois documenter la précision de leur mesures (qualitatives), ou à l'étude de Wenger et al^{Wenger'05}, qui annonçait 5,3% de pseudarthrose à 10 ans, mais sur un échantillon de 132 patients.

L'existence d'une pseudarthrose n'est pas forcément corrélée à un résultat défavorable^{Herkowitz'91;Herkowitz'95}, comme le montre une étude de Fischgrund et al^{Fischgrund'97} qui obtient des bons résultats pour 83% des cas présentant une pseudarthrose. Toutefois, les résultats à long terme des patients présentant une pseudarthrose semblent moins bons par rapport à ceux des patients ayant une fusion solide, ce qui souligne l'importance d'une analyse quantifiée^{Fischgrund'04}, qui permet une détection plus précise et objective de la non-fusion, souvent sous-estimée par les examens qualitatifs en imagerie, et pourtant essentielle dans l'analyse des résultats.

Concernant *l'évolution de la mobilité résiduelle du segment fusionné*, elle confirme le caractère vivant de la greffe et son remodelage dans le temps et souligne la nécessité d'évaluer les résultats à long terme, exprimé dans des études récentes^{Fischgrund'04}.

La *cinématique des étages adjacents* présentait certaines anomalies à long terme : parmi les 16 patients

ayant un niveau *sousjacent* à l'arthrodèse, la mobilité était faible ($<5^\circ$) dans 9 d'entre eux; les mobilités préopératoires de ces patients étaient soit faibles et comparables au long terme, soit d'amplitude normale mais CMR anormal.

Pour le niveau *susjacent*, les mobilités anormales à long terme étaient de 18° dans 2 cas (7%) présentant toutefois des CMR normaux et inférieures à 5° dans 8 autres cas (27%). Les amplitudes de mobilité faibles de ces derniers patients sont dues à une diminution de mobilité à long terme mais associée à de bons résultats fonctionnels. Ces résultats suggèrent un enraidissement qui survient surtout au niveau sous-jacent, et qui pourrait être lié à l'âge.

En plus de ces résultats, l'analyse croisée a montré l'influence de l'âge et de la masse corporelle sur certains paramètres de posture et de l'équilibre (cyphose, version pelvienne, inclinaison globale) ainsi qu'une relation entre ces paramètres, la fusion et la cinématique de l'étage adjacent à la fusion. Ainsi, des faibles valeurs de la cyphose et de la gîte de T9 sont associées à des faibles mobilités des niveaux adjacents à la fusion et les anomalies d'équilibre mises en évidence par des valeurs anormales de l'inclinaison globale, de la TLPL et (en moindre mesure) de la version pelvienne sont associées à des cas de fusion incertaine ou pseudarthrose, reliant déséquilibre et déficit de fusion. Pour finir, les paramètres décrivant l'équilibre semblent influencer également le résultat clinique ($r=0,6$), plus faiblement corrélé à la fusion ($r=0,4$, $p<0,001$) pour l'échantillon étudié de notre population.

En conclusion, les résultats des arthrodèses postéro-latérales avec instrumentation dynamique semblent comparables aux meilleurs taux de succès de la littérature. L'analyse biomécanique permet de mettre en évidence la mobilité résiduelle et le déséquilibre qui peuvent expliquer, dans certains cas, des résultats cliniques moins satisfaisants, ainsi qu'une relation transversale, qui relie une bonne consolidation de la greffe à une condition d'équilibre économique.

7.2.2 Spondylolisthesis par lyse isthmique

Plusieurs techniques chirurgicales sont proposées aujourd'hui pour le traitement du spondylolisthesis par lyse isthmique, le choix d'une stratégie thérapeutique étant principalement réalisé selon l'âge des patients et la sévérité du glissement. Ainsi, les cas présentant un glissement $< 50\%$ sont habituellement traités par réparation isthmique ou arthrodèse postéro-latérale in situ avec ou sans instrumentation, tandis qu'un déplacement $>50\%$ ou une ptose soit traités plus souvent par réduction du glissement totale^{Louis'88;Bradford'87;Matthias'86;Fabris'99} ou partielle^{Hanson'02b} associée à une arthrodèse intersomatique (habituellement PLIF^{Lerat'87;Dehoux'04}) ou circonférentielle^{Tiusanen'96a}.

Nos études aborderont dans un premier temps la stabilisation « in situ », en parallèle d'une technique nouvelle chez l'adulte, la réparation isthmique, et ensuite la stabilisation avec réduction du listhesis ; pour le deuxième volet, nous allons mentionner très brièvement les résultats des arthrodèses non-instrumentées, qui semblent donner des bons résultats chez l'adolescent, pour passer ensuite à des méthodes « classiques » et représentatives chez l'adulte.

Stabilisation (arthrodèse) sans réduction du listhesis⁷

Introduction

Le traitement chirurgical des pathologies dégénératives lombaires présente des larges variations géographiques ou liées au patient, à l'exception du spondylolisthesis par lyse isthmique, où un fort accord a été trouvé entre chirurgiens (orthopédistes et neurochirurgiens), qui ont tous recommandé la fusion [Irwin⁰⁵]. En effet, une récente revue de littérature [Jacobs⁰⁵] montre de meilleurs résultats pour la fusion par rapport au traitement conservateur dans le spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade, mais les rapports varient beaucoup et ne soulignent pas clairement la meilleure stratégie entre la fusion postéro-latérale (FPL) et les fusions intersomatiques antérieure et postérieure.

La FPL semble être le standard dans le traitement du spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade chez l'adulte [Newman⁷⁶;Wiltse^{76a};Osterman⁰³;Kwon⁰⁵;Jacobs⁰⁵], même si elle a été souvent associée à des complications postopératoires et un important taux de arrêts de travail [David⁰⁴;Guigui⁹⁷;Jacobs⁰⁵]. Plusieurs alternatives à la fusion, comme la réparation isthmique, ont été développées durant les dernières décennies [Forthomme⁰⁶;Suh⁹¹;Louis⁸⁸;Songer⁹⁸] et les résultats cliniques évalués par des nombreux auteurs [Albassir⁹⁰;O'Brien⁹⁴;Hefi⁹⁷;Chen⁰⁰;Ivanic⁰³;Nozawa⁰³;Lundin⁰³] semblent globalement encourageants, surtout d'un point de vue de la qualité de vie; cependant, ces techniques ont été utilisées principalement dans des populations jeunes : enfants, adolescents et jeunes athlètes.

Bien que des techniques de réparation isthmique existent également pour des populations adultes souffrant du spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade [Hefi⁹⁷;Dai⁰¹;Prasarthi⁰¹;Nozawa⁰³;Roca⁰⁵], il n'y a pas d'étude évaluant clairement leur résultats à long terme. Néanmoins, l'analyse quantitative des paramètres biomécaniques, qui pourrait aider à une évaluation objective des résultats globaux, a été limitée et rarement effectuée [Schlenzka⁰⁶].

Par conséquent, les objectifs de la présente étude ont été :

- D'évaluer quantitativement les résultats à long terme dans deux populations adultes (spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade) traitées chirurgicalement par réparation isthmique ou fusion postéro-latérale rigide (classique).
- D'identifier les paramètres biomécaniques clés qui peuvent décrire quantitativement l'évolution à long terme du patient.

Matériel & méthodes

Population. Cette étude est basée sur une analyse rétrospective des patients consécutifs opérés entre 1990 et 2000 pour spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade, à la Clinique Bois-Bernard (Rouvroy, France) par le même chirurgien orthopédiste (D.Th.). Initialement séparés en deux groupes appariés (size 90), ils ont subi soit une fusion postéro-latérale rigide (FPL) (technique classique) soit une réparation isthmique (RI), les techniques chirurgicales et les résultats préliminaires (à court terme) de ces populations étant déjà présentées ailleurs [David^{01, 04}].

A partir de cette population, uniquement 59 patients ont pu être localisés et sont venus pour une consultation à très long terme : en moyenne 9 ans (entre 5 et 14). Il s'agissait de 22 femmes et de 37 hommes, âge moyen à l'intervention de 42 ± 12 ans, souffrant de spondylolisthesis par lyse isthmique de grades 1 (72%) et 2 (28%), intéressant principalement le

⁷ coll. Clinique Bois Bernard : Dr David T, voir article en Annexe 2.6.

niveau L5S1 (82%, le niveau L4L5 en 12% et L4S1 en 6%).

Le groupe traité par fusion (1) était composé de 39 patients, 15 femmes et 24 hommes, âge moyen 41 ± 10 (entre 16 et 66) ans, représentant 65% de la population totale. Une FPL rigide avec une instrumentation de type vis-tige en inox (instrumentation CD™, Medtronic, Sofamor-Danek, Memphis, Tennessee, USA) a été effectuée au niveau L5S1 en 59% des cas, L4L5 en 13 % et L4S1 en 28% des patients.

Le groupe de la réparation isthmique (2) consistait en 20 patients, 7 femmes et 13 hommes, âge moyen 36 ± 10 (entre 16 et 46) ans. La RI a été effectué au niveau L5 pour tous les patients, avec une seule exception (L4). La technique chirurgicale, utilisant une instrumentation spéciale (David Omega System™, Spine Network, Beaurains, France), a été décrite ailleurs [David⁰¹]. Le design de l'instrumentation est basé sur le principe de Morscher, modifié par l'addition des crochets gauche et droit et d'une lame de titane flexible unissant les deux côtés.

Etant donné le fait que la deuxième technique (RI) est relativement récente, le recul moyen a été différent entre les groupes 1 (10 ± 3 ans, de 5 à 14) et 2 (7 ± 3 ans, de 5 à 9). Par conséquent, le suivi a été délimité en 5 périodes : préopératoire, court terme (0-1 an), moyen terme (1-2 ans), long terme (2-5 ans) et très long terme (entre 5 ans et le dernier recul), permettant une comparaison entre les évolutions des deux groupes. De plus, étant donné que les groupes n'étaient pas égaux et une sélection aurait biaisés l'évaluation des résultats, les différentes variables ont été exprimées constamment en pourcentages.

Données analysées

Données générales et cliniques

La condition bidimensionnelle de chaque patient, c.a. d. clinique et socioprofessionnelle, a été décrite par des variables comme l'âge, le sexe, le statut professionnel, le type de travail et l'activité sportive, la durée de l'intervention et de séjour à l'hôpital, la reprise postopératoire du travail et le changement d'activité si observé, ainsi que les complications. Les résultats à long terme de chaque groupe ont été évalués à l'aide de la classification de Stauffer-Coventry modifiée, présentée en Annexe 1.5 [Stauffer⁷²;Ghiselli⁰⁴].

Données radiologiques

Les radiographies en posture sagittale (431) et dynamiques lombaires (96 paires) ont été collectées et analysées dans cette étude rétrospective dans la proportion suivante. Les clichés de profil (incluant les têtes fémorales) était disponibles en préopératoire pour 50 patients (33/39 pour le groupe 1 et 17/20 pour le groupe 2) et durant le suivi postopératoire jusqu'à très long terme pour l'ensemble de 59 patients ; au dernier recul (très long terme) tous les patients ont eu des clichés grand-axe. Les radiographies en flexion-extension ont été collectées en préopératoire pour 25 patients (15/39 pour le groupe 1 et 10/20 pour le groupe 2), à court et moyen terme en 12 cas et à très long terme pour l'ensemble de 59 patients.

Etant donné le fait que plusieurs clichés du même patient étaient des fois disponibles pour une période donné du suivi, en absence d'une évolution significative des paramètres, le dernier examen (chronologiquement) était sélectionné pour l'analyse finale et la synthèse des résultats.

Méthodes d'analyse

L'analyse quantitative radiologique a été effectuée à l'aide du logiciel Spineview selon deux

axes, décrits dans la suite.

1 Analyse sagittale

a. Afin d'évaluer la *dégénérescence des niveaux adjacents*, plusieurs paramètres ont été analysés : qualitatifs c.à.d. présence des ostéophytes, sclérose des plateaux vertébraux et/ou sténose du niveau susjacent [Ghiselli'04] ou quantitatifs : c.à.d. hauteur discale [Frobin'97], proportion de hauteur disque/vertèbre et lordose du segment instrumenté [Akamaru'03;Okuda'04].

b. *L'alignement local sagittal* a été investigué avec précision à travers le calcul du paramètre listhesis (pourcentage de glissement), selon la méthode de Taillard [Faillard'76].

c. Les paramètres rachidiens et pelviens ont permis l'évaluation de la géométrie du rachis et de l'équilibre. Les principaux paramètres calculés ont été : cyphose T4T12, gîte de T1 et gîte de T9, lordose L1S1, pente sacrée, incidence et total lumbo-pelvic lordosis PR-T12. L'inclinaison globale a été calculée également afin de caractériser l'équilibre global du rachis.

Etant donné que les radiographies grand-axe ait été disponibles pour l'ensemble des patients uniquement à très long terme, ce document présente l'évolution postopératoire versus préopératoire pour les paramètres qui ont pu être mesurés à partir des clichés standard et grand-axes, ainsi que l'ensemble des paramètres calculés à très long terme, comme détaillé sur le Tableau 27.

Tableau 27 : Analyse radiologique – les principaux paramètres calculés (“x” - calculé; “*” - trop hétérogène pour apprécier les résultats).

Analyse	Classe	Paramètres	Préop	Postop. Court et moyen terme	Postop. Très long terme
Sagittale	Vertébral	Listhesis sagittal, hauteur discale, proportion des hauteurs disque/vertèbre, lordose du segment instrumenté	x	x	x
	Rachidien	Cyphose T4T12, gîtes de T1 & T9, inclinaison globale			x
		lordose L1S1 et lombaire	x	x	x
	Pelvien	Pente sacrée	x	x	x
		Version et incidence pelvienne, total lumbo-pelvic lordose PR-T12	*	*	x
Dynamique lombaire	Cinématique	Mobilité intervertébrale	x	*	x
		Centres moyens de rotation	x	*	x

Ensuite, afin d'évaluer l'influence de l'instrumentation sur le segment fusionné, les valeurs des paramètres calculés ont été comparées aux valeurs de référence (préalablement comparés à la littérature).

2 Analyse dynamique

Les mobilités intervertébrales (MI) ont permis l'évaluation de la cinématique lombaire et la quantification de la mobilité résiduelle pour les niveaux fusionnés afin d'investiguer la non-union, conformément à la littérature et aux critères énoncés précédemment. Ainsi, pour les niveaux fusionnés, la mobilité intervertébrale quantifiée a été interprétée de la manière suivante : *non significative* (0-3°) – considère comme fusion solide, *faible* mobilité résiduelle (3-5°) – indiquant une fusion douteuse et une *mobilité résiduelle* égale ou supérieure à 5°, évocatrice d'une

pseudarthrose, dans l'hypothèse que la fusion devrait être acquise à 1 an après la chirurgie.

Le calcul des Centres Moyens de Rotation (CMR) [Skalli'02;Percy'88] a complété l'analyse de la mobilité pour les niveaux non- instrumentés.

Les valeurs de référence pour les paramètres cinématiques (Annexe 2.2) ont été obtenues à partir des clichés de 19 volontaires asymptomatiques (11 hommes & 8 femmes, âge moyen 34 ± 10 ans, disponibles lors des études précédentes) et trouvées en accord avec la littérature [Champain'07]. Etant donné la variabilité des plages de normalité proposées pour la MI dans la littérature et le fait qu'un intervalle de confiance à 95% (moyenne ± 2 écart types) est trop étendu pour mettre en évidence les mobilités faibles et élevées deux valeurs ont été définies pour représenter les limites de la "mobilité normal" pour les niveaux intervertébraux non-instrumentés. Des valeurs de MI inférieures à 5° (valeur minimale moyenne de la littérature [Templier'98b; Hayes'89; Schneider'05; Champain'07]) ont été considérées comme « faibles » et les segments intervertébraux pour lesquels les MI dépassaient 18° ont été considérées comme "hypermobiles" [Dvorak'91a; Guigui'97].

3.3 Analyse statistique

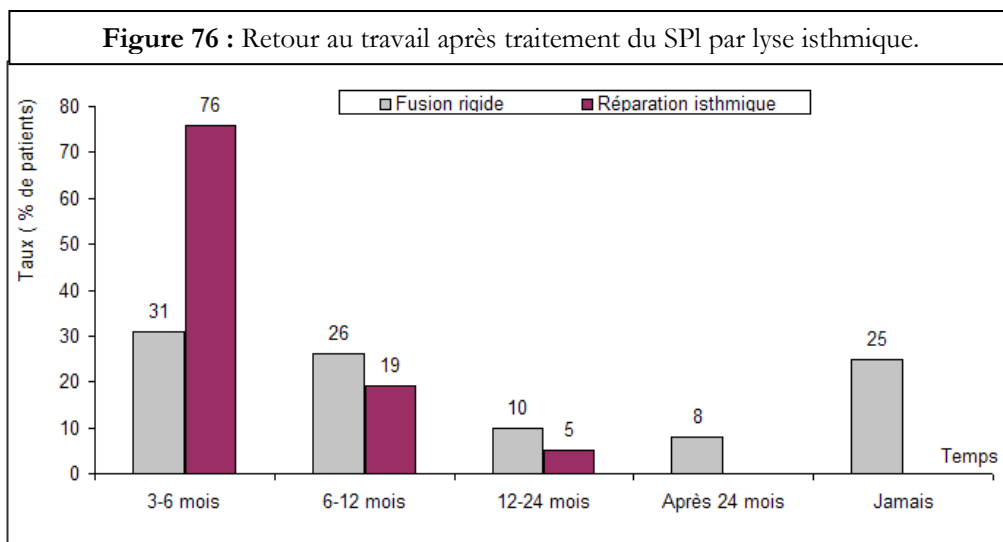
L'ensemble de données cliniques et des paramètres biomécaniques a été analysé utilisant les tests suivants : le test de χ^2 pour investiguer la différence entre proportions, le test t apparié pour la comparaison de mesures pré- et postopératoires ainsi que le test T indépendant de Student pour détecter les différences statistiquement significatives entre groupes. ANOVA et le test de corrélation de Pearson ont été utilisés également et le seuil de signification statistique a été établi à $P < 0.05$.

Résultats

1 Résultats cliniques

La durée moyenne d'intervention a été de 115 ± 19 minutes pour le groupe 1 et de 80 ± 15 minutes pour le groupe 2. Aucune complication per-opératoire n'a été enregistrée. La durée moyenne du séjour à l'hôpital a été de 10.6 ± 4 jours pour les patients du groupe 1 et de 8 ± 2.4 jours pour le deuxième.

Les taux de reprise du travail sont présentés sur la Figure 76. Dans la population globale, 60 % des patients du groupe 1 ont repris leur travail au même niveau versus 80 % dans le groupe 2; parmi les travailleurs de force, la proportion a été différente : 33% dans le groupe 1 versus 75% dans le groupe 2.



Les taux de complications postopératoires et des reprises sont présentés dans le Tableau 28, la principale indication de la re-opération étant la pseudarthrose.

Tableau 28 : Analyse clinique : taux de complications et de ré-opération.

Variable	Type	Groupe FPL (39 cas)	Groupe RI (20 cas)
Complications	Global	20 (51%)	7 (35%)
	Mécanique (liée à l'implant)	11 (28%)	1 (5%)
Ré-opération		3 (8%)	1 (5%)

Les résultats cliniques globaux, issus de la classification modifiée du score de Stauffer-Coventry, ont été bons et excellents pour 80% des patients dans le groupe 1 versus 88% dans le groupe 2, comme présenté sur la Figure 77.

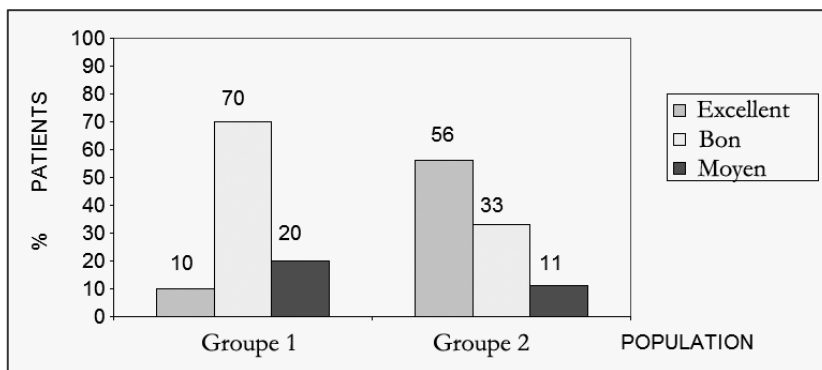


Figure 77 : Résultats cliniques (issus du score de Stauffer Coventry) pour les groupes 1 (FPL) et 2 (RI).

2. Résultats radiologiques

2.1 Analyse de la posture sagittale

a. Dégénération des niveaux adjacents

La présence des ostéophytes/de la sclérose du plateau vertébral, en tant que signes *qualitatifs* de dégénérescence a été observée en 12(31%) cas pour le groupe 1 et 4 (19%) cas pour le groupe 2.

L'analyse des paramètres quantitatifs (hauteur discale postérieure et proportion de hauteurs postérieures disque/vertèbre) a souligné une diminution progressive au niveau adjacent au segment instrumenté en 18(46%) cas pour le groupe 1 et 6(28%) cas pour le groupe 2. La lordose du segment fusionné a diminué dans le temps (jusqu'au long terme) en 6 (15%) cas du groupe 1.

La *dégénération du niveau adjacent* a été observée, à travers une combinaison des paramètres qualitatifs et quantitatifs, à très long terme en 12(31%) patients du groupe 1 et 4 (19%) patients du groupe 2.

b. L'alignement local sagittal

Les valeurs préopératoires du *listhesis sagittal* étaient anormales pour les niveaux L5S1 et L4L5, sans différences statistiquement significatives entre les populations. Ensuite, pour chaque groupe, une différence statistiquement significative a été trouvée entre les valeurs calculées en préopératoire et celles obtenues en postopératoire immédiat, ainsi que entre celles correspondant aux examens à long et très long terme, respectivement.

L'évolution du glissement vertébral pour les deux groupes est présentée en Figure 78 et quelques aspects significatifs seront détaillés dans la suite. A part une réduction spontanée du glissement,

qui a été observée à long terme, une perte de correction, compensant la réduction initiale du listhesis, apparaît en 33% des cas du groupe 1 et 5% des patients du groupe 2. Dans le premier groupe, cette perte de correction a été associée avec des fractures de vis dans la moitié des cas, dépassant la valeur initiale du listhesis (préopératoire) dans un quart des cas ; une corrélation($r=0.6$) a été observée entre cette perte de correction et la valeur préopératoire du listhesis.

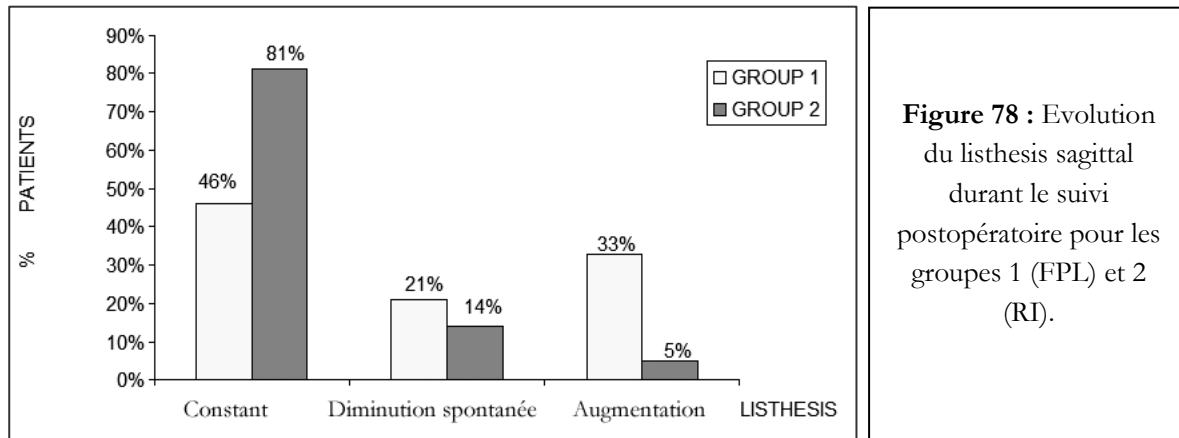


Figure 78 : Evolution du listhesis sagittal durant le suivi postopératoire pour les groupes 1 (FPL) et 2 (RI).

c. La géométrie du rachis et l'équilibre

Analysant les paramètres rachidiens et pelviens, aucune différence statistiquement significative a été trouvée entre les deux groupes, en pré- ou postopératoire. De plus, en comparaison aux valeurs de référence, les résultats ont été constamment équivalents entre les groupes 1 et 2, permettant une estimation globale des paramètres rachidiens et pelviens.

Ainsi, les valeurs pré- et postopératoires ont été globalement dans les plages de normalité, à l'exception de quelques cas, discutés dans la suite. Premièrement, les valeurs de la lordose et des paramètres pelviens (pente sacrée, version et incidence pelvienne) dans chaque groupe ont été supérieures à celles calculées pour de sujets asymptomatiques, comme montré sur le Tableau 29.

Tableau 29 : Valeurs moyennes de la lordose et des paramètres pelviens : préopératoire, dernier recul et références dans la littérature (présentées comme moyenne \pm écart type, 1^{er} = préopératoire, dernier= très long terme).

Variable (°)	EXAMEN DU SUIVI				Valeurs normales	Patients (spondylolisthesis)	
	groupe FPL		groupe RI			Champain [Champain'06], Vialle [Vialle'05]	Marty et al [Marty'02]
	1 ^{er}	dernier	1 ^{er}	dernier			
Lordose	59 \pm 11	61 \pm 10	65 \pm 11	63 \pm 11	57 \pm 11	65 \pm 13	61 \pm 15
Pente sacrée	45 \pm 8	47 \pm 8	48 \pm 9	47 \pm 8	39 \pm 8	49 \pm 12	48 \pm 8
Version pelvienne	X	19 \pm 8	X	19 \pm 8	13 \pm 7	15 \pm 8	
Incidence	X	65 \pm 11	X	66 \pm 10	51 \pm 11	65 \pm 16	69 \pm 16

Aucune différence statistiquement significative n'a été observée *entre préopératoire et postopératoire* pour la lordose et la pente sacrée *et aucune évolution* dans le temps n'a été détectée. Deuxièmement, à très long terme, l'inclinaison globale a été supérieure à la référence en 5 patients (dont 4

appartenaient au groupe de la fusion).

Les principales corrélations entre les paramètres rachidiens et pelviens sont présentées dans le Tableau 30.

Tableau 30 : Les principales corrélations (test de Pearson) observées à long terme entre les paramètres rachidiens et pelviens. *Légende* :* uniquement pour le groupe 1(FPL); ** uniquement pour le groupe 2(RI); TLPL PR-T12 =Total lumbo-pelvic lordose PR-T12.

Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Cyphose T4T12	1									
2. Lordose L1S1	-0.6	1								
3. Lordose lombaire			1							
4. Gîte deT1				1						
5. Gîte deT9	0.6			0.8	1					
6. Inclinaison globale				0.7	0.6**	1				
7. Pente sacrée		0.8	0.8		0.5		1			
8. Version pelvienne								1		
9. Incidence pelvienne		0.6*	0.7				0.8	0.7	1	
10. TLPL PR-T12		0.7**						-0.8		1

2.2 Analyse de la cinématique lombaire

Les valeurs moyennes pour les mobilités intervertébrales calculées en pré- et postopératoire sont présentées en comparaison aux valeurs de référence dans le **Tableau 31**.

Tableau 31 : Amplitudes de mobilité intervertébrale : préopératoire, postopératoire et quelques valeurs de référence de la littérature (présentées en tant que moyenne (écart type) [min-max]).

Légende : * Instrumentation rigide ** DOS ***Sans instrumentation **** technique de Scott + cerclage [◊] pas assez de valeurs (<10) pour calculer la moyenne et l'écart type.

Mobilité (niveau)	Patients spondylolisthesis						Référence : valeurs normales			
	Étude				Schlenzka et al [Schlenzka'06]					
	Préop.		Postop.		Postop		Étude	Templier [Templier'98b]	Hayes [Hayes'89]	Schneider [Pearcy'88;Schneider'05]
	FPL*	RI**	FPL*	RI**	FPL*	RI**				
L5S1	6.1(6) [0-15]	8.1(6) [2-15]	1.8(5) [0-11]	5.6(5) [0-14]	0.7(2) [0-11]	9.9(8) [0-28]	12.4(7) [0-23]	12.2 [4-21]	14 [2-27]	11.6 (6)
L4L5	8.8(6) [1-19]	11(8) [0-19]	8.6(8) [0-27]	7.9(5) [0-17]	15.2(8) [0-30]	10.4(5) [0-19]	13.5(6) [0-22]	17.5 [8-24]	13 [2-20]	14.1 (4)
L3L4	10.5(6) [3-17]	5.3(5) [1-13]	12.6(6) [0-23]	10.6(4) [0-16]	15.3(4) [7-21]	14.5(5) [7-25]	12.1(5) [3-27]	13.5 [6-17]	10 [2-18]	13.5 (3)
L2L3	9.3(3) [6-12]	8.8 [◊]	9.8(4) [3-18]	12.1(5) [1-20]			10(4) [3-18]	10.5 [3-14]	9 [2-16]	12.7 (3)

Les valeurs normales pour les centres moyens de rotation (CMR) : coordonnées X moyenne 41% (ET 13%, entre 15 et 65%) et Y moyenne -3% (ET 20%, entre -39 et 36%), ont été en accord avec les quelques études publiées à ce sujet [Templier^{98b};Schneider⁰⁵].

Pour les 25 patients dont les radiographies *préopératoires* ont été disponibles, les CMR correspondant aux niveaux affectés ont été anormaux en 14 cas (56%) et non calculées ($MI < 3^\circ$) pour les autres. L'analyse détaillée à *très long* terme sera présentée pour chaque groupe dans la suite.

a. Groupe 1(FPL, n= 39)

L'analyse du *segment instrumenté* a révélé une mobilité intervertébrale non-significative ($0-3^\circ$) en 21(53%) cas, des amplitudes de mobilité de 4° en 11(27%) cas et supérieures à 5° en 8(20%) cas. En quatre de ces derniers huit cas une fracture de vis avait été rapportée. Tous les cas présentant mobilité $>3^\circ$ présentaient des patterns anormaux de mobilité intervertébrale.

Cinq patients instrumentés au niveau L4L5 présentaient une mobilité du niveau sousjacent (L5S1, non-instrumenté) égale ou inférieure à 5° (faible). Pour les niveaux susjacent, les paramètres cinématiques ont pu être calculés en 36/39 cas (car ce niveau n'était pas visible sur les clichés de 3 patients). La mobilité intervertébrale était normale en 17 cas (47%), inférieure à 5° en 4 cas (11%) et supérieure à 18° en 15 cas (42%). Les CMR étaient normaux en 30 cas (81%) et anormaux pour les autres 6 (19%) : en deux cas la localisation était anormales et en quatre autres il n'a pas pu être calculé ($MI < 3^\circ$).

Pour les *niveaux au-dessus*, les patterns cinématiques (concernant à la fois les CMR et les MI) étaient normaux en 79% des cas.

b. Groupe 2(RI, n= 20)

Pour le *segment* L5S1 (présentant majoritairement le glissement en préopératoire), la mobilité a été normale en 12 cas (60%) et inférieure à 5° en 8 cas (40%). Les CMR étaient normaux en 10% et non-calculés en 30% des cas (mobilité $<3^\circ$) et anormaux en 60%.

Le niveau *susjacent* à la vertèbre instrumenté : L4L5 présentait une mobilité normale en 14 cas (70%) et inférieure à 5° en 6 cas (30%); les CMR étaient normaux dans 45% des cas, non-calculés en 10% des cas (mobilité $<3^\circ$) et anormaux en 45% (localisation hors plages de normalité). Ce groupe ne présentait pas de hypermobilité.

Pour les *niveaux au-dessus*, les patterns cinématiques étaient normaux en 93% des cas.

3.2.3. Analyse croisée

L'analyse croisée n'a pas révélé des fortes corrélations entre les paramètres cliniques, socioprofessionnels et biomécaniques. Parmi les faibles corrélations, une a été observée pour les deux groupes : entre les complications et les valeurs en préopératoire de la lordose L1S1 et de la pente sacrée ($r=0.5$). Egalement, la mobilité du segment instrumenté était corrélée avec la lordose préopératoire dans le groupe 1($r=0.5$) et avec l'inclinaison globale ($r=0.5$) pour le groupe 2.

Discussion

Méthodologie et limitations

L'objectif de cette étude rétrospective était d'évaluer les résultats à long terme du spondylolisthesis par lyse isthmique de l'adulte, traité par réparation isthmique ou fusion postéro-latérale (considéré comme traitement 'standard'). Dans ce but, la collecte de données a été axée

sur deux groupes appariés de patients, pour lesquels les résultats à court terme avait été déjà évalué cliniquement [David⁰⁴]. Bien qu'une partie réduite de la population initiale a pu être évalué à long terme, les groupes avaient quasiment la même composition : la proportion hommes/femmes étant de 1.6 : 1 dans la population globale, ainsi que dans chaque groupe, ce qui s'explique partiellement par le fait que le spondylolisthesis par lyse isthmique de l'adulte est plus fréquent chez les hommes [O'Brien⁹⁴;Deguchi⁹⁹;Nozawa⁰³]. L'analyse a été toutefois difficile en raison des groupes inégaux et imparfaitement appariés pour l'âge et le dernier recul. Par conséquent, comme la sélection des deux groupes égaux aurait biaisé l'évaluation des résultats, les résultats ont été constamment exprimés en tant que pourcentage. L'interprétation des résultats prend en compte le fait que le groupe RI était moins âgé de 5 ans que celui traité par FPL, et le suivi a été divisé en cinq périodes, permettant une comparaison objective des évolutions des paramètres. Ceci a permis une évaluation quantifiée des résultats à long terme après RI, en comparaison avec un groupe de control (FPL), qui donné une vue préliminaire sur les résultats à long terme de cette stratégie chirurgicale, surtout dans le contexte de l'absence de données sur les résultats de la RI chez l'adulte dans la littérature.

Résultats cliniques

La reprise du travail est une composante importante du résultat pour un patient actif. On dénombre peu d'études évaluant le taux de reprise de travail après FPL pour spondylolisthesis par lyse isthmique de l'adulte, qui varie de 62% [Ricciardi⁹⁵] à 84% [Wenger⁰⁵]. Ce paramètre est moins documenté pour les populations adultes traitées par RI, bien que les études mentionnent généralement une bonne reprise de travail pour les patients concernés [Gehrchen⁰²;Bono⁰⁴] : la seule référence quantifiée est une étude de Nozawa et al, qui ont calculé un taux de reprise du travail de 80,4% pour les athlètes [Nozawa⁰³]. Les taux globaux de reprise du travail dans nos populations : 75% pour les patients du groupe 1 et 100% (dont 95% durant la première année après chirurgie) dans le groupe 2 sont en accord avec la littérature.

Une étude plus détaillée de Molinari et al [Molinari^{99a}] annonçait 63% de reprise du travail au même niveau (service militaire), 27% de reprise avec limitation d'activités et 10% non-reprise dans une population adulte traité par FPL pour spondylolisthesis par lyse isthmique affectant un seul niveau vertébral. Dans la présente étude, moitié des patients traités par FPL et tous ceux traités par RI (à l'exception d'un cas) ont repris leur activités dans l'année suivant la chirurgie, avec la mention que 25% dans le groupe 1 n'ont jamais repris le travail. Néanmoins, parmi les travailleurs de force, un tiers dans le groupe 1 versus trois quarts dans le groupe 2 ont pu reprendre leur activité (au même niveau).

Complications Une grande variété de complications est décrite dans la littérature pour FPL (neurologiques, générales, infectieuses et mécaniques-liées à l'instrumentation) [Guigu⁹⁷;Jacobs⁰⁵;Schlenzka⁰⁶], avec des taux variables entre les différentes études. Il existe également des études rapportant les complications associées à la RI mais les taux sont bas [Lundin⁰³] et en étroite dépendance de l'instrumentation utilisée [Prasarthitha⁰¹;Roca⁰⁵].

Dans notre étude, les taux globaux de complications postopératoires dans le groupe 1 versus 2 étaient juste un peu différents (51% versus 33%), avec une différence majeure pour les complications mécaniques (liées à l'implant) qui sont survenues en 28% des cas du groupe 1 versus 5 % dans le groupe 2. Les taux de reprises chirurgicales ont été comparables entre groupes

1 et 2 (8% vs. 5%).

Résultats du traitement

Les résultats de la fusion comme traitement chirurgical pour le spondylolisthesis par lyse isthmique varient entre 60% et 98% pour les classes bons et très bons dans le cas de la FPL, correspondant à des taux de fusion de 81% à 100% [Jacobs⁰⁵]. En effet, pour des populations jeunes Lamberg et al [Lamberg⁰⁵] ont annoncé 83% de résultats bons et excellents à 21 ans de recul, et pour l'adulte les taux varient entre 63.6% (10 ans de recul) [Wenger⁰⁵] et 77% (4-9 ans de recul) [Deguchi⁹⁹;Ekman⁰⁵;Dehoux⁰⁴].

Les résultats des RI pour des populations jeunes sont variables : de 76% [Winter⁸⁹] à 90% [Suh⁹¹;Albassir⁹⁰;Hefi⁹⁷;Roca⁰⁵] ou 100% [Songer⁹⁸;Lundin⁰³]; chez l'adulte les quelques références annoncent entre 66% [Roca⁰⁵] et 80% [Hefi⁹⁷;Prasaritha⁰¹;Nozawa⁰³]. Une étude de Dai et al [Dai⁰¹] a rapporté des résultats excellents pour 61% et bons pour 33% des patients à 4 ans de recul après RI chez l'adulte.

Des résultats comparables entre FPL (non-instrumentée) et RI (selon la technique de Scott et un cerclage) dans une population jeune (16±3 ans pour le groupe FPL et 18±6 ans pour celui traité par RI) ont été annoncés par Schlenzka et al [Schlenzka⁰⁶], basés sur les scores de Oswestry et SRS, qui était meilleures pour le groupe FPL. Ils avaient pratiqué également des tests fonctionnels et des examens IRM afin d'investiguer la dégénérescence des étages adjacents, mais les différences entre les deux populations n'ont pas été significatives.

Dans notre étude, le résultat clinique global, tel que issu du score de Stauffer-Coventry modifié, a été comparable entre les deux populations (résultats bons et excellents : 80% pour le groupe 1 vs. 88% dans le groupe 2) avec, toutefois, une proportion différente des résultats excellents : 10% en groupe 1 vs. 56% en groupe 2, résultats globalement superposables à la littérature.

Résultats radiologiques

Dans le spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade de l'adulte traité par FPL, la dégradation du niveau adjacent semble varier entre 9,9% (10 ans) [Wenger⁰⁵] et 12% (21 ans) [Lamberg⁰⁵]. Une étude assez complète (à large échelle) a été publiée par Guigui et al. [Guigui⁹⁷], qui ont observé, pour un recul comparable, rétrécissement de l'espace discale sévère dans 49% des cas, hypermobilité en 32% et instabilité en 35% des patients, facteurs qui annoncent habituellement la présence de la dégénérescence. La dégradation des niveaux adjacents a été observée dans nos populations à 9 ans de recul, conformément aux critères qualitatifs et aux paramètres quantitatifs réunis, en 12(31%) cas du groupe 1 et 4(19%) du groupe 2. Bien sûr, on parle dans ces cas de dégénérescence détectable radiologiquement, qui n'est pas toujours symptomatique, comme souligné dans une étude de Park et al [Park⁰⁴], qui annonçait, pour un recul comparable au notre, un taux de dégénérescence symptomatique entre 12,5 et 18,5% chez des patients ayant une instrumentation transpédiculaire. Nos résultats semblent plus en accord avec une autre étude, de Ghiselli et al [Ghiselli⁰⁴], qui avait calculé un taux de dégénérescence symptomatique de 16,5% à 5 ans et 36,1% à 10 ans pour des arthrodèses postérieures inter-transversaires lombaires.

L'évolution du listhesis a été assez intéressante dans les populations étudiées : même si ce paramètre a été globalement constant pour la majorité des patients (46% en groupe 1 et 80% en groupe 2), une réduction spontanée a été observée pour 21% des cas dans le groupe 1 et pour 15% dans le groupe 2, en accord avec les observations d'autres études [Jacobs⁰⁵]. De plus, en 33%

des cas pour le groupe FPL et en 5% pour le groupe RI, une réduction initiale a été suivie à long terme d'une perte progressive de la correction, qui pourrait être expliquée par des fractures de vis pour la moitié des 33% des cas du groupe 1. Dans une revue récente de littérature, juste 4 études sur les 29 sélectionnées avait évalué la réduction du listhesis (en moyenne de 12,3%) et la perte de réduction (5,6% en moyenne), montrant que le listhesis pouvait être réduit dans une certaine mesure mais rarement jusqu'à la correction complète et moitié de cette correction sera perdue de toute façon dans le temps [Molinari'99a;Jacobs'05]. Nos résultats semblent confirmer cette hypothèse, avec la mention que la perte de correction a été corrélée avec le listhesis préopératoire, étant donc mise en évidence surtout dans les cas de spondylolisthesis de grade 2.

Les paramètres rachidiens et pelviens était dans les plages de normalité, à l'exception de la lordose, de la pente sacrée et de l'incidence, conformément aux descriptions de la littérature pour les patients souffrant de spondylolisthesis (voir tableau 3) [Marty'02;Hanson'02a]. Aucune évolution n'a été observée pour ces paramètres dans le temps, signifiant que la configuration des patients n'a pas changé significativement durant le suivi (en moyenne 9 ans). A très long terme exam, l'inclinaison globale était élevée en 5 patients (âgés de 32-49 ans, dont 4 appartenaient au groupe de la fusion), évoquant un déséquilibre sagittal global. Deux de ces patients étaient penchés/inclinés vers l'avant de 10 et 12° respectivement, et leurs résultats étaient moins satisfaisants.

Les principales corrélations trouvées pour les deux groupes en préopératoire entre la lordose et les paramètres pelviens sont en accord avec la littérature [Legaye'98;Marty'02;Vialle'05], ainsi que celle entre la cyphose T4T12 et la gîte de T9 [Vialle'05]. En postopératoire, les coefficients de corrélation ont été similaires pour ces variables, sans différence statistiquement significative entre groupes. Toutefois, un certain nombre de corrélations ont été spécifiques à chaque groupe. Par exemple, la lordose était corrélée avec l'incidence pour le groupe 1 et avec la cyphose et la TLPL pour le deuxième. Ces résultats pourraient suggérer des possibles différences dans les mécanismes d'équilibration, en relation aussi avec la fixation rigide pour le groupe 1. Toutefois, une analyse plus détaillée et à plus grande échelle (surtout pour le groupe RI) serait nécessaire afin de confirmer de telles différences.

Analyse dynamique

A partir du bilan radiologique préopératoire (quand disponible), les anomalies de mobilité ont été détectées par des CMR anormaux ou non calculés ($MI < 3^\circ$) pour l'ensemble des niveaux affectés. Les résultats de l'analyse de la flexion-extension à très long terme seront discutés dans la suite.

Le taux de pseudarthrose de 20 % observé dans le groupe 1 est supérieur à celui annoncé par Wenger et al [Wenger'05] : 5,3% à 10 ans de recul, mais en accord toutefois avec l'intervalle de 0-19% de pseudarthrose établi dans une méta-analyse de la littérature récente par Jacobs et al [Jacobs'05]; des complications mécaniques (fractures de vis) étant rapportées en moitié de ces cas vers 6 mois après chirurgie.

Concernant les niveaux adjacents, la lyse isthmique bilatérale semble augmenter la mobilité intervertébrale du niveau affecté et de celui susjacent. Cette mobilité est réduite à nouveau pour les deux niveaux par la réparation isthmique : Mihara et al [Mihara'03] ont annoncé une faible mobilité pour les niveaux adjacents à la vertèbre instrumenté après RI, de l'ordre de 6° en moyenne, qui est comparable à nos observations. De plus, l'étude susmentionnée a montré que la

fixation rigide bloque le niveau affecté mais peut aussi générer des mobilités très élevées pour le niveau susjacent, phénomène décrit aussi par Guigui et al [Guigui'97]. Cette hypermobilité au niveau adjacent à l'instrumentation rigide dans le cas des FPL a été souvent retrouvée dans nos observations sur le groupe traité par fusion (42%), inversement à Schlenzka et al [Schlenzka'06], qui n'ont trouvé aucune (hypermobilité) siégeant au niveau adjacent à la fusion non-instrumentée (voir valeurs en table 5). Le dernier auteur a aussi trouvé une mobilité réduite aux niveaux adjacents à l'instrumentation pour le groupe traité par RI et a supposé que ceci pourrait être à l'origine des résultats mauvais, hypothèse qui n'est pas soutenue par nos résultats.

En conclusion, les résultats cliniques globaux ont été comparables dans les deux populations (80% pour le groupe traité par fusion et 88% pour celui traité par RI), avec une plus grande proportion des résultats excellents et de reprise du travail dans le 2^{ème} groupe. L'analyse quantitative des paramètres rachidiens et pelviens a confirmé ces résultats comparables entre les deux groupes, mais les évolutions spécifiques des paramètres vertébraux et cinématiques ont souligné quelques différences concernant la dégénération du niveau adjacent (taux de 31% pour FPL et 19% pour RI), l'évolution du glissement vertébral et la mobilité lombaire. Ainsi, l'analyse en flexion-extension a mis en évidence pour les patients traités par FPL 20 % de pseudarthrose et, pour le niveau adjacent, 42% de hypermobilité et 11% de faible mobilité. Pour le groupe traité par RI, les niveaux adjacents à la vertèbre instrumentée : L5S1 et L4L5 présentaient une mobilité faible en 30% et 40% des cas respectivement, sans apparente influence sur le résultat. Pour les niveaux au-dessus de l'adjacent, les patterns cinématiques ont été normaux pour les groupes FPL et RI respectivement en 79% et 93% des patients.

Les résultats à long terme de la réparation isthmique dans le traitement du spondylolisthesis par lyse isthmique de bas grade chez l'adulte semblent au moins comparables aux ceux de l'arthrodèse postéro-latérale, mais cette hypothèse doit être validée par des futures études prospectives à plus grande échelle. Néanmoins, l'analyse quantifiée des paramètres biomécaniques, interprétée en relation avec le résultat clinique, les complications et les implications économiques du traitement pour le patient a fourni des données objectives pour une meilleure appréciation du résultat global et pourrait être très utile pour des études comparatives.

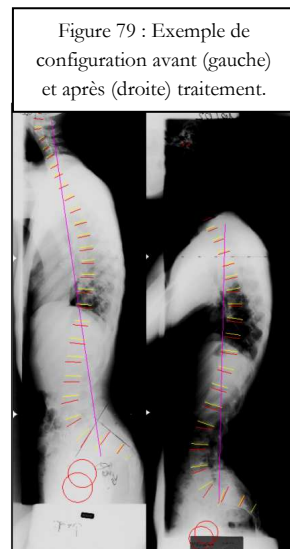
Stabilisation (arthrodèse) avec réduction du listhesis

Arthrodèse non-instrumentée chez l'adolescent (coll. Hôpital St Vincent de Paul : Dr Miladi L, Dubousset J)

Cette micro-étude sera présentée très brièvement, car elle n'est pas représentative pour les discopathies des adultes où le spondylolisthesis par lyse isthmique (découvert tardivement) est associé à des importantes dégénérescences discales et parfois à la faillite des éléments postérieurs liés à la stabilité.

L'analyse concerne une série de spondylolisthesis par lyse isthmique idiopathique de l'adolescent, atteignant un haut grade de glissement. Le groupe de 13 adolescents (8 filles et 5 garçons), âgés en moyenne de 14 ± 2 ans, a été traité (Figure 79) par tractions et arthrodèse non-instrumentée lombosacrée (principalement L5S1), obtenant une amélioration des symptômes et des bons résultats cliniques à un recul moyen de 4 ans (1-13 ans). Sur le plan biomécanique, en

postopératoire on note une certaine réduction du glissement (entre 10 et 76%) qui se maintient dans le suivi, à l'exception de 4 cas, où le listhesis augmente à long terme, dépassant de 10 à 40% la valeur préopératoire.



L'évolution des paramètres pelviens et de la lordose a marqué certaines particularités : les valeurs préopératoires de la lordose (52°) et de la pente sacrée (48°), augmentent en postopératoire (moyennes de 66° pour la lordose et 55° pour la pente sacrée), tandis que celles de l'incidence (82°) et de la version pelvienne (34°) restent constantes (incidence 82°) ou diminuent (version pelvienne 28°). Ceci met en évidence des valeurs postopératoires des paramètres pelviens (obtenues selon le calcul classique) surprenamment plus élevées que la référence, malgré le changement de géométrie. Par conséquent, nous avons effectué un **calcul tenant compte de la nouvelle géométrie lombo-sacrée, remplaçant le sacrum par la dernière vertèbre fusionnée, qui sera utilisé et détaillé dans les études suivantes**. Les valeurs des paramètres pelviens correspondant à ce calcul étaient dans les plages de normalité, à l'exception de 4 cas présentant une perte de correction, en accord avec les résultats cliniques.

Glissement < 50% : Arthrodesis postéro-latérale avec instrumentation rigide (coll. CHRU Strasbourg : Pr Steib JP, Dr Chiffolot X, Dr Bogorin I)

INTRODUCTION

Le spondylolisthesis par lyse isthmique à faible déplacement (<50%) de l'adulte est largement décrit dans la littérature de nos jours et les stratégies thérapeutiques impliquent souvent une arthrodesis postéro-latérale^{Lenke'92;Wiltse'83;Osterman'93;Dehoux'04;Kwon'05;Jacobs'06} en raison de la supériorité des résultats des traitements chirurgicaux versus conservateurs^{Jacobs'06}, aboutissant à un consensus exceptionnel entre les chirurgiens des différentes régions du monde pour ce type de traitement (dans ce cadre diagnostique précis)^{Irwin'05}.

Le choix d'utiliser ou non une instrumentation (matériel d'ostéosynthèse) et ses caractéristiques restent néanmoins très variables^{Jacobs'06}, ainsi que l'option de réduire ou non le glissement vertébral^{Hanson'02b}, la plupart des études mentionnant des fusions « in situ ». Toutefois, un certain degré de réduction semble nécessaire afin de restaurer des courbures sagittales harmonieuses^{Legaye'98;Legaye'05}, essentielles pour un équilibre économique^{Duval-Beaupere'92}.

Dans le but de mieux comprendre les résultats de ce type de traitement, la présente étude a analysé les données cliniques et radiologiques d'un groupe de patients traités par arthrodesis postérolatérale avec une certaine réduction du glissement, essayant d'identifier les paramètres biomécaniques qui pourrait aider dans l'évaluation du résultat.

MATERIEL ET METHODES

Population Cette étude rétrospective concerne une série de patients consécutifs, souffrant de spondylolisthesis par lyse isthmique, qui ont été traités chirurgicalement à l'Hôpital Civil de Strasbourg entre janvier 2000 et août 2003, par la même équipe de chirurgiens orthopédistes (JP S, I B). Un groupe de 34 sujets a été identifié (X C), composé de 22 femmes (65%) et 12 hommes

(35%), âge moyen 38 ± 13 ans (15 - 65) et indice de masse corporelle de $25,6 \pm 4$ kg/m² (19-38).

Ces patients, présentant des lombalgies rebelles invalidantes, associées avec radiculalgie et sciatalgie dans un tiers des cas, ont été diagnostiqués par examen clinique, IRM et radiographies face/profil comme souffrant du spondylolisthesis par lyse isthmique intéressant les niveaux L5S1 (56%), L4S1 (35%) et L4L5 (9%), associé à une discopathie du même niveau en 30% des cas. Un patient présentait des antécédents de chirurgie pour spondylolisthesis, étant traité précédemment par arthrodèse postérieure avec instrumentation semi-rigide.

Le traitement chirurgical a été effectué par voie postérieure et le choix pour ce spondylolisthesis de faible déplacement a été une arthrodèse postérolatérale (greffe iliaque). Une certaine réduction du glissement a été réalisée lors de la mise en place du matériel d'ostéosynthèse rigide (SCS inox), concernant les niveaux L5S1 en 18 cas (53%), L4L5 en 2 patients (6%) et L4S1 en 14 cas (41%). Un seul cas de complication peropératoire a été rapporté (brèche durale suturée).

Les données générales, cliniques et radiologiques de ce groupe ont pu être collectées avec un recul moyen de $2,4 \pm 1,4$ ans (12 – 72 mois).

Analyse

L'analyse clinique a été basée sur les observations issues de l'examen clinique, complications postopératoires et sur le résultat clinique (issu du score de Beaujon – Lassale) enregistré au dernier recul. L'analyse radiologique a concerné les radiographies de profil lombaire (clichés centrés, rarement grand axe), disponibles pour 32 patients en préopératoire, 34 à court terme (0-1 an), 31 à moyen terme (1-2 ans) et 19 (56%) à plus long terme (2-3,8 ans). Après numérisation des radiographies, le logiciel Spineview a permis le calcul d'un grand nombre de paramètres, avec une précision et reproductibilités connues [Champain'06].

Les principaux paramètres analysés ont été : vertébraux et discaux : hauteur discale moyenne, proportion disque/vertèbre sous-jacente et listhesis ; rachidiens : lordose L1S1 et lombaire (L1L5), gîte de L1 et lordose locale (du segment fusionné), TLPL (total lumbo-pelvic lordosis) et pelviens : pente sacrée, version pelvienne, incidence.

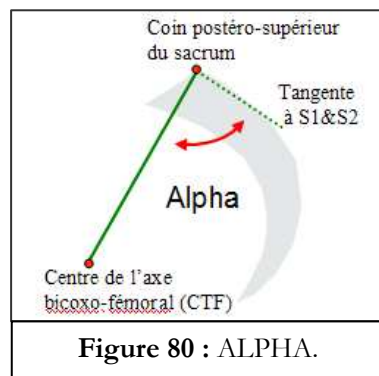


Figure 80 : ALPHA.

A ceux-ci se rajoutent : le paramètre alpha (Figure 80) – angle fait par le mur postérieur du sacrum avec le segment formé par le coin postéro-supérieur du sacrum et le milieu de l'axe bicoxo-fémoral et les paramètres dits « neo-pelviens », qui tiennent compte de la formation d'une nouvelle vertèbre pelvienne par fusion. Le calcul de ces paramètres est réalisé en remplaçant dans

le calcul classique le plateau de S1 avec le plateau supérieur de la vertèbre craniale du segment fusionné (Figure 81).

Valeurs de référence Pour les paramètres radiologiques analysés, des valeurs de référence ont été disponibles [Vialle'05;Champain'06] à l'exception des paramètres alpha et neo-pelviens, pour lesquels nous les avons calculés à partir d'un échantillon de sujets asymptomatiques.

Tests statistiques. Après description des données, l'analyse statistique de ces paramètres a investigué leur évolution, utilisant les tests de Student et de Wilcoxon signé (non-paramétrique) et les corrélations entre les principales variables cliniques et radiologiques (test de Pearson). Le seuil de signification a été établi à 0,05.

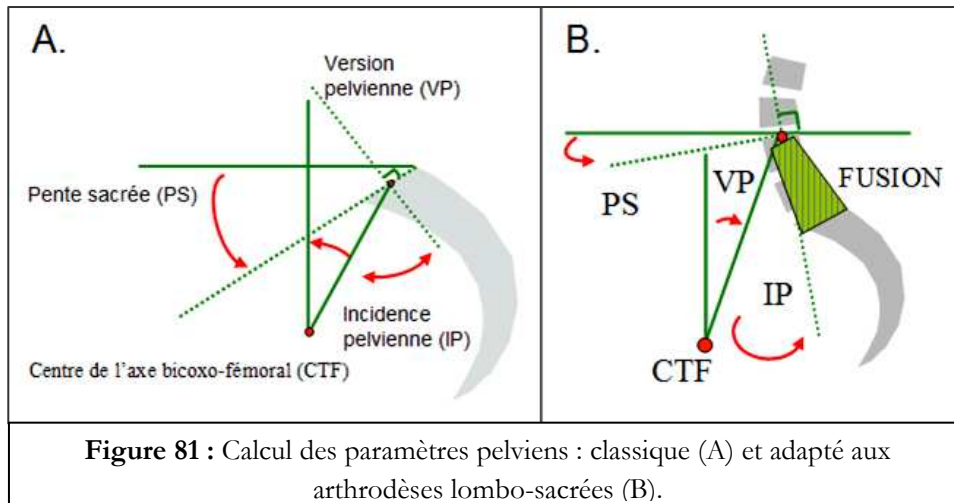


Figure 81 : Calcul des paramètres pelviens : classique (A) et adapté aux arthrodeses lombo-sacrées (B).

RESULTATS

Analyse clinique

Le taux global de complications de cette série est de 44% (15 cas). Parmi ces patients, 4 ont suivi une antibiothérapie pour sepsis postopératoire, un a développé une sténose par formation d'ostéophytes (à partir de sa greffe), un autre a développé une poly neuropathie et un troisième patient, ostéoporotique, présentait une perte de correction malgré une fusion solide. Des complications mécaniques ont été observées dans 9 patients (dont 1 des cas de sepsis), représentées par fracture ou mobilisation du matériel (vis ou tige) dans 7 et respectivement 2 cas (26 % complications liées à l'implant). Elles ont été associées à une pseudarthrose en 4 patients (en 3 cas la fracture du matériel d'ostéosynthèse est survenue après consolidation de la greffe). Au dernier recul, 15 patients (44%) accusent des douleurs (lombalgies résiduelles et douleur du site donneur de la greffe). Les complications ont déterminé une réopération en 8 cas (23,5%), deux de ces patients étant repris deux fois. Un cas supplémentaire de reprise pour ablation de matériel, suite à une chute, n'est pas considéré en relation avec les complications liées à l'intervention même.

Malgré ces complications, l'analyse des résultats (dérivés du score de Beaujon) au dernier recul ($2,4 \pm 1,4$ ans) montre 6 résultats moyens, 7 bons et 21 très bons, soit un taux de résultats satisfaisants de 82,3%.

Analyse radiologique

Afin de mieux comprendre ces résultats cliniques un peu contradictoires, nous nous sommes appuyé sur l'analyse radiologique, qui évalue l'effet du traitement sur la géométrie vertébrale, rachidienne et pelvienne.

1. Géométrie vertébrale - paramètres vertébraux et discaux

L'analyse des *hauteurs discales moyennes* a montré une différence statistiquement significative entre les valeurs calculées en préopératoire et immédiatement postopératoire (court terme) pour les niveaux traités L4L5 et L5S1, et ensuite entre les valeurs calculées à court et moyen terme pour les mêmes niveaux, la différence globale entre préopératoire et dernier recul pour ces paramètres étant non-significative. Ces faits traduisent, dans un premier temps, une légère augmentation des hauteurs discales due à la distraction (chirurgicale) de l'espace discal, et, dans un deuxième temps, une diminution progressive des mêmes paramètres, atteignant pour le niveau L5S1 des valeurs

comparables à celles calculées en préopératoire. Les valeurs moyennes de la hauteur discale du niveau L5S1 sont globalement 9 ± 3 mm en préopératoire, 10 ± 2 mm après chirurgie, et ensuite 9 ± 3 mm jusqu'à 2 ans de suivi. Pour le niveau L4L5 la valeur moyenne de ce paramètre avant et immédiatement après chirurgie a été de 11 ± 2 mm, et de court à moyen terme de 10 ± 2 mm.

En comparaison des valeurs normales, on note 12 cas (35%) présentant des hauteurs discales anormales, dont 11 plus basses que la référence, et constantes durant le suivi.

Proportion disque/vertèbre sousjacent

Une différence statistiquement significative a mis en évidence une diminution des proportions disque/vertèbre sousjacent (mesurées en antérieur) entre préopératoire et court terme pour le niveau L4L5 et entre court et moyen terme pour le niveau L5S1.

Les valeurs moyennes de ces proportions sont présentées dans le Tableau 32 pour différents moments du suivi et la comparaison aux valeurs de référence a permis de mettre en évidence des valeurs anormales pour 9 patients en préopératoire, pour 7 à court terme et pour 10 à moyen terme. Parmi ces cas, à chaque examen on note 2 présentant des valeurs élevés en antérieur et des complications mécaniques, sans toutefois une détection sensible et précoce du risque de complications.

Tableau 32 : Valeurs des proportions de hauteur disque/vertèbre durant le suivi.

Niveau	Préopératoire		Court terme (0-1 an)		Moyen terme (1-2 ans)	
	Antérieur	Postérieur	Antérieur	Postérieur	Antérieur	Postérieur
L5S1	34 ± 14	25 ± 9	35 ± 13	24 ± 7	31 ± 13	22 ± 10
L4L5	46 ± 9	22 ± 5	40 ± 9	24 ± 7	40 ± 9	22 ± 7

Listhesis

L'évolution du glissement vertébral, illustrée par les valeurs du listhesis (Tableau 33), a été statistiquement significative entre préopératoire et court terme, et non significative ultérieurement. Ceci se traduit par une réduction du listhesis, représentant en moyenne 79% (24 – 100%) de la valeur initiale du glissement, et stable dans le temps sauf pour 6 cas. Dans ces patients, une perte de correction, significative pour 4 cas où elle survient après fracture du matériel et pseudarthrose, atteint en moyenne 12%, soit 20-35% de la réduction initiale.

Tableau 33 : Evolution du listhesis sagittal

Listhesis	Grade 1(cas)	Grade 2(cas)	L5S1 listhesis (%)	L4L5 listhesis (%)
Préop.	24	10	19 ± 12	21 ± 11
Court terme	13	3	11 ± 8	12 ± 9
Moyen terme	11	4	12 ± 10	13 ± 10
Long terme (56%) des cas	11	4	12 ± 10	14 ± 11

2. Un autre paramètre permettant d'évaluer le changement de géométrie vertébrale au niveau du segment traité est la *lordose locale (du segment fusionné)*

Une synthèse de l'évolution de ce paramètre durant le suivi est présentée (par comparaison aux valeurs de référence) dans le Tableau 34. Des valeurs anormales de la lordose du segment fusionné ont été observées en postopératoire pour tous les patients présentant des complications mécaniques (sauf 1 cas), avec deux formes d'évolution : baisse progressive de valeurs dans le cas des fractures de vis survenues durant la consolidation de la greffe ou fluctuations des valeurs

durant le suivi. La fluctuation des valeurs de la lordose du segment fusionné a été associée à des moindres résultats cliniques ($r=0,4$) et des complications ($r=0,5$).

Tableau 34 : Evolution de la lordose du segment fusionné en comparaison des valeurs de référence

Valeurs	Préopératoire	Postopératoire	Observations
12 cas	Normales	Normales	
8 cas	Normales	Anormales	Associées à des complications (5 cas) ou douleurs résiduelles
7 cas	Anormales	Normales	Les valeurs anormales sont faibles par rapport aux références.
7 cas	Anormales	Anormales	

3. Paramètres rachidiens et pelviens

L'analyse globale (test de Wilcoxon signé) ne révèle pas de différence statistiquement significative entre les valeurs calculées avant et après traitement pour les principaux paramètres rachidiens et pelviens, sauf entre court et moyen terme pour la gîte de L1, la neo-pente sacrée, la neo-version pelvienne et le neo-alpha, montrant une évolution de ces paramètres.

L'évolution des principaux paramètres est présentée sur le Tableau 35, à l'exception des paramètres neo-pelviens, pour lesquels nous souhaitons présenter une vue plus détaillée ultérieurement.

Tableau 35 : Valeurs des principaux paramètres rachidiens et pelviens durant le suivi.

Paramètres	Lordose L1S1	Lordose L1L5	Pente sacrée	Version pelvienne	Incidence pelvienne	TLPL	Gîte L1	Alpha
Coefficient de reproductibilité (intervalle de confiance 95%)	4	4	4	1,2	3,4	2,4	1,4°	3,4°
Référence	57 ± 11°	47±8°	39 ± 8	13 ± 7	51 ± 11	92 ± 9°	7±5°	-66±11°
Préopératoire	63±12	54±12	48±9	17±7	66±10	87±8	5±3	-73±8
< 1 an	63±13	54±12	45±9	19±7	64±11	88±9	7±4	-72±10
1-2 ans	64±11	57±11	48±9	21±6	69±9	85±9	6±4	-69±10
2-4 ans (56%des cas)	66±10	59±12	48±7	18±7	67±12	89±7	6±4	-72±9

En comparaison des valeurs de référence, la lordose, la pente sacrée et l'incidence présentaient des valeurs élevées en préopératoire dans 23(67,6%) cas, à court terme (0-1 an) dans 20 (59%) cas et à moyen terme (1-2 ans) dans 19 (56%) cas. La version pelvienne était dans les plages de normalité, sauf pour 3 cas.

La TLPL a présenté des valeurs anormales (élevées) en 3 cas (9%) à chaque examen, associées à des complications mécaniques; ces valeurs redeviennent normales après traitement ou reprise. La gîte de L1 a été dans les limites normales sauf pour 3 cas, présentant aussi des hautes valeurs de l'incidence pelvienne. Le paramètre alpha a été élevé en 15 cas (44%), associés à des complications ou à des douleurs résiduelles, donc des moins bons résultats.

Le test de Pearson met en évidence des corrélations (à tous les examens) entre lordose et paramètres pelviens, en accord avec les données de la littérature. Ainsi, la lordose (L1S1 et L1L5) est corrélée à la pente sacrée($r=0,8$), à l'incidence($r=0,7$), TLPL($r=0,7$) et alpha($r=-0,6$). La pente sacrée est corrélée à l'incidence pelvienne($r=0,7$) et à l'alpha($r=-0,5$). Des corrélations spécifiques ont été mises en évidence entre la version pelvienne et l'incidence pelvienne ($r=0,7$), la TLPL (-0,6) et la gîte de L1($r= 0,5$).

De plus, l'analyse croisée des données cliniques et radiologiques montre une association entre un

moindre résultat clinique et des complications ($r=0,7$) ou des fortes valeurs des paramètres pente sacrée et incidence ($r=0,5$) en préopératoire & à court terme. Des fortes valeurs du paramètre alpha semblent également associées aux moins bons résultats ($r=0,6$), à tous les examens.

Paramètres neo-pelviens et leur évolution

Nous souhaitons dédier une place à part dans la présentation de ces résultats aux « neo »-paramètres pelviens. Le calcul classique des paramètres pelviens ne montre pas de différence significative entre le pré et le postopératoire, malgré les variations de géométrie dues à la réduction du listhesis et à la fixation rigide ; plus encore, il met en évidence des valeurs anormales (élevées) à tous les examens dans une vingtaine de cas, sans évolution apparente ou association significative avec un résultat final ou des complications.

Le calcul des paramètres neo-pelviens et de leurs valeurs de référence (à partir des configurations asymptomatiques), permet d'observer (Tableau 36) une différence significative entre le postopératoire court et moyen terme.

Tableau 36 : Paramètres neo-pelviens et leur évolution.

Paramètres	NEO PS		NEO VP		NEO IP		NEO ALPHA	
	L4S1	L5S1	L4S1	L5S1	L4S1	L5S1	L4S1	L5S1
Référence	3, 2 ±8	19,5 ±7	2,2 ±5	4,1 ± 6	4,9 ±8	23,6 ±10	-31,2 ±7	-45,7±9
<1 an	5,1±8	24±10	5,8±3	7,5±7	9,9±8	31±12	-39,2±8	-54,8±9
1 an	7,6±10	25,9±9	3,6±4	5,8±6	14,2±8	30,7±9	-42,8±7	-56,6±8
2 ans	11,2±7	26,4±8	2,3±3	3±5	13,1±7	32,4±10	-40,6±10	-57,3±7

De plus, bien que l'échantillon et le recul soient réduits, nous avons observé généralement des bons résultats chez les patients ayant des valeurs normales des paramètres neo-pelviens et des moins bons résultats cliniques ($r=0,5$) ou des complications ($r=0,6$) chez ceux présentant des valeurs anormales de ces paramètres en postopératoire (ces valeurs apparaissent pour la grande majorité à court terme : 0-1 an).

Ainsi, des valeurs élevées de la neo version pelvienne sont associées chronologiquement aux complications générales (3/7 pour calcul L4S1 et 4/8 pour L5S1) et mécaniques/liées à l'implant (1/3 pour L4S1 et 6/6 pour L5S1). Plus encore, nous avons retrouvé cette association entre complications et valeurs élevées de la neo-incidence pelvienne, qui correspondent à des complications générales dans 5/7(L4S1) et 6/8(L5S1) cas ; précision : cette correspondance apparaît, pour les complications liées à l'implant, dans 3/3(L4S1) et 6/6(L5S1) cas. Le moment d'apparition des valeurs anormales est le même ou antérieur (dans 3/9 complications mécaniques) à celui des complications, avec un seul cas de faux positif (à priori), un patient présentant à 2 ans une forte valeur de la neo-incidence pelvienne a un très bon résultat et aucune complication enregistrée à ce recul.

En dehors de nos observations, l'analyse statistique associée des valeurs à court terme élevées pour la neo-pente sacrée et faibles pour le neo-alpha à des résultats moins satisfaisants ($r=0,4-0,5$). Un cas intéressant (Figure 82), qui constitue une exception pour nos observations, est celui d'un jeune patient, 18 ans, présentant une fracture précoce des deux vis sacrées et une pseudarthrose, reprises un peu tard en raison d'une situation familiale délicate (décès du père). Ce patient présentait en postopératoire des valeurs normales des neo-paramètres pelviens et considère son résultat en tant que bon, même avant la reprise.

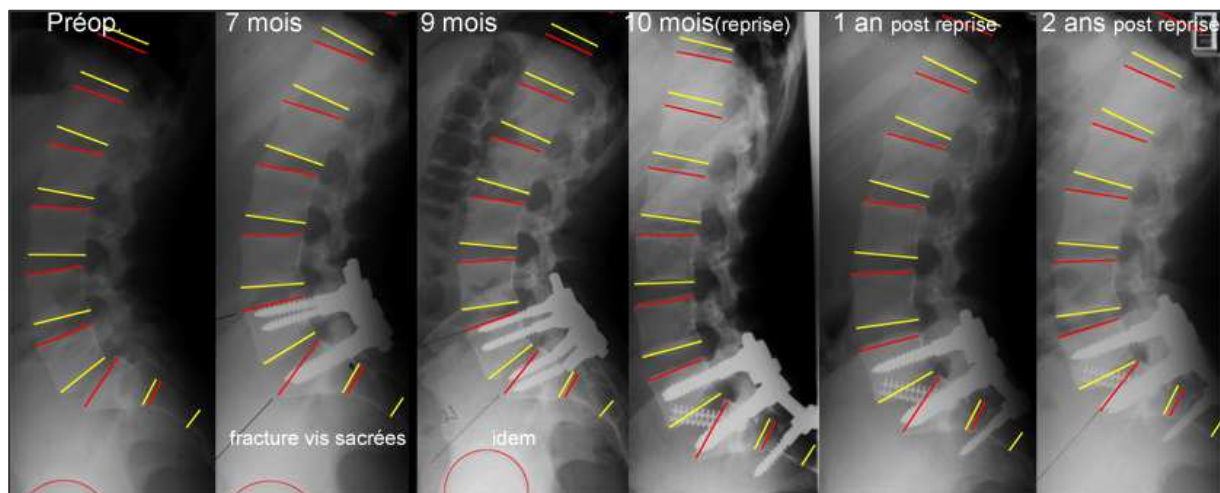


Figure 82 : Exemple de bon résultat clinique malgré complication précoce : ce patient présente des valeurs normales des paramètres neo-pelviens.

DISCUSSION

Cette étude retrospective est peu représentative pour l'arthrodèse postéro-latérale avec réduction du glissement et instrumentation rigide, en raison du nombre limité de patients et du recul réduit, ainsi que de l'impossibilité d'évaluer l'équilibre global du rachis ou la cinématique lombaire avant et après traitement (manque de clichés grand-axe et dynamiques). Toutefois, elle permet de se rendre compte des résultats et complications possibles avec cette technique, rarement présentée dans la littérature. En effet, peu d'études mentionnent une réduction du glissement dans le cas du spondylolisthesis à déplacement < 50% ; nous allons donc comparer les résultats de cette étude aux données existantes sur les arthrodèses postéro-latérales instrumentées in situ.

Dans l'évaluation des résultats cliniques, un indicateur important est le taux des différentes complications (générales, infectieuses, neurologiques et/ou mécaniques) associées à un traitement donné ^{Guigui'02a; Jacobs'05; Schlenzka'06}. Nous représentons une image synthétique des complications observées dans cette étude, en comparaison de la littérature sur le Tableau 37.

Tableau 37 : Principales complications observées en comparaison avec la littérature.

Complications		Littérature ^{Turner'92b; Katz'97; Hu'97; Malter'98; Guigui'97; Guigui'04; Jacobs'05}	Etude
Per-opératoires	Brèche durale	0-10%	2,9%
Post-opératoires	Infections	1,1-37%	11,7%
	Fracture/mobilisation de matériel	0-24,7%	26%
	Pseudarthrose	0-19%	11,7%
	Reprise	9,5-18%	23,5%

Cette comparaison est limitée par les différences de taille des populations analysés, car les taux de la littérature sont calculés pour des échantillons supérieurs en nombre : par exemple, une étude de Nohara et al ^{Nohara'04} montre 12,1% de complications mécaniques pour les fusions instrumentées mais sur 16157 patients. Dans notre population, les fractures de vis, survenant surtout en S1, en accord avec une étude de Weatherley et al. ^{Weatherley'86}, représentent 20,5% de 34 patients ce qui paraît supérieur au taux précédent, ainsi qu'à la moyenne calculée pour la France de 3,6% sur

871 patients et 13 ans de recul ^{Guigui'02a}.

Les résultats cliniques ne sont pas exclusivement décrits par des complications, l'amélioration des symptômes ayant un poids important dans l'évaluation. Ce paramètre donne le taux de succès d'un traitement dans la littérature, chiffré, dans notre cas, entre 60 et 98% ^{Lerat'87;Deguchi'99;Ekman'05;Dehoux'04;Jacobs'05} pour les arthrodèses postéro latérales in situ, et correspondant dans la littérature à un taux de fusion entre 81-100 ^{Lerat'87;Jacobs'05}. Dans notre étude, le taux de résultats satisfaisants est de 82,3% et celui de la fusion de 88,3% donc les résultats cliniques obtenues sont globalement superposables.

L'analyse radiologique offre une image objective des changements de la géométrie vertébrale du segment traité, à travers des évolutions significatives des paramètres vertébraux et discaux, entre pré et postopératoire. La réduction du glissement atteint en moyenne 79% de la valeur initiale en postopératoire immédiat ; en accord avec les observations de Jacobs et al ^{Jacobs'05}, cette réduction est perdue en partie durant le suivi, perte de correction inférieure toutefois à la réduction initiale. Malgré des réarrangements locaux mis en évidence par des variations des hauteurs discales et des proportions disque/vertèbre sous-jacente, l'évolution postopératoire des hauteurs discales, listhesis et lordoses locales est stationnaire, suggérant une stabilisation durable.

Cet aspect est investigué également à travers le calcul de la lordose du segment fusionné; un aspect spécifique de cette analyse relie des valeurs postopératoires anormalement faibles de ce paramètre (8 cas) à la présence de complications ou à des douleurs résiduelles. Plus encore, l'évolution des valeurs anormales de ce paramètre présente des particularités : une diminution progressive des valeurs pour les complications mécaniques (fractures de vis) et des fluctuations des valeurs dans le temps pour les autres cas, associés à des moindres résultats cliniques et/ou à des complications générales. Ces fluctuations semblent évoquer un mauvais alignement et des mécanismes régulateurs de l'équilibre qui n'aboutissent pas à une configuration économique, générant des douleurs et des limitations fonctionnelles.

Au niveau global du rachis, on observe une évolution non-significative pré-/ postopératoire pour les principaux paramètres rachidiens et pelviens, en relation avec une persistance postopératoire des valeurs élevées des paramètres pelviens, ainsi que de la lordose, malgré la réduction du listhesis et la fixation du segment affecté. De plus, les valeurs élevées en préopératoire et à court terme des paramètres incidence, pente sacrée et alpha semblent associés à des moins bons résultats ($r=0,5-0,6$).

En parallèle, les valeurs des paramètres neo-pelviens semblent mettre en évidence une différence significative entre les configurations des patients à court et moyen terme et des associations entre valeurs postopératoires anormales et moindres résultats cliniques ou complications ($r=0,5-0,6$). Ainsi, des valeurs élevées de la neo version pelvienne sont associées à des complications générales (7/15) ou mécaniques (7/9, avec une meilleure détection pour les arthrodèses L5S1 6/6 versus L4S1 1/3). Cette association est observée également entre des complications et des valeurs élevées de la neo-incidence pelvienne (13/15 cas concordant pour les complications générales et 9/9 pour les complications mécaniques). Etant donné que le moment de détection des valeurs anormales pour ces paramètres est antérieur ou coïncide avec l'apparition des complications, une meilleure connaissance de ces paramètres pourrait mettre en évidence un risque d'apparition, surtout pour les complications liées à l'implant (mécaniques).

En conclusion, l'analyse des 34 patients traités pour un spondylolisthésis par arthrodèse postérieure avec instrumentation rigide et réduction du glissement a révélé des résultats cliniques comparables à la littérature, malgré un taux important de complications mécaniques (26%), nécessitant des reprises. L'analyse biomécanique a permis de quantifier la réduction du glissement (en moyenne 79% de la valeur initiale) et sa stabilité dans le temps, à travers le calcul du listhesis et des paramètres vertébraux et discaux, ainsi que de la lordose du segment fusionné. L'évolution de ce dernier paramètre met en évidence 8 cas où la nouvelle configuration, malgré une restauration de la géométrie vertébrale proche du normal, n'aboutit pas à un équilibre économique, générant de réarrangements locaux, douleurs et limitations fonctionnelles. Néanmoins, le calcul de neo-paramètres pelviens, prenant en compte la nouvelle géométrie du segment fusionné pour les arthrodèses lombo-sacrées, associe des valeurs anormales des paramètres neo-version pelvienne et neo-incidence au risque ou à l'apparition de complications mécaniques.

Glissement > 50% : Arthrodèse circonférentielle avec instrumentation rigide (*coll. CHRU Strasbourg : Pr Steib JP, Dr Chiffolot X, Dr Bogorin I*)

Concernant le spondylolisthésis de haut grade, nécessitant une réduction, certains auteurs ont montré des meilleurs résultats pour les arthrodèses intersomatiques (surtout PLIF ^{Lerat'87;Dehoux'04}) ou circonférentielles ^{Tiusanen'96a}, qui peuvent être combinées avec des techniques de réduction totale ^{Louis'88;Bradford'87;Matthias'86;Fabris'99} ou partielle ^{Hanson'02b}.

La réduction du glissement, associée à une modification des courbures du rachis par traction (en charge) a été conçue pour redonner aux patients leur configuration idéale théorique, mais cette méthode ne donne pas toujours les résultats attendus.

La question du traitement chirurgical du spondylolisthésis à grand déplacement étant très discutée dans la littérature (ref), nous avons souhaité évaluer les résultats de la réduction du glissement associée à une arthrodèse lombo-sacrée avec ostéosynthèse rigide.

Matériel & méthodes

La population étudiée se composait de 39 patients : 33 femmes et 6 hommes, âge moyen 27 ± 12 (12 à 54) ans, souffrant des lombalgies importantes, associés à des troubles neurologiques pour 32 d'entre eux. Le diagnostic clinique et en imagerie a relié cette symptomatologie à un spondylolisthésis à grand déplacement (selon la classification de Meyerding, voir exemples en Figure 83) reparti de la façon suivante : grade II pour 10 cas (25,5 %), grade III pour 17 autres

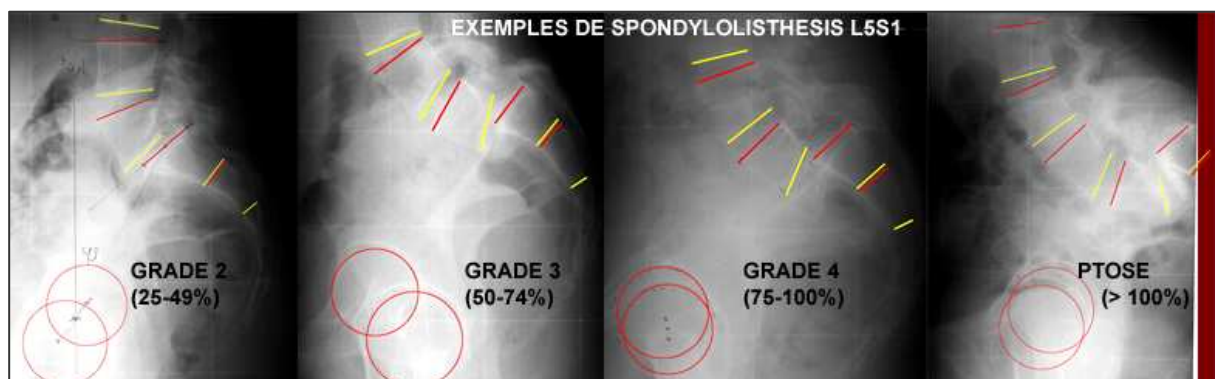


Figure 83 : Différents stades de glissement.

(44 %), grade IV dans 10 patients (25,5%) et spondyloptose (glissement > 100%) dans 2 autres cas (5%). Le siège du spondylolisthesis était au niveau L5S1 dans 21 cas (54%) et L4L5 dans 18 (46%) cas. Cette pathologie était associée à une discopathie susjacent dans 18 cas.

Pour l'ensemble des patients, le traitement a été réalisé en deux temps : d'abord par traction dynamique (7 jours) et ensuite chirurgicalement. La stratégie chirurgicale comprenait : décompression (voie postérieure), correction du glissement et restauration de la lordose lombosacrée et stabilisation par arthrodèse avec instrumentation rigide. La réduction du glissement a été réalisée selon la technique mentionnée dans le chapitre 3.4.2 et représentée en figure 42D (mise en place de vis bipédiculaires et réduction par poignée lordosante afin de remettre L5 sur le sacrum et de redonner une lordose). Dans la réalisation de l'arthrodèse, la greffe postéro-laterale (jugée suffisante en 8 cas) a été complétée par une greffe antérieure, mise en place soit à l'aide d'une vis trans-sacro lombaire de type HMA remplie d'os spongieux (via le corps de S2 par voie postérieure, dans 20 cas) soit par double abord (11 cas, voie antérieure pour le 2^{ème} temps). Les niveaux instrumentés étaient L4S1 dans 26 cas (64%), L5S1 pour 11 patients (31%), et L4L5 ou L3L5 dans 2 autres cas (5%). Le matériel d'ostéosynthèse rigide utilisé pour le traitement a été le CCD pour les 11 cas (28%) opérés avant 1995 et le SCS pour les 28 cas (72%) traités après cette date.

Le recul moyen pour cette étude rétrospective a été de 6 ± 4 (1 ÷ 13) ans pour les données cliniques et de $4,4 \pm 2$ (2 ÷ 8) ans pour les données radiologiques. Afin de minimiser les données manquantes, le suivi a été séparé en 3 périodes, préopératoire, court et moyen terme (0 à 2 ans) et long terme (+ de 2 ans).

Les *données collectées et analysées* ont été :

- *cliniques* : issues des examens médicaux et complétées par le score de Beaujon (préopératoire et au dernier recul) et un indice d'autosatisfaction. L'analyse a pris en compte l'âge, les complications, le gain relatif du score de Beaujon (quantifiant le % d'amélioration de symptômes) et la satisfaction du patient. L'indice de masse corporelle n'a pas été disponible pour cette série.
- *radiologiques* : les clichés « grand axe » préopératoire (37 cas), postopératoire 0-2 ans (pour 36 patients) et dernier recul (2 ans et +, 17 cas = 44% de la population) ont pu être numérisées et analysées (Spineview).

Les paramètres radiologiques analysés ont été la cyphose T4T12, la lordose L1S1, les gîtes de T1 et T9, l'inclinaison globale, les paramètres pelviens (pente sacrée, version pelvienne et incidence) et le TLPL PR T12. A ces paramètres nous avons rajouté la gîte de L1 et trois configurations de lordose locale Figure 84 (caractérisant le segment fusionné), afin de détecter les changements de géométrie post traitement. La gîte de L1 est l'angle entre la verticale et le segment qui unit le milieu de

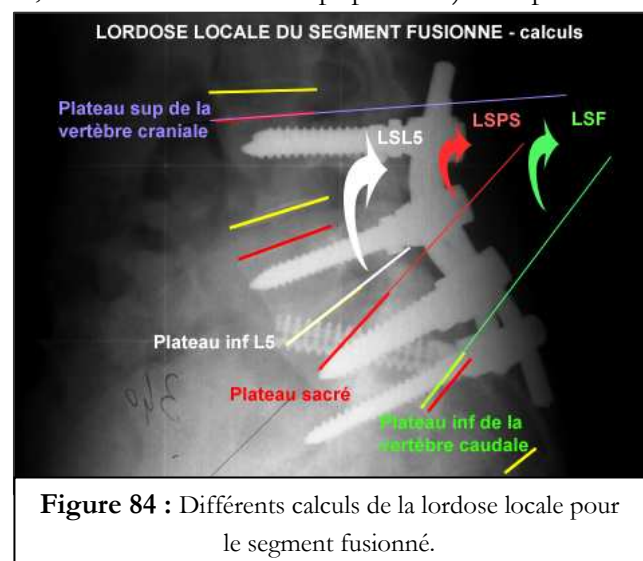


Figure 84 : Différents calculs de la lordose locale pour le segment fusionné.

l'axe bicoxofémoral au centre de L1. Les configurations de lordose locale mesurent les angles entre le plateau supérieur de la vertèbre crâniale du segment fusionné et le plateau inférieur : de la vertèbre caudale de ce segment (LSF), de L5 (LSL5) ou bien le plateau sacré (LSPS).

L'évolution de ce paramètres a été investiguée dans deux dimensions : dans le temps et par rapport aux valeurs de référence, disponibles de nos précédentes études.

L'analyse statistique a été descriptive (moyennes, écarts-types) et comparative : tests de Student (t) et de Fischer (z), pour comparer les paramètres mesurés en pré- et postopératoire. Pour compléter l'investigation, les tests de corrélation de Spearman et Pearson ($p < 0,001$) ont été utilisés afin d'évaluer les relations entre les paramètres biomécaniques étudiés, la satisfaction du patient et les résultats issus du score de Beaujon.

Résultats

Analyse clinique

Le séjour moyen à l'hôpital a été de 15 ± 6 ($7 \div 36$) jours. Après traitement, une régression des troubles neurologiques a été observée dans 13 patients (33%) et 10 autres patients ont conservé leur état préopératoire (5 sans troubles et 5 avec troubles neurologiques). 16 autres cas (41%) ont développé des troubles neurologiques en postopératoires, régressives au cours de la première année (sauf pour 2 cas dont 1 repris).

En dehors de ces troubles neurologiques, deux cas de complications ont été rapportés en postopératoire immédiat (1 infection avec hématome et 1 fuite de LCR), nécessitant une reprise chirurgicale. A plus long terme, les complications observées étaient essentiellement mécaniques : dégradation adjacente (perte en cyphose) dans 6 cas, dont 3 réopérés avec prolongation du montage, pliage de vis HMA pour 4 patients, sans conséquences apparentes sur le résultat clinique, et rupture de tige à 7 ans postop (1 cas repris mais sans pseudarthrose).

Le taux de complications postopératoires liées à l'implant s'élève donc à 28,2% et celui des reprises (global) à 15 % pour notre groupe de 39 patients.

L'amélioration des symptômes a été évaluée à travers le score de Beaujon et son gain relatif, qui met en évidence à long terme des résultats très bons dans 25 cas (64%), bons dans 11 (28 %) et moyens dans 3 (8 %) cas, en accord avec la satisfaction exprimée par 85% des patients (les autres 15% sont moyennement satisfaits).

Analyse radiologique

Géométrie rachidienne :

a. Locale L'effet du traitement a été observé en postopératoire immédiat (sur le plan radiologique) par un changement significatif de géométrie, mis en évidence par une évolution concordante des paramètres vertébraux et rachidiens. Cette évolution est notable surtout pour les niveaux traités (siège du glissement) et en particulier pour les paramètres angle intervertébral L5S1, listhesis et lordoses locales.

Ainsi, l'angle L5S1 était plus bas que la normale pour 72% des patients en préopératoire, pour 28 % à court et moyen terme et pour 23% à long terme. Cet angle était très fortement corrélé en préopératoire à la

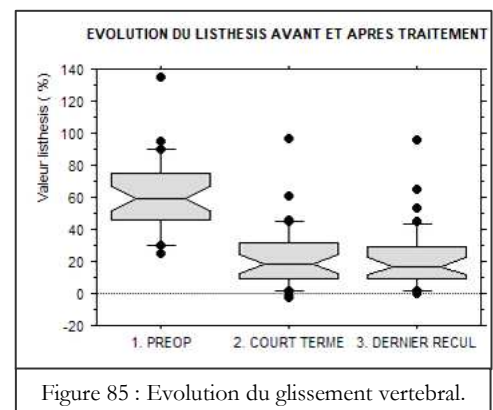


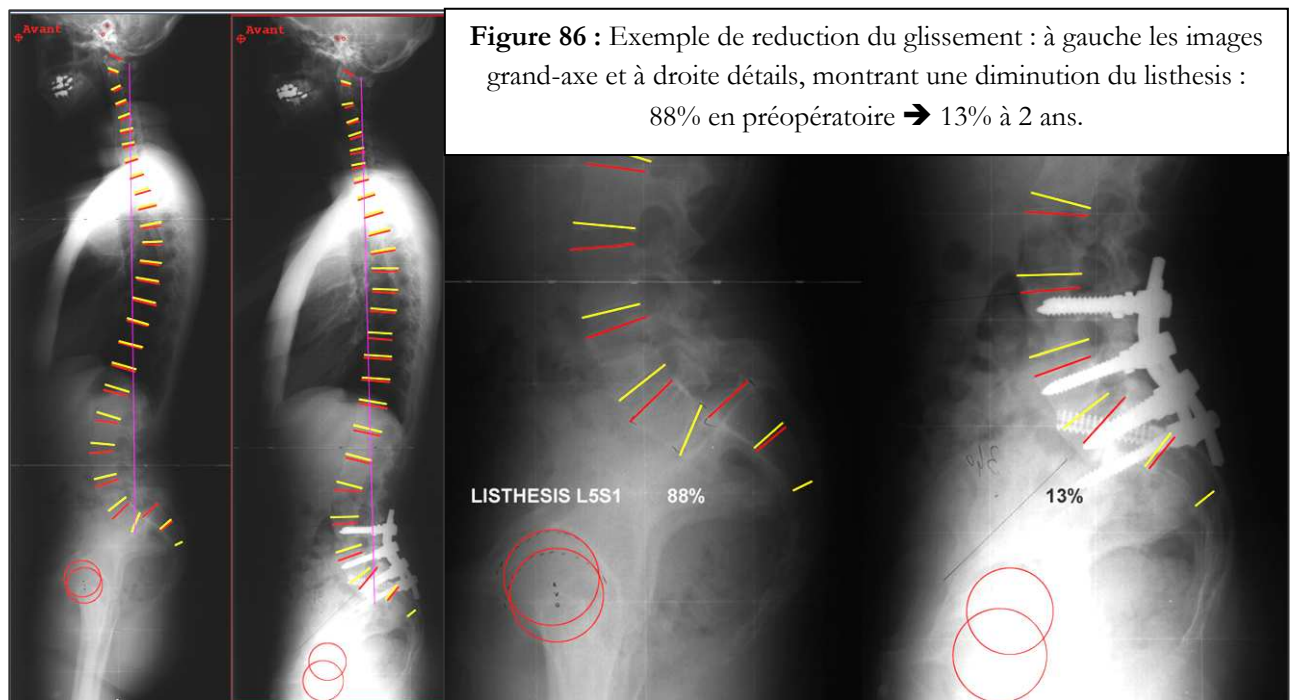
Figure 85 : Evolution du glissement vertébral.

lordose lombaire ($r=0.6$).

L'évaluation du *listhesis* (Figure 85) a permis d'illustrer l'alignement sagittal local avant et après traitement et la correction du glissement, qui est un objectif important du traitement.

Les valeurs calculées montrent une réduction du *listhesis* (exemple sur la Figure 86), qui passe d'une valeur (préopératoire) de $60\pm 25\%$ (30-135%) à $23\pm 20\%$ (2-96%) en postopératoire, différence statistiquement significative.

Cette réduction, atteignant en moyenne $63\pm 21\%$, (entre 24 et 98% du glissement initial), est



stable ultérieurement, à l'exception de 2 cas où une perte de correction de 10 et 20% a été observée ; la perte de correction reste toutefois inférieure à la réduction obtenue après chirurgie dans ces deux cas (qui était de 73 et 52% respectivement).

Ensuite, ce changement de géométrie (du au traitement) est confirmé aussi par l'évolution significative pré/postopératoire des *lordoses locales*, en particulier celles calculées par rapport au plateau inférieur de L5 et au plateau sacré. On note des valeurs faibles pour ces paramètres (comparées aux configurations de sujets asymptomatiques) dans 26% des cas en préopératoire et ultérieurement pour 15% des patients pour la lordose LSL5 et dans 33% des cas en préopératoire et 8% en postopératoire pour la lordose LSPS (pour les deux paramètres, même pourcentage à toutes les dates disponibles en postopératoire). Ceci témoigne de la réduction du glissement L5S1 et du changement de géométrie du segment fusionné dans la rééquilibration de la charnière dans le plan sagittal ainsi que de la stabilité de l'arthrodèse dans le temps.

b. Globale Le changement de géométrie vertébrale a été ressenti au niveau du rachis entier, induisant des modifications des paramètres décrivant les courbures et l'équilibre. Le Tableau 38 présente les valeurs moyennes des différents paramètres rachidiens dans le temps et les détails significatifs de leur analyse suivent.

La *cyphose T4T12* évolue peu entre l'examen préopératoire et ceux du suivi, permettant toutefois une diminution des valeurs anormales (faibles) qui passent de 21% des cas en préopératoire à

10% à court & moyen terme et 5% au dernier recul. Elle était corrélée en préopératoire à l'angle L5S1 ($r=0,6$), aux gîtes de L1 et de T9 et avec le TLPL ($r=0,8$) et en post opératoire avec le TLPL et la gîte de T9 ($r=0,5$), l'ensemble de ces observations suggérant une re-harmonisation des courbures par rééquilibrage sagittal.

Tableau 38 : Evolution des principaux paramètres rachidiens.

Paramètre	Référence	Préopératoire	Court& moyen terme	Long terme (! 44% des cas)
Cyphose T4T12	$-39 \pm 8^\circ$	$-30,4 \pm 13^\circ$	$-32,0 \pm 11^\circ$	$-31,8 \pm 10^\circ$
Lordose L1S1	$57 \pm 11^\circ$	$62,2 \pm 14$	$65,3 \pm 11^\circ$	$66,5 \pm 12^\circ$
Lordose L1L5	$47 \pm 8^\circ$	$74,4 \pm 15^\circ$	$61,9 \pm 13^\circ$	$66,1 \pm 12^\circ$
TLPL	$92 \pm 9^\circ$	$76,3 \pm 13^\circ$	$83,4 \pm 10^\circ$	$79,4 \pm 10^\circ$
Gîte de T9	$-11 \pm 3^\circ$	$-6,7 \pm 4^\circ$	$-7,6 \pm 3^\circ$	$-4,9 \pm 3^\circ$
Gîte de L1	$6,9 \pm 5^\circ$	$2,1 \pm 5^\circ$	$4,4 \pm 5^\circ$	$1,4 \pm 4^\circ$
Inclinaison globale	$0 \pm 3^\circ$	$2,6 \pm 4^\circ$	$2,2 \pm 3^\circ$	$4,3 \pm 3^\circ$

Une autre évolution peu marquée est celle de la *lordose L1S1*, corrélée en préopératoire à l'angle L5S1, à l'incidence pelvienne ($r=0,5$), pente sacrée (PS), TLPL ($r=0,8$) et lordose locale LSL5 ($r=0,6$). En postopératoire les corrélations avec l'angle L5S1 et la TLPL deviennent très faibles mais on note une nouvelle, avec la *lordose lombaire L1L5* ($r=0,7$). Ce dernier paramètre, corrélé en préop avec l'incidence pelvienne IP ($r=0,5$) et l'angle L5S1 ($r=0,6$) et en postopératoire avec l'angle L5S1, la PS, IP ($r=0,6$) et la lordose du segment fusionné LSF ($r=0,7$), a montré une évolution significative.

L'évolution pré/postopératoire du Total lumbo pelvic lordosis PR T12 (TLPL) est statistiquement significative ; en chiffres, on passe de 38% des valeurs inférieures au normal en préopératoire, à 15% à court & moyen terme et 21% au dernier recul. Ce paramètre, qui relie rachis lombaire et bassin, est moins affecté par l'erreur de mesure que la lordose L1S1, hautement dépendante de la visibilité du plateau sacré. La TLPL a été corrélée en préopératoire à l'angle L5S1 ($r=0,6$), la cyphose T4T12 ($r=0,7$), version pelvienne VP et à la lordose L1S1 ($r=0,8$) et en post opératoire à la cyphose T4T12, IP ($r=0,6$) et à la VP ($r=0,8$).

Les gîtes de T9 et L1 : Les tests de Student et Fischer montrent une différence statistiquement significative entre pré/postopératoire uniquement pour la gîte de L1. Les valeurs de la gîte de T9 étaient élevées en préopératoire dans 21% des cas et en postopératoire pour 13% de la population. La gîte de L1 était faible pour 18% en préopératoire, et en postopératoire dans 5% des cas. Les gîtes de T9 et de L1 sont corrélées en préopératoire ($r=0,9$) et en postopératoire ($r=0,6$).

L'inclinaison globale : présente une évolution statistiquement non significative ; en préopératoire on observe 13% de valeurs élevées, à court&moyen terme 8%, et au dernier recul 10%. Ce paramètre est corrélé en préopératoire avec le TLPL ($r=0,4$) et en postopératoire avec la PS ($r=0,4$).

Géométrie pelvienne :

Le calcul classique des paramètres pelviens ne montre pas des différences statistiquement significatives (Figure 87) entre le pré- et le postopératoire, à l'exception des variations de la version et de l'incidence pelvienne, survenant toutefois dans des conditions d'une visibilité très variable (parfois mauvaise) des têtes fémorales.

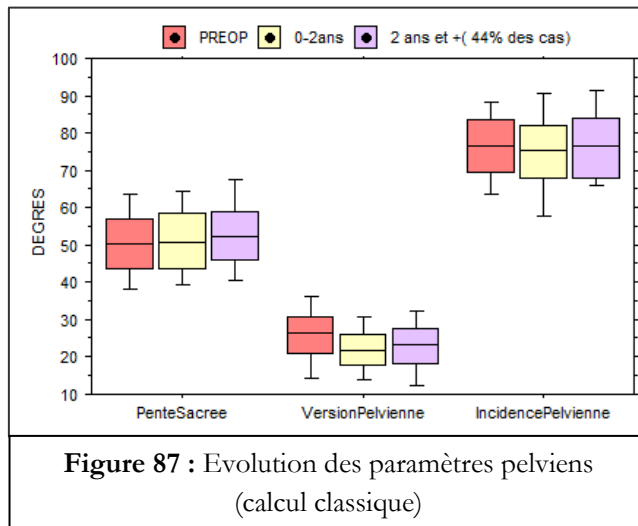


Figure 87 : Evolution des paramètres pelviens (calcul classique)

Pour l'ensemble des paramètres pelviens, nous avons observé des valeurs anormalement élevées : $51 \pm 11^\circ$ ($23-82^\circ$) en moyenne pour la pente sacrée, 24 ± 9 ($-2 -47^\circ$) pour la version pelvienne et $78 \pm 12^\circ$ ($65-101$) pour l'incidence pelvienne, entraînant un sacrum plutôt horizontal, en préopératoire (72% des cas) mais aussi en postopératoire (56% des cas.)

On observe constamment des bonnes corrélations ($r=0,7-0,8$) entre les paramètres pente sacrée, incidence et lordose. En postopératoire la pente sacrée et l'incidence sont également corrélées aux lordoses locales du segment fusionné ($r=0,6$). La version pelvienne est corrélée à l'angle L5S1 en préopératoire ($r=0,6$), à la gîte de L1 ($r=0,5$) et à l'incidence pelvienne en postopératoire ($r=0,8$) et à la TLPL à tous les examens ($r=0,8$).

Toutefois, comme nous avons montré précédemment, ce calcul ne tient pas compte de la fixation rigide post arthrodèse, qui modifie la transmission des charges et l'équilibre local au niveau de la nouvelle charnière rachis lombaire- bassin. Le calcul des paramètres *neo-pelviens* met en évidence (par comparaison aux valeurs de référence, Tableau 39) des valeurs anormales (élevées) pour les « neo » : pente sacrée et incidence dans 25 cas (64%), et pour « neo-alpha » dans 34 cas (87%). Pour la « neo » version pelvienne, des valeurs anormalement élevées (et associées à des complications mécaniques ou des résultats moyens) ont été observées dans 12 cas (31%) et des valeurs faibles dans 5 autres cas (présentant aussi un déséquilibre : inclinaison globale $7-10^\circ$).

Tableau 39 : Valeurs (postopératoires et de référence) des paramètres neo-pelviens

Niveau	Valeurs (°)	«Neo-pente sacrée»	«Neo-version pelvienne»	«Neo-incidence pelvienne»	«Neo-alpha»
L4S1	Référence	$3,2 \pm 8^\circ$	$2,2 \pm 5^\circ$	$4,9 \pm 8^\circ$	$-31,2 \pm 7^\circ$
	Postopératoire	$18,5 \pm 11^\circ$	$2,5 \pm 5^\circ$	$21 \pm 11^\circ$	$-50 \pm 11^\circ$
L5S1	Référence	$19,5 \pm 7^\circ$	$4,1 \pm 6^\circ$	$23,6 \pm 10^\circ$	$-45,9 \pm 9^\circ$
	Postopératoire	$25,9 \pm 12^\circ$	$8,4 \pm 6^\circ$	$34,1 \pm 13^\circ$	$-58,1 \pm 9^\circ$

Nous n'avons pas observé des relations systématiques entre les valeurs anormales des neo-

De plus, la diminution des valeurs enregistrée pour certains patients est masquée par une augmentation chez d'autres cas, poursuivie à long terme dans 4 cas présentant des complications (exemple sur la Figure 88).

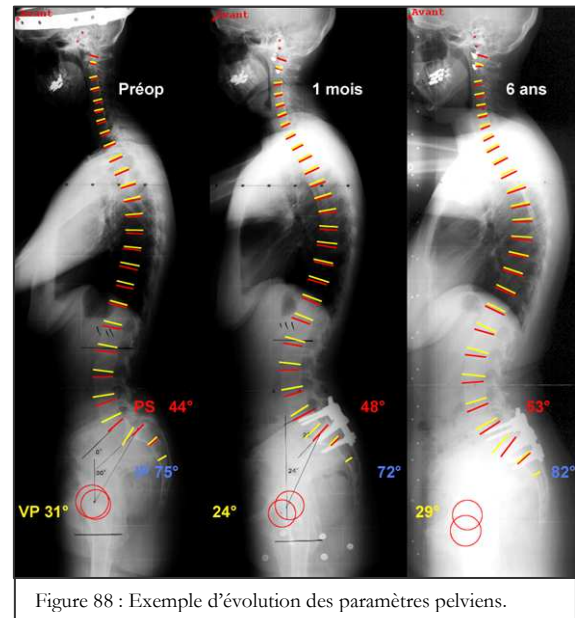


Figure 88 : Exemple d'évolution des paramètres pelviens.

paramètres pelviens et des mauvais résultats cliniques / complications, probablement en raison aussi des légers biais de calcul dus à la mauvaise visibilité des repères anatomiques. Le paramètre qui fait exception est la neo version pelvienne dont les valeurs élevées étaient associées à des complications ou des moins bons résultats.

Discussion

Résultats et complications

Le taux de complications associé au traitement chirurgical du spondylolisthésis à grand déplacement est important dans la littérature^{Bradford'87;Matthiass'86;Hanson'02b}. La réduction du glissement, associée à une arthrodèse (instrumentée ou non) est associée à des complications neurologiques dans 15 - 30% des cas [^{Bradford'90;Maurice'89;Hu'96;Molinari'99b}], probablement à cause de l'étirement de la racine de L5 lors de la réduction de la déformation [^{Petraco'96}]. De plus, il existe un important risque de séquelles neurologiques après correction chirurgicale de spondylolisthésis à grand déplacement chez l'enfant et chez l'adolescent [^{Bradford'87;Hu'96}], et notamment celui de l'apparition du syndrome de la queue de cheval [^{Shufflebarger'05}].

Dans cette série, des troubles neurologiques variables ont été observés dans 40 % des cas, correspondant à une réduction importante du glissement (en moyenne de 80% du glissement initial) et régressant dans la première année après traitement.

Une autre complication communément rapportée est la pseudarthrose, survenant principalement dans les arthrodèses non instrumentées par voie postérieure: 8-45% des cas [^{Newton'97;Molinari'99b;Grzegorzewski'00}]. Le taux de pseudarthrose semble lié à l'importance de la cyphose lombo-sacrée et à la dysplasie de l'arc postérieur de L5, réduisant la surface disponible pour réaliser la greffe postéro-latérale [^{Molinari'99b}]. Par conséquent, afin de traiter l'instabilité générée par le grand déplacement ± réduction et par la décompression (laminectomie de L5), une fusion solide à long terme est nécessaire, l'arthrodèse circonférentielle étant recommandée [^{Bridwell'05}] en particulier pour les vertèbres dysplasiques caractéristiques à cette pathologie. Ce choix, donnant un taux de fusion de 80 -93%^{Lerat'87;Dehoux'04} a été suivi avec succès dans notre série, pour 31 cas (79%) présentant un déplacement important.

Cependant, l'arthrodèse rigide instrumentée est à l'origine d'un certain nombre de complications (28,2%) : dégradation adjacente (perte en cyphose au-dessus du montage) dans 6 cas dont 3 ont nécessité une reprise pour prolongation d'arthrodèse, pliage de vis HMA (4 cas) nécessitant une surveillance clinique biannuelle et une fracture de tige tardive et sans pseudarthrose. Une reprise a été nécessaire dans 15% des cas, un taux comparable à celui de 10% annoncé par Sailhan et al^{Sailhan'06} à un recul de 2 ans. Les mêmes auteurs obtiennent sur une population comparable (41 cas, SPL haut grade, arthrodèse circonférentielle ou postérieure) 90,9% des résultats satisfaisants à 2 ans de recul, taux comparable avec celui observé dans notre étude : 92% (issu du gain relatif du score de Beaujon). Ce taux est en accord avec d'autres études, à plus large échelle, qui estiment un taux de succès de 80- 92,1%^{Lerat'87;Matthiass'86}, cependant souvent évalué comme taux de réduction du glissement.

Analyse radiologique

L'amélioration des symptômes illustrée par les résultats cliniques est certainement due à la décompression avec réduction du glissement et stabilisation par arthrodèse, qui modifie la géométrie locale du segment vertébral traité et a un certain retentissement sur l'ensemble du

rachis, comme mis en évidence par les résultats de l'analyse radiologique.

La correction du glissement (listhesis) est importante, bien que les cas de spondylolisthesis à grand déplacement sont rares : 1 % des cas de SPL^[Seitsalo'91] et plus fréquentes chez les filles que chez les garçons. La faillite des éléments de stabilité postérieurs et la dysplasie du sacrum^{Dubouset'97;Marty'02} semblent être à l'origine de ce glissement important, en moyenne de $60\pm 25\%$ (30-135%) dans notre série. La réduction postopératoire du listhesis à $23\pm 20\%$ (2-96%), correspondant à 63% (24-98%) du glissement initial est durable dans le temps pour 95% des cas étudiés, taux comparable à celui annoncé par Sailhan et al^{Sailhan'06} pour une réduction du glissement de 64% à 38%. La stabilité postopératoire des lordoses locales et le faible taux de valeurs anormales confirment la stabilité du repositionnement de la charnière lombo-sacrée et de l'arthrodèse dans le temps.

Géométrie rachidienne et pelvienne

La réduction du glissement réalise également un changement de géométrie lombaire et pelvienne ayant pour objectif une normalisation des paramètres rachidiens qui semble être la garantie du succès à long terme^[Shufflebarger'05;Bridwell'05].

Afin de détecter le retentissement de la réduction du glissement et du changement de géométrie lombo-sacrée, plusieurs paramètres ont été analysés : gîte de T9, gîte de L1 et inclinaison globale. L'inclinaison globale étant un paramètre qui évalue l'équilibre du rachis en ensemble et la gîte de T9 un paramètre assez constant dans le temps (sauf corrections des cyphoses rigides^[Chiffolot'05]), leur évolution pré-postopératoire n'a pas été statistiquement significative, à l'opposé de la gîte de L1, qui varie lors du repositionnement de la charnière lombo-sacrée, tout en restant corrélée à la gîte de T9.

La littérature met en évidence des valeurs élevées des paramètres pelviens et de la lordose dans le spondylolisthesis par lyse isthmique^{Marty'02}, que nous retrouvons également dans cette série. Les valeurs moyennes de la pente sacrée ($51\pm 11(23-82)^\circ$), version pelvienne ($24\pm 9(-2-47)^\circ$) et incidence pelvienne ($78\pm 12(65-101)^\circ$) illustrent un déséquilibre pelvien avec un positionnement vertical du sacrum, qui majore les contraintes en cyphose de la charnière lombo-sacrée. Egalement, leur évolution postopératoire est peu significative en ensemble, malgré une diminution des valeurs anormales (de 72% à 56% des cas), comparable à l'étude de Sailhan et al^{Sailhan'06}, où les moyennes en pré et postopératoire respectivement étaient de $52,5/52,1^\circ$ pour la pente sacrée, $26,1/23,2^\circ$ pour la version pelvienne et de $78,5/75,4^\circ$ pour l'incidence.

De plus, à part les corrélations déjà décrites dans la littérature entre lordose et paramètres pelviens^{Legaye'98;Marty'02;Legaye'05}, nous avons observé une corrélation de la version pelvienne VP avec la déformation en cyphose du segment L5S1 ($r=0,6$) en préopératoire et avec l'incidence pelvienne ($r=0,8$) et la gîte de L1 ($r=0,5$) en postop. Ce paramètre (VP) reste fortement corrélé à la TLPL ($r=0,8$) à tous les examens, suggérant son importance dans la régulation de l'équilibre au niveau du segment rachis-lombaire-bassin (notamment pour compenser le glissement L5S1).

Un exemple illustratif est celui des patients qui s'équilibrent en préopératoire au prix d'une forte augmentation de la version pelvienne (**Figure 89 A**), dans le cas contraire, le glissement aboutissant à un déséquilibre global (**Figure 89 B**).

Le calcul des neo-paramètres pelviens, qui semble plus approprié dans les arthrodèses lombo-sacrées, met en évidence l'association des anomalies de la neo-version pelvienne à des complications mécaniques ou des résultats cliniques moyens pour les valeurs élevées et au déséquilibre pour les valeurs faibles. Ces valeurs anormales sont décrites par rapport à des valeurs de référence obtenues à partir des configurations de sujets asymptomatiques ; le calcul de ces valeurs de référence à partir des configurations de patients traités avec succès (et selon la même méthode) pour spondylolisthésis à grand déplacement serait plus proche des configurations réelles des patients et pourrait détecter avec plus de précision le risque d'un mauvais résultat ; malheureusement, un tel échantillon serait très difficile à collecter en raison de la faible incidence de cette pathologie et, surtout, de la complexité de ce traitement, pratiqué en peu de centres en France.

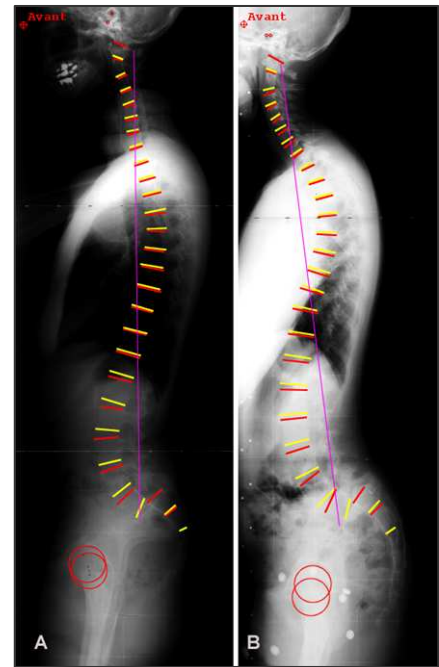


Figure 89 : Equilibre postopératoire

En *conclusion*, dans le cadre du spondylolisthésis par lyse isthmique de grand déplacement, le traitement par arthrodèse circonférentielle et réduction du glissement implique un risque non négligeable de troubles neurologiques (et autres complications) mais peut générer des bons résultats cliniques à moyen et long terme, par la restauration d'une configuration proche du normal. L'analyse biomécanique permet d'évaluer avec précision la nouvelle configuration et la réduction du glissement, à travers le calcul du listhésis, des paramètres vertébraux et discaux et des lordoses locales, qui montrent pour la population étudiée une stabilité de l'arthrodèse et de la nouvelle géométrie lombo-sacrée dans le temps. Le retentissement du glissement et de sa correction au niveau du rachis global est mis en évidence par les évolutions des paramètres décrivant l'équilibre : gîte de T9, inclinaison globale, gîte de L1 et paramètres pelviens, dont nous retenons en particulier la version pelvienne. En effet, les valeurs de ce paramètre augmentent en préopératoire de manière proportionnelle au glissement, afin d'obtenir l'équilibre et sont corrélées à l'incidence pelvienne, gîte de L1 et TLPL en postopératoire. Cependant, le tableau postopératoire de la régulation de l'équilibre au niveau de la charnière lombo-sacrée est mieux décrit par les paramètres neo-pelviens, mettant en évidence à nouveau la neo-version pelvienne dont les valeurs élevées sont associées à des complications mécaniques et résultats cliniques moyens tandis que les valeurs faibles sont associées au déséquilibre. Nos analyses montrent également l'importance du calcul des paramètres neo-pelviens pour les arthrodèses lombo-sacrées car les valeurs anormales de ces paramètres, dès le court terme, peuvent signaler un risque de complications et moindres résultats pour le patient.

Les différentes études présentées montrent l'intérêt de l'analyse biomécanique à partir de radiographies du rachis dans l'évaluation de la fusion et la détection de complications (subsidence, perte de correction, dégradation des étages adjacents à la fusion), mettant aussi en évidence une relation entre l'équilibre et le résultat clinique à long terme.

8 ANALYSE DE LA POPULATION GLOBALE

8.1 Présentation générale

Nos précédentes études ont présenté une évaluation clinique et biomécanique focalisée sur des pathologies et traitements donnés, mettant en évidence un certain nombre de points d'intérêt. Toutefois, bien que ces populations étaient statistiquement significatives, la taille réduite des groupes étudiés et les cadres diagnostiques spécifiques ne nous ont pas permis de vérifier certaines relations pressenties entre les différentes classes de paramètres et le résultat. Par conséquent, nous avons effectué une analyse statistique sur l'ensemble de la population, afin d'évaluer les relations (générales) entre les paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies du rachis et le résultat global d'un traitement chirurgical sur le rachis lombaire.

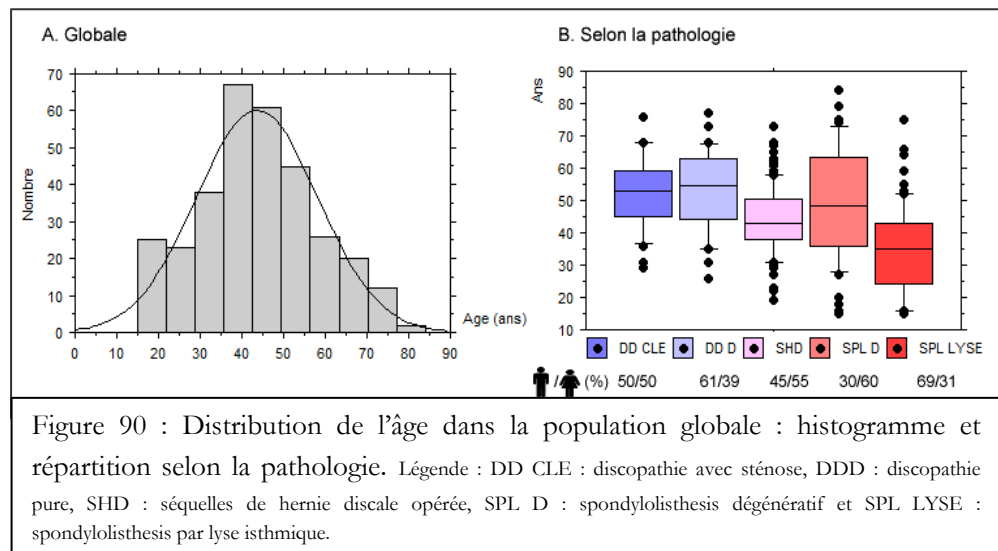
Ce chapitre présente la population d'ensemble, la méthodologie générale d'analyse, les principaux résultats et leur discussion par rapport à la littérature.

8.2 Matériel et méthodes

Cette étude concerne une **population** globale, regroupant les différentes pathologies étudiées (similaire aux études portant sur les lombalgies : « low back pain » dans la littérature). Elle consiste en 332 patients dont 13 adolescents, que nous avons choisi d'exclure de l'analyse globale (afin de limiter les possibles biais liés aux spécificités de cet âge).

Pour le groupe résultant (319 patients adultes) la distribution de l'âge est quasi-gaussienne (Figure 90 a) et présentée selon la pathologie sur la Figure 90 b.

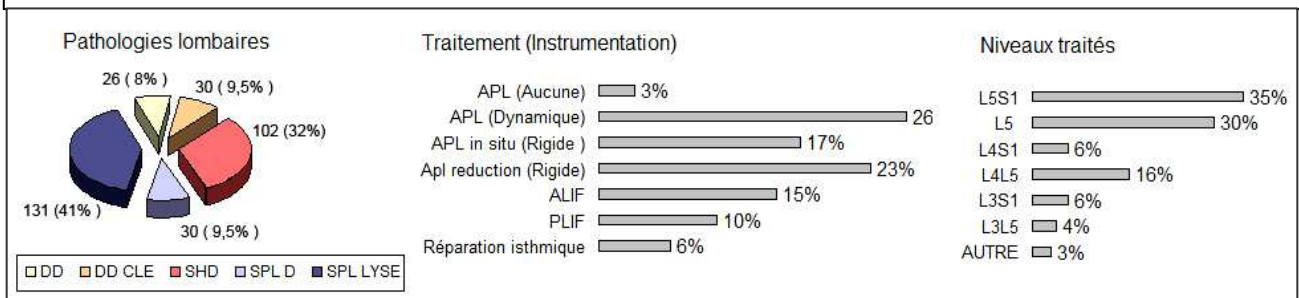
La population étudiée est composée de



57% femmes et 43% hommes, âgés en moyenne de $43,6 \pm 15$ ans (19-84) au moment de l'intervention, souffrant des pathologies génératrices de lomboradiculalgies qui ont été traitées chirurgicalement (diagnostic, types de traitements et niveaux instrumentés présentés sur la Figure 91). Les indices de masse corporelle (IMC) ne présentaient pas des différences significatives entre les différents groupes (par pathologie et traitement).

Le recul moyen des données analysées est de $4,8 \pm 3$ ans.

Figure 91 : Pathologies, type d'instrumentation et niveaux traités pour la population d'ensemble. APL= arthrodèse postéro-latérale, DD= discopathie, CLE= canal lombaire étroit, SHD= séquelles de hernie discale, SPL=spondylolisthesis.



L'évaluation des résultats a utilisé trois catégories de variables, quantifiées lors de nos précédentes études :

- générales (âge, indice de masse corporelle $IMC = \text{Poids en Kg} / (\text{Taille en m})^2$, sexe, pathologie, traitement, niveau traité),
- spécifiques à valeur de « critères » (variables qualitatives, de signification clinique) : résultat clinique (issu de scores), résultat biomécanique (en rapport avec des complications liées à l'implant) et satisfaction du patient (auto rapporté, subjectif)
- variables biomécaniques, calculées pour les différentes périodes du suivi (à partir de clichés statiques de profil : listhesis du niveau traité, cyphose T4T12, lordose L1S1, Gîte de T9, inclinaison globale⁸, pente sacrée, version pelvienne, incidence pelvienne, Total Lumbo-Pelvic lordosis PR T12, ainsi que le paramètres alpha⁹; à partir de clichés dynamiques (flexion-extension) lombaires : amplitudes de mobilité intervertébrale et centres moyens de rotation (CMR)). Les paramètres neo-pelviens (clichés de profil) ont été également calculés pour les arthrodèses L5S1 (n=111) et L4S1 (n=131), remplaçant dans le calcul classique le repère plateau sacré avec le plateau supérieur de la dernière vertèbre fusionnée (Figure 81).

Etant donné que 299/319 (94%) des patients ont été traités par arthrodèse, une condition supplémentaire de la réussite du traitement est l'acquisition de la fusion, investiguée quantitativement à travers l'analyse de la mobilité résiduelle des niveaux traités et interprétée selon les critères présentés précédemment ($<3^\circ$ - pas de mobilité \rightarrow fusion solide(S), entre 3 et 5° - mobilité résiduelle faible \rightarrow fusion incertaine (I) et $>5^\circ$ - mobilité significative \rightarrow pseudarthrose (P)).

L'analyse biomécanique a requis un contrôle par des *groupes témoins*, représentés pour l'analyse posturale par les radiographies grand-axe de 112 sujets asymptomatiques, 38 ± 13 ans, 55% femmes, 45% hommes et pour l'analyse dynamique par les paires de clichés en flexion-extension de 19 autres sujets asymptomatiques, 11 hommes et 8 femmes, âge moyen 34 ± 10 ans. A partir de ces clichés nous avons pu calculer des valeurs de référence pour l'ensemble de paramètres analysés, comme présenté précédemment (chapitre 5.4.2 et Annexe 2.2).

Méthodologie d'analyse

Périodisation du suivi. Etant donné le caractère rétrospectif de l'étude, nous avons observé une

⁸ angle entre la verticale et la droite approximant le profil global du rachis

⁹ angle entre la tangente au mur postérieur du sacrum et le segment étendu entre le milieu de l'axe bicoxo-fémoral et le coin postéro-supérieur du sacrum (Figure 80).

certaine hétérogénéité des données radiologiques, amplifiée pour certains paramètres par le manque de standardisation de la prise de clichés entre les différents centres hospitaliers français. Dans ce contexte, les radiographies de profil ont été disponibles pour 319 patients (100%) mais le format grand-axe uniquement pour 192 (60% des cas), tandis que les clichés dynamiques étaient disponibles pour 179 patients en postopératoire, dont uniquement 90 avaient l'examen préopératoire également.

Par conséquent, notre méthodologie tient compte de ces limites, en séparant l'analyse des paramètres statiques (n=319) de ceux dynamiques (n=179) et mentionnant constamment dans la présentation de résultats la taille de l'échantillon analysé. De plus, afin de limiter les éventuelles données manquantes dans le suivi chronologique du patient¹⁰ (12-25 %), nous avons choisi de regrouper les variables sur des plages temporelles larges, de la manière suivante : préopératoire, court et moyen terme (0-2 ans) et long terme (2-5 ans), en choisissant systématiquement le dernier examen (chronologiquement) pour chaque période et patient donné. Le dernier recul a été également retenu, afin de relier le résultat et les paramètres biomécaniques calculés au même moment de temps.

L'analyse statistique, effectuée à l'aide des logiciels XLStat (7.5 & 2007) et Statview, consistait en :

- a. tests statistiques descriptifs (moyennes, écarts types, modes, erreur standard etc.)
- b. tests paramétriques (pour un paramètre donné, test « t » de Student : pair pour la comparaison des valeurs dans le temps et impair pour la comparaison des groupes indépendants) et calcul de la taille de l'effet (« effect size »¹¹).
- c. analyse de corrélations (tests de Pearson et Spearman)
- d. analyses factorielles : i) analyse factorielle discriminante (AFD) et ii) analyse des correspondances multiples (ACM).

i) Pour les paramètres quantitatifs, leur relation avec les variables résultat (nominales) a été étudiée par l'intermédiaire de **l'analyse factorielle discriminante (AFD)** ^{Lecoutre'98}. L'AFD est une méthode permettant de modéliser l'appartenance à un groupe d'individus en fonction des valeurs prises par plusieurs variables quantitatives, puis de déterminer le groupe le plus probable pour un individu, connaissant uniquement les valeurs des variables qui le caractérisent. L'AFD peut être

¹⁰ * Exemple : pour un patient donné on peut disposer des clichés correspondant à l'examen préopératoire, à 3 mois, 6 mois, 2 ans et 4 ans mais pas de celui à 1 an, ce qui crée des données manquantes.

¹¹ ** Effect size ou **la taille de l'effet** est le nom donné à une famille d'indices mesurant la magnitude (ordre de grandeur) de l'effet d'un traitement ; cet indice met en évidence l'importance concrète des effets mesurés, témoignant de leur éventuelle pertinence scientifique, au-delà de leur simple signification (ou non) statistique. De plus, ces tests ne dépendent pas de la taille de l'échantillon par rapport aux tests de signification statistique classiques.

Il existe plusieurs formules permettant de calculer cet indice, mais nous avons adopté celle proposée par Cohen^{Cohen'88} et développée par Rosnow et Rosenthal ^{Rosnow'96}, que nous avons trouvé particulièrement adaptée à notre analyse statistique. Ainsi, la taille de l'effet est donnée par le « d » de Cohen, défini comme la différence entre les moyennes de deux groupes spécifiques, divisée par la racine carrée de la moyenne des écarts-types au carré de deux groupes : d

$$= (M_1 - M_2) / \sigma, \text{ où } \sigma = \sqrt{\frac{(ET_1^2 + ET_2^2)}{2}}, \text{ M et ET signifiant respectivement moyenne et écart type. La taille de}$$

l'effet est considérée réduite pour des valeurs du « d » entre 0,2 et 0,5, moyenne si 0,5 < d < 0,8 et grande pour d > 0,8.

considérée comme une extension de la régression multiple dans le cas où la variable à expliquer est une variable qualitative décrivant des groupes. Dans notre cas précis, l'analyse discriminante évalue la dépendance entre les variables quantitatives (âge, IMC et paramètres biomécaniques) et une variable qualitative – résultat, mesurées sur la population globale.

ii) Dans le cas de multiples variables qualitatives décrivant une population, les relations entre ces paramètres peuvent être modélisées utilisant l'**analyse des correspondances multiples** (ACM)¹² qui est une extension de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) et l'équivalent de l'analyse en composantes principales (ACP) pour des variables qualitatives.

Afin de mettre en évidence les relations entre les différentes classes des résultats et des paramètres qualitatifs, nous avons réalisé un codage de variables :

- ainsi pour l'*âge*, les valeurs inférieures à 40 ont formé une classe J, entre 40-66 une classe M et supérieure à 66 ans une classe A.
- pour l'*indice de masse corporelle*, prenant en compte les valeurs décrites pour des populations de sujets sains, ainsi que la tendance au surpoids de la population actuelle, nous avons classé les IMC < 19 en classe A, entre 19 et 30 en classe N et >30 en classe O.
- concernant les *paramètres biomécaniques*, d'abord nous les avons comparés aux valeurs de référence et ensuite codés : les cas montrant des valeurs anormales ont été classés en c (cyphose), l (lordose), p (pelviens), e (déséquilibre), dp (dos plat, caractérisé par des faibles valeurs de cyphose, lordose et pente sacrée) ou des classes composites réunissant plusieurs de ces critères. De plus, pour l'analyse cinématique, une variable qualitative a été construite pour évaluer les niveaux non-fusionnés (surtout adjacents) en codant la mobilité et le CMR par comparaison avec les valeurs de référence (ainsi une lettre code la mobilité en normale (n), faible (f) ou élevée (h) et une autre le CMR : normal (n), non calculé (NC) ou anormal (p).
- Les *résultats cliniques* (fonctionnels) sont codés en bon, moyen et mauvais (selon le score utilisé et son interprétation dans la littérature), les *résultats dits mécaniques* sont codés en bon, DA (en liaison avec une dégradation de l'étage adjacent diagnostiquée et éventuellement nécessitant une reprise) et non-sat (abrégé du non-satisfaisant et en relation avec des complications mécaniques liées à l'implant). La satisfaction du patient a été codée en sat ou non-sat.

8.3 Résultats

La présentation des données issues de cette étude commencera par l'analyse des variables résultats, suivie de l'analyse statistique (descriptive, comparative, de corrélation et factorielle) de leur lien avec les paramètres biomécaniques.

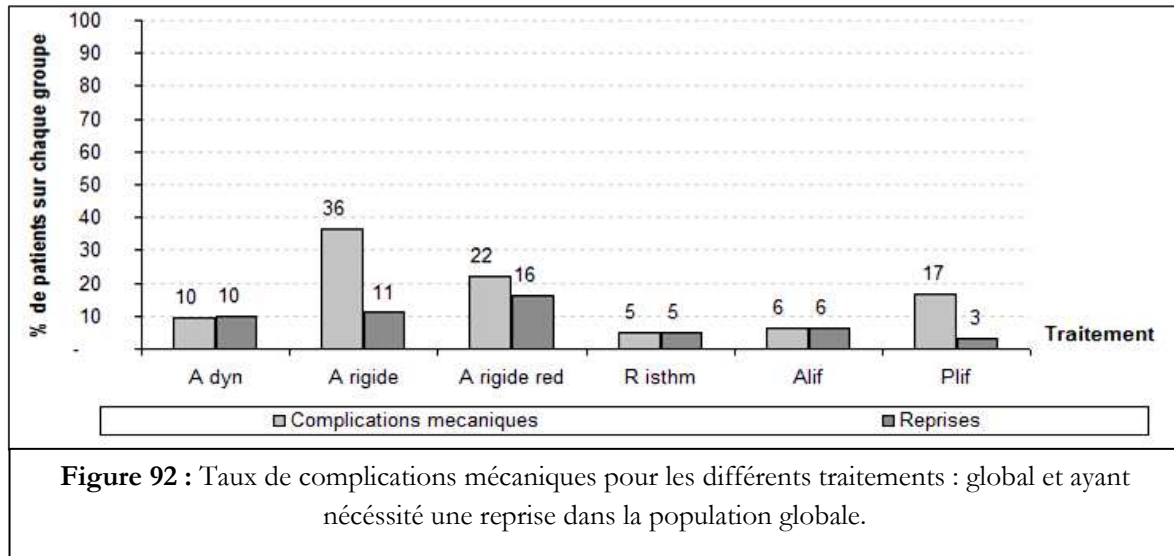
8.3.1 Présentation des variables « résultats »

Au vu du manque de standardisation des outils d'évaluation dans la littérature^{ANAES'00}, reflété également par nos études dans différents centres hospitaliers de France, il est difficile voire impossible de préciser un critère unique d'évaluation des résultats auquel comparer les différents paramètres biomécaniques. Une variable résultat clinique issue des différents scores utilisés

¹² Selon la méthodologie de A Genvrin, Centre Aquitaine du Dos (CAD), Bordeaux et Dr JM Nguyen, Laboratoire de Statistiques Médicales de CHU de Nantes, que nous remercions pour les précisions concernant les différents aspects de l'analyse factorielle.

quantifie le résultat pour la population globale, selon l'amélioration de la douleur et des limitations fonctionnelles (pas de point commun entre les différents scores concernant le retour au travail), en bon (58%), moyen (33%) et mauvais (9%).

Toutefois, ces résultats cliniques ne tiennent pas explicitement compte des complications mécaniques (Figure 92), souvent à l'origine des résultats moins bons et nécessitant des reprises.



Par conséquent, nous avons rajouté une variable résultat dit « mécanique », considéré satisfaisant (« Bon ») en absence de complications (79 % des cas), non satisfaisant NS DA si liée à une dégradation symptomatique (et nécessitant une reprise) de l'étage adjacent (6 % des cas) et non-satisfaisant NS CM (15 % des cas) si lié à des complications mécaniques (en relation avec l'implant).

Tableau 40 : Matrice de similarité des variables -résultat.

Toutefois, ces variables résultat « clinique » et « mécanique » ne sont pas toujours en accord et aucune ne concorde complètement avec la satisfaction du patient (86% satisfaits par leur traitement), comme montré par la matrice de similarité (Tableau 40).

	R. clinique	R. mécanique	Satisfaction
R. clinique	1,0	0,6	0,6
R. mécanique	0,6	1,0	0,7
Satisfaction	0,6	0,7	1,0

Ceci traduit le fait que, malgré des résultats fonctionnels moyens (26% des cas) et des complications liées à l'implant (9%), 273 patients se déclarent satisfaits par leur traitement, tandis que parmi les 46 patients qui se déclarent non satisfaits par leur traitement, uniquement 26 (56%) présentent des complications liées à l'implant et des résultats cliniques mauvais qui pourraient expliquer leur perception d'un moindre résultat.

Parmi les paramètres qui pourraient expliquer cette variabilité des résultats, nous avons identifié précédemment certains facteurs psychosociaux (chapitre 6.1), mais d'autres paramètres pourraient intervenir également, comme la longueur du segment traité et l'acquisition de la fusion. L'influence de l'étendue de la zone traitée est évaluée à travers les résultats cliniques, « mécaniques » et la satisfaction, présentés en **Tableau 41** mais, en dehors d'un taux légèrement supérieur des résultats

cliniques nonsatisfaisants pour l'arthrodèse mono niveau versus bi-niveaux, les différences ne sont pas significatives.

Tableau 41 : Influence de l'étendue des arthrodèses sur les résultats

Arthrodèse	N°	R cliniques (%)			R mécaniques (%)			Satisfaction (%)		Reprise
		Bon	Moyen	Mauvais	Bon	NS DA	NS CM	Oui	Non	
Multiniveaux (81% 2 étages)	133	68	31	1	80	4	16	86	14	9
Mononiveau	166	58	34	8	78	4	18	82	18	11
Vertèbre	20	50	45	5	85	10	5	95	5	-

L'acquisition de la fusion (quantifiée comme S – solide, I- incertaine et P-pseudarthrose) est une condition nécessaire à la stabilisation dans les arthrodèses, son absence étant associée à des complications (40 vs 21%), des résultats non-satisfaisants (20 vs 9%) et à la dégénérescence de l'étage adjacent (48 vs 29%), comme montré sur la **Tableau 42**. Toutefois, cette condition n'est pas suffisante pour expliquer à elle seule la variabilité des résultats.

Tableau 42 : Influence de la fusion sur les résultats

Classe	N°	Femmes (%)	Hommes (%)	Complications (%)	R cliniques NS (%)	R mécaniques NS DA (%)	R mécaniques NS CM (%)	Insatisfaction (%)
S	107	50	50	21	9	29	8	9
I	25	32	68	40	20	36	28	20
P	27	44	56	37	7	48	30	19

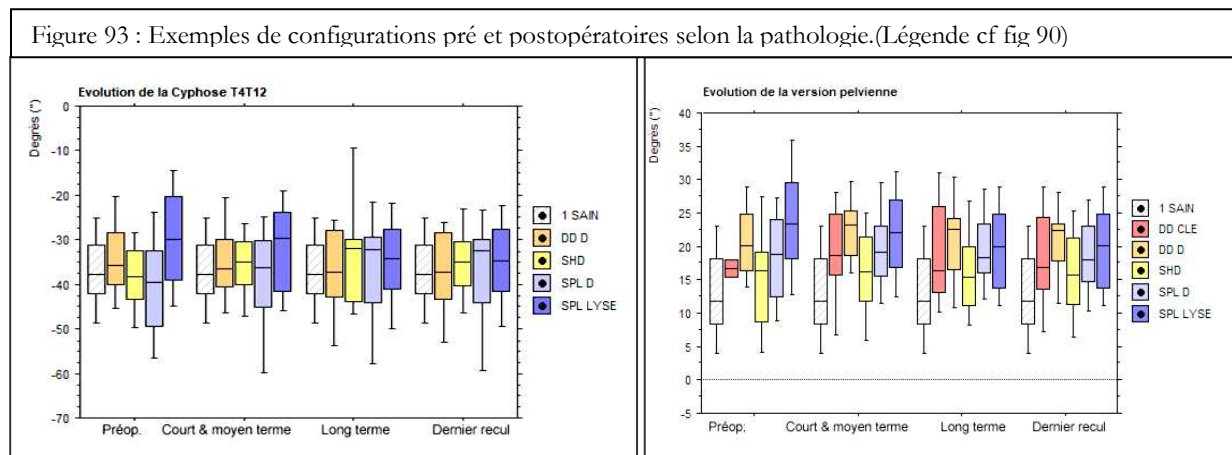
Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est d'identifier les paramètres biomécaniques qui pourraient influencer ces trois catégories des résultats et accessoirement la fusion, leurs relations étant explorés à travers des tests statistiques descriptifs, comparatifs, de corrélation et factoriels (AFD et ACM).

8.3.2 Analyse descriptive et comparative des paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de rachis en relation avec le résultat global du traitement.

3.3.2.1 Analyse de la posture

L'analyse des paramètres biomécaniques à partir des radiographies en posture sagittale révèle un certain nombre de configurations spécifiques liées à la pathologie initiale (voir graphes en Annexe 3.1.a). Après traitement, ces spécificités peuvent diminuer (sauf pour le spondylolisthesis où les

Figure 93 : Exemples de configurations pré et postopératoires selon la pathologie. (Légende cf fig 90)



valeurs des paramètres pelviens classiques restent au-dessus des plages normales) mais la configuration à moyen et long terme peut changer à nouveau, comme observé pour les exemples présentés en **Figure 93**.

Ces changements sont expliqués par l'évolution des paramètres rachidiens ou pelviens, représentée par des différences statistiquement significatives (test de Student et Wilcoxon) entre deux examens consécutifs sur le **Tableau 43**.

Tableau 43 : Evolution des paramètres (différences statistiquement significatives)

Paramètres	Préopératoire	Court terme (0-1 an)	Moyen terme (1-2 ans)	Long terme (2-5 ans)	Très long terme (5-10 ans)
Cyphose T4T12	ns	ns	ns	ns	ns
Lordose L1S1	ss	ss	ns	ss	ss
Gîte de T9	ns	ns	ns	ns	ns
Inclinaison globale	ns	ns	ss	ns	ns
Pente sacrée	ss	ns	ns	ns	ns
Version pelvienne	ns	ss	ns	ns	ns
Incidence	ns	ns	ns	ns	ns
Total Lumbo-Pelvic Lordosis (TLPL)	ns	ns	ns	ss	ss
Alpha	ns	ns	ns	ns	ns

Toutefois, cette évolution ne donne aucune information quant au résultat du traitement donc, en faisant abstraction de la spécificité des configurations pour une pathologie donnée, nous avons explicité pour la population globale les valeurs des principaux paramètres selon le résultat.

A. Distribution des paramètres selon le résultat clinique (graphes en Annexe 3.1.b)

Cette analyse a mis en évidence sept paramètres (Tableau 44 en noir gras) dont les valeurs moyennes étaient différentes selon le résultat clinique.

Tableau 44 : Paramètres biomécaniques et résultats cliniques

Paramètres (°)	Cyphose T4T12	Lordose L1S1	Gîte de T9	Inclinaison globale	Pente sacrée	Version pelvienne	Incidence	TLPL	Alpha	
Valeurs de référence	-37 ± 8	56 ± 10	-10 ± 3	1 ± 3	40 ± 7	13 ± 8	53 ± 11	90 ± 9	-66 ± 9	
Préop	Bon	-38 ± 11	56 ± 13	-9 ± 6	1,2 ± 5	41 ± 11	19 ± 9	61 ± 15	85 ± 12	-70 ± 9
	Moyen	-33 ± 11	58 ± 14	-8 ± 4	1,7 ± 3	43 ± 11	21 ± 8	64 ± 14	81 ± 11	-71 ± 8
	Mauvais	-30 ± 8	56 ± 14	-8 ± 5	-1,4 ± 5	43 ± 11	19 ± 7	60 ± 13	83 ± 10	-66 ± 11
Court & Moyen terme	Bon	-36 ± 10	56 ± 13	-10 ± 4	0,5 ± 5	41 ± 10	19 ± 7	59 ± 14	85 ± 9	-69 ± 10
	Moyen	-33 ± 10	58 ± 14	-8 ± 4	2,4 ± 4	44 ± 12	20 ± 7	63 ± 15	82 ± 9	-69 ± 12
	Mauvais	-33 ± 9	54 ± 18	-10 ± 3	0,8 ± 5	40 ± 12	22 ± 8	60 ± 15	80 ± 13	-71 ± 11
Long terme	Bon	-37 ± 12	56 ± 14	-9 ± 4	2 ± 5	40 ± 11	18 ± 7	59 ± 14	85 ± 9	-68 ± 10
	Moyen	-33 ± 14	58 ± 13	-9 ± 4	2 ± 5	44 ± 10	20 ± 8	65 ± 12	83 ± 11	-74 ± 9
	Mauvais	-35 ± 12	54 ± 17	-6 ± 5	4 ± 5	40 ± 13	22 ± 8	64 ± 14	76 ± 18	-71 ± 10
Dernier recul	Bon	-37 ± 11	57 ± 13	-10 ± 4	1 ± 5	41 ± 11	18 ± 7	59 ± 14	86 ± 9	-68 ± 10
	Moyen	-34 ± 10	57 ± 13	-9 ± 4	2 ± 5	44 ± 11	20 ± 8	64 ± 14	83 ± 11	-72 ± 10
	Mauvais	-35 ± 12	52 ± 15	-7 ± 5	4 ± 5	41 ± 12	22 ± 8	64 ± 13	78 ± 16	-71 ± 10

Cependant, après calcul de la taille de l'effet, le nombre de paramètres reflétant de manière significative une différence entre les résultats cliniques bon et mauvais obtenus était plus faible (5), comme présenté sur le **Tableau 45** (effet significatif en noir).

Tableau 45 : Calcul de la taille de l'effet pour les paramètres discriminants.

Paramètres (°)	Cyphose T4T12	Lordose L1S1	Gîte de T9	Inclinaison globale	Version pelvienne	Incidence	TLPL
Préop	0,8	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2
Court & Moyen terme	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
Long terme	0,2	0,1	0,7	0,5	0,5	0,4	0,6
Dernier recul	0,2	0,3	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6

Egalement, les distributions des paramètres **neo-pelviens** (Annexe 3.1.F) mettaient en évidence une différence statistiquement significative entre les valeurs correspondant à des bons versus mauvais résultats, décrivant deux cas de figure différents selon la configuration fixée.

Ainsi, pour les **arthrodèses L5S1** (n=111), cette différence est observée (tous traitements/instrumentations) pour les paramètres **neo pente sacrée**, **neo incidence pelvienne** et **neo alpha** (taille de l'effet d=0,6).

Pour les **arthrodèses L4S1** (n=131), les différences dépendent aussi du type d'instrumentation (postérieure) et sont significatives pour la **neo pente sacrée** (d=0,5) si **instrumentation rigide** et pour **neo pente sacrée** (d=0,6), **neo incidence** (d=0,5) et **neo alpha** (d=0,7) dans les cas ayant reçu une **instrumentation dynamique**.

Ce type d'analyse ne différencie pas les résultats cliniques moyens des autres catégories.

B. Distribution des paramètres selon le résultat mécanique (graphes en Annexe 3.1.c)

Une analyse similaire (Tableau 46) a été effectuée selon les résultats dits « mécaniques », mettant en évidence des valeurs significativement différentes selon les classes de résultats bons et nonsatisfaisants pour huit paramètres.

Tableau 46 : Paramètres biomécaniques et résultats mécaniques

Paramètres (°)	Cyphose T4T12	Lordose L1S1	Gîte de T9	Inclinaison globale	Pente sacrée	Version pelvienne	Incidence	TLPL	Alpha	
Valeurs de référence	-37 ± 8	56 ± 10	-10 ± 3	1 ± 3	40 ± 7	13 ± 8	53 ± 11	90 ± 9	-66 ± 9	
Préop	B	-36±12	57±13	-9±4	1±4	41±11	19±9	62±15	84±12	-70±9
	NS DA	-38±5	58±12	-10±2	2±6	43±9	18±7	63±14	85±9	-72±9
	NS CM	-31±11	58±15	-7±4	1±5	44±11	20±8	62±16	81±12	-70±11
Court & Moyen terme	B	-35±10	57±13	-9±4	1±5	41±11	19±7	59±15	84±10	-68±11
	NS DA	-41±7	55±13	-10±3	1±1	41±9	21±7	58±11	83±6	-69±8
	NS CM	-35±12	60±16	-8±4	2±4	45±12	21±7	65±13	82±12	-74±8
Long terme	B	-35±14	56±14	-10±5	2±5	41±11	19±8	61±15	85±10	-70±10
	NS DA	-34±10	55±10	-7±2	4±6	41±8	20±7	62±10	83±9	-71±8
	NS CM	-35±10	57±15	-7±4	3±5	43±11	20±7	63±13	81±14	-72±9
Dernier recul	B	-36±11	56±13	-10±4	1±5	41±11	18±8	60±15	85±10	-69±11
	NS DA	-36±10	55±12	-8±3	3±5	41±8	20±7	62±11	83±8	-71±8
	NS CM	-36±9	57±14	-7±4	3±5	43±11	21±7	64±12	81±13	-72±9

Toutefois, après calcul de la taille de l'effet (Tableau 47), une différence entre les résultats obtenus

était reflétée par les valeurs des paramètres suivants (effet significatif en noir).

Tableau 47 : Taille de l'effet pour les paramètres biomécaniques différenciant les résultats « mécaniques » bons et nonsatisfaisants

Paramètres	Cyphose T4T12	Lordose L1S1	Gîte de T9	Inclinaison globale	Pente sacrée	Incidence	TLPL	Alpha
Préop	0,4		0,4			0,3	0,3	0,3
Court & Moyen terme	0,6	0,2		0,3	0,4	0,3	0,3	0,6
Long terme			0,6	0,5		0,3	0,3	0,1
Dernier recul			0,6	0,4		0,3	0,3	0,3

Une présentation plus détaillée de cette analyse, disponible en Annexe 3.1.c, montre une certaine association entre l'apparition des **complications mécaniques** et de faibles valeurs en préopératoire de la **cyphose** et de la **gîte de T9**, des fortes valeurs à court et moyen terme de la **penne sacrée** et de alpha et des faibles valeurs à long terme pour la Gîte de T9 et fortes pour l'**inclinaison globale**. Nous observons que peu de paramètres semblent être discriminants entre les résultats bon et non satisfaisant **DA**, les plus significatifs étant : la **cyphose**, qui atteint une moyenne de 41° à court et moyen terme versus 35° pour les autres résultats (bon et NSCM) et examens, ainsi que la **gîte de T9** (moyenne 7° versus 10°) et l'**inclinaison globale** (moyenne 3° versus 1°) à long terme.

A ces observations se rajoutent les résultats de l'analyse des paramètres **neopelviens** (Annexe 3.1.F) qui met en évidence, selon le type d'arthrodèse :

- L5S1 : une différence statistiquement significative (tous traitements/instrumentations confondus) entre des résultats bons et nonsatisfaisants (CM et DA) pour les paramètres **neo pente sacrée**, **neo incidence** et **neo alpha** (d=0,6-0,7).

-L4S1 : une différence entre les résultats bon/ NS CM significative pour **neo incidence** (d=0,6) si instrumentation rigide, et pour la **neo pente sacrée** (d=0,3) si instrumentation dynamique ; la différence entre les résultats bon/ NS DA est significative pour les paramètres **neo version pelvienne**, **neo incidence** (d=0,6) et **neo alpha** (d=0,5) pour une instrumentation rigide et **neo pente sacrée**, **neo version pelvienne** (d=0,5) et **neo alpha** (d=0,7) si instrumentations dynamiques.

C. Distribution des paramètres selon la satisfaction du patient (tableau en Annexe 3.1.d).

Il est remarquable de noter que certains paramètres biomécaniques sont liés de manière significative à des résultats non satisfaisants, comme les faibles valeurs de la cyphose (moyenne de 28° versus 37° pour des résultats satisfaisants), dès le préopératoire (d=0,9 en préopératoire et 0,4 ultérieurement). A ceci se rajoutent les valeurs faibles (6° vs 10°) pour la GT9 (d = 0,5 en préop.& court terme et 0,9 à long terme) et des valeurs à long terme élevées pour l'inclinaison globale (3° vs 1°) et pour l'incidence (65° vs 60°), mais d'une moindre significativité par rapport aux paramètres précédents (d=0,4).

D. Distribution des paramètres selon l'acquisition de la fusion

Une relation intéressante semble transparaitre entre certains paramètres et l'acquisition d'une

fusion solide (tableau en Annexe 3.1.e), les associations les plus significatives étant présentées sur le tableau suivant :

Tableau 48 : Taille de l'effet pour les paramètres en relation la fusion

Paramètres		Fusion solide(S) vs incertaine (I)	Fusion solide (S) vs pseudarthrose (P)
Cyphose	Préop	0,8 (39° vs 34°)	0,6 (39° vs 31°)
	CMT		0,5
Lordose (LT)		0,6 (51° vs 57°)	0,3
Pente sacrée(LT)		0,4 (38° vs 42°)	0,3
Inclinaison globale	Préop	0,3	0,7 (1° vs 4°)
	CMT	0,3	0,5 (2° vs 5°)
	LT	0,4 (2° vs 5°)	

3.3.2.2 Analyse de la cinématique lombaire

Une partie de cette analyse, focalisée sur le **segment traité**, a permis de quantifier les mobilités résiduelles et d'assigner un statut à la fusion, selon les critères postulés et vérifiés dans nos précédentes études. Ainsi, nous avons pu observer sur les 159 patients présentant des clichés dynamiques à moyen terme (2 ans, 59 %) ou à long terme (5-9 ans, 41%), des mobilités résiduelles au niveau du segment fusionné :

- supérieures à 5°, évocatrices d'une pseudarthrose, dans 27 (17%) cas
- entre 3 et 5°, signalant une fusion incertaine, dans 25 (15 %) cas
- inférieures à 3°, associées à une fusion solide, dans 107 (67%) cas.

L'étendue du segment fusionné ne semble pas importante dans cette évaluation car les taux de fusion obtenus ont été de 84% pour la fusion mononiveau et de 82% pour celle intéressant 2 ou 3 étages mobiles (solide 67% pour les deux situations et incertaine 17 vs 15%, respectivement).

Notre analyse montre que les cas de non-fusion semblent liés de façon significative à de résultats moins satisfaisants, comme présenté sur le **Tableau 42** au début de ce chapitre.

Plus encore, afin de vérifier l'hypothèse que la fusion serait associée à la dégradation de l'étage adjacent, nous avons entrepris une analyse (**Tableau 49**) qui montre des taux plus importants de dégradation selon l'analyse radiologique entre les patients présentant des pseudarthroses comparés à ceux ayant acquis une fusion solide.

Tableau 49 : Fusion et dégradation de l'étage adjacent

Dégradation de l'étage adjacent (taux %)	Traitement		
	Arthrodèse (fusion)		
	Solide (n=107)	Incertaine (n=25)	Pseudarthrose (n=27)
Radiologique	29	36	48
Symptomatique	10	16	14
Reprise (chirurgie)	5	8	14

Bien que ces taux soient supérieurs à ceux de dégradation symptomatique, la même proportion se retrouve pour les taux de reprises.

L'analyse de la cinématique des **étages non-fusionnés** montre des relations entre résultats et les paramètres mobilité et centre moyen de rotation décrivant ces niveaux (adjacents et au-dessus). Tout d'abord, des anomalies ayant une potentielle influence sur les résultats ont été observées, comme la diminution de la mobilité pour les niveaux adjacents au segment traité à long terme, possible expression d'une dégradation en cours. Ces faibles mobilités adjacentes ont été mises en

évidence dans 5/20 cas (25%) traités par réparation isthmique (pas de fusion) et dans 42/156 cas (27%) chez des patients traités par arthrolyse (dont 31 présentaient des signes de dégradation sur le même niveau). Pour ce dernier groupe, le pourcentage était plus important chez ceux présentant une mobilité résiduelle (6/25) ou une pseudarthrose (7/27) en comparaison de ceux présentant une fusion solide (29/106).

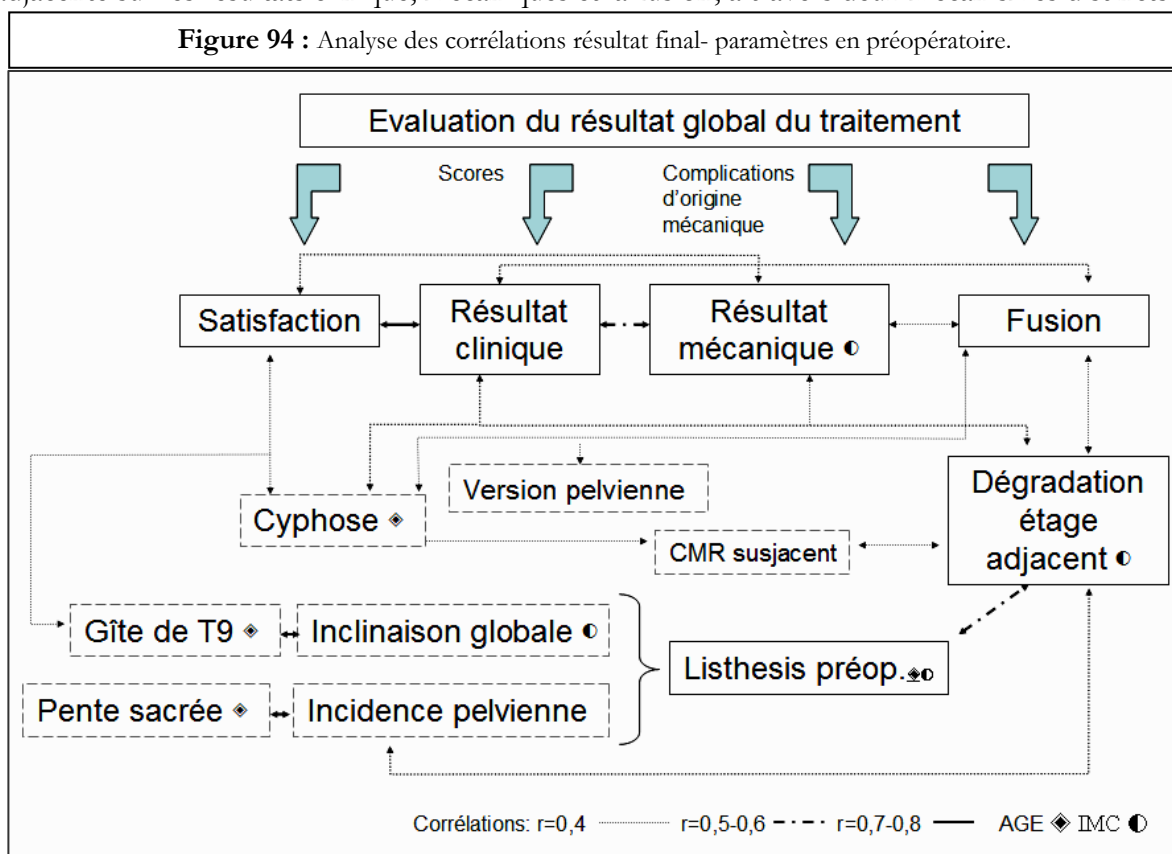
Une autre anomalie cinématique concerne la localisation des Centres Moyens de Rotation : ses valeurs préopératoires sont anormales pour la plupart des segments traités (siège de la pathologie, 93 %) et, dans certains cas, aussi pour les niveaux supposés sains (adjacents et au-dessus). Cette dernière situation a été observée dans 56% des 59 cas présentant une dégradation adjacente à long terme et dans approximativement 30% des autres (ce dernier chiffre est surestimé à cause du recul inégal, des fois inférieur à 5 ans).

8.3.3 Analyse des corrélations entre paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de rachis et résultat global du traitement.

La matrice de corrélations (issue des tests de Pearson et Spearman, $p < 0,001$) entre résultats et paramètres biomécaniques peut être représentée de manière simplifiée pour les différents moments du suivi : préopératoire, court & moyen terme et ensuite long terme ; nous présentons les principaux résultats dans la suite.

A. En préopératoire (Figure 94)

En accord avec nos précédentes analyses, la matrice de corrélations a mis en évidence des relations entre les différents résultats et les paramètres biomécaniques cyphose, gîte de T9, inclinaison globale et paramètres pelviens. En plus, on observe l'impact de la dégradation adjacente sur les résultats clinique, mécaniques et la fusion, à travers deux mécanismes distincts.

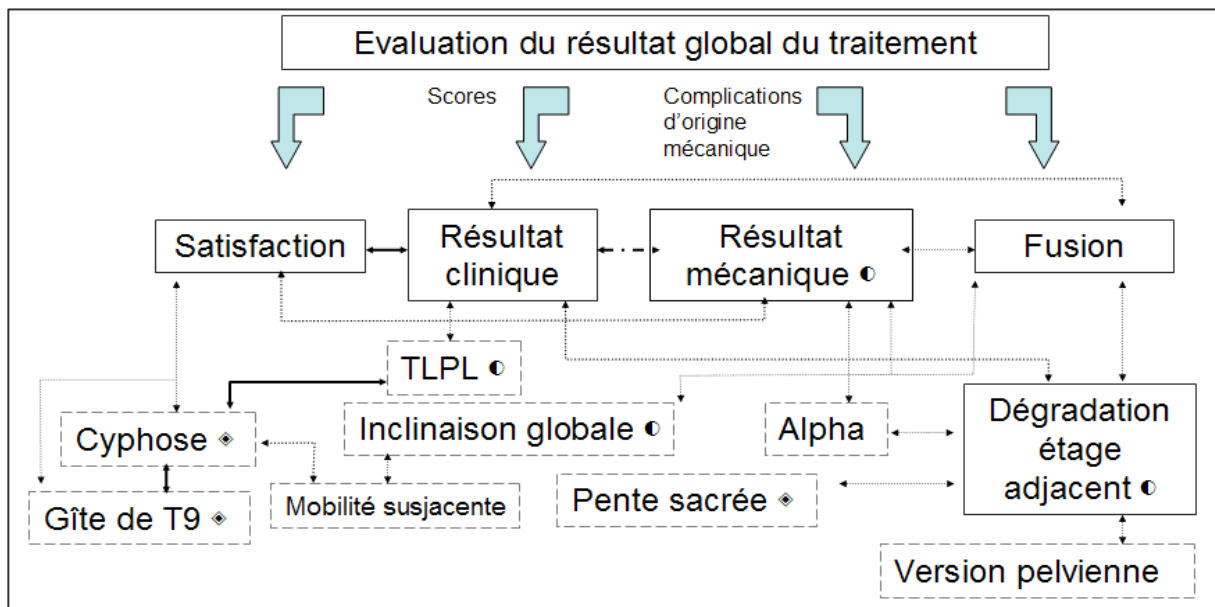


Le premier est basé sur éléments de l'analyse posturale, montrant l'influence des valeurs préopératoires des paramètres rachidiens (cyphose- relation directe) et pelviens, associés à la gîte de T9 et à l'inclinaison globale, les derniers exerçant une influence indirecte, par l'intermédiaire du listhesis sousjacent préopératoire (paramètre illustrant le glissement vertébral).

Le deuxième mécanisme semble lié à la cinématique des étages susjacent, mettant en relief l'influence des anomalies de localisation du centre moyen de rotation (CMR) sur la dégradation future, mais aussi un lien transversal entre posture et cinématique, car la localisation des CMR est influencée par la cyphose.

B. A court & moyen terme (Figure 95), notre analyse montre une relation entre les résultats mécaniques et l'acquisition de la fusion et paramètres pelviens et entre les résultats cliniques et la

Figure 95 : Analyse des corrélations résultat final- paramètres à court et moyen terme.



satisfaction et les paramètres cyphose, TLPL, Gîte de T9 et inclinaison globale. Il existe également une relation transversale entre la mobilité susjacent observée à ce moment, l'inclinaison globale et la cyphose, montrant un conditionnement réciproque de la cinématique et de l'équilibre sagittal.

C. À long terme (diagramme en Annexe 3.2.c) la matrice de corrélations met en évidence des relations entre les différents résultats et les paramètres cyphose, Gîte de T9, inclinaison globale et paramètres pelviens, en accord avec nos précédentes observations.

Globalement les relations entre paramètres biomécaniques et résultats (issues de l'analyse de corrélations) sont difficile à interpréter en raison des influences de l'âge et du poids (reflété par le IMC) pour un patient donné, ainsi que des multiples intercorrélations entre les paramètres biomécaniques, présentées sur le **Tableau 50** (en gras si $r > 0,5$, tous $p < 0,001$, analyse in extenso en Annexe 3.2).

Néanmoins, on observe une concordance entre l'analyse des corrélations et les résultats de l'analyse descriptive et comparative, mettant en évidence quelques paramètres dont les valeurs sont liées globalement à l'obtention d'un bon résultat.

Tableau 50 : Matrice de corrélations (test de Pearson) entre les différents paramètres biomécaniques

Paramètre	Cyphose	Lordose	Gîte de T9	Inclinaison globale	Pente sacrée	Version pelvienne	Incidence	TLPL	Alpha
Cyphose	1								
Lordose	-0,3	1							
Gîte de T9	0,5-0,7		1						
Inclinaison globale			0,4- 0,6	1					
Pente sacrée		0,8 - 0,9	0,3 - 0,5*		1				
Version pelvienne			*	0,2		1			
Incidence		0,5-0,7	0,2-0,4	0,3	0,9	0,6	1		
TLPL	-0,4- 0,6	0,5-0,6		-0,3 - -0,5		-0,7 - -0,8	-0,3	1	
Alpha	-0,6				-0,6	-0,5*	-0,6 - -0,8	0,2	

8.3.4 Analyse factorielle

Nos précédentes analyses ont mis en évidence différentes configurations biomécaniques des patients (selon la pathologie) et des multiples intercorrélations entre les paramètres biomécaniques qui les caractérisent. Dans ce contexte, il est difficile de préciser de manière simple et claire les relations entre les paramètres biomécaniques et le résultat ; nous avons utilisé l'analyse factorielle afin d'apporter plus de précision concernant les paramètres clé (variables continus) et les configurations spécifiques (variables nominales) ayant une influence sur le résultat final des traitements chirurgicaux sur la rachis lombaire.

i. Analyse factorielle discriminante

Pour le premier cas de figure, l'analyse factorielle discriminante (AFD) permet de tester dans quelle mesure des combinaisons (polynômes) de paramètres biomécaniques quantitatifs peuvent décrire une variable qualitative à signification de critère : le résultat. Dans notre analyse cette variable est regardée successivement sous différents angles : clinique, mécanique et de la satisfaction du patient. Toutefois, nous ne pouvons pas exposer dans ce document l'ensemble des analyses effectuées (cela rendra la lecture très difficile), donc notre présentation concernera les exemples les plus éloquentes pour chaque variable résultat (plus de détails seront disponibles systématiquement en Annexe 3.3).

A. AFD-résultat clinique :

A travers plusieurs modèles plus ou moins précis, notre analyse montre une certaine influence des paramètres biomécaniques sur le résultat clinique final à deux moments dans le temps : en préopératoire et à court terme.

i) Préopératoire

Les valeurs des principaux paramètres biomécaniques permettent, à travers cette analyse discriminante, d'associer des tableaux préopératoires spécifiques aux bons et moins bons résultats cliniques (Tableau 51).

Tableau 51 : AFD : paramètres biomécaniques préopératoires et résultat clinique

Classe \ Variable	Cyphose	Lordose	GT9	IG	PS	VP	IP	TLPL	alpha	% de bien classés
1 BON	- 37,1	58,5	- 9,2	1,4	42,5	19,4	61,6	84,5	- 69,6	95%
2 MOYEN	- 32,5	56,9	- 8,7	1,5	42,7	22,6	65,3	79,9	- 70,1	13%
3 MAUVAIS	- 30,1	48,2	- 8,0	- 1,4	35,2	17,9	53,1	82,0	- 59,5	38%
Précision globale du modèle 70,1%.										

Toutefois, les valeurs ci-dessous ne sont pas des seuils absolus pour la prédiction des résultats bons, moyens et mauvais, les résultats théoriques prédits par le modèle concordant avec les résultats réels en 95%, 13% et 38% des cas, respectivement.

Ce fait est reflété par une certaine superposition des graphes correspondant à ces résultats, malgré des barycentres bien différents (Figure 96) et s'explique par l'influence d'autres paramètres que ceux de la posture sur le résultat.

Ainsi, trois cas de résultat clinique « bon » ont été classés en tant que moyen (2) ou mauvais (1) par le modèle, selon

les valeurs des paramètres biomécaniques qui correspondaient à ces cas de figure. Ces patients présentaient toutefois un bon équilibre sagittal et une fusion solide, associés à des bons taux de satisfaction, pouvant expliquer l'état global de santé perçue (bon) traduit par le score et le résultat clinique final.

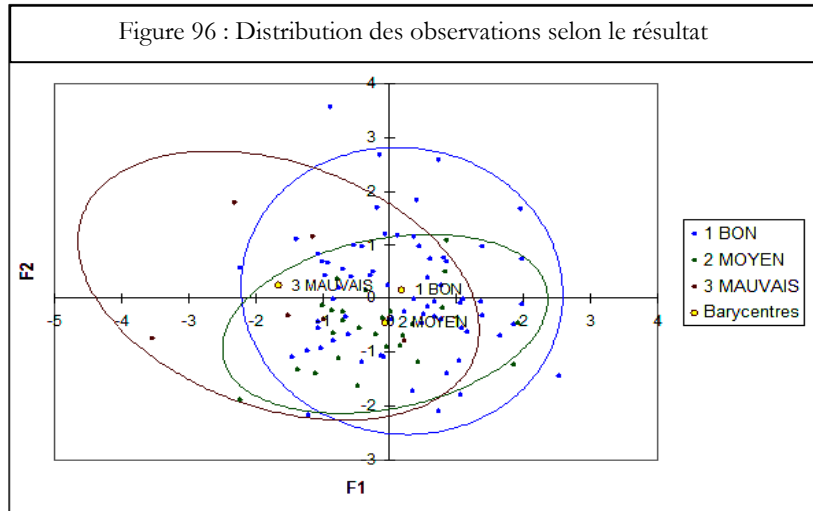
A l'opposé, les cas non-concordants de résultats cliniques moyens (77) et mauvais (17), classés en tant que bons par le même modèle, sont expliqués en partie par l'apparition des complications neurologiques ou générales, qui ne peuvent pas être détectés par les paramètres biomécaniques mesurés sur les clichés.

Dans ce contexte, d'autres analyses ont montré que le nombre de paramètres systématiquement (100% bien classés) associés à des bons résultats cliniques pouvait être réduit à trois : cyphose T4T12, gîte de T9 (GT9) et version pelvienne (VP), dont les valeurs moyennes de 37°, 9° et 19° semblent associées à des bons résultats tandis que des valeurs de 30°, 8° et 18° concordent avec des résultats mauvais pour 10% des cas.

Exemples de problèmes de classification, attribuant des résultats théoriques « bon » à des patients présentant des résultats cliniques réels moyens ou mauvais :

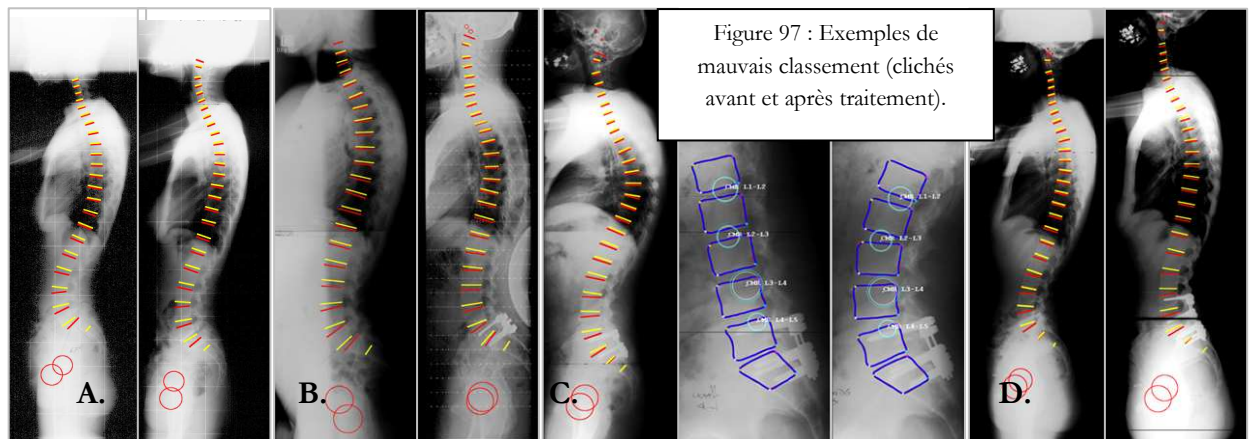
- malgré un tableau biomécanique normal, une patiente présente toujours des douleurs au niveau du site donneur de la greffe (crête iliaque), ce qui influence son résultat clinique réel (moyen) ;
- deux jeunes patientes ayant repris trop vite le sport présentent une éventration (Figure 97 a) ou des douleurs résiduelles liées à une pseudarthrose, ce qui génère des limitations

Figure 96 : Distribution des observations selon le résultat



fonctionnelles et un moindre résultat clinique,

- un patient dont le tableau préopératoire est parfait présentera ultérieurement des complications mécaniques causées par une chute, à l'origine d'un résultat réel mauvais (Figure 97 b)
- une patiente (Figure 97 d) présentant un tableau préopératoire normal et ayant acquis une fusion solide sera classée par le score clinique en résultat mauvais en raison d'une infection et d'un lipome.



Nous tenons à mentionner également un exemple de mauvaise classification qui montre les limites du modèle : il s'agit d'un patient présentant une dégradation symptomatique de l'étage adjacent et un résultat clinique moyen, classé en tant que bon résultat par le modèle, en absence de valeurs anormales des paramètres biomécaniques pris en compte (Figure 97 c).

ii) à court terme (configuration postopératoire après traitement)

L'analyse des paramètres Cyphose (C), lordose (L), Gîte de T9 (GT9), inclinaison globale (IG), pente sacrée (PS), version pelvienne (VP) et incidence (IP) à court et moyen terme permet une détection limitée des moins bons résultats (Tableau 52), similaire à la situation décrite pour les tableaux préopératoires.

Tableau 52 : Configuration postopératoire à court terme et résultats cliniques

Classe	C	L	GT9	IG	PS	VP	IP	Classe	% de bien classés
Bon	-36,3	55,9	-9,6	0,5	40,7	18,7	59,4	Bon	96
Moyen	-32,5	55,1	-8,4	2,3	42,4	19,6	62,2	Moyen	10
Mauvais	-33,3	41,3	-9,8	0,7	29,4	22,4	53,0	Mauvais	25
Meilleures corrélations pour le résultat : lordose et pente sacrée.								Précision globale : 70 % (erreur 30%)	

B. AFD -résultat « mécanique » :

Certaines configurations biomécaniques sont associées à des tableaux cliniques favorables/défavorables, à trois moments du suivi : préopératoire, à court terme mais aussi à long terme.

i. En préopératoire :

Les trois classes des résultats mécaniques (bon, non-satisfaisant lié à une dégradation de l'étage adjacent NS DA et non-satisfaisant lié à des complications mécaniques NS CM) peuvent être décrites par une combinaison des paramètres : lordose (L), inclinaison globale (IG), pente sacrée (PS), version pelvienne (VP), incidence (IP) et indice de masse corporelle (IMC). Cette

combinaison (erreur globale 13%) associe des valeurs moyennes de ces paramètres (**Tableau 53**) à des bons résultats avec une concordance de 100% aux résultats réels, mais elle classe aussi 100% des résultats NSDA et 90% des NSCM en tant que bons.

Tableau 53 : AFD : paramètres préopératoires et résultats mécaniques

Classe	L	IG	PS	VP	IP	IMC	% de bien classés
Bon	58	1	42	20	61	25	100
NS DA	59	2	44	21	65	27	0
NS CM	50	2	41	21	61	27	10

La distribution des observations (Annexe 3.3) met en évidence une certaine superposition des classes de résultats, malgré

des barycentres distincts.

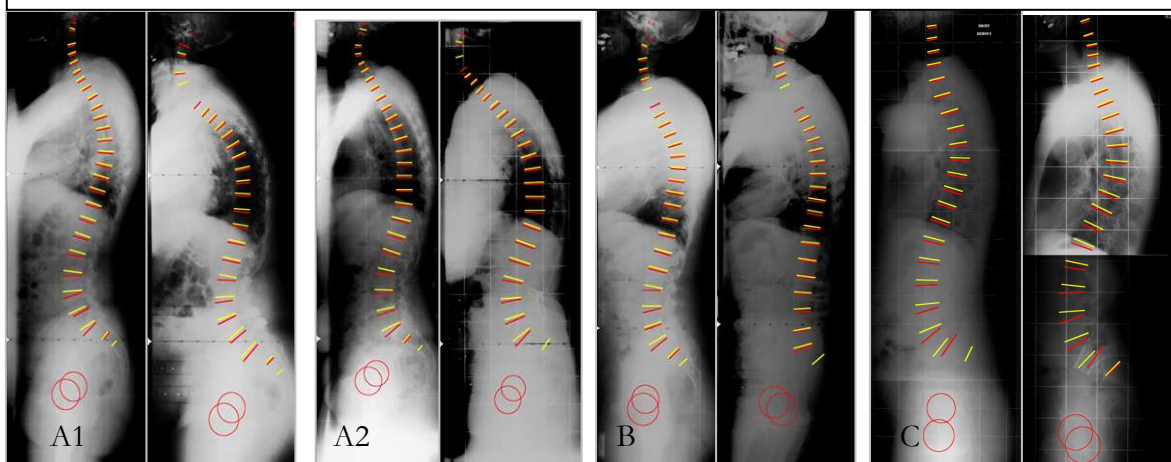
Nous présentons quelques exemples de discordances de classement :

« NS DA → bon » : homme, 47 ans, IMC 28, dégradation de l'étage adjacent mais fusion solide et paramètres biomécaniques normaux (**Figure 97 c**).

« NS CM → bon » :

- deux patientes de 60 ans (IMC 26 et 28) présentant une fusion solide et un bon taux de satisfaction, en accord avec le résultat clinique bon (**Figure 98 A1 & A2**)
- patient de 60 ans, IMC 30, présentant une perte de correction et ultérieurement de la

Figure 98 : Exemples de mauvais classement NS CM → bon (clichés avant et après traitement).



lordose lombaire, résultat clinique moyen mais bon taux de satisfaction (**Figure 98 b**)

- patient, 38 ans, IMC 20, présentant une fracture de vis et pseudarthrose sans déséquilibre et bon résultat clinique (**Figure 98 c**).

Ce modèle peut être simplifié, prenant en compte uniquement la lordose, l'inclinaison globale, la version pelvienne et l'IMC, combinaison pour laquelle l'erreur du modèle devient 12,77% (toutefois, il classe correctement 86% des résultats bons, 5% des NS DA et 9 % des NS CM).

ii. A court terme, une combinaison de cyphose, pente sacrée et alpha détecte 100% des bons résultats, avec une erreur globale du modèle de 14%.

Classe \ Variable	Cyphose	Pente sacrée	Alpha
BON	-35	39	-67
NS DA	-39	40	-70
NS CM	-36	50	-70

Tableau 54 : AFD : configurations à court terme et résultats mécaniques.

iii. A long terme (dernier recul), les valeurs des paramètres inclinaison globale et gîte de T9 sont associés à des tableaux de résultats favorables avec une précision de 100% mais elles ne décèlent pas les situations défavorables, l'erreur globale du modèle étant de 16% (précision globale : 84%).

Tableau 55 : AFD : configurations à long terme et résultats mécaniques.

Classe \ Variable	GT9	IG
BON	-9,4	0,8
NS DA	-9,6	1,1
NSCM	-8,3	2,1

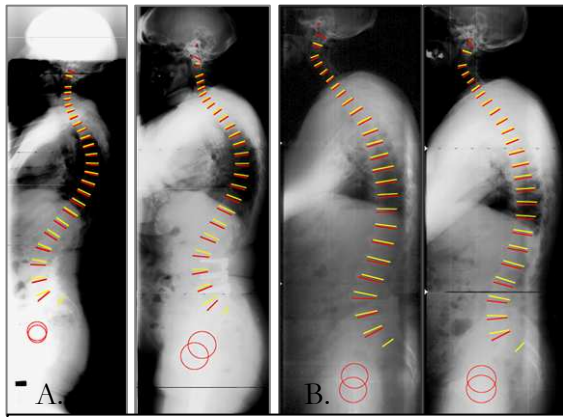


Figure 99 : Exemples de mauvais classement NS CM → bon selon la gîte de T9 et l'inclinaison globale (clichés préop. et à long terme).

Ce manque de détection des moins bons résultats est observé en particulier chez des patients âgés, associant le déséquilibre au processus de vieillissement physiologique. Nous présentons l'exemple d'une patiente, 75 ans, IMC 28, présentant une complication mécanique (fracture de tige) mais ayant finalement acquis une fusion solide et satisfaite par son traitement (Figure 99 a) et celui d'un patient, 73 ans, IMC 28, complications mécaniques (fracture de 2 vis sacrées) et pseudarthrose mais résultat clinique moyen et satisfait par son traitement (Figure 99 b).

Nous observons que aucun de ces modèles ne semble détecter de manière satisfaisante la classe correspondant à la dégénérescence adjacente DA, dont le barycentre est très proche sur les projections des observations de celui des bons résultats. Par conséquent, nous avons essayé une prédiction du résultat exprimé en tant que satisfaisant (réunissant les classes bon et DA) et non-satisfaisant (NS- lié à des complications mécaniques).

Dans ce cadre, les valeurs préopératoires (Tableau 56) des paramètres IMC, lordose (L), inclinaison globale (IG), pente sacrée (PS), version pelvienne (VP) et incidence (IP) signent le même taux de concordance résultats prédits- résultats réels que dans la précédente analyse.

Classe	IMC	L	IG	PS	VP	IP	% de bien classés	Précision globale 92,19% : erreur 7,81%.
1 RM Sat	25	58	1,1	42	20	62	100	
2 RM Non-sat	27	49	2,2	41	21	61	9	

Tableau 56 : AFD : configurations préopératoires et résultats mécaniques simplifiés.

Cependant, les mêmes résultats peuvent être obtenus à partir des valeurs de **lordose, inclinaison globale, version pelvienne et IMC**.

Parmi les 91% des résultats non-satisfaisants classés en tant que bons par le modèle basé sur les paramètres ci-dessus, on remarque des patients présentant des fractures de matériel qui aboutissent quand-même à une fusion solide et bon taux de satisfaction (surtout entre 20-30 ans Figure 97) ou des patients présentant une géométrie et cinématique des niveaux adjacents normales, en dépit d'une fracture de vis et pseudarthrose (Figure 100 ci-contre).

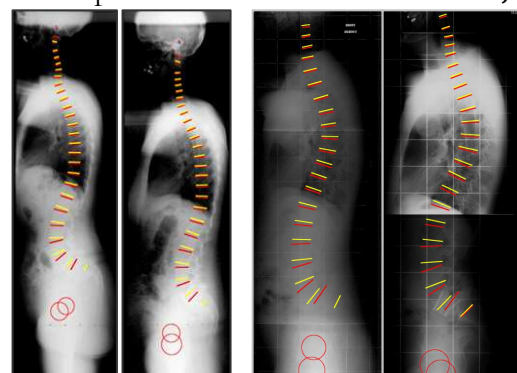


Figure 100 : Exemples de patients présentant des complications mécaniques mais une géométrie rachidienne normale.

C. Par rapport à la satisfaction du patient.

La combinaison des paramètres préopératoires lordose (L), pente sacrée (PS), inclinaison globale (IG), et surtout TLPL (corrélé avec la cyphose) semble discriminer entre des résultats bons (S, 100% concordance prédits-réels) et non-satisfaisants (NS, concordance pour 13%).

Tableau 57 : AFD : configurations préopératoires et satisfaction du patient.

Classe	L	IG	PS	TLPL	% de bien classés	Précision globale 90%.
Sat	58	-0,1	42	84	100	
Non-sat	52	1,4	41	78	13	

87% des patients présentant de faibles taux de satisfaction ont été classé en tant que bon résultat selon ces paramètres, l'explication consistant dans l'association de valeurs normales pour les paramètres calculés à partir de radiographies en posture sagittale et des complications générales (infections, lipome, éventration) ou des anomalies de cinématique lombaire ± pseudarthroses. Une troisième situation est celle de jeunes patients ayant espéré une reprise rapide et totale des activités sportives après traitement, donc les limitations fonctionnelles et la dépression associée se ressentent sur le taux de satisfaction, sans explication biomécanique.

En conclusion, l'analyse factorielle discriminante met en évidence certaines combinaisons de paramètres biomécaniques associés, pour certaines valeurs moyennes préopératoires et/ou à court terme, à des bons résultats. Toutefois, malgré des barycentres bien distincts des observations, on observe une certaine superposition des résultats, rendant difficile la détection des tableaux cliniques défavorables.

Analyse des correspondances multiples (ACM)

Etant donné que notre population concerne plusieurs pathologies, de configurations mécaniques très différentes, ainsi qu'au moins 4 types de traitement chirurgical, il semblerait qu'une analyse tenant compte de ces configurations est plus appropriée pour détecter les variables en relation avec le résultat global (le traitement est ignoré volontairement car il n'est pas mis en cause dans notre étude).

Cette analyse est possible utilisant l'ACM, qui met en évidence une série de relations intéressantes entre les configurations préopératoires (cfig p0) et au dernier recul (cfig dr) des patients et les variables résultat. Comme nous l'avons expliqué dans la méthodologie de cette étude, les configurations sont déterminées par les valeurs des paramètres biomécaniques comparées aux plages de normalité, qui permettent un classement comme n = normale (si toutes les valeurs sont dans des intervalles de normalité), ou bien anormale désignée par une lettre correspondant au paramètre présentant des valeurs anormales (p=pelvien, l=lordose, c=cyphose, e = déséquilibre (IG anormale), dp = dos plat(cyphose, lordose et pente sacrée faibles)) ou une combinaison de ces lettres).

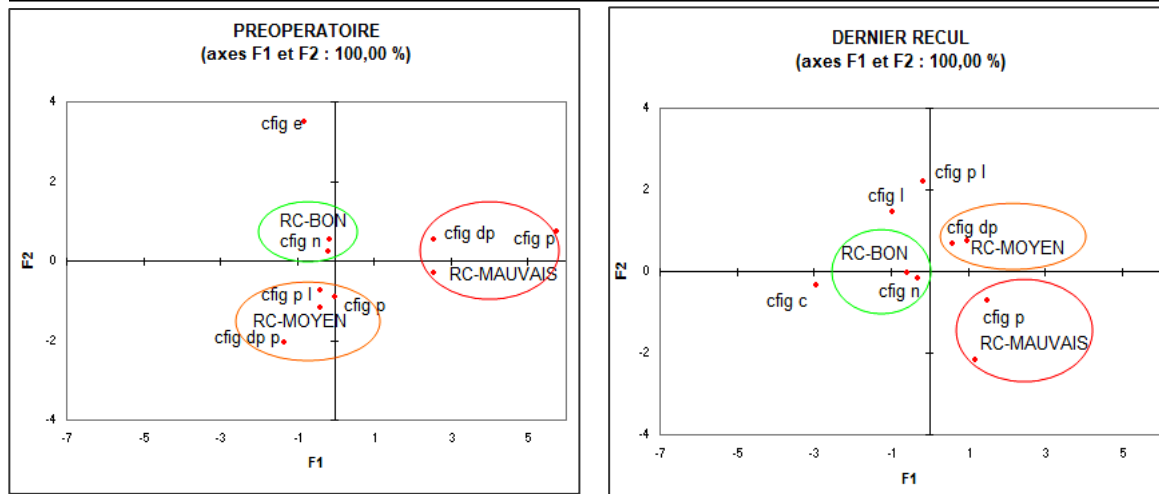
A. Résultats cliniques et configurations des patients

Pour les valeurs des paramètres calculées *en préopératoire* (**Figure 101**) on remarque une association entre configurations normales et bons résultats, tandis que les valeurs anormales des paramètres pelviens et le syndrome du dos plat semblent liés à des résultats moins satisfaisants.

Cette association est confirmée par les valeurs calculées *au dernier recul* (**Figure 101**), quand les résultats moyens sont associés plus fortement au syndrome du dos plat et ceux mauvais aux

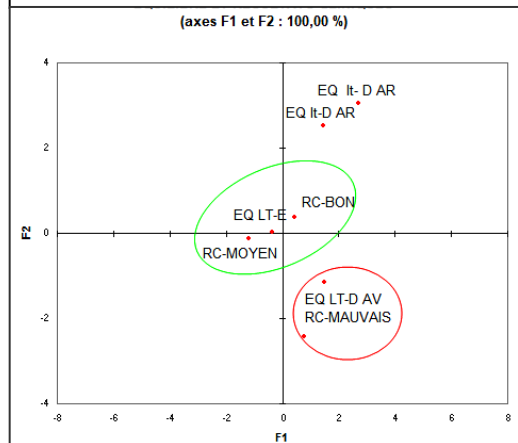
valeurs anormales des paramètres pelviens.

Figure 101 : Relations entre les résultats cliniques (RC bon, moyen et mauvais) et les configurations biomécaniques en préopératoire (gauche) et au dernier recul (droite).



Une relation particulière (Figure 102) unit les résultats cliniques et l'équilibre postopératoire (à long terme), définit à travers la normalité des paramètres inclinaison globale et GT9 : on note l'association des mauvais résultats avec un déséquilibre vers l'avant et celle des résultats bons et moyens avec une configuration équilibrée.

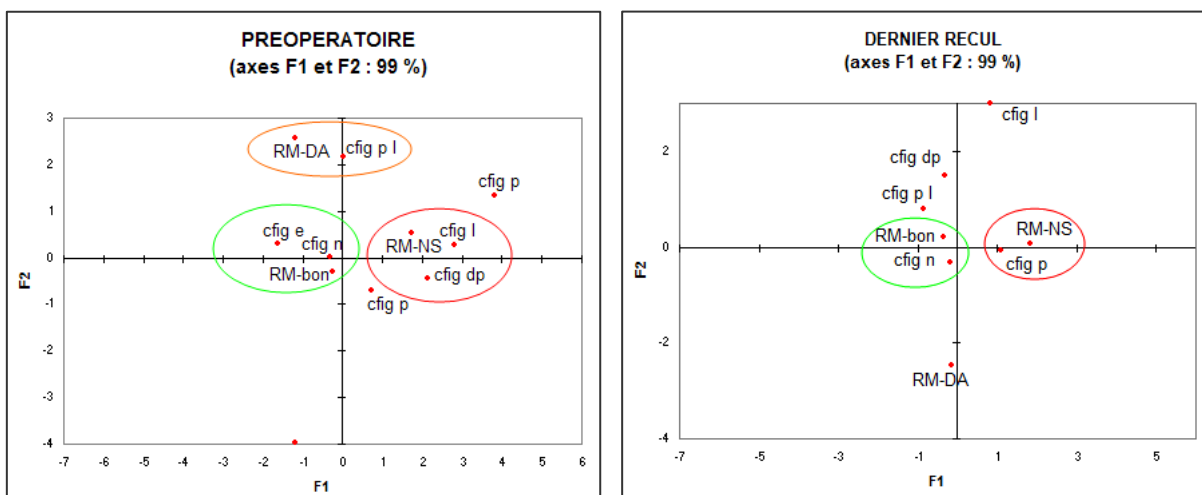
Figure 102 : Relations entre équilibre (long terme) et résultats cliniques.



B. Résultats mécaniques et configurations des patients

A travers cette analyse (Figure 103), nous retrouvons l'association logique configuration normale- bon résultat mais aussi deux autres situations spécifiques :

Figure 103 : Relations entre les résultats mécaniques RM (bon, Da et NS) et les configurations biomécaniques en préopératoire (gauche) et au dernier recul (droite).



- la dégénérescence symptomatique du niveau adjacent semble associée à une configuration préopératoire caractérisée par des valeurs anormales des paramètres pelviens et de la lordose.
- des valeurs préopératoires anormales de la lordose et le syndrome du dos plat semblent associées à des résultats non-satisfaisants ; au dernier recul les résultats non-satisfaisants sont associés aux valeurs anormales des paramètres pelviens.

Comme pour la précédente classe de résultats, l'équilibre (Figure 104) est associé aux bons résultats, sans laisser transparaître une relation directe avec les résultats non-satisfaisants ; toutefois, on note l'association entre déséquilibre vers l'avant et dégradation symptomatique de l'étage adjacent.

C. En dehors de l'association configuration normale et équilibre – satisfaction, les spécificités des configurations biomécaniques semblent avoir un impact moins clair sur la *satisfaction* du patient, sans doute en raison des facteurs psychosociaux qui modulent cette relation.

D. Toutefois, une analyse croisée *des paramètres cinématiques et variables résultat* (Figure 105) montre une concordance entre ces derniers, ainsi qu'une relation entre satisfaction et mobilité préopératoire normale pour niveaux adjacents au segment traité. De plus, cette analyse met en évidence un lien entre la dégradation de l'étage adjacent (symptomatique) et des mobilités préopératoires de ces niveaux d'amplitude normale mais caractérisés systématiquement par des centres moyens de rotation anormaux.

L'ACM met également en évidence une relation entre fusion (Figure 106) et résultat clinique et mécanique, ainsi que des facteurs généraux qui peuvent influencer l'apparition d'une dégradation des étages adjacents à une fusion et l'acquisition de la fusion même : il s'agit de l'âge et du poids préopératoires du patient (graphe en Annexe 3.3). Ainsi, on observe une association âge > 66 ans – pseudarthrose, poids normal- fusion solide- absence de dégradation adjacente (DA) mais surtout une relation entre âge moyen- - présence de DA- surpoids et fusion incertaine.

Figure 104 : Equilibre (long terme) et résultats mécaniques.

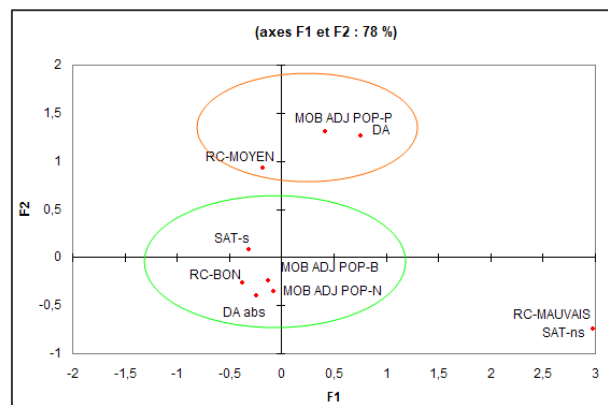
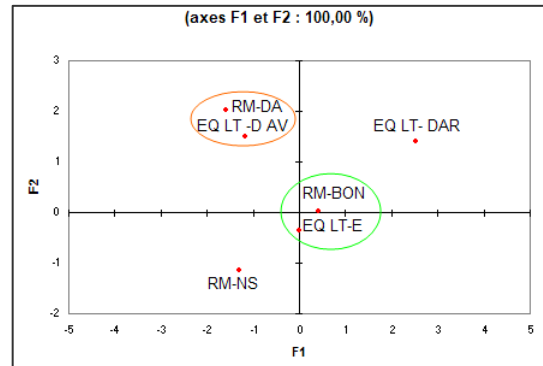


Figure 105 : Cinématique préopératoire des niveaux adjacents et résultat final (clinique et satisfaction)

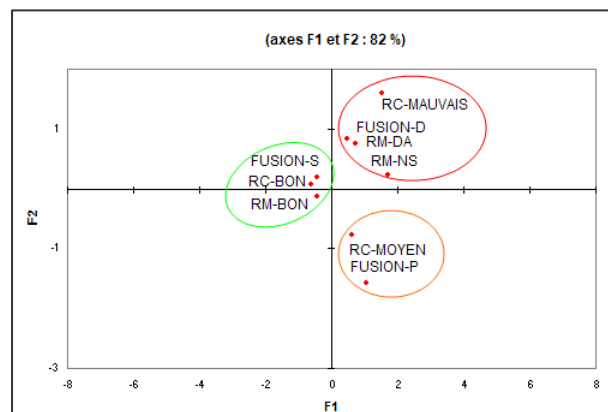


Figure 106 : Relations entre fusion et résultats cliniques (RC) ou mécaniques (RM).

8.4 Discussion

Nos précédentes études ayant permis de cerner les aspects considérés d'intérêt pour chaque pathologie et traitement, ce dernier chapitre présente une analyse in extenso, à la fois clinique et biomécanique, qui met en évidence de manière générale les relations entre les paramètres biomécaniques calculés à partir de radiographies de rachis et les résultats à long terme des principales stratégies de traitement chirurgical pour le rachis lombaire dégénératif.

8.4.1 Limites de la méthodologie

Parmi les limites de ce travail, nous devons mentionner premièrement le caractère multicentrique de notre étude, qui peut être responsable de certaines hétérogénéités liées aux indications, aux gestes chirurgicaux et à la prise en charge postopératoire des patients. Toutefois, notre étude ne met pas en cause les différents traitements et vise seulement à identifier les relations entre résultat final (à long terme) et paramètres biomécaniques, de manière très générale. Par conséquent, l'influence de ces particularités des traitements sur notre investigation est minimale ; de plus, le caractère multicentrique permet d'évaluer à une échelle globale les résultats des traitements les plus utilisés en France pour les pathologies concernées par notre étude.

Ensuite, le caractère rétrospectif de nos analyses génère un certain nombre de limitations concernant la disponibilité et le type d'examen effectués (type de clichés, scores cliniques etc.). Toutefois, pour investiguer les relations entre les paramètres biomécaniques et le résultat à long terme, nous ne pouvions pas mettre en place une étude prospective avec un recul suffisant pour que cette analyse soit significative. Nous avons donc évalué l'existant en procédant à une périodisation du suivi afin de minimiser les données manquantes.

8.4.2 Synthèse des principaux résultats

Il est difficile de discuter ou d'interpréter l'ensemble de données issues de cette analyse globale ; avant toute discussion, nous souhaitons tracer une image de synthèse pour les principaux résultats caractérisant la population analysée.

Tout d'abord, la faible concordance entre les différentes classes de résultats (cliniques, mécaniques, satisfaction) montre que leur évaluation ne peut pas être uni-factorielle (douleur, fonction, complications ou satisfaction) et d'autant moins subjective.

L'analyse quantitative des paramètres biomécaniques à partir de radiographies de rachis révèle un certain nombre de configurations spécifiques liées à la pathologie initiale, difficilement comparables aux configurations de sujets asymptomatiques. Après traitement ces spécificités peuvent diminuer, de manière durable ou temporaire, mais elles peuvent aussi s'accroître ; cette évolution est reflétée par des variations statistiquement significatives des paramètres (lordose, inclinaison globale, pente sacrée, version pelvienne), mais ne donne aucune information relative au résultat final du traitement.

Dans ce contexte, les différentes méthodes d'analyse statistique utilisées (descriptive et comparative, de corrélations, factorielle discriminante et des correspondances multiples) permettent de mettre en évidence certains tableaux cliniques et configurations biomécaniques systématiquement associés aux bons résultats et d'autres moins favorables que nous présentons synthétiquement dans la suite.

A partir des distributions des paramètres biomécaniques selon les différentes classes de résultats, l'analyse descriptive et comparative identifie un certain nombre de paramètres discriminants (dont nous

avons retenu uniquement les paramètres présentant une taille de l'effet significative, c.à.d un pourcentage de non superposabilité $> 33\%$ (Cohen '88). Le **Tableau 58** présente les principaux résultats de cette analyse pour les paramètres calculés à partir de radiographies en posture sagittale.

Tableau 58 : Paramètres présentant des distributions significativement différentes selon les classes de résultats

Résultats (classe)	Préopératoire	Court et moyen terme	Long terme
Cliniques	Cyphose	Neo-incidence pelvienne (art. L5S1) Neo-pente sacrée et neo-alpha (art. L4S1)	Gite de T9, inclinaison globale, version pelvienne, TLPL
Mécaniques	Cyphose	Cyphose, pente sacrée, alpha, neo-incidence (art. L5S1 et L4S1 rigide), neo-version pelvienne & neo alpha (art. L4S1 dynamique)	Gite de T9, inclinaison globale
Satisfaction	Cyphose	Cyphose, Gite de T9	Gite de T9, inclinaison globale, incidence pelvienne
Fusion	Cyphose, inclinaison globale	Cyphose, inclinaison globale	Lordose, pente sacrée, inclinaison globale

L'analyse des paramètres calculés à partir des clichés dynamiques (flexion-extension) met en évidence surtout l'importance d'une évaluation quantitative de la fusion, car les mobilités résiduelles (traduisant des cas de fusion incertaine et de pseudarthrose) des segments fixés et les anomalies de localisation des centres moyens de rotation sont associées à des résultats cliniques et mécaniques moindres et à une future dégradation des étages adjacents.

L'analyse des corrélations montre des relations entre les résultats et les paramètres cyphose, gite de T9 (GT9), inclinaison globale (IG) et pelviens, dès l'examen préopératoire. Elle montre également l'impact de la dégradation des étages adjacents (DA) sur les résultats cliniques, mécaniques et sur la fusion, ainsi que deux possibles mécanismes liés à son apparition. Le premier implique les valeurs préopératoires des paramètres cyphose et listhesis (corrélé aux paramètres GT9, IG, pente sacrée (PS) et incidence pelvienne (IP)) et l'autre la localisation préopératoire anormale des centres moyens de rotation (CMR) ; cette analyse montre également la transversalité des relations entre les paramètres posturaux et cinématiques car la localisation des CMR est corrélée à la cyphose.

Ensuite, pour les valeurs calculées à court terme, cette analyse met en évidence des relations entre :

- les résultats cliniques & la satisfaction et les paramètres cyphose, GT9, IG et TLPL
- les résultats mécaniques & la fusion et les paramètres alpha et IG
- une future DA et les paramètres pelviens PS, version pelvienne (VP) et alpha. Une relation transversale est à nouveau soulignée par la corrélation entre la mobilité susjacente et les valeurs de la cyphose et de l'inclinaison globale.

A long terme les résultats étaient corrélés aux paramètres cyphose, GT9, IG et pelviens.

L'analyse factorielle discriminante a mis en évidence des combinaisons de paramètres biomécaniques associés, pour certaines valeurs moyennes préopératoires et/ou à court terme, à des bons

résultats. Ainsi, les valeurs préopératoires des paramètres cyphose (moy 37° vs 30°), lordose (moy 58° vs 48°), IG (moy 0,1° vs 2°), GT9 (moy 9° vs 8°), VP (moy 19,4° vs 17,9°) et TLPL (84° vs 78°) étaient associées à des bons résultats et des niveaux de satisfaction à long terme. La configuration biomécanique à court terme associée à des résultats satisfaisants peut être décrite par les valeurs des paramètres cyphose (moy 36° vs 33°), lordose (moy 56° vs 41°), GT9 (moy 10° vs 8°) IG (moy 0,5° vs 2°) PS (moy 41° vs 29° pour les résultats cliniques et vs 50° pour les résultats mécaniques), VP (19° vs 23°) et IP (moy 59° vs 62°).

Toutefois, malgré des barycentres bien distincts des observations, on observe une certaine superposition des résultats, due probablement à l'influence d'autres facteurs que les paramètres biomécaniques considérés, qui rend difficile la détection des tableaux cliniques défavorables.

Dans ce contexte, l'analyse des correspondances multiples (ACM) complète nos observations, reliant directement les configurations biomécaniques aux différentes classes de résultats. Tout d'abord, elle met en évidence une relation générale entre configurations normales, équilibre et des bons résultats, selon tous les critères et à tous les examens. Ensuite, l'ACM montre certaines spécificités, reliant par exemple des résultats cliniques mauvais aux cas présentant des anomalies préopératoires des paramètres pelviens et/ où un syndrome de dos plat ; à long terme ces anomalies et le déséquilibre vers l'avant sont associés à des résultats cliniques nonsatisfaisants.

Concernant les résultats mécaniques, le risque de future DA semble lié à des valeurs préopératoires simultanément anormales des paramètres pelviens et de la lordose, tandis que les complications mécaniques sont associés à des valeurs préopératoires anormales de la lordose et surtout au syndrome de dos plat. A long terme, les résultats mécaniques nonsatisfaisants étaient principalement liés à des anomalies des paramètres pelviens, avec la mention que la dégradation adjacente était associée au déséquilibre vers l'avant.

La satisfaction était associée surtout à une cinématique préopératoire normale des niveaux adjacents à l'arthrodèse, les anomalies de localisation des CMR étant liées à des résultats moins satisfaisants et à une DA à long terme.

L'ACM de la fusion montre une association entre pseudarthrose et résultat clinique moyen et entre fusion incertaine et résultats cliniques et mécaniques (CM et DA) mauvais ; notre analyse met également en évidence des facteurs influençant la fusion, comme l'âge et le poids des patients, montrant notamment une association entre les cas de fusion incertaine, le surpoids et l'âge de 40 à 66 ans.

En conclusion, certains paramètres biomécaniques permettent, à partir de leurs valeurs préopératoires ou à court terme, d'associer la configuration biomécanique spécifique de chaque patient à un résultat potentiellement bon ou bien à un risque d'évolution défavorable, impliquant une surveillance plus soutenue de ces patients (qui tiennent compte également des composantes musculaire et psychosociale). Ces paramètres, mis en évidence par nos précédentes études et confirmés par les différents volets de l'analyse globale sont : rachidiens (cyphose, lordose, gîte de T9, inclinaison globale) pelviens (pente sacrée, version pelvienne, incidence, alpha) ou dynamiques (mobilité et centre moyen de rotation) et seront discutés dans la suite par rapport aux données de la littérature.

8.4.3 Paramètres clés pour l'évaluation des résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire

8.4.3.1 Paramètres rachidiens

Parmi les paramètres mis en évidence par nos précédentes études et par l'analyse statistique globale, quatre semblent avoir une certaine influence sur les résultats à long terme et seront discutés dans la suite.

La cyphose T4T12 :

Depuis son introduction par Stagnara^{Stagnara'82} et Bernhardt^{Bernhardt'89}, ce paramètre a été investigué par l'équipe de Duval Beaupère et al^{Legaye'93;Duval-Beaupere'92}, qui le relie, parmi d'autres variables, à l'évaluation de l'équilibre. Une étude plus récente de l'équipe de Pr Guigui^{Guigui'03} montre son rôle dans l'identification des déséquilibres d'origine thoracique, et postule le risque de créer un déséquilibre sous-jacent, toutefois à partir des valeurs calculées pour des sujets sains.

Le calcul de ce paramètre pour le rachis pathologique est mentionné dans peu d'études (hors scoliose), portant essentiellement sur la cyphose thoracique dégénérative^{Itoi'91} (caractérisée par des valeurs élevées de ce paramètre). Dans ce cadre, les conséquences d'une augmentation de la cyphose thoracique se matérialisent par la rétroversion du bassin, suivie d'une diminution de la pente sacrée et de la lordose lombaire, ce qui réduit les possibilités de compensation dans la région lombaire et lombo-sacrée. Ce mécanisme est observé également chez les patients âgés, présentant une tendance vers l'accentuation de la cyphose^{Korovessis'98}.

Nous avons observé rarement des valeurs élevées de la cyphose pour la population étudiée, souffrant essentiellement des pathologies du rachis lombaire ; en revanche, un certain nombre de patients présentait des faibles valeurs de la cyphose thoracique, correspondant à deux situations :

- syndrome du dos plat (cyphose, lordose et pente sacrée faibles)
- spondylolisthesis par lyse isthmique (SPL lyse) à grand déplacement, probablement comme mécanisme de compensation du déséquilibre vers l'avant.

Notre analyse statistique a mis en évidence l'association entre ces valeurs préopératoires faibles et des moins bons résultats, comme le rappelle le tableau suivant :

Tableau 59 : Valeurs (moyenne \pm écart- type) de la cyphose T4T12, correspondant aux différentes classes de résultats (rappel référence : $-37,3\pm 8^\circ$).

Résultat clinique	Cyphose préop	Résultat mécanique	Cyphose préop	Satisfaction	Cyphose preop	Fusion	Cyphose préop
Bon	-38 ± 11	Bon	-36 ± 12	Satisfait	-37 ± 11	Solide	-39 ± 11
Moyen	-33 ± 11	NS DA	-38 ± 5	Non-satisfait	-28 ± 9	Incertaine	-32 ± 6
Mauvais	-30 ± 8	NS CM	-31 ± 11			Pseudarthrose	-34 ± 8

Nous avons vérifié analytiquement ces résultats de l'analyse statistique, afin de leur donner une signification clinique : on constate donc que parmi les patients traités pour SPL par lyse isthmique, la plupart présentent une augmentation de la cyphose en postopératoire immédiat mais uniquement ceux qui ont atteint des valeurs normales sont satisfaits.

L'analyse est un peu plus compliquée pour les patients présentant en préopératoire un « dos plat » (15% de la population globale) : un tiers atteignent des valeurs normales en postopératoire et les autres gardent des faibles valeurs de la cyphose, lordose et pente sacrée. Pour ces deux situations,

un tiers à chaque fois présente des moins bons résultats. Pour compléter le paysage du dos plat dans notre population, il existe également des patients où le dos plat est évolutif et acquis post-traitement (11%) et où la moitié présente des résultats moins satisfaisants.

Dans les deux situations, les faibles valeurs de la cyphose traduisent un alignement non physiologique, à l'origine d'une distribution anormale des charges au niveau du rachis (bras de levier court donc concentration importante de contraintes) et de la sursollicitation de certains éléments. Etant donné que des études récentes relient douleur et distribution non-uniforme des contraintes au niveau des disques^{McNally'96}, cette géométrie particulière semble entretenir le syndrome douloureux caractéristique à cette pathologie(dos plat)^{Benzel'01}, expliquant en partie les moindres résultats cliniques de ces patients.

Un autre aspect mis en évidence par nos analyses est la synergie de variation des paramètres décrivant la géométrie sagittale, qui demande une interprétation de la cyphose dans un contexte global. Ainsi, l'évolution postopératoire de la cyphose est liée au traitement et aux mécanismes de régulation de l'équilibre, comme montré par les corrélations de ce paramètre avec la gîte de T9 et la TLPL, qui deviennent plus fortes en postopératoire(r passe de 0,5 à 0,7). De plus, tandis que les valeurs de la gîte de T9 se modifient très peu chez ces patients, on note une évolution synergique de la cyphose, de l'inclinaison globale et de la TLPL, montrant des changements de géométrie des courbures thoracique (cyphose) et lombo-pelvienne (TLPL) pour la rééquilibration du rachis entier.

La lordose L1S1

Le rôle de la lordose est discuté dans plusieurs études, certains auteurs montrant l'importance de la restitution d'une lordose physiologique dans les arthrodèses^{Roussouly'99} et supposant même que ce paramètre pourrait être à l'origine des pathologies dégénératives du rachis lombaire^{Roussouly'03}.

Une évaluation rigoureuse a été effectuée lors des études multiparamétriques des équipes de Mme Duval – Beaupère^{Legaye'93;Duval-Beaupere'92;Marty'02} et de Pr Guigui^{Guigui'03;Vialle'05;Morel'05}, qui montrent essentiellement les capacités compensatrices de ce paramètre, corrélé à la pente sacrée, et son rôle dans la régulation globale de l'équilibre. Ainsi, une anomalie pelvienne entraîne une évolution de la pente sacrée, qui sera immédiatement répercutée sur des modifications de lordose lombaire, qui vont ultérieurement influencer les autres paramètres rachidiens. Cette hypothèse est admise par beaucoup d'études, d'autant plus que les corrélations entre lordose et paramètres pelviens (surtout pente sacrée) ont été communément reconnues par des études sur sujets sains et sur spondylolisthésis.

Nous présentons sur le tableau ci-dessous les principales corrélations entre lordose et autres paramètres biomécaniques, nos résultats étant comparables à la littérature :

Tableau 60 : Corrélations entre lordose et autres paramètres biomécaniques : comparaison à la littérature.

Lordose et :	Legaye et al (sain) <small>Legaye'93;Legaye'98</small>	Marty et al ^{Marty'02} (sain/patient préop.)	Guigui et al <small>Guigui'03 (sain)</small>	Vaz et al ^{Vaz'02} (sain)	Etude (sain/patient préop.)
Cyphose	0,3	0,3 (idem Legaye)	-0,3	0,4	-0,4/ -0,3
Pente sacrée	0,85	0,8 / 0,8	0,8	0,8	0,8 / 0,9
Incidence	0,6		0,7	0,7	0,6 / 0,7
TLPL					0,5 / 0,5

Généralement, la littérature associe les valeurs élevées de la lordose à la tendance de compenser

un déséquilibre pelvien, communément rencontré dans les cas de spondylolisthesis^{Marty'02}, mais ne donne pas d'information concernant les valeurs postopératoires de la lordose et les résultats associés. Quelques études postulent une relation entre des faibles valeurs de la lordose et des moins bons résultats, expliqués par une augmentation de contraintes en cisaillement au niveau lombo-sacré L5S1^{Keller'05}, des lombalgies chroniques^{Harrison'98} ou par une tendance au déséquilibre^{Gelb'95}, sans toutefois démontrer la causalité.

Une étude de Lazennec et al^{Lazennec'00} montre la difficulté de restaurer un alignement sagittal optimal au niveau lombaire pendant une fusion lombo-sacrée, les risques étant de créer une retroversion du sacrum vertical accompagnée par une perte de lordose lombaire, qui mène à un alignement sagittal semblable à la position assise. Cette configuration du patient génère une douleur en position debout, à cause des contraintes accrues au niveau des articulations sacro-iliaques et des hanches.

Notre étude met en évidence tout d'abord une évolution de la lordose, marquée par des différences statistiquement significatives entre les différents moments du suivi, qui soulignent le rôle compensateur de ce paramètre. Ensuite, les valeurs moyennes de ce paramètre pour les différentes classes de résultats montrent des différences peu significatives (et comparables à l'erreur de mesure), à l'exception de la fusion (51° en moyenne pour la fusion solide versus 57° en moyenne pour la fusion incertaine). Ce manque de discrimination est dû à une superposition des distributions des valeurs correspondant aux différents résultats, expliqué par le fait que notre population (comme toutes les populations regroupées dans le contexte des lombalgies : « low back pain » dans la littérature) est un mélange des configurations biomécaniques, différentes entre les pathologies dégénératives communes (hernies, discopathies etc) et les cas de spondylolisthesis, ce qui réduit la signification des valeurs moyennes. Par conséquent, l'analyse détaillée des cas présentant des valeurs anormales de ce paramètre est plus appropriée ; elle montre principalement une association entre faible lordose et résultats moins satisfaisants, mais pour un échantillon réduit de la population : les patients présentant le syndrome du dos plat, où, en raison des faibles valeurs associées pour la pente sacrée, on peut supposer l'existence d'un déficit de compensation. De plus, nous pouvons attribuer la moindre satisfaction de ces patients au mécanisme suivant : la faible lordose est associée à un bras de levier court pour les muscles paraspiniaux, qui doivent développer des forces plus importantes pour maintenir la posture, générant chez le patient fatigue, douleur, limitations fonctionnelles et difficultés de maintenir la posture avec l'extension des hanches et des genoux.

La gîte de T9 et l'inclinaison globale

Ces deux paramètres ont une signification particulière dans l'évaluation de l'**équilibre**. Longtemps estimé à travers la géométrie rachidienne et pelvienne (cyphose, lordose et paramètres pelviens)^{Marnay'88; Vidal'83}, à l'aide de plateformes de force^{During'85} ou de la ligne de gravité théorique de Fick et Strasse^{Jackson'94}, cette notion a été liée à la gîte de T9 par l'équipe de Mme Duval-Beaupère, après avoir montré que l'ensemble pelvis-rachis s'organisait pour positionner en arrière des têtes fémorales le centre de gravité du segment corporel qui s'appuie sur ces structures, dans une position d'équilibre économique (maintenue avec un minimum d'effort musculaire)^{Duval-Beaupère'92; Duval-Beaupère'87}. Ces auteurs ont démontré que la ligne de projection du centre de gravité

segmentaire pouvait être substituée à la gîte de T9. Egalement, émettant l'hypothèse que l'incidence pelvienne serait un paramètre morphologique, ils ont développé une chaîne de corrélations ascendantes, liée à l'équation de régression que nous avons présenté précédemment et ayant pour but la détection des cas de déséquilibre à partir des valeurs des paramètres pelviens et rachidiens^{Legaye'93}. Cette chaîne de corrélations ascendantes entre paramètres pelviens et lordose et ensuite entre lordose et paramètres rachidiens a été confirmée par une étude ultérieure de Guigui et al^{Guigui'03}, qui mettent en évidence le fait que la résultante « équilibre sagittal » pouvait être résumée par l'interaction de trois facteurs indépendants : la cyphose, la version pelvienne et un facteur formé de lordose, pente sacrée et incidence pelvienne. Ce dernier facteur détient le rôle central dans cette analyse : à partir de l'incidence du patient, on peut estimer une valeur théorique idéale de la version pelvienne et détecter si la différence entre la valeur théorique et celle réelle montre un déséquilibre sous-pelvien. Dans le cas contraire, on estime la pente sacrée et la lordose théorique, l'analyse pouvant continuer jusqu'au calcul de la cyphose théorique, les estimations étant réalisées à partir des coefficients de corrélation entre les différents paramètres. Toutefois cette estimation est obtenue à partir de valeurs calculées pour les sujets asymptomatiques et demande un temps difficile à trouver dans les consultations. Certains auteurs ont préféré donc à chercher des indices plus simples, comme la distance entre la projection du centre de C7 et celle du centre de S1^{Gardocki'02}, sans toutefois prouver une relation entre ce paramètre et l'équilibre sagittal, d'autres utilisent une combinaison des paramètres mentionnés ci-dessus et la gîte de T9^{Wodecki'02}, mais actuellement il n'existe pas de standard pour l'évaluation de l'équilibre dans la pratique clinique.

Notre étude montre d'abord que la gîte de T9 ne varie pas significativement durant le suivi et ses valeurs anormales semblent indiquer un déséquilibre majeur déjà installé. Dans ce contexte, le paramètre inclinaison globale¹³ semble plus fiable (incertitude de mesure 0,1°, dispersion de valeurs normales : moyenne ± 2 écarts-types = $0 \pm 6^\circ$) et son évolution plus sensible pour identifier les modifications de configuration (transitoires ou persistantes) des patients dans le processus de rééquilibration. Ces observations sont appuyées par une étude de Schwab et al^{Schwab'06} axée sur l'évolution de l'équilibre au cours du vieillissement, qui met en évidence des variations de l'inclinaison globale et de la position du bassin par rapport aux talons afin de maintenir la vertèbre T9 au-dessus du polygone de sustentation du sujet.

Ainsi, sur notre population globale présentant des clichés grand-axe (n=192 à long terme, dont 125 ont tous les examens), le calcul de la gîte de T9 met en évidence 7 cas de déséquilibre majeur (3 avant et 4 après traitement) tandis que celui de l'inclinaison globale montre 39 cas qui semblent présenter un déséquilibre durant leur suivi (18 préop, le déséquilibre persistant en postop pour la moitié et 21 cas de déséquilibre acquis en postop). Au dernier recul, l'inclinaison globale du rachis met en évidence un déséquilibre dans 19% des cas (n=192), penchant vers l'avant (14%) ou vers l'arrière (5%), cette proportion avant/arrière étant similaire pour les autres examens du suivi.

Nous avons donc utilisé ce dernier paramètre afin d'identifier les situations de déséquilibre rachidien durant le suivi des patients. Tout d'abord, une analyse de l'équilibre selon la pathologie

¹³ Calculée comme l'angle entre la verticale et la ligne moyenne des corps vertébraux (au sens de moindres carrés), passant par les conduits auditifs externes et le milieu de l'axe bicoxo-fémoral.

montre des taux variables au dernier recul, mais aussi un nombre important de manquants (environ 50%), sauf pour le spondylolisthesis par lyse isthmique(5%), pour lequel ce type de cliché a été effectué systématiquement. Ainsi, les taux de patients présentant un déséquilibre au dernier recul étaient, selon la pathologie : 46% des cas de séquelles de hernie discale (SHD, essentiellement pour les cas traités par ALIF), 14% des cas de discopathies associées aux sténoses (DD CLE), 18% pour le spondylolisthesis (SPL) dégénératif et 14% pour les cas de SPL par lyse isthmique. Malgré le grand nombre de manquants, qui limite l'interprétation des chiffres, il apparaît évident que des pathologies autres que SPL par lyse isthmique peuvent créer des déséquilibres. Par conséquent, il apparaît important d'effectuer un cliché grand axe en préopératoire et vers 2 ans postopératoire par exemple, surtout que les nouvelles technologies^{Dubouset⁰⁵} permettent une moindre irradiation du patient.

Ensuite, le paramètre inclinaison globale est corrélé à la gîte de T9 ($r=0,5-0,6$, $p < 0,001$) et aussi à la gîte de T1, que nous avons préféré éliminer de cette analyse globale en raison de son erreur de mesure plus importante (due à une moindre visibilité de cette vertèbre sur la radiographie). Nos précédentes études avaient mis en évidence un certain nombre de **corrélations significatives entre ces paramètres décrivant l'équilibre** (gîte de T1, gîte de T9, inclinaison globale) **et le résultat clinique**. Cette relation est confirmée pour notre calcul de l'inclinaison globale par les résultats de l'analyse des correspondances multiples (ACM), qui **associent une configuration équilibrée à des bons résultats cliniques** (Figure 102) **et mécaniques** (Figure 104) et un déséquilibre vers l'avant à des résultats cliniques mauvais (surtout dans le contexte d'un surpoids) et/ou à des dégradations symptomatiques des niveaux adjacents.

Malgré un manque de standardisation et des méthodes d'identification du déséquilibre quelquefois peu clairs ou difficile à appliquer dans l'activité clinique courante, la littérature montre l'importance d'une détection précoce surtout chez les patients âgés^{Marty⁰³}. Il est admis que les capacités lordosantes de ces patients soient diminuées, fait associé souvent à des coxarthroses, qui suppriment une éventuelle compensation au niveau des articulations coxo-fémorales. L'influence de l'âge et du poids (IMC=indice de masse corporelle) sur l'obtention de l'équilibre a été mise en évidence pour notre population par ACM, associant de manière significative un déséquilibre vers l'avant à une tendance au surpoids pour les patients âgés (>66 ans), et à une moindre satisfaction chez les patients âgés de 20 à 44 ans, tandis que l'équilibre était associé à la satisfaction, surtout pour un poids normal et même pour l'âge de 44-66 ans.

En général, on observe que les patients présentant des complications mais un bon équilibre sagittal déclarent des niveaux de satisfaction supérieurs aux ceux déclarés par les patients déséquilibrés (exemples, satisfaction et bon équilibre pour 7/9 patients présentant DA., 9/15 présentant des complications générales, 18/25 cas présentant des complications mécaniques et ceci malgré un résultat fonctionnel moyen pour 11 d'entre eux). A l'opposé, un équilibre non-économique, manifesté par des variations fréquentes de l'inclinaison globale, semble lié à une future dégradation adjacente symptomatique ($r=0,5$) et une moindre satisfaction du patient. Il ne faut pas oublier dans ces situations le rôle de la composante musculaire, très sollicitée dans les cas de déséquilibre, qui pourrait être à l'origine des douleurs diffuses par fatigue musculaire ou des contractures, générant une moindre satisfaction du patient.

8.4.3.2 Paramètres pelviens

Depuis 1980, la littérature donne une importance particulière à la relation entre rachis et son socle pelvien, annoncée par Dubouset et al.^{Dubouset'98}, qui appelle le bassin vertèbre pelvienne, et évaluée par Stagnara^{Stagnara'82} et During^{During'85}, qui montrent la relation entre lordose lombaire et paramètres pelviens. Nous devons aux travaux de l'équipe de Mme Duval-Beaupère^{Legaye'93;Legaye'98} la définition des paramètres pelviens calculés aujourd'hui et l'évaluation de leur rôle dans la régulation de l'équilibre, qui met en évidence surtout l'incidence pelvienne^{Boulay'06}. Comme nous avons mentionné dans le précédent sous-chapitre, ces travaux donnent un rôle central à ce paramètre, qui est supposé réguler l'équilibre grâce à l'adaptation mutuelle de la version pelvienne et des paramètres rachidiens afin d'assurer une configuration « économique ». Cette hypothèse a été confirmée ultérieurement par les études sur des sujets asymptomatiques de l'équipe de Guigui et al.^{Guigui'03}.

Quant aux applications de ces paramètres à la pathologie rachidienne, les études de la littérature évaluent particulièrement les configurations des patients souffrant de spondylolisthesis, mettant en évidence des valeurs élevées pour la lordose et les paramètres pelviens^{Marty'02;Hanson'02a}. L'explication serait le fait qu'une incidence élevée, caractéristique à cette pathologie, entraîne une augmentation des valeurs de la version pelvienne et de la pente sacrée, imposant ultérieurement une hyper-lordose d'adaptation. Une étude de Jackson et al.^{Jackson'00b} montre, en plus de ces particularités des paramètres pelviens dans le spondylolisthesis, un déséquilibre antérieur des patients par comparaison des valeurs de la plumbligne de C7 en comparaison des sujets asymptomatiques.

Nos études sont en accord avec ces caractéristiques, avec l'observation que : pour les spondylolisthesis de grade > 2, si la forte incidence pelvienne est compensée par une augmentation de l'inclinaison du sacrum (pente sacrée) mais sans augmentation significative de la version pelvienne, les patients se retrouvent rapidement en déséquilibre antérieur.

L'âge semble avoir une certaine influence sur les valeurs des paramètres pente sacrée et incidence, comme montré par notre analyse, qui identifie une corrélation faible ($r=0,3$) mais significative. Cette observation est en accord avec les résultats de Legaye^{Legaye'98} et Guigui^{Guigui'03}, et pourrait être expliquée de la manière suivante. En situation normale, la valeur de l'incidence est susceptible de connaître des très légères variations en raison de l'existence d'une certaine mobilité sacro-iliaque, qui reste très faible par rapport aux mobilités des articulations coxo-fémorales ou L5S1. Décrits pour la première fois en 1851 par Zaglas et par Duncan en 1854^{Mangione'97}, ces faibles mouvements se produisent lors des activités courantes. Sturesson^{Sturesson'89} (1989) a montré que lors du passage du décubitus dorsal à la position assise ou debout se produit une nutation de 1-2°, alors qu'en hyperextension de la hanche il y a une contra-nutation de 2-3°. La translation est faible, de l'ordre de 0,5mm. Son étude stéréoradiographique du bassin sur 25 sujets souffrant des douleurs sacro-iliaques montre une amplitude moyenne de rotation de 2,5° (0,2-3,2°) dans les sacro-iliaques. Cette faible mobilité est confirmée par une étude sur sujets asymptomatiques de Kissling^{Kissling'97} (1997) qui montre des valeurs moyennes de 1,8° chez l'homme et de 2,9° chez la femme. Après traitement chirurgical, les mécanismes de compensation qui se mettent en place sont susceptibles de modifier les valeurs de cette mobilité sacro-iliaque, comme observé par Templier et al.^{Templier'98b} à travers des faibles variations de l'incidence pelvienne dans le suivi des patients traités pour lombalgies. Une étude récente de Skalli, Dubouset et al.^{Skalli'06} met en

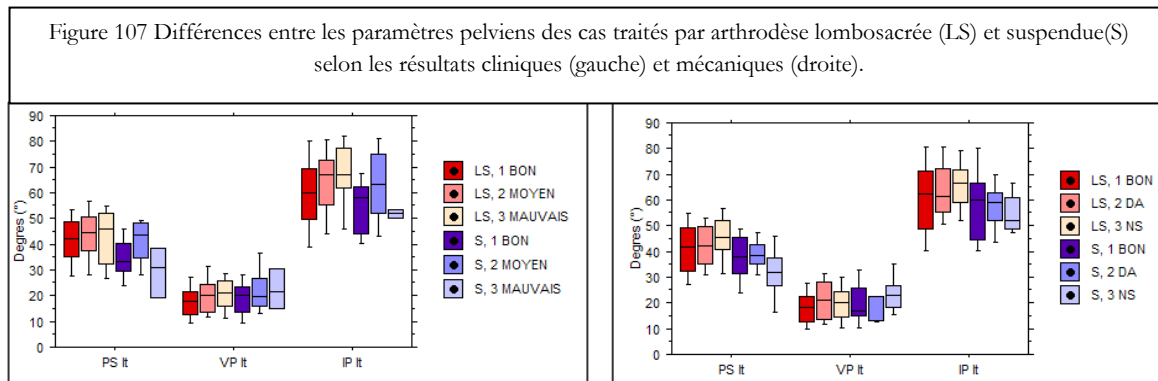
évidence des variations de supérieures à 5° dans l'évolution postopératoire de l'incidence pelvienne chez des sujets traités pour une scoliose idiopathique. Nous avons également mis en évidence dans certains cas des variations de l'incidence pelvienne : considérées significatives (>4°) pour 56/319 patients, la moyenne étant de 8±4°. Elles semblent toucher en égale mesure les deux sexes (56% des femmes, 44% des hommes) et sont observées surtout chez les patients souffrant de spondylolisthesis, en particulier celui par lyse isthmique de grade >2 (dans 41% des cas versus 18-20% pour les autres pathologies). Ces variations ne semblent pas avoir d'influence significative sur le résultat clinique du traitement ou sur la satisfaction (par exemple, 87% des patients présentant ces variations versus 82% ayant une incidence constante sont satisfaits par leur traitement), à l'exception des patients ayant une lordose fixée dans une configuration d'équilibre non-économique. Dans ces situations, les mécanismes de régulation de l'équilibre entraînent des variations de l'inclinaison globale mais aussi des faibles variations d'incidence pelvienne (ou les deux) à plusieurs examens. Etant donné que les patients ayant une lordose fixée rigidement peuvent difficilement varier cette courbure et leur inclinaison globale, pour se rééquilibrer, ils sont obligés de varier leur version pelvienne, qui augmente pour compenser une forte incidence ; si ce mécanisme est insuffisant, la pente sacrée augmentera mais aussi les efforts en cisaillement postéro-antérieur. Plus encore, dans la situation particulière des arthrodèses lombo-sacrées, ou à la fois la lordose et la pente sacrée sont fixées, le sujet sera amené à varier son incidence par une mobilité sacro-iliaque^{Skalli'07} afin de compenser les anomalies pelviennes et tendre vers un équilibre économique. Dans ce contexte, notre analyse montre que le taux de dégradation des étages adjacents (21%) et de complications mécaniques (23%) des patients présentant une variation de l'incidence pelvienne seule était supérieur à ceux observés chez les patients ou ces variations étaient associées à des variations de l'inclinaison globale (respectivement 10 et 5%).

La relation entre résultats et paramètres pelviens n'apparaît pas de manière explicite dans la littérature ; pour notre population l'analyse de correspondances multiples associe des valeurs anormales des paramètres pelviens à des moins bons résultats cliniques et mécaniques. L'analyse factorielle relie des mauvais résultats cliniques à des faibles valeurs de la pente sacrée (préopératoire moy 35 vs 43° et court terme moy 29 vs 41°) et de l'alpha (préopératoire moy 60 vs 70°) mais aussi à des valeurs élevées de la version pelvienne à court terme (moy 22 vs 18°).

Les résultats cliniques moyens sont associés à des valeurs élevées des paramètres incidence (préopératoire et court terme moy 65 vs 61°) et version pelvienne (préop. moy 23 vs 19°). Par rapport aux résultats mécaniques, nos analyses associent des valeurs préopératoires élevées l'incidence (moy 65 vs 61°) et en moindre mesure de la pente sacrée (moy 44 vs 40°) à un risque de dégradation de l'étage adjacent et des valeurs élevées à court terme de la pente sacrée (moy 50 vs 39°) et de l'alpha au risque de complications mécaniques. De façon générale, les valeurs normales des paramètres pelviens (associées aux paramètres rachidiens cyphose lordose et inclinaison globale) sont liées à des résultats satisfaisants.

Toutefois, aucun des paramètres pelviens ne permet à lui seul une discrimination précise et prédictive des résultats. Les différentes configurations des patients ne peuvent pas expliquer ce manque de concordance par rapport au rôle important donné aux paramètres pelviens dans la littérature et appuyé par nos études, donc on intuit la présence d'un autre facteur qui pourrait influencer nos analyses. Par exemple, la différence majeure de géométrie lombo-sacrée entre les

arthrodèses lombo-sacrées et celles suspendues semble générer des résultats sensiblement différents entre ces deux types de configurations, comme montré par la **Figure 107** :



Ces différences sont significatives également pour la satisfaction des patients, montrant donc l'importance d'un calcul des paramètres pelviens adapté à la configuration spécifique des arthrodèses lombo-sacrées. En effet, comme expliqué dans le chapitre 7.2, le calcul classique ne reflète plus la réalité morphologique dans les cas des arthrodèses lombo-sacrées où le sacrum est remplacé par un bloc compact, formé par cette structure avec les vertèbres concernées par la fusion. Ceci a motivé le calcul et l'analyse des paramètres neo-pelviens, qui met en évidence, pour la population globale, des différences importantes entre les valeurs correspondant aux résultats bons & moyens versus mauvais ; ces différences varient mais aussi selon le type de fixation (L5S1 ou L4S1) et l'instrumentation utilisée. Ainsi, pour les arthrodèses L5S1 (toutes instrumentations), les distributions de la neo-incidence pelvienne correspondant aux résultats satisfaisants versus non-satisfaisants sont significativement différentes selon les critères cliniques et mécaniques. Cette différence des distributions est observée dans les arthrodèses L4S1, selon les résultats cliniques, pour les paramètres neo-pente sacrée et neo-alpha et selon les résultats mécaniques pour les paramètres neo-incidence *si instrumentation rigide* et pour la neo-version pelvienne et le neo-alpha *si instrumentation dynamique*.

Les différences dépendantes du type d'instrumentation dans les arthrodèses L4S1 semblent liées d'un côté à la géométrie particulière du segment fusionné, qui connaît une grande variabilité selon la pathologie (SPL versus discopathies communes), et de l'autre aux différentes rigidités des implants, qui modifient la distribution de charges et influencent de manière différente le remodelage osseux.

L'analyse des paramètres neo-pelviens montre également le problème du référentiel car les valeurs de ces paramètres calculées à partir des configurations de sujets asymptomatiques ne sont pas toujours superposables à celles obtenues pour les patients ayant un bon résultat mécanique & clinique, une différence significative étant observée surtout pour les fusions L4S1 et postero-latérales/ PLIF instrumentées avec du matériel d'ostéosynthèse rigide (cette différence était moindre pour l'instrumentation dynamique et non-significative pour l'ALIF). Ces différences sont expliquées partiellement par le fait que la fixation des deux derniers segments mobiles lombaires est plus pénalisante pour les mécanismes de compensation des anomalies pelviennes, surtout si la fixation est rigide.

Aux vues de ces résultats, le calcul des paramètres neo-pelviens pourrait s'avérer intéressant dans l'évaluation des résultats des arthrodèses lombo-sacrées, à condition de disposer de valeurs de

référence ; en attente de futures études, nous proposons les valeurs obtenues sur des configuration asymptomatiques, ainsi que celles correspondant à des bons et respectivement mauvais résultats pour les principaux paramètres neo-pelviens, selon le type d'instrumentation, présentées en Annexe 3.1.F.

8.4.3.3 Paramètres dynamiques

L'évaluation des paramètres calculés à partir de clichés dynamiques lombaires (mobilités intervertébrales MI et centre moyens de rotation CMR) a permis l'investigation des résultats selon deux grands axes : l'évaluation de la fusion comme condition nécessaire à la stabilisation en arthrodeuse et la cinématique des étages non-fusionnés.

i) L'évaluation de la fusion

Notre analyse bibliographique a montré que la littérature donne une importante place à la fusion durant les dernières décennies ; toutefois, un certain nombre de complications liées à l'arthrodeuse, notamment la pseudarthrose, ainsi que l'explosion des instrumentations a mené à la question : « est-ce que ces dispositifs peuvent améliorer le taux de fusion et le résultat **à long terme** du patient ? ». Pour répondre à cette question, Fischgrund et al^{Fischgrund'97} ont évalué 77 patients, traités par décompression et arthrodeuse seule ou instrumentée, avec un recul de 2 ans ; les résultats, en accord avec la littérature, montraient que l'ajout de l'instrumentation améliorait le taux de fusion (83% versus 45%), sans toutefois influencer significativement le résultat clinique (satisfaisant dans 76% des cas de fusion instrumentée et dans 85% pour la fusion non-instrumentée). Une partie (47) de ces patients, avec une arthrodeuse non-instrumentée, a été étudiée à plus long terme (en moyenne 7,7 ans) par Kornblum et al^{Kornblum'04}, qui observent des résultats cliniques bon et excellents pour 86% des patients ayant acquis une fusion solide mais uniquement pour 56% des patients ayant une pseudarthrose. La lombalgie et la radiculalgie étant significativement différentes entre ces deux groupes, la fusion semble associée à une meilleure amélioration de la douleur et des limitations fonctionnelles. L'étude montre ainsi le bénéfice à long terme d'une fusion solide sur la pseudarthrose par rapport aux études précédentes, qui n'indiquaient pas de différence significative entre les 2 groupes à court terme. Les auteurs de ces deux dernières études, combinant leurs observations durant 20 ans, ont conclu que l'arthrodeuse était bénéfique pour les patients et que la pseudarthrose (« union fibreuse ») pouvait être associée à des résultats satisfaisants à court terme mais le long terme de ces patients se dépréciait.

Ces conclusions sont en accord avec nos résultats : le **Tableau 42** (présenté au début de notre analyse statistique) montre que la fusion incertaine et les cas de pseudarthrose sont associés à long terme à un taux plus important de complications et de résultats non-satisfaisants. Malgré une large discussion des complications associées aux arthrodeses^{Deyo'93;Guigui'02a;Guigui'04;Nohara'04} (surtout avec instrumentation rigide), la littérature donne peu d'informations quant à l'évaluation quantifiée de la fusion^{McAfee'01} et propose une valeur-seuil de mobilité résiduelle de 5° (FDA) pour les pseudarthroses, dépendante surtout des faibles précisions de mesure disponibles en activité clinique courante. Bien que des auteurs considèrent une mobilité de 1 à 3° possible dans une masse osseuse fusionnée (« springiness »^{Lehmann'81}), il n'y a pas de consensus dans la littérature^{McAfee'01} concernant les valeurs seuil de diagnostic de la non-union(pseudarthrose) : certains considérant ce seuil à 2°^{Ozdebleck'93} mais sans quantifier l'erreur de mesure et demandant

l'association des radiographies dynamiques à un examen CT, trop invasif pour le patient (irradiation). Cette erreur est évaluée par Panjabi et al à $2,6^\circ$, ce qui ramène le seuil à $5,2^\circ$ en accord avec la valeur proposée par la FDA pour le diagnostic des pseudarthroses.

Grâce à une précision de mesure de $\pm 2^\circ$, notre analyse a permis de quantifier de manière fiable les mobilités résiduelles des segments instrumentés, mettant en évidence, en dehors de cas de fusion solide (MI $< 3^\circ$) et des pseudarthroses (MI $> 5^\circ$), une classe intermédiaire de MI (3-5 $^\circ$), assignée comme fusion incertaine. Ces mobilités faibles sont toutefois cliniquement significatives car elles sont associées à des douleurs résiduelles, variations d'inclinaison globale et au risque de dégradation de l'étage adjacent (à long terme).

Ces observations sont appuyées également par les résultats de l'ACM (Figure 106), qui associe **fusion solide et bons résultats cliniques et mécaniques, pseudarthrose et résultats moyens et surtout fusion incertaine et future dégradation adjacente & résultats cliniques et mécaniques mauvais.**

L'acquisition de la fusion semble dépendre de l'âge et de l'IMC du patient (graphe en Annexe 3.4), ainsi que de certains paramètres biomécaniques : cyphose et inclinaison globale durant le suivi du préopératoire au dernier recul et lordose et pente sacrée à long terme. L'analyse de corrélations complète le paysage montrant une interrelation significative entre la fusion et les paramètres pelviens, rachidiens et inclinaison globale, ce qui traduit **le besoin d'une configuration économique pour la consolidation de la greffe.**

L'absence d'une fusion solide semble influencer dans la satisfaction des patients, surtout pour les cas présentant des complications mécaniques. Cependant, l'acquisition d'une fusion solide n'est pas associée à la satisfaction pour 100% des cas, car on note des moindres niveaux de satisfaction dans les cas ayant une amélioration fonctionnelle moindre par rapport à leurs attentes préopératoires, des complications générales imposant des limitations fonctionnelles et, surtout, dans les cas manifestant une dégénérescence du niveau adjacent.

La dégénérescence des niveaux adjacents à une fusion, connue dans la littérature sous le nom de « adjacent segment disease » a suscité bien des controverses Penta'95;Rahm'96;Gruber'98;Eck'99;Kumar'01b;Akamaru'03;Park'04 concernant les facteurs étiologiques, les signes radiologiques permettant son diagnostic et leur signification clinique.

Tout d'abord, concernant l'étiologie de cette dégénérescence, deux principales théories ont été développées :

1. Selon une étude de Penta et al^{Penta'95}, la dégradation des étages adjacents à une arthrodèse serait due moins à la fusion et plus à un processus naturel lié à l'âge^{Davis'02}; on observe également une incidence plus grande chez la femme après la ménopause^{Etebar'99}.
2. A l'opposé, la théorie biomécanique attribue une dégénérescence précoce à une hypermobilité du segment adjacent à la fusion, associée à une augmentation des contraintes à ce niveau (par l'instrumentation rigide)^{Dekutoski'94;Chou'02}. Plus précisément, le transfert de contraintes aux extrémités du segment fusionné^{Goto'03} pour une fusion instrumentée rigide^{Lee'84} a pour conséquence une augmentation de la pression intradiscale pour les niveaux adjacents^{Chow'96} et une hypermobilité de compensation^{Frymoyer'79}.

Concernant les signes radiologiques de la dégénérescence, correspondant à un des critères suivants : présence d'ostéophytes, sclérose des plateaux vertébraux, diminution de hauteur discale

et parfois glissement progressif du corps vertébral, nos précédentes études présentaient la difficulté et le manque de standard de leur évaluation quantitative^{Kumar'01a;Okuda'04;Ghiselli'04}. Une étude de Guigui et al (102 patients)^{Guigui'97} montre, à un recul de 10 ans, des facteurs qui se rajoutent au rétrécissement de l'espace discal (49% des cas) dans le diagnostic radiologique de la dégradation : hypermobilité sus-jacente, manifeste dans 32% des cas et instabilité en 35% des patients présentant une dégénérescence du niveau adjacent à une arthrodèse. D'autres auteurs, comme Okuda & al^{Okuda'04} associent la dégradation du niveau adjacent à l'inclinaison laminaire des vertèbres, qui affecte la stabilité sagittale, et à une rotation anormale qui augmente les contraintes dans le disque, mais les derniers paramètres ne sont pas reconnus par d'autres études^{Levin'07}.

Nos études montrent une association significative entre dégradation (radiologique) de l'étage adjacent et des paramètres quantitatifs comme la diminution évolutive de la lordose du segment fusionné, le rétrécissement postérieur de l'espace discal et l'hypermobilité du niveau adjacent. Ces signes quantifiés de dégradation étaient observés avant ou en même temps que l'apparition des osteophytes (commençant avec les grades 1 et 2), les phases tardives étant caractérisées classiquement par présence d'osteophytes et/ ou sclérose des plateaux vertébraux et hauteur discale et mobilité réduite.

Le taux de dégradation détectée radiologiquement, à partir de 4-5 ans après chirurgie, est très variable dans la littérature ; il peut aller, pour un recul de 10 ans, de 9,9%^{Wenger'05} à 70%^{Ishihara'01;Katsuura'01}, avec des variations selon l'âge de la population étudiée (12% pour les populations jeunes^{Lamberg'05}) et le type d'arthrodèse(un taux plus important pour arthrodèses avec instrumentation rigide^{Etebar'99} et postérieures^{Lee'84}). Cependant, ce taux est différent de celui calculé pour la dégradation symptomatique, qui peut atteindre, pour un recul similaire, entre 18,5%^{Park'04} et 36%^{Ghiselli'04}. Cette différence est très controversée dans la littérature^{Park'04}, qui ne peut montrer clairement à quel moment les signes de dégradation radiologique deviennent significatifs cliniquement^{Schlegel'96;Chow'96;Hambly'98}, surtout qu'ils sont également présents chez environ 57% des sujets asymptomatiques^{Boden'90a}.

Dans ce contexte, il est difficile d'estimer la relation entre dégradation des étages adjacents à une fusion et résultat global du traitement, surtout que les causes exactes et les facteurs qui influencent ce phénomène (la dégradation adjacente) restent peu clairs. La littérature reconnaît des facteurs comme la fixation hypolordotique^{Schlegel'96} ou le mauvais alignement sagittal^{Akamaru'03}, mais certains auteurs privilégient, au contraire, la thèse d'une dégénérescence accélérée, peu influencée par les facteurs biomécaniques^{Penta'95}, donc la détection et la relevance clinique de la dégradation de l'étage adjacent à une arthrodèse restent controversées. Devant l'association systématique de ce phénomène aux complications de la fusion, prenant rarement en compte ses relations causales avec le processus de vieillissement^{Park'04}, certains auteurs^{Park'04;LaCaille'05;Champain'07;Levin'07} montrent le besoin d'études plus approfondies à long terme.

Nos analyses sur la population d'ensemble (159 cas d'arthrodèse) montrent quelques relations intéressantes entre paramètres et configurations biomécaniques spécifiques et la dégradation des étages adjacents à une arthrodèse. Tout d'abord, on observe une corrélation faible mais significative entre la dégradation de l'étage adjacent et la non-fusion ($r=0,3$, $p<0,0001$). Cette corrélation appuie l'observation des taux plus importants de dégradation chez des patients dont la fusion est incertaine ou absente (36% et 48% respectivement versus 26% de dégradation pour les

cas de fusion solide), comme montré sur le **Tableau 49**.

Si l'on s'intéresse aux autres facteurs pouvant influencer cette dégradation de l'étage adjacent (DA), nos analyses montrent deux types de relations entre les paramètres biomécaniques et l'apparition de la DA :

- directes, comme pour le listhesis préopératoire ($r=0,55$, $p<0,001$) ou les paramètres caractérisant l'équilibre (gîte de T9, inclinaison globale) ou bien la TLPL et la pente sacrée à long terme ($r=0,4$, $p<0,0001$)
- indirectes, entre les paramètres préopératoires cyphose, pente sacrée et inclinaison globale qui influencent le listhesis et la DA.

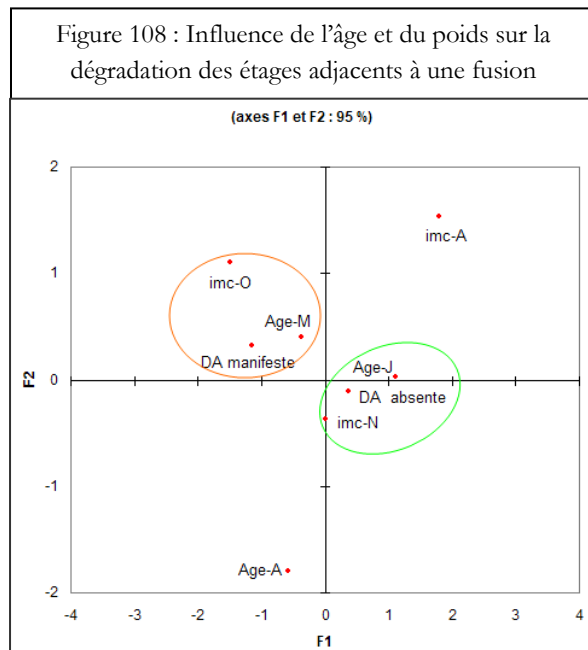
Etant donné que les patients étudiés ne présentaient pas de fixation hypolordotique, qui aurait augmenté le cisaillement postérieur de disques adjacents à l'arthrodèse, nos résultats semblent relier un bon alignement sagittal (pelvien, courbures et équilibre) et l'absence de dégradation adjacente, des anomalies persistantes pouvant être à l'origine des dégénérescences (ou accélérer le processus naturel).

ii) Cinématique des étages adjacents à la fusion et dégénérescence post arthrodèse

Afin d'évaluer la cinématique de étages adjacents à une fusion, nous avons déjà discuté, lors de nos précédentes études, les valeurs normales de la mobilité lombaire par rapport à la littérature. Toutefois, dans le suivi, les niveaux adjacents présentant une mobilité préopératoire normale peuvent la garder après intervention mais elle peut devenir anormale à terme, soit en terme d'amplitude soit du pattern du mouvement.

Ainsi, l'analyse des mobilités pour les niveaux non-fusionnés montre un enraidissement (diminution importante et permanente de mobilité) adjacent dans 42/156 cas chez des patients arthrodèses, dont 31 présentaient des signes de dégradation sur le même niveau. Pour ce dernier

groupe, le pourcentage était plus important chez ceux présentant une mobilité résiduelle ou une pseudarthrose en comparaison des ceux présentant une fusion solide. Un tiers de ces patients étaient âgés de 60 ans et plus, donc cette faible mobilité pourraient être liée à des calcifications des disques survenant avec l'âge, bien que la littérature montre une plus faible incidence de ces calcifications pour le rachis lombaire par rapport à la région thoracique^{Chancharujira'04}. Pour les autres, l'influence de l'âge semble pondérée par celle de leur poids, comme montré sur la **Figure 108**, qui associe la dégradation de l'étage adjacent à un âge entre 40 et 66 ans mais aussi à un surpoids (IMC O).



Ainsi, en accord avec la littérature^{Miller'88}, nos observations semblent relier une **faible mobilité des étages adjacents** à la **DA**, par accélération (due à l'âge et au poids) du processus dégénératif naturel ; d'un autre côté, l'ACM montre

principalement l'association entre une **mobilité normale mais de pattern anormal** (localisation anormale du centre moyen de rotation) et la dégradation à long terme pour le segment adjacent à une arthrodèse (**Figure 105**).

Le pattern du mouvement est investigué à travers le calcul du centre moyen de rotation (CMR), paramètre introduit il y a 30 ans par quelques études^{Pearcy'88;Pennal'72;Seligman'84}, afin d'identifier l'instabilité segmentale du rachis lombaire, considérée comme une cause majeure de lombalgies et radiculalgies^{Sato'93} et indication thérapeutique pour arthrodèse avec décompression^{Herkowitz'95;Muggleton'00}. Toutefois, les méthodes de calcul difficiles et les valeurs différentes entre les études *in vitro* et *in vivo*^{Ogston'86} ainsi que le peu de signification clinique associée ont rendu son utilisation rare.

Des études plus récentes observent chez des patients souffrant de spondylolisthesis une relation entre un CMR préopératoire anormal et une cinématique perturbée pour les niveaux traités^{Schneider'05}. Nos analyses confirment ces observations et mettent en évidence, sur 59 cas de dégradation adjacente, une concordance entre la dégradation à long terme et une localisation préopératoire anormale du CMR pour le niveau adjacent dans 56% des cas (les autres présentant un CMR normal). Ceci montre l'importance de la localisation de cet axe de mouvement pour les niveaux adjacents, qui avait été pressentie^{Skalli'02} mais jamais démontrée jusqu'à présent, ouvrant des nouvelles perspectives dans l'évaluation des niveaux adjacents avant traitement chirurgical.

**CONCLUSIONS ET
PERSPECTIVES**

Comme présenté au début de ce document, l'incidence des pathologies à l'origine de lomboradiculalgies ne cesse d'augmenter dans cette ère du travail stressant et sédentaire, surtout dans le contexte de la tendance au surpoids de la population actuelle. Simultanément, le traitement chirurgical de ces pathologies connaît une diversification accélérée des instrumentations, mais les résultats des différentes stratégies n'ont pas toujours été évalués dans la littérature et la comparaison entre les études existantes est difficile en raison des méthodes d'évaluation peu standardisées et souvent qualitatives. Dans ce contexte, le développement d'outils permettant une analyse quantitative des examens en imagerie, notamment la radiographie, support de routine de l'examen clinique, pourrait être une réelle aide au diagnostique et à l'évaluation postopératoire des patients. Cependant, les relations entre les paramètres calculés à partir des radiographies du rachis et les résultats ou les complications sont peu évalués et décrits dans la littérature.

Par conséquent, l'objectif de cette étude a été d'évaluer ces relations, à travers l'étude des paramètres biomécaniques et des résultats à long terme des traitements chirurgicaux du rachis fréquemment utilisés en France durant la dernière décennie pour les pathologies investiguées.

Notre étude s'est appuyée sur un outil d'analyse que nous avons tout d'abord validé et qui permet une exploitation rapide et fiable des examens radiologiques. Ceci a permis, pour les 319 dossiers cliniques et 1900 radiographies sélectionnées, une analyse de données in extenso à la fois clinique et biomécanique, à court, moyen et long terme pour les principales stratégies de traitement chirurgical du rachis lombaire dégénératif.

Dans un premier temps, nous avons réalisé cette analyse pour divers pathologies et traitements : après avoir vérifié que les résultats cliniques obtenus étaient superposables à la littérature et donc, que la série était représentative, nous avons mis en évidence les paramètres biomécaniques clés pour le diagnostique et l'évaluation de ces situations spécifiques. Ainsi, un certain nombre de paramètres vertébraux a pu être relié à la détection précoce des complications (dégradation des étages adjacents, subsidence, perte de correction) et les résultats cliniques favorables ont été associés à certaines valeurs des paramètres rachidiens et pelviens, décrivant une géométrie rachidienne normale et équilibrée. Egalement, l'analyse de mobilités calculées à partir de radiographies en flexion-extension lombaire a permis une évaluation précise de la fusion, à travers des critères qui mettent en évidence une classe de mobilités faibles ($3-5^\circ$) mais cliniquement significatives, assignée à une fusion incertaine et liée à des résultats cliniques moindres en comparaison des cas présentant une mobilité $< 3^\circ$.

Notre analyse a concerné, ensuite, la population d'ensemble afin d'identifier de manière globale les relations entre paramètres biomécaniques et résultats; cette analyse a confirmé l'importance de paramètres rachidiens, pelviens et cinématiques mis en évidence précédemment.

Les conclusions globales de cette analyse peuvent être énoncées très synthétiquement de la manière suivante :

1. Les paramètres décrivant l'équilibre (cyphose, gîte de T9, inclinaison globale et paramètres pelviens) semblent influencer les résultats, donc on peut conclure à une relation palpable entre équilibre sagittal et résultat du traitement, pressentie mais jamais démontrée par la littérature jusqu'à présent. L'analyse des paramètres pelviens est parfois difficile en raison des configurations spécifiques aux arthrodèses lombo-sacrées, nous

proposons donc un calcul de paramètres neo-pelviens et une plage de valeurs de référence pour une meilleure évaluation de la configuration de cette neo-charnière rachis lombaire-bassin.

2. L'acquisition de la fusion et son évaluation quantifiée sont essentielles dans les arthrodèses, car son absence est liée à un certain pourcentage de résultats moins satisfaisants, et particulièrement à la dégradation des étages adjacents à long terme. La littérature ne propose pas une valeur seuil standard pour l'évaluation de la mobilité résiduelle d'un segment fusionné. Nos analyses proposent et valident des critères permettant une caractérisation précise de cette mobilité résiduelle et mettent en évidence une plage de mobilités faibles (mais mesurables avec des outils fiables) associée à une fusion incertaine et à des résultats moins satisfaisants.
3. La cinématique préopératoire des étages traités et adjacents permet d'identifier les cas présentant un risque de dégradation adjacente accélérée, à travers une mobilité d'amplitude normale mais de pattern anormal (mis en évidence par une localisation hors plages de référence du Centre Moyen de Rotation). Ce paramètre, utilisé rarement et sporadiquement dans la littérature pour évaluer l'instabilité vertébrale, a un rôle important dans l'analyse de la cinématique lombaire, montré objectivement par nos différentes analyses.
4. Une relation transversale entre cinématique et équilibre est mise en évidence par les corrélations des différentes classes de paramètres. Ainsi, la cyphose semble influencer la localisation préopératoire des CMR et l'acquisition de la fusion & la mobilité postopératoire de l'étage susjacent à cette fusion dépendent de la configuration biomécanique du patient après traitement et de l'équilibre, les anomalies ayant des conséquences comme la dégradation à long terme des étages adjacents.

En conclusion, avec les moyens d'analyse quantitative fiable, utilisables en routine clinique, nous avons pu évaluer la configuration du patient au cours de son suivi, mettant en évidence des facteurs qui influencent le résultat et les paramètres biomécaniques permettant de les caractériser. Ainsi, l'analyse biomécanique quantitative à partir de radiographies de rachis permet de s'assurer de la correction obtenue et de sa stabilité dans le temps, de la configuration normale, associée à un équilibre économique du patient, ainsi que de la normalité de la cinématique des étages traités ou adjacents.

Ces paramètres biomécaniques apportent donc des repères objectifs et fiables dans l'évaluation des résultats des traitements chirurgicaux du rachis lombaire dégénératif, qui sont applicables à tous les examens en imagerie permettant une évaluation de posture et cinématique, car ils évaluent le rachis dans sa globalité.

Par conséquent, ces éléments peuvent compléter l'examen clinique et enrichir les indices dont le clinicien dispose, concernant le pronostic d'un traitement choisi, qu'il soit bon ou marqué par un risque de récurrence ou de complication, modifiant et appuyant ainsi la prise en charge du patient.

Table des Tableaux

TABLEAU 1 : TRAITEMENTS CHIRURGICAUX DE LA HERNIE DISCALE ET LEURS RESULTATS. (R- RETROSPECTIF, P- PROSPECTIF).	44
TABLEAU 2 : RESULTATS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DU SPL DEGENERATIF PUR DANS LA LITTERATURE.	45
APL = ARTHRODESE POSTERO-LATERALE	45
TABLEAU 3 : SPONDYLOLISTHESIS PAR LYSE ISTHMIQUE : PRINCIPALES OPTIONS DE TRAITEMENT CHIRURGICAL.	47
FIGURE 51 : SYNTHESE DES RESULTATS CONCERNANT LES ARTHRODESES AVEC ET SANS INSTRUMENTATION.	50
TABLEAU 5 : PRINCIPALES COMPLICATIONS RAPPORTEES POUR LES ARTHRODESES DU RACHIS LOMBAIRE (HORS SCOLIOSE).	51
TABLEAU 6 : SYNTHESE DES PRINCIPAUX SCORES ET QUESTIONNAIRE UTILISES DANS L'ÉVALUATION DES RESULTATS.	53
TABLEAU 7 : ÉVALUATION DE LA FUSION BASE SUR DES EXAMENS EN IMAGERIE DE ROUTINE.	55
TABLEAU 8 : AMPLITUDES DE MOBILITE INTERVERTEBRALE LOMBAIRE.	56
TABLEAU 9 : VALEURS DES PRINCIPAUX PARAMETRES RACHIDIENS DECRIVANT LES COURBURES, A PARTIR DES MESURES RADIOLOGIQUES (MOYENNE \pm ECART-TYPE ET INTERVALLE MIN-MAX, AS=SUJETS ASYMPTOMATIQUES).	60
TABLEAU 10 : PARAMETRES PREDICTIFS POUR LES RESULTATS DES TRAITEMENTS CHIRURGICAUX DU RACHIS LOMBAIRE DEGENERATIF (CADRE : LOW BACK PAIN, SPL= SPONDYLOLISTHESIS)	61
TABLEAU 11 : COEFFICIENTS DE REPRODUCTIBILITE POUR LES PRINCIPAUX PARAMETRES RACHIDIENS ET PELVIENS	73
(CALCULES POUR UN INTERVALLE DE CONFIANCE A 95%).	73
TABLEAU 12 : RADIOGRAPHIES SELECTIONNEES (EXPRIMEES EN TANT QUE NOMBRE DES PATIENTS ET % DE LA POPULATION) POUR LES DIFFERENTES PERIODES DU SUIVI.	75
TABLEAU 14 : TABLEAU DE CORRELATION ENTRE LES PARAMETRES VERTEBRAUX QUANTITATIFS ET LA DEGRADATION DU NIVEAU ADJACENT (TEST DE PEARSON : $P < 0.0001$).	78
TABLEAU 15 : CINEMATIQUE DES NIVEAUX ADJACENTS AU SEGMENT FUSIONNE DANS LE TEMPS : LES RESULTATS SONT PRESENTES PAR RAPPORT AUX VALEURS DE REFERENCE (% DES PATIENTS DANS CHAQUE CATEGORIE).	80
TABLEAU 16 : TAUX DE RETABLISSEMENT DU SCORE JOA ET INDICE DE SATISFACTION, EXPRIMES COMME % DES PATIENTS POUR LES PRINCIPAUX EXAMENS DU SUIVI (POSTOP.).	87
TABLEAU 18 : PARAMETRES RACHIDIENS ET PELVIENS : ERREURS DE MESURE (POUR UN INTERVALLE DE CONFIANCE A 95%), VALEURS DE REFERENCE ET MOYENNES DU SUIVI, EXPRIMEES EN TANT QUE MOYENNE \pm ECART-TYPE.	89
TABLEAU 19 : RESULTATS CLINIQUES : COMPARAISON ENTRE LES NOTATIONS SUBJECTIVE ET OBJECTIVE, EXPRIMES EN TANT QUE POURCENTAGE DES PATIENTS EN CHAQUE CATEGORIE	100
TABLEAU 20 : VALEURS DES PARAMETRES RACHIDIENS ET PELVIENS : REFERENCE ET OBSERVEES DANS LA POPULATION ETUDIEE, PRESENTEES EN TANT QUE MOYENNE \pm ECART TYPE (* = POUR UN INTERVALLE DE CONFIANCE A 95%).	101
TABLEAU 22 : TAUX DE COMPLICATIONS ET DE REPRISE CHIRURGICALE DANS LES POPULATIONS ETUDIEES.	109
TABLEAU 24 : CORRELATIONS ENTRE LES PRINCIPAUX PARAMETRES BIOMECANIQUES.	112
LEGENDE : R - TOUS EXAMENS ; R – POSTOP. TLPL = TOTAL LUMBO-PELVIC LORDOSIS PR-T12.	112
TABLEAU 26 : RESULTATS DES ARTHRODESES POSTERO-LATERALES ET CIRCONFERENCELLES SELON LE TYPE D'INSTRUMENTATION UTILISE.	117
TABLEAU 28 : ANALYSE CLINIQUE : TAUX DE COMPLICATIONS ET DE RE-OPERATION.	125
LES VALEURS MOYENNES POUR LES MOBILITES INTERVERTEBRALES EN PRE- ET POSTOPERATOIRE SONT PRESENTEES EN COMPARAISON AUX VALEURS DE REFERENCE DANS LE TABLEAU 31.	127
TABLEAU 31 : AMPLITUDES DE MOBILITE INTERVERTEBRALE : PREOPERATOIRE, POSTOPERATOIRE ET QUELQUES VALEURS DE REFERENCE DE LA LITTERATURE (PRESENTEES EN TANT QUE MOYENNE (ECART TYPE) [MIN-MAX]). LEGENDE :	127

* INSTRUMENTATION RIGIDE ** DOS ***SANS INSTRUMENTATION ***** TECHNIQUE DE SCOTT + CERCLAGE [◊]PAS
 ASSEZ DE VALEURS (<10) POUR CALCULER LA MOYENNE ET L'ECART TYPE. 127

TABLEAU 32 : VALEURS DES PROPORTIONS DE HAUTEUR DISQUE/VERTEBRE DURANT LE SUIVI. 136

TABLEAU 33 : EVOLUTION DU LISTHESIS SAGITTAL..... 136

TABLEAU 34 : EVOLUTION DE LA LORDOSE DU SEGMENT FUSIONNE EN COMPARAISON DES VALEURS DE REFERENCE
 137

TABLEAU 35 : VALEURS DES PRINCIPAUX PARAMETRES RACHIDIENS ET PELVIENS DURANT LE SUIVI..... 137

TABLEAU 36 : PARAMETRES NEO-PELVIENS ET LEUR EVOLUTION..... 138

TABLEAU 37 : PRINCIPALES COMPLICATIONS OBSERVEES EN COMPARAISON AVEC LA LITTERATURE. 139

TABLEAU 38 : EVOLUTION DES PRINCIPAUX PARAMETRES RACHIDIENS. 145

TABLEAU 39 :VALEURS (POSTOPERATOIRES ET DE REFERENCE) DES PARAMETRES NEO-PELVIENS..... 146

TABLEAU 40 : MATRICE DE SIMILARITE DES VARIABLES -RESULTAT. 154

TABLEAU 41 : INFLUENCE DE L'ETENDUE DES ARTHRODESES SUR LES RESULTATS..... 155

TABLEAU 42 : INFLUENCE DE LA FUSION SUR LES RESULTATS 155

TABLEAU 43 : EVOLUTION DES PARAMETRES (DIFFERENCES STATISTIQUEMENT SIGNIFICATIVES) 156

TABLEAU 44 : PARAMETRES BIOMECANIQUES ET RESULTATS CLINIQUES 156

TABLEAU 46 : PARAMETRES BIOMECANIQUES ET RESULTATS MECANIQUES 157

TABLEAU 47 : TAILLE DE L'EFFET POUR LES PARAMETRES BIOMECANIQUES DIFFERENCIANT LES RESULTATS
 « MECANIQUES » BONS ET NONSATISFAISANTS..... 158

TABLEAU 48 : TAILLE DE L'EFFET POUR LES PARAMETRES EN RELATION LA FUSION 159

TABLEAU 49 : FUSION ET DEGRADATION DE L'ETAGE ADJACENT..... 159

TABLEAU 50 : MATRICE DE CORRELATIONS (TEST DE PEARSON) ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES
 BIOMECANIQUES..... 162

TABLEAU 51 : AFD : PARAMETRES BIOMECANIQUES PREOPERATOIRES ET RESULTAT CLINIQUE 163

TABLEAU 52 : CONFIGURATION POSTOPERATOIRE A COURT TERME ET RESULTATS CLINIQUES..... 164

TABLEAU 53 : AFD : PARAMETRES PREOPERATOIRES ET RESULTATS MECANIQUES 165

TABLEAU 54 : AFD : CONFIGURATIONS A COURT TERME ET RESULTATS MECANIQUES. 165

TABLEAU 55 : AFD : CONFIGURATIONS A LONG TERME ET RESULTATS MECANIQUES. 166

TABLEAU 56 : AFD : CONFIGURATIONS PREOPERATOIRES ET RESULTATS MECANIQUES SIMPLIFIES. 166

TABLEAU 57 : AFD : CONFIGURATIONS PREOPERATOIRES ET SATISFACTION DU PATIENT..... 167

TABLEAU 58 : PARAMETRES PRESENTANT DES DISTRIBUTIONS SIGNIFICATIVEMENT DIFFERENTES SELON LES
 CLASSES DE RESULTATS 171

TABLEAU 59 : VALEURS (MOYENNE \pm ECART- TYPE) DE LA CYPHOSE T4T12, CORRESPONDANT AUX DIFFERENTES
 CLASSES DE RESULTATS (RAPPEL REFERENCE : $-37,3\pm 8^\circ$)..... 173

TABLEAU 60 : CORRELATIONS ENTRE LORDOSE ET AUTRES PARAMETRES BIOMECANIQUES : COMPARAISON A LA
 LITTERATURE. 174

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIO

1. Adams M. Biomechanics of spinal implants. In Szpalski M GR, Spengler DM, Nachemson A, I ed. Instrumented Fusion of the Degenerative Lumbar Spine. State of the Art, Questions, and Controversies. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1996.
2. Aihara T, Takahashi K, Yamagata M, et al. Biomechanical functions of the iliolumbar ligament in L5 spondylolysis. *J Orthop Sci* 2000;5:238-242.
3. Akamaru T, Kawahara N, Tim Yoon S, et al. Adjacent segment motion after a simulated lumbar fusion in different sagittal alignments: a biomechanical analysis. *Spine* 2003;28:1560-1566.
4. Albassir A, Samson I, Hendrickx L. [Treatment of painful spondylolysis using Morscher's hook]. *Acta Orthop Belg* 1990;56:489-495.
5. ANAES. Prothèses discales et arthrodèses dans la pathologie dégénérative du rachis lombaire. Paris: Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES), 2000.
6. Andersen T, Christensen FB, Bunge C. Evaluation of a Dallas Pain Questionnaire classification in relation to outcome in lumbar spinal fusion. *Eur Spine J* 2006;15:1671-1685.
7. Andersen T, Christensen FB, Hansen ES, et al. Pain 5 years after instrumented and non-instrumented posterolateral lumbar spinal fusion. *Eur Spine J* 2003;12:393-399.
8. Andreshak TG, An HS, Hall J, et al. Lumbar spine surgery in the obese patient. *J Spinal Disord* 1997;10:376-379.
9. Ani N, Keppler L, Biscup RS, et al. Reduction of high-grade slips (grades III-V) with VSP instrumentation. Report of a series of 41 cases. *Spine* 1991;16:S302-310.
10. Arpino L, Iavarone A, Parlato C, et al. Prognostic role of depression after lumbar disc surgery. *Neurol Sci* 2004;25:145-147.
11. Asazuma T, Yamugishi M, Sato M, et al. Posterior spinal fusion for lumbar degenerative diseases using the Crock-Yamagishi (C-Y) spinal fixation system. *J Spinal Disord Tech* 2004;17:174-177.
12. Asch HL, Lewis PJ, Moreland DB, et al. Prospective multiple outcomes study of outpatient lumbar microdiscectomy: should 75 to 80% success rates be the norm? *J Neurosurg* 2002;96:34-44.
13. Bassewitz H, Herkowitz H. Lumbar stenosis with spondylolisthesis: current concepts of surgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 2001:54-60.
14. Battie MC, Videman T, Parent E. Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic influences. *Spine* 2004;29:2679-2690.
15. Belfi LM, Ortiz AO, Katz DS. Computed tomography evaluation of spondylolysis and spondylolisthesis in asymptomatic patients. *Spine* 2006;31:E907-910.
16. Benezech J. Retrospective Patient Outcome Evaluation After Semi-Rigid Stabilization without Fusion For Degenerative Lumbar Instability. *EJOST* 2007;avril.
17. Benoist M. [Disk herniation in the elderly]. *Presse Med* 1993a;22:1854-1855.
18. Benoist M, Parent H, Nizard M, et al. [Herniation of a lumbar disk in the elderly. Results of chemonucleolysis]. *Rev Rhum Ed Fr* 1993b;60:435-439.
19. Benzel E. Biomechanics of spine stabilization: Ed Thieme, 2001.
20. Bergeron J, Landry M. State - Trait Anxiety in French - English bilinguals: Cross - cultural considerations. In (Eds.) CDSRD-G ed. Cross - cultural anxiety. Washington: Hemisphere Publishing Corporation, 1983:157 - 176.
21. Bergner M, Bobbitt RA, Carter WB, et al. The Sickness Impact Profile: development and final revision of a health status measure. *Med Care* 1981;19:787-805.
22. Bernhardt M, Bridwell KH. Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction. *Spine* 1989;14:717-721.
23. Beutler WJ, Peppelman WC, Jr. Anterior lumbar fusion with paired BAK standard and paired BAK Proximity cages: subsidence incidence, subsidence factors, and clinical outcome. *Spine J* 2003;3:289-293.
24. Bitan F, Bex M, Lassale B, et al. [Success factors in posterolateral arthrodesis of the lumbosacral spine]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1984;70:465-471.
25. Blackburne JS, Velikas EP. Spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Br* 1977;59-B:490-494.
26. Blumenthal S, McAfee PC, Guyer RD, et al. A prospective, randomized, multicenter Food and Drug Administration investigational device exemptions study of lumbar total disc replacement with the CHARITE artificial disc versus lumbar fusion: part I: evaluation of clinical outcomes. *Spine* 2005;30:1565-1575; discussion E1387-1591.
27. Blumenthal SL, Gill K. Can lumbar spine radiographs accurately determine fusion in postoperative patients? Correlation of routine radiographs with a second surgical look at lumbar fusions. *Spine* 1993;18:1186-1189.
28. Blumenthal SL, Ohnmeiss DD. Intervertebral cages for degenerative spinal diseases. *Spine J* 2003;3:301-309.
29. Boden SD, Martin GJ, Jr., Morone MA, et al. Posterolateral lumbar intertransverse process spine arthrodesis with recombinant human bone morphogenetic protein 2/hydroxyapatite-tricalcium phosphate after laminectomy in the nonhuman primate. *Spine* 1999;24:1179-1185.
30. Boden SD, McCowin PR, Davis DO, et al. Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 1990a;72:1178-1184.
31. Boden SD, Wiesel SW. Lumbosacral segmental motion in normal individuals. Have we been measuring instability properly? *Spine* 1990b;15:571-576.
32. Bonne AJ. On the shape of the human vertebral column. *Acta Orthop Belg* 1969;35:567-583.
33. Bono CM. Low-back pain in athletes. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A:382-396.
34. Bono CM, Lee CK. The influence of subdiagnosis on radiographic and clinical outcomes after lumbar fusion for degenerative disc disorders: an analysis of the literature from two decades. *Spine* 2005;30:227-234.
35. Booth KC, Bridwell KH, Eisenberg BA, et al. Minimum 5-year results of degenerative spondylolisthesis treated with decompression and instrumented posterior fusion. *Spine* 1999;24:1721-1727.
36. Bordes-Monmeneu M, Bordes-Garcia V, Rodrigo-Baeza F, et al. [System of dynamic neutralization in the lumbar spine: experience on 94 cases.]. *Neurocirugia (Astur)* 2005;16:499-506.
37. Boulay C, Coll E. Morphométrie comparative anatomo-radiologique du bassin ou vertèbre pelvienne: application

clinique. *Rachis* 1998;10:207-208.

38. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006;15:415-422.
39. 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.
40. Bradford DS, Boachie-Adjei O. Treatment of severe spondylolisthesis by anterior and posterior reduction and stabilization. A long-term follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72:1060-1066.
41. Bradford DS, Gotfried Y. Staged salvage reconstruction of grade-IV and V spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am* 1987;69:191-202.
42. 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.
43. Bridwell KH. Utilization of iliac screws and structural interbody grafting for revision spondylolisthesis surgery. *Spine* 2005;30:S88-96.
44. Bridwell KH, Sedgewick TA, O'Brien MF, et al. The role of fusion and instrumentation in the treatment of degenerative spondylolisthesis with spinal stenosis. *J Spinal Disord* 1993;6:461-472.
45. Brodsky AE, Kovalsky ES, Khalil MA. Correlation of radiologic assessment of lumbar spine fusions with surgical exploration. *Spine* 1991;16:S261-265.
46. Bruder N, Dufour H. Anesthésie pour hernie discale. In Elsevier ed. *Conférences d'actualisation*: Elsevier, 1996:59-70.
47. Brunet JA, Wiley JJ. Acquired spondylolysis after spinal fusion. *J Bone Joint Surg Br* 1984;66:720-724.
48. Buck JE. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Br* 1970;52:432-437.
49. Bucquet D, Condon S, Ritchie K. The French version of the Nottingham Health Profile. A comparison of items weights with those of the source version. *Soc Sci Med* 1990;30:829-835.
50. Burkus JK, Gornet MF, Dickman CA, et al. Anterior lumbar interbody fusion using rhBMP-2 with tapered interbody cages. *J Spinal Disord Tech* 2002;15:337-349.
51. Capen DA, Calderone RR, Green A. Perioperative risk factors for wound infections after lower back fusions. *Orthop Clin North Am* 1996;27:83-86.
52. Caserta S, La Maida GA, Misaggi B, et al. Elastic stabilization alone or combined with rigid fusion in spinal surgery: a biomechanical study and clinical experience based on 82 cases. *Eur Spine J* 2002;11 Suppl 2:S192-197.
53. Castaing J, Santini J. *Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur*. ed. Paris, 1979.
54. Cauchoix J, Bloch-Michel H, Benoist M, et al. [Degenerative spondylolisthesis. Clinical manifestations and treatment apropos of 26 operated cases]. *Nouv Presse Med* 1976;5:561-564.
55. Champain S. Validation du logiciel Spineview et analyse clinique quantifiée à partir de radiographies du rachis. Laboratoire de Biomécanique de l'ENSAM. Paris: Université Paris Nord, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière & Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2002:60.
56. Champain S, Benchikh K, Nogier A, et al. Validation of new clinical quantitative analysis software applicable in spine orthopaedic studies. *Eur Spine J* 2006;15:982-991.
57. Champain S, Mazel C, Mitulescu A, et al. Quantitative analysis in outcome assessment of instrumented lumbosacral arthrodesis. *Eur Spine J* 2007;16:1241-1249.
58. Chanchairujira K, Chung CB, Kim JY, et al. Intervertebral disk calcification of the spine in an elderly population: radiographic prevalence, location, and distribution and correlation with spinal degeneration. *Radiology* 2004;230:499-503.
59. Chen CS, Cheng CK, Liu CL. A biomechanical comparison of posterolateral fusion and posterior fusion in the lumbar spine. *J Spinal Disord Tech* 2002;15:53-63.
60. Chen JF, Lee ST. A physiological method for the repair of young adult simple isthmus lumbar spondylolysis. *Chang Gung Med J* 2000;23:92-98.
61. Cherkin D, Deyo RA, Berg AO. Evaluation of a physician education intervention to improve primary care for low-back pain. II. Impact on patients. *Spine* 1991;16:1173-1178.
62. Chung KM, Zhang YG, Lu DS, et al. Reduction of disc space distraction after anterior lumbar interbody fusion with autologous iliac crest graft. *Spine* 2003;28:1385-1389.
63. Chiffolot X, Lemaire J, Bogorin I, et al. Ostéotomie de soustraction pédiculaire dans le traitement des déséquilibres antérieurs du rachis, à propos de 34 cas. *Maîtrise orthopédique* 2005;septembre:16-19.
64. Choi JY, Sung KH. Subsidence after anterior lumbar interbody fusion using paired stand-alone rectangular cages. *Eur Spine J* 2006;15:16-22.
65. Chou WY, Hsu CJ, Chang WN, et al. Adjacent segment degeneration after lumbar spinal posterolateral fusion with instrumentation in elderly patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002;122:39-43.
66. Chow DH, Luk KD, Evans JH, et al. Effects of short anterior lumbar interbody fusion on biomechanics of neighboring unfused segments. *Spine* 1996;21:549-555.
67. Christensen FB. Lumbar spinal fusion. Outcome in relation to surgical methods, choice of implant and postoperative rehabilitation. *Acta Orthop Scand Suppl* 2004;75:2-43.
68. Christensen FB, Laursen M, Gelineck J, et al. Interobserver and intraobserver agreement of radiograph interpretation with and without pedicle screw implants: the need for a detailed classification system in posterolateral spinal fusion. *Spine* 2001;26:538-543; discussion 543-534.
69. Christensen FB, Thomsen K, Eiskjaer SP, et al. [The effect of pedicle screw instrumentation on posterolateral spinal fusion. A prospective, randomized study with a two-year follow-up]. *Ugeskr Laeger* 1999;161:1920-1925.
70. Chung SK, Lee SH, Lim SR, et al. Comparative study of laparoscopic L5-S1 fusion versus open mini-ALIF, with a minimum 2-year follow-up. *Eur Spine J* 2003;12:613-617.
71. Chwalow AJ, Lurie A, Bean K, et al. A French version of the Sickness Impact Profile (SIP): stages in the cross cultural validation of a generic quality of life scale. *Fundam Clin Pharmacol* 1992;6:319-326.
72. Cloward RB. Posterior lumbar interbody fusion updated. *Clin Orthop Relat Res* 1985:16-19.
73. Cloward RB. Spondylolisthesis: treatment by laminectomy and posterior interbody fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1981:74-82.
74. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar intervertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg* 1953;10:154-168.

75. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale., 1988.
76. 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.
77. Coppes MH. Discogenic low back pain. Lumbar spondylolysis revisited. Groningen: University Groningen, 2000.
78. Cosentino R, Suarez A, Baccani S, et al. [A radiological study of movements of the normal lumbar spine (author's transl)]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1982;68:91-95.
79. Costanzo C, Cellocchio P, Di Francesco A, et al. The role of JOA score as an indication for surgical or conservative treatment of symptomatic degenerative lumbar spinal stenosis. *J Orthopaed Traumatol*. 2005;6:150-153.
80. Coste J, Le Parc JM, Berge E, et al. [French validation of a disability rating scale for the evaluation of low back pain (EIFEL questionnaire)]. *Rev Rhum Ed Fr* 1993;60:335-341.
81. Coste J, Paolaggi JB, Spira A. Reliability of interpretation of plain lumbar spine radiographs in benign, mechanical low-back pain. *Spine* 1991;16:426-428.
82. Dahl B, Gehrchen P, Blyme P, et al. Clinical outcome after spinal fusion with a rigid versus a semi-rigid pedicle screw system. *Eur Spine J* 1997;6:412-416.
83. Dai LY, Jia LS, Yuan W, et al. Direct repair of defect in lumbar spondylolysis and mild isthmic spondylolisthesis by bone grafting, with or without facet joint fusion. *Eur Spine J* 2001;10:78-83.
84. Dall BE, Rowe DE. Degenerative spondylolisthesis. Its surgical management. *Spine* 1985;10:668-672.
85. Daltroy LH, Cats-Baril WL, Katz JN, et al. The North American spine society lumbar spine outcome assessment Instrument: reliability and validity tests. *Spine* 1996;21:741-749.
86. David T. Indications and results of lumbar pars defect repairs in adult patients (in French in the text). *Rachis* 2001;13:328-333.
87. David T. Pars defect repair versus postérieure lumbar fusion on lytic spondylolisthesis: A long terme retrospective comparative étude. In *Proceedings E ed. Spine Week 2004*, 2004:405.
88. Davis IS, Bailey RW. Spondylolisthesis: indications for lumbar nerve root decompression and operative technique. *Clin Orthop Relat Res* 1976:129-134.
89. Davis KG, Marras WS, Heaney CA, et al. The impact of mental processing and pacing on spine loading: 2002 Volvo Award in biomechanics. *Spine* 2002;27:2645-2653.
90. de Kleuver M, Oner FC, Jacobs WC. Total disc replacement for chronic low back pain: background and a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2003;12:108-116.
91. de Loubresse CG, Bon T, Deburge A, et al. Posterolateral fusion for radicular pain in isthmic spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1996:194-201.
92. De Mauroy JC, Gonon GP, Stagnara P. Courbures sagittales, types morphologiques. Essai de classification. Critères cliniques et radiologiques dans les cyphoses régulières. Réunion du GES. Aix-en Provence, 1978:11-16.
93. DeBerard MS, Masters KS, Colledge AL, et al. Presurgical biopsychosocial variables predict medical and compensation costs of lumbar fusion in Utah workers' compensation patients. *Spine J* 2003;3:420-429.
94. DeBerard MS, Masters KS, Colledge AL, et al. Outcomes of posterolateral lumbar fusion in Utah patients receiving workers' compensation: a retrospective cohort study. *Spine* 2001;26:738-746; discussion 747.
95. Deguchi M, Rapoff AJ, Zdeblick TA. Biomechanical comparison of spondylolysis fixation techniques. *Spine* 1999;24:328-333.
96. Dehoux E, Fourati E, Madi K, et al. Posterolateral versus interbody fusion in isthmic spondylolisthesis: functional results in 52 cases with a minimum follow-up of 6 years. *Acta Orthop Belg* 2004;70:578-582.
97. Dekutoski MB, Schendel MJ, Ogilvie JW, et al. Comparison of in vivo and in vitro adjacent segment motion after lumbar fusion. *Spine* 1994;19:1745-1751.
98. Delamarter R, McCulloch J. Microdiscectomy and microsurgical spinal laminotomies. In Lippincott-Raven ed. Frymoyer JW, ed. *The Adult Spine: Principles and Practice*. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997:1961-1988.
99. Delmas A. Types rachidiens de statique corporelle. *Rev Morpho-physiol Hum* 1951:27-32.
100. Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma. *Clin Orthop Relat Res* 1984:65-76.
101. Dennis S, Watkins R, Landaker S, et al. Comparison of disc space heights after anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 1989;14:876-878.
102. Deyo RA, Battie M, Beurskens AJ, et al. Outcome measures for low back pain research. A proposal for standardized use. *Spine* 1998;23:2003-2013.
103. Deyo RA, Ciol MA, Cherkin DC, et al. Lumbar spinal fusion. A cohort study of complications, reoperations, and resource use in the Medicare population. *Spine* 1993;18:1463-1470.
104. Deyo RA, McNiesh LM, Cone RO, 3rd. Observer variability in the interpretation of lumbar spine radiographs. *Arthritis Rheum* 1985;28:1066-1070.
105. Diedrich O, Perlick L, Schmitt O, et al. Radiographic characteristics on conventional radiographs after posterior lumbar interbody fusion: comparative study between radiotranslucent and radiopaque cages. *J Spinal Disord* 2001;14:522-532.
106. Dietemann J, Dosch J, Steib J. Imagerie des spondylolisthésis. Paris: Ed Masson, 1995.
107. Dubousset J. Importance de la notion de vertèbre pelvienne dans l'équilibre rachidien. In -Villeneuve FR ed. *Pied, équilibre et rachis*. Paris, 1998.
108. Dubousset J. Three dimensional analysis of the scoliotic deformity. In Weinstein S ed. *The pediatric spine : principle and practice*. New-York: Raven Press, Ltd., 1994:479-495.
109. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res* 1997:77-85.
110. Dubousset J, Charpak G, Dorion I, et al. [A new 2D and 3D imaging approach to musculoskeletal physiology and pathology with low-dose radiation and the standing position: the EOS system]. *Bull Acad Natl Med* 2005;189:287-297; discussion 297-300.
111. Dunlop RB, Adams MA, Hutton WC. Disc space narrowing and the lumbar facet joints. *J Bone Joint Surg Br* 1984;66:706-710.
112. During J, Goudfrooij H, Keessen W, et al. Toward standards for posture. Postural characteristics of the lower back system in normal and pathologic conditions. *Spine* 1985;10:83-87.

113. Duval-Beaupere G, Robain G. Visualization on full spine radiographs of the anatomical connections of the centres of the segmental body mass supported by each vertebra and measured in vivo. *Int Orthop* 1987;11:261-269.
114. Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 1992;20:451-462.
115. 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.
116. Dvorak J, Panjabi MM, Novotny JE, et al. Clinical validation of functional flexion-extension roentgenograms of the lumbar spine. *Spine* 1991b;16:943-950.
117. Eck JC, Humphreys SC, Hodges SD. Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion: a review of clinical, biomechanical, and radiologic studies. *Am J Orthop* 1999;28:336-340.
118. Ekman P, Moller H, Hedlund R. The long-term effect of posterolateral fusion in adult isthmic spondylolisthesis: a randomized controlled study. *Spine J* 2005;5:36-44.
119. Elsner G, Nienhaus A, Beck W. [Occupationally-induced degenerative discopathies in the area of the lumbar spine]. *Soz Praventivmed* 1997;42:144-154.
120. Enker P, Steffee AD. Interbody fusion and instrumentation. *Clin Orthop Relat Res* 1994:90-101.
121. Epstein NE. Decompression in the surgical management of degenerative spondylolisthesis: advantages of a conservative approach in 290 patients. *J Spinal Disord* 1998;11:116-122; discussion 123.
122. Epstein NE, Hood DC. A comparison of surgeon's assessment to patient's self analysis (short form 36) after far lateral lumbar disc surgery. An outcome study. *Spine* 1997;22:2422-2428.
123. Etebar S, Cahill DW. Risk factors for adjacent-segment failure following lumbar fixation with rigid instrumentation for degenerative instability. *J Neurosurg* 1999;90:163-169.
124. Evans JH. Biomechanics of lumbar fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1985:38-46.
125. 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.
126. Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index. *Spine* 2000;25:2940-2952; discussion 2952.
127. Fardon DF, Milette PC. Nomenclature and classification of lumbar disc pathology. Recommendations of the Combined task Forces of the North American Spine Society, American Society of Spine Radiology, and American Society of Neuroradiology. *Spine* 2001;26:E93-E113.
128. Farfan HF, Cossette JW, Robertson GH, et al. The effects of torsion on the lumbar intervertebral joints: the role of torsion in the production of disc degeneration. *J Bone Joint Surg Am* 1970;52:468-497.
129. Farfan HF, Gracovetsky S. The nature of instability. *Spine* 1984;9:714-719.
130. Farmer ME, Locke BZ, Moscicki EK, et al. Physical activity and depressive symptoms: the NHANES I Epidemiologic Follow-up Study. *Am J Epidemiol* 1988;128:1340-1351.
131. Feffer HL, Wiesel SW, Cuckler JM, et al. Degenerative spondylolisthesis. To fuse or not to fuse. *Spine* 1985;10:287-289.
132. Ferrans CE, Powers MJ. Quality of life index: development and psychometric properties. *ANS Adv Nurs Sci* 1985;8:15-24.
133. Fiere V, Mulsant P. Retrospective study of 80 cases of anterior lumbar interbody fusion with combined PEEK Cages and an Anterior Specific Plate. 5th International Disc Cage and Prosthesis Meeting. Lenzerheide, 2003.
134. Finkenbergh J, Banta C, Cross GL, 3rd, et al. Evaluation and analysis of patient outcomes with an intrasegmental fixation system in lumbar spinal fusion. *Spine J* 2001;1:102-108.
135. Fischgrund JS. The argument for instrumented decompressive posterolateral fusion for patients with degenerative spondylolisthesis and spinal stenosis. *Spine* 2004;29:173-174.
136. Fischgrund JS, Mackay M, Herkowitz HN, et al. 1997 Volvo Award winner in clinical studies. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis: a prospective, randomized study comparing decompressive laminectomy and arthrodesis with and without spinal instrumentation. *Spine* 1997;22:2807-2812.
137. Floyd WF, Silver PH. Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *J Anat* 1950;84:132-145.
138. Forthomme JP. Repair of the pars defect in spondylolisthesis: state of the art. *ARGOS SpineNews*, 2006:423-427.
139. France JC, Yaszemski MJ, Lauerman WC, et al. A randomized prospective study of posterolateral lumbar fusion. Outcomes with and without pedicle screw instrumentation. *Spine* 1999;24:553-560.
140. Fraser RD. Interbody, posterior, and combined lumbar fusions. *Spine* 1995;20:167S-177S.
141. Freeman BJ, Davenport J. Total disc replacement in the lumbar spine: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2006;15:439-447.
142. Frennered AK, Danielson BI, Nachemson AL. Natural history of symptomatic isthmic low-grade spondylolisthesis in children and adolescents: a seven-year follow-up study. *J Pediatr Orthop* 1991;11:209-213.
143. Friberg O. Instability in spondylolisthesis. *Orthopedics* 1991;14:463-465.
144. Fritsch EW, Heisel J, Rupp S. The failed back surgery syndrome: reasons, intraoperative findings, and long-term results: a report of 182 operative treatments. *Spine* 1996;21:626-633.
145. Fritzell P, Hagg O, Wessberg P, et al. 2001 Volvo Award Winner in Clinical Studies: Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine* 2001;26:2521-2532; discussion 2532-2524.
146. Frobin W, Brinckmann P, Biggemann M, et al. Precision measurement of disc height, vertebral height and sagittal plane displacement from lateral radiographic views of the lumbar spine. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1997;12 Suppl 1:S1-S63.
147. Frobin W, Brinckmann P, Leivseth G, et al. Precision measurement of segmental motion from flexion-extension radiographs of the lumbar spine. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1996;11:457-465.
148. Frymoyer JW. Degenerative Spondylolisthesis: Diagnosis and Treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 1994;2:9-15.
149. Frymoyer JW, Hanley EN, Jr., Howe J, et al. A comparison of radiographic findings in fusion and nonfusion patients ten or more years following lumbar disc surgery. *Spine* 1979;4:435-440.
150. Frymoyer JW, Selby DK. Segmental instability. Rationale for treatment. *Spine* 1985;10:280-286.
151. Fu TS, Lai PL, Tsai TT, et al. Long-term results of disc excision for recurrent lumbar disc herniation with or without posterolateral fusion. *Spine* 2005;30:2830-2834.
152. Führer R, F. R. La version française de l'échelle CES-D (Center for Epidemiologic Studies Depression Scale). *Psychiatre*

et Psychobiologie 1989;4.

153. Fujita T, Kostuik JP, Huckell CB, et al. Complications of spinal fusion in adult patients more than 60 years of age. *Orthop Clin North Am* 1998;29:669-678.
154. 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.
155. Gamradt SC, Wang JC. Lumbar disc arthroplasty. *Spine J* 2005;5:95-103.
156. Gandek B, Ware JE, Aaronson NK, et al. Cross-validation of item selection and scoring for the SF-12 Health Survey in nine countries: results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment*. *J Clin Epidemiol* 1998;51:1171-1178.
157. Gangnet N. Variabilité de la posture chez des sujets asymptomatiques: étude tridimensionnelle par stéréoradiographie et plate-forme de force. Laboratoire de Bio Mécanique de l'ENSAM. Paris, 2001.
158. Gardocki RJ, Watkins RG, Williams LA. Measurements of lumbopelvic lordosis using the pelvic radius technique as it correlates with sagittal spinal balance and sacral translation. *Spine J* 2002;2:421-429.
159. Gatchel RJ, Polatin PB, Mayer TG. The dominant role of psychosocial risk factors in the development of chronic low back pain disability. *Spine* 1995;20:2702-2709.
160. Gauthier J, Bouchard S. Adaptation canadienne-française de la forme révisée du "State-Trait Anxiety Inventory" de Spielberger. *revue Canadienne des Sciences du Comportement* 1993;25:559-578.
161. Gehrchen PM, Dahl B, Katonis P, et al. No difference in clinical outcome after posterolateral lumbar fusion between patients with isthmic spondylolisthesis and those with degenerative disc disease using pedicle screw instrumentation: a comparative study of 112 patients with 4 years of follow-up. *Eur Spine J* 2002;11:423-427.
162. Geisler FH, Blumenthal SL, Guyer RD, et al. Neurological complications of lumbar artificial disc replacement and comparison of clinical results with those related to lumbar arthrodesis in the literature: results of a multicenter, prospective, randomized investigational device exemption study of Charite intervertebral disc. Invited submission from the Joint Section Meeting on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves, March 2004. *J Neurosurg Spine* 2004;1:143-154.
163. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, et al. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine* 1995;20:1351-1358.
164. 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.
165. Gertzbein SD, Betz R, Clements D, et al. Semirigid instrumentation in the management of lumbar spinal conditions combined with circumferential fusion. A multicenter study. *Spine* 1996;21:1918-1925; discussion 1925-1916.
166. Gertzbein SD, Hollopeter MR. Disc herniation after lumbar fusion. *Spine* 2002;27:E373-376.
167. Ghiselli G, Wang JC, Bhatia NN, et al. Adjacent segment degeneration in the lumbar spine. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A:1497-1503.
168. Gibson JN, Grant IC, Waddell G. The Cochrane review of surgery for lumbar disc prolapse and degenerative lumbar spondylosis. *Spine* 1999;24:1820-1832.
169. Gibson JN, Waddell G. Surgery for degenerative lumbar spondylosis: updated Cochrane Review. *Spine* 2005;30:2312-2320.
170. Gill GG. Long-term follow-up evaluation of a few patients with spondylolisthesis treated by excision of the loose lamina with decompression of the nerve roots without spinal fusion. *Clin Orthop Relat Res* 1984;215-219.
171. Gill GG, Manning JG, White HL. Surgical treatment of spondylolisthesis without spine fusion; excision of the loose lamina with decompression of the nerve roots. *J Bone Joint Surg Am* 1955;37-A:493-520.
172. Gillet P, Petit M. Direct repair of spondylolysis without spondylolisthesis, using a rod-screw construct and bone grafting of the pars defect. *Spine* 1999;24:1252-1256.
173. Glaser JA, Bernhardt M, Found EM, et al. Lumbar arthrodesis for degenerative conditions. *Instr Course Lect* 2004;53:325-340.
174. Godde S, Fritsch E, Dienst M, et al. Influence of cage geometry on sagittal alignment in instrumented posterior lumbar interbody fusion. *Spine* 2003;28:1693-1699.
175. Goel VK, Ebraheim NA, Biyani A, et al. Role of mechanical factors in the evaluation of pedicle screw type spinal fixation devices. *Neurol India* 2005;53:399-407.
176. Goel VK, Panjabi MM, Patwardhan AG, et al. Test protocols for evaluation of spinal implants. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88 Suppl 2:103-109.
177. Goto K, Tajima N, Chosa E, et al. Effects of lumbar spinal fusion on the other lumbar intervertebral levels (three-dimensional finite element analysis). *J Orthop Sci* 2003;8:577-584.
178. Graf H. Traitement à l'aide d'un système souple. *Rachis* 1992;4:123-137.
179. Graver V, Haaland AK, Magnaes B, et al. Seven-year clinical follow-up after lumbar disc surgery: results and predictors of outcome. *Br J Neurosurg* 1999;13:178-184.
180. Graver V, Ljunggren AE, Malt UF, et al. Can psychological traits predict the outcome of lumbar disc surgery when anamnestic and physiological risk factors are controlled for? Results of a prospective cohort study. *J Psychosom Res* 1995;39:465-476.
181. Gray H. *Anatomy of the Human Body*. Philadelphia: Bartleby.com, 2000.
182. Green TP, Allvey JC, Adams MA. Spondylolysis. Bending of the inferior articular processes of lumbar vertebrae during simulated spinal movements. *Spine* 1994;19:2683-2691.
183. Grob D, Benini A, Junge A, et al. Clinical experience with the Dynesys semirigid fixation system for the lumbar spine: surgical and patient-oriented outcome in 50 cases after an average of 2 years. *Spine* 2005;30:324-331.
184. 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.
185. Grubb SA, Lipscomb HJ. Results of lumbosacral fusion for degenerative disc disease with and without instrumentation. Two- to five-year follow-up. *Spine* 1992;17:349-355.
186. Gruber HE, Hanley EN, Jr. Analysis of aging and degeneration of the human intervertebral disc. Comparison of surgical specimens with normal controls. *Spine* 1998;23:751-757.
187. Grzegorzewski A, Kumar SJ. In situ posterolateral spine arthrodesis for grades III, IV, and V spondylolisthesis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 2000;20:506-511.

188. Guigui P, Cardinne L, Rillardon L, et al. [Per- and postoperative complications of surgical treatment of lumbar spinal stenosis. Prospective study of 306 patients]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2002a;88:669-677.
189. 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.
190. Guigui P, Devyver B, Rillardon L, et al. [Intraoperative and early postoperative complications of lumbar and lumbosacral fusion: prospective analysis of 872 patients]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2004;90:5-15.
191. Guigui P, Lambert P, Lassale B, et al. [Long-term outcome at adjacent levels of lumbar arthrodesis]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1997;83:685-696.
192. Guigui P, Levassor N, Rillardon L, et al. [Physiological value of pelvic and spinal parameters of sagittal balance: analysis of 250 healthy volunteers]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003;89:496-506.
193. Guigui P, Rillardon L, Veil-Picard A, et al. [Validation of a self-administered functional evaluation questionnaire after surgical treatment of lumbar spine stenosis]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2002b;88:601-612.
194. Gwilym S, Neen D, Birch N. Clinical Outcomes of Circumferential Spinal Fusion Do Not Match Radiological Results Despite Rigorous Patient Selection. *The Internet Journal of Spine Surgery* 2005;1.
195. Hagg O, Fritzell P, Ekselius L, et al. Predictors of outcome in fusion surgery for chronic low back pain. A report from the Swedish Lumbar Spine Study. *Eur Spine J* 2003;12:22-33.
196. Hambly MF, Wiltse LL, Raghavan N, et al. The transition zone above a lumbosacral fusion. *Spine* 1998;23:1785-1792.
197. Hamill CL, Simmons ED, Jr. Interobserver variability in grading lumbar fusions. *J Spinal Disord* 1997;10:387-390.
198. Hanley EN, Jr. The indications for lumbar spinal fusion with and without instrumentation. *Spine* 1995;20:143S-153S.
199. Hansen D, Mior S, Mootz R. Outcomes assessment. In SG Y ed. *The Clinical Application of Outcomes Assessment*. Stamford Connecticut: Appleton & Lange, 2000.
200. Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, et al. Correlation of pelvic incidence with low- and high-grade isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2002a;27:2026-2029.
201. Hanson DS, Bridwell KH, Rhee JM, et al. Dowel fibular strut grafts for high-grade dysplastic isthmic spondylolisthesis. *Spine* 2002b;27:1982-1988.
202. Harris W, Fleming J, Gertzbein S. *Back Pain: The Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal*, 2003.
203. Harrison DD, Cailliet R, Janik T], et al. Elliptical modeling of the sagittal lumbar lordosis and segmental rotation angles as a method to discriminate between normal and low back pain subjects. *J Spinal Disord* 1998;11:430-439.
204. Hartwig E, Hoellen I, Liener U, et al. [Occupational disease 2108. Degeneration pattern in magnetic resonance tomography of the lumbar spine in patient with differential weight-bearing activity]. *Unfallchirurg* 1997;100:888-894.
205. Hartwig E, Schultheiss M, Kramer S, et al. [Occupational disease 2108. Degenerative changes of the cervical spine as a causality criterion in the assessment of discogenic diseases according to BeKV 2108]. *Unfallchirurg* 2003;106:306-312.
206. Harvald B. Genetic epidemiology of Greenland. *Arctic Med Res* 1989;48:171-174.
207. Hasenbring M, Marienfeld G, Kuhlendahl D, et al. Risk factors of chronicity in lumbar disc patients. A prospective investigation of biologic, psychologic, and social predictors of therapy outcome. *Spine* 1994;19:2759-2765.
208. Hashimoto T, Oha F, Shigenobu K, et al. Mid-term clinical results of Graf stabilization for lumbar degenerative pathologies. a minimum 2-year follow-up. *Spine J* 2001;1:283-289.
209. Hayes MA, Howard TC, Gruel CR, et al. Roentgenographic evaluation of lumbar spine flexion-extension in asymptomatic individuals. *Spine* 1989;14:327-331.
210. Hefti F. [Direct screw repair of spondylolysis with the hooked screw]. *Orthopade* 1997;26:769-773.
211. Herkowitz HN. Spine update. Degenerative lumbar spondylolisthesis. *Spine* 1995;20:1084-1090.
212. Herkowitz HN, Kurz LT. Degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis. A prospective study comparing decompression with decompression and intertransverse process arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 1991;73:802-808.
213. Hermantin FU, Peters T, Quartararo L, et al. A prospective, randomized study comparing the results of open discectomy with those of video-assisted arthroscopic microdiscectomy. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:958-965.
214. Herron LD, Mangelsdorf C. Lumbar spinal stenosis: results of surgical treatment. *J Spinal Disord* 1991;4:26-33.
215. Herron LD, Trippi AC. L4-5 degenerative spondylolisthesis. The results of treatment by decompressive laminectomy without fusion. *Spine* 1989;14:534-538.
216. Hitchon P, S R, Traynelis V. *Techniques in spinal fusion and stabilization*: Ed Thieme, 1994.
217. Hodges SD, Humphreys SC, Eck JC, et al. Predicting factors of successful recovery from lumbar spine surgery among workers' compensation patients. *J Am Osteopath Assoc* 2001;101:78-83.
218. Hoogendoorn WE, van Poppel MN, Bongers PM, et al. Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine* 2000;25:2114-2125.
219. Hu RW, Jaglal S, Axcell T, et al. A population-based study of reoperations after back surgery. *Spine* 1997;22:2265-2270; discussion 2271.
220. Hu SS, Bradford DS, Transfeldt EE, et al. Reduction of high-grade spondylolisthesis using Edwards instrumentation. *Spine* 1996;21:367-371.
221. Huang RC, Lim MR, Girardi FP, et al. The prevalence of contraindications to total disc replacement in a cohort of lumbar surgical patients. *Spine* 2004;29:2538-2541.
222. Humphreys SC, Eck JC. Clinical evaluation and treatment options for herniated lumbar disc. *Am Fam Physician* 1999;59:575-582, 587-578.
223. Hunt SM, McKenna SP, Williams J. Reliability of a population survey tool for measuring perceived health problems: a study of patients with osteoarthritis. *J Epidemiol Community Health* 1981;35:297-300.
224. Husson J, JL P, Nydegger T. Prothèse du nucléus pulposus lombaire par spirale à mémoire de forme : concept cahier des charges étude expérimentale et premiers résultats cliniques. *Revue de chirurgie orthopédique* 2002;88:62-64.
225. 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.
226. Inoue S, Watanabe T, Hirose A, et al. Anterior discectomy and interbody fusion for lumbar disc herniation. A review of 350 cases. *Clin Orthop Relat Res* 1984;22-31.
227. 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.
228. Ishihara H, Osada R, Kanamori M, et al. Minimum 10-year follow-up study of anterior lumbar interbody fusion for

- isthmie spondylolisthésis. *J Spinal Disord* 2001;14:91-99.
229. Itoi E. Roentgenographic analysis of posture in spinal osteoporotics. *Spine* 1991;16:750-756.
230. Ivanic GM, Pink TP, Achatz W, et al. Direct stabilization of lumbar spondylolysis with a hook screw: mean 11-year follow-up period for 113 patients. *Spine* 2003;28:255-259.
231. Jackson RP, Hales C. Congruent spinopelvic alignment on standing lateral radiographs of adult volunteers. *Spine* 2000a;25:2808-2815.
232. Jackson RP, Kanemura T, Kawakami N, et al. Lumbopelvic lordosis and pelvic balance on repeated standing lateral radiographs of adult volunteers and untreated patients with constant low back pain. *Spine* 2000b;25:575-586.
233. 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.
234. Jacobs WC, Vreeling A, De Kleuver M. Fusion for low-grade adult isthmie spondylolisthésis: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2006;15:391-402.
235. Jacobs WC, Vreeling A, De Kleuver M. Fusion for low-grade adult isthmie spondylolisthésis: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2005.
236. Jansson KA, Nemeth G, Granath F, et al. Surgery for herniation of a lumbar disc in Sweden between 1987 and 1999. An analysis of 27,576 operations. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:841-847.
237. Jenkins LT, Jones AL, Harms JJ. Prognostic factors in lumbar spinal fusion. *Contemp Orthop* 1994;29:173-180.
238. Jouve J. Spondylolyse et spondylolisthésis lombosacrée de l'enfant et de l'adolescent. *Conférences d'enseignement de la Sofcot* 2001;78: 171-192.
239. Junge A, Frohlich M, Ahrens S, et al. Predictors of bad and good outcome of lumbar spine surgery. A prospective clinical study with 2 years' follow up. *Spine* 1996;21:1056-1064; discussion 1064-1055.
240. Kambin P, O'Brien E, Zhou L, et al. Arthroscopic microdiscectomy and selective fragmentectomy. *Clin Orthop Relat Res* 1998:150-167.
241. Kamina P. Anatomie Générale. In Maloine ed. Anatomie, introduction à la clinique: Maloine édition, 1997:1-11.
242. Kant AP, Daum WJ, Dean SM, et al. Evaluation of lumbar spine fusion. Plain radiographs versus direct surgical exploration and observation. *Spine* 1995;20:2313-2317.
243. Kapandji I. Tronc et rachis. In Maloine E ed. Physiologie articulaire: Maloine, 1986.
244. Katayama Y, Matsuyama Y, Yoshihara H, et al. Comparison of surgical outcomes between macro discectomy and micro discectomy for lumbar disc herniation: a prospective randomized study with surgery performed by the same spine surgeon. *J Spinal Disord Tech* 2006;19:344-347.
245. Katsuura A, Hukuda S, Saruhashi Y, et al. Kyphotic malalignment after anterior cervical fusion is one of the factors promoting the degenerative process in adjacent intervertebral levels. *Eur Spine J* 2001;10:320-324.
246. 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.
247. Katz JN, Lipson SJ, Lew RA, et al. Lumbar laminectomy alone or with instrumented or noninstrumented arthrodesis in degenerative lumbar spinal stenosis. Patient selection, costs, and surgical outcomes. *Spine* 1997;22:1123-1131.
248. Katz JN, Stucki G, Lipson SJ, et al. Predictors of surgical outcome in degenerative lumbar spinal stenosis. *Spine* 1999;24:2229-2233.
249. Kawakami M, Tamaki T, Ando M, et al. Lumbar sagittal balance influences the clinical outcome after decompression and posterolateral spinal fusion for degenerative lumbar spondylolisthésis. *Spine* 2002;27:59-64.
250. Keller RB. Outcomes Research in Orthopaedics. *J Am Acad Orthop Surg* 1993;1:122-129.
251. Keller TS, Colloca CJ, Harrison DE, et al. Influence of spine morphology on intervertebral disc loads and stresses in asymptomatic adults: implications for the ideal spine. *Spine J* 2005;5:297-309.
252. Kerns RD, Turk DC, Rudy TE. The West Haven-Yale Multidimensional Pain Inventory (WHYMPI). *Pain* 1985;23:345-356.
253. Kerr MS, Frank JW, Shannon HS, et al. Biomechanical and psychosocial risk factors for low back pain at work. *Am J Public Health* 2001;91:1069-1075.
254. Kim YS, Chin DK, Yoon DH, et al. Predictors of successful outcome for lumbar chemonucleolysis: analysis of 3000 cases during the past 14 years. *Neurosurgery* 2002;51:S123-128.
255. Kimura I, Shingu H, Murata M, et al. Lumbar posterolateral fusion alone or with transpedicular instrumentation in L4-L5 degenerative spondylolisthésis. *J Spinal Disord* 2001;14:301-310.
256. Kimura M. [My method of filing the lesion with spongy bone in spondylolysis and spondylolisthésis]. *Seikei Geka* 1968;19:285-296.
257. Kirkaldy-Willis WH, Farfan HF. Instability of the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 1982:110-123.
258. Kissling R, Jacob A. La mobilité de l'articulation sacro-iliaque chez des sujets sains. *Rachis* 1997; 9:280-285.
259. Kjellby-Wendt G, Carlsson SG, Styf J. Results of early active rehabilitation 5-7 years after surgical treatment for lumbar disc herniation. *J Spinal Disord Tech* 2002;15:404-409.
260. Kjellby-Wendt G, Styf J, Carlsson SG. Early active rehabilitation after surgery for lumbar disc herniation: a prospective, randomized study of psychometric assessment in 50 patients. *Acta Orthop Scand* 2001;72:518-524.
261. Klasen BW, Bruggert J, Hasenbring M. [Role of cognitive pain coping strategies for depression in chronic back pain Path analysis of patients in primary care.]. *Schmerz* 2006.
262. Knaub MA, Won DS, McGuire R, et al. Lumbar spinal stenosis: indications for arthrodesis and spinal instrumentation. *Instr Course Lect* 2005;54:313-319.
263. Koleck M, Bruchon-Schweitzer M, Gilliard J. Evaluer la dépression-trait : adaptation et validation de la CES-D. 2ème Congrès International de Psychologie de la Santé de Langue Française, Metz, 2003.
264. Kornblum MB, Fischgrund JS, Herkowitz HN, et al. Degenerative lumbar spondylolisthésis with spinal stenosis: a prospective long-term study comparing fusion and pseudarthrosis. *Spine* 2004;29:726-733; discussion 733-724.
265. Korovessis P, Papazisis Z, Koureas G, et al. Rigid, semirigid versus dynamic instrumentation for degenerative lumbar spinal stenosis: a correlative radiological and clinical analysis of short-term results. *Spine* 2004;29:735-742.
266. 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; discussion 704-705.
267. Kowalski R, Ferrara L, Benzel E. Biomechanics of the spine. *Neurosurg Q* 2005;15:42-59.

268. Kumar A, Kozak JA, Doherty BJ, et al. Interspace distraction and graft subsidence after anterior lumbar fusion with femoral strut allograft. *Spine* 1993;18:2393-2400.
269. Kumar MN, Baklanov A, Chopin D. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 2001a;10:314-319.
270. 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* 2001b;10:309-313.
271. Kuroki H, Tajima N, Kubo S. Clinical results of posterolateral fusion for degenerative lumbar spinal diseases: a follow-up study of more than 10 years. *J Orthop Sci* 2002;7:317-324.
272. Kuslich S, Ulstrom C, Clune C, et al. The tissue origin of low-back pain and sciatica. A report of pain response to tissue stimulation during operations of the lumbar spine using local anesthesia. In society III ed. International Intradiscal therapy society congress. Phoenix Arizona, 1983.
273. 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.
274. 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.
275. Kwon BK, Hilibrand AS, Malloy K, et al. A critical analysis of the literature regarding surgical approach and outcome for adult low-grade isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 2005;18 Suppl:S30-40.
276. LaCaille RA, DeBerard MS, Masters KS, et al. Presurgical biopsychosocial factors predict multidimensional patient: outcomes of interbody cage lumbar fusion. *Spine J* 2005;5:71-78.
277. Lafage V, Laporte S, Dubousset J, et al. Personalized finite element mesh of human body structure using 3D reconstruction and kriging technique. ISB. Zurich, Suisse, 2001:207.
278. Laloux E, Elsig J. Anterior lumbar interbody fusion (ALIF) with carbon composite cages. *Rivista di Neuroradiologia* 1999;12:111-114.
279. Lamberg TS, Remes VM, Helenius IJ, et al. Long-term clinical, functional and radiological outcome 21 years after posterior or posterolateral fusion in childhood and adolescence isthmic spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2005;14:639-644.
280. Lane L, Moore E. Transperitoneal approach to the intervertebral disc in the lumbar area. *Ann Surg* 1948;127:537-551.
281. Larson S, Maiman D. *Surgery of the lumbar spine*. New York: Thieme, 1999.
282. Lassale B, Deburge A, Benoist M. [Long-term results of the surgical treatment of lumbar stenosis]. *Rev Rhum Mal Osteoartic* 1985;52:27-33.
283. Lassale B, Guigui P, Delecourt C. Voies d'abord du rachis. In techniques E ed. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Techniques chirurgicales*. Paris, 1995:44-150.
284. Lavaste F. Contribution à l'étude du comportement biomécanique du rachis lombaire. Paris: Université de Paris VI, 1990.
285. Lavaste F, Skalli W, Robin S, et al. Three-dimensional geometrical and mechanical modelling of the lumbar spine. *J Biomech* 1992;25:1153-1164.
286. Lawlis GF, Cuencas R, Selby D, et al. The development of the Dallas Pain Questionnaire. An assessment of the impact of spinal pain on behavior. *Spine* 1989;14:511-516.
287. Lazennec JY, Ramare S, Arafati N, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J* 2000;9:47-55.
288. Le Huec JC, Mathews H, Basso Y, et al. Clinical results of Maverick lumbar total disc replacement: two-year prospective follow-up. *Orthop Clin North Am* 2005;36:315-322.
289. Lecoutre E. Analyse factorielle discriminante. Cours de statistique 1998.
290. Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study. *Spine* 1984;9:574-581.
291. Lee SH, Choi WG, Lim SR, et al. Minimally invasive anterior lumbar interbody fusion followed by percutaneous pedicle screw fixation for isthmic spondylolisthesis. *Spine J* 2004;4:644-649.
292. Lee SH, Chung SE, Ahn Y, et al. Comparative radiologic evaluation of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open microdiscectomy: a matched cohort analysis. *Mt Sinai J Med* 2006;73:795-801.
293. Legaye J, Duval-Beaupere G. Sagittal plane alignment of the spine and gravity: a radiological and clinical evaluation. *Acta Orthop Belg* 2005;71:213-220.
294. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998;7:99-103.
295. Legaye J, Hecquet J, Marty C, et al. Equilibre sagittal du rachis, relation entre bassin et courbures sagittales en position debout. *Rachis* 1993;5:215-226.
296. Lehmann TR, LaRocca HS. Repeat lumbar surgery. A review of patients with failure from previous lumbar surgery treated by spinal canal exploration and lumbar spinal fusion. *Spine* 1981;6:615-619.
297. Lemaire JP, Skalli W, Lavaste F, et al. Intervertebral disc prosthesis. Results and prospects for the year 2000. *Clin Orthop Relat Res* 1997;64-76.
298. Lenke LG, Bridwell KH, Bullis D, et al. Results of in situ fusion for isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord* 1992;5:433-442.
299. Leplege A, Ecosse E, Verdier A, et al. The French SF-36 Health Survey: translation, cultural adaptation and preliminary psychometric evaluation. *J Clin Epidemiol* 1998;51:1013-1023.
300. Lerat J. *Orthopédie, sémiologie et traumatologie du rachis*. Paris: CHU- Pitié Salpêtrière, 2006.
301. 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.
302. Lerat JL, Basso MP, Moyen B, et al. Arthrodesis lombaire intersomatique postérieure (ALIP). Comparaison avec les autres méthodes d'arthrodèses. Techniques. Indications. Résultats. In Française ES ed. *Conférences d'enseignement SOFCOT*. Paris, 1987:275-322.
303. Levassor N. Les paramètres pelviens et rachidiens de l'équilibre sagittale du rachis. Académie de Paris. Paris: Faculté de Médecine Necker, 2001.
304. Levin DA, Hale JJ, Bendo JA. Adjacent segment degeneration following spinal fusion for degenerative disc disease. *Bull NYU Hosp Jt Dis* 2007;65:29-36.
305. Lin PM. Posterior lumbar interbody fusion technique: complications and pitfalls. *Clin Orthop Relat Res* 1985:90-102.
306. Lin RM, Yu CY, Chang ZJ, et al. Flexion-extension rhythm in the lumbosacral spine. *Spine* 1994;19:2204-2209.

307. Louis R. [Isthmic reconstitution of spondylolysis using screw plates and grafts without arthrodesis (78 cases)]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1988;74 Suppl 2:80-83.
308. Louis R, Goutallier D. Fractures instables du rachis (symposium). *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1977;63:415-481.
309. Louis R, Louis C. Chirurgie du spondylolisthesis. In - Et ed. *Encycl Méd Chir-Techniques chirurgicales- Orthopédie-Traumatologie*: Elsevier Paris, 1997:44-179.
310. Lundin DA, Wiseman D, Ellenbogen RG, et al. Direct repair of the pars interarticularis for spondylolysis and spondylolisthesis. *Pediatr Neurosurg* 2003;39:195-200.
311. Madan SS, Boeree NR. Comparison of instrumented anterior interbody fusion with instrumented circumferential lumbar fusion. *Eur Spine J* 2003a;12:567-575.
312. Madan SS, Harley JM, Boeree NR. Anterior lumbar interbody fusion: does stable anterior fixation matter? *Eur Spine J* 2003b;12:386-392.
313. Maghout Juratli S, Franklin GM, Mirza SK, et al. Lumbar fusion outcomes in Washington State workers' compensation. *Spine* 2006;31:2715-2723.
314. Magora A. Conservative treatment in spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1976:74-79.
315. 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.
316. Malter AD, McNeney B, Loeser JD, et al. 5-year reoperation rates after different types of lumbar spine surgery. *Spine* 1998;23:814-820.
317. Mangione P, Senegas J. [Sagittal balance of the spine]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1997;83:22-32.
318. Maquet P. Calcul des forces transmises par les articulations vertébrales L4-L5 et L5-S1. *Acta Orthopédica Belgica* 1981;47:17-32.
319. Mardjetko SM, Connolly PJ, Shott S. Degenerative lumbar spondylolisthesis. A meta-analysis of literature 1970-1993. *Spine* 1994;19:2256S-2265S.
320. Marin FZ. CAM versus nucleoplasty. *Acta Neurochir Suppl* 2005;92:111-114.
321. Marnay T. Equilibre du rachis et du bassin. Conférences d'enseignement, SOFCOT. Paris: Expansion Scientifique, 1988:281-313.
322. Marty C, Boisubert B, Descamps H, et al. The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 2002;11:119-125.
323. Marty C, Poumarat. Equilibre sagittal du rachis dégénératif. GIEDA. Bordeaux, 2003.
324. Marty M, Blotman F, Avouac B, et al. Validation of the French version of the Dallas Pain Questionnaire in chronic low back pain patients. *Rev Rhum Engl Ed* 1998;65:126-134.
325. Matsui H, Kanamori M, Ishihara H, et al. Familial predisposition for lumbar degenerative disc disease. A case-control study. *Spine* 1998;23:1029-1034.
326. Matthiass HH, Heine J. The surgical reduction of spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1986:34-44.
327. Maurice HD, Morley TR. Cauda equina lesions following fusion in situ and decompressive laminectomy for severe spondylolisthesis. Four case reports. *Spine* 1989;14:214-216.
328. Mayer HM. A new microsurgical technique for minimally invasive anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 1997;22:691-699; discussion 700.
329. 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.
330. Mayoux-Benhamou M, Revel M. Disque intervertébral et structures voisines de la colonne lombaire : anatomie, physiologie, biomécanique. In *Techniques E ed. Encycl. Med-Chir. . Appareil locomoteur. Paris-France, 1994.*
331. Mazel C. Instrumentation rachidienne flexible Twinflex dans les arthrodèses lombaires et lombosacrées. Série de 114 cas avec un recul minimal de 1 an. *EJOST* 1992a;5:271-277.
332. Mazel C. Instrumentation rachidienne flexible Twinflex dans les arthrodèses lombaires et lombosacrées - série de 114 cas avec un recul minimal de 1 an. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology* 1995;5:271-277.
333. Mazel C, Steib J. Les ostéosynthèses transpédiculaires lombosacrées trop rigides sont-elles légitimes? *EJOST* 1992b;2:119-124.
334. McAfee PC, Boden SD, Brantigan JW, et al. Symposium: a critical discrepancy-a criteria of successful arthrodesis following interbody spinal fusions. *Spine* 2001;26:320-334.
335. McGregor AH, Cattermole HR, Hughes SP. Spinal motion in lumbar degenerative disc disease. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:1009-1013.
336. McGuire RA, Amundson GM. The use of primary internal fixation in spondylolisthesis. *Spine* 1993;18:1662-1672.
337. McNally DS, Shackelford IM, Goodship AE, et al. In vivo stress measurement can predict pain on discography. *Spine* 1996;21:2580-2587.
338. Meyerding H. Spondylolisthesis. *Surg Gynecol Obstet* 1932;54:371-377.
339. Mihara H, Onari K, Cheng BC, et al. The biomechanical effects of spondylolysis and its treatment. *Spine* 2003;28:235-238.
340. Mijiyawa M, Oniankitan O, Kolani B, et al. Low back pain in hospital outpatients in Lome (Togo). *Joint Bone Spine* 2000;67:533-538.
341. Milette PC. Investigation radiologique des lombalgies. In cours ed. Montréal: Université de Montréal, 2003.
342. 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.
343. Million R, Hall W, Nilsen KH, et al. Assessment of the progress of the back-pain patient 1981 Volvo Award in Clinical Science. *Spine* 1982;7:204-212.
344. Molinari RW, Bridwell KH, Klepps SJ, et al. Minimum 5-year follow-up of anterior column structural allografts in the thoracic and lumbar spine. *Spine* 1999a;24:967-972.
345. Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Complications in the surgical treatment of pediatric high-grade, isthmic dysplastic spondylolisthesis. A comparison of three surgical approaches. *Spine* 1999b;24:1701-1711.
346. Moller H, Hedlund R. Surgery versus conservative management in adult isthmic spondylolisthesis--a prospective randomized study: part 1. *Spine* 2000;25:1711-1715.

347. Morel E, Ilharreborde B, Lenoir T, et al. [Sagittal balance of the spine and degenerative spondylolisthesis]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2005;91:615-626.
348. Morris J, Lucas D, B B. Role of the trunk in the stability of spine. *J Bone Joint Surg Am* 1961;43:3.
349. Morscher E, Dick W. Internal fixation for spondylolisthesis. *AO Spine Course*. Davos, Suisse, 1986:14-19.
350. Muggleton JM, Kondracki M, Allen R. Spinal fusion for lumbar instability: does it have a scientific basis? *J Spinal Disord* 2000;13:200-204.
351. Mulholland RC, Sengupta DK. Rationale, principles and experimental evaluation of the concept of soft stabilization. *Eur Spine J* 2002;11 Suppl 2:S198-205.
352. Nachemson A, Zdeblick TA, O'Brien JP. Lumbar disc disease with discogenic pain. What surgical treatment is most effective? *Spine* 1996;21:1835-1838.
353. Nachemson AL. Disc pressure measurements. *Spine* 1981;6:93-97.
354. Nachemson AL. Instability of the lumbar spine. Pathology, treatment, and clinical evaluation. *Neurosurg Clin N Am* 1991;2:785-790.
355. Nachemson AL. Intradiscal pressure. *J Neurosurg* 1995;82:1095.
356. Natarajan RN, Andersson GB. The influence of lumbar disc height and cross-sectional area on the mechanical response of the disc to physiologic loading. *Spine* 1999;24:1873-1881.
357. Newman MH, Grinstead GL. Anterior lumbar interbody fusion for internal disc disruption. *Spine* 1992;17:831-833.
358. Newman PH. Surgical treatment for spondylolisthesis in the adult. *Clin Orthop Relat Res* 1976:106-111.
359. Newton PO, Johnston CE, 2nd. Analysis and treatment of poor outcomes following in situ arthrodesis in adolescent spondylolisthesis. *J Pediatr Orthop* 1997;17:754-761.
360. Nicol RO, Scott JH. Lytic spondylolysis. Repair by wiring. *Spine* 1986;11:1027-1030.
361. Niggemeyer O, Strauss JM, Schultz KP. Comparison of surgical procedures for degenerative lumbar spinal stenosis: a meta-analysis of the literature from 1975 to 1995. *Eur Spine J* 1997;6:423-429.
362. Nohara Y, Taneichi H, Ueyama K, et al. Nationwide survey on complications of spine surgery in Japan. *J Orthop Sci* 2004;9:424-433.
363. Nordin J-Y. Spondylolisthesis par lyse isthmique. Spondylolisthesis dégénératif. *Encyclopédie medico-chirurgicale, Appareil locomoteur*: Edition Techniques, 1991.
364. Nork SE, Hu SS, Workman KL, et al. Patient outcomes after decompression and instrumented posterior spinal fusion for degenerative spondylolisthesis. *Spine* 1999;24:561-569.
365. Nozawa S, Shimizu K, Miyamoto K, et al. Repair of pars interarticularis defect by segmental wire fixation in young athletes with spondylolysis. *Am J Sports Med* 2003;31:359-364.
366. Nygaard OP, Kloster R, Solberg T. Duration of leg pain as a predictor of outcome after surgery for lumbar disc herniation: a prospective cohort study with 1-year follow up. *J Neurosurg* 2000;92:131-134.
367. O'Brien JP, Mehdian H, Jaffray D. Reduction of severe lumbosacral spondylolisthesis. A report of 22 cases with a ten-year follow-up period. *Clin Orthop Relat Res* 1994:64-69.
368. Ogston NG, King GJ, Gertzbein SD, et al. Centrod patterns in the lumbar spine. Baseline studies in normal subjects. *Spine* 1986;11:591-595.
369. Okuda S, Iwasaki M, Miyauchi A, et al. Risk factors for adjacent segment degeneration after PLIF. *Spine* 2004;29:1535-1540.
370. 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.
371. Osterman H, Sund R, Seitsalo S, et al. Risk of multiple reoperations after lumbar discectomy: a population-based study. *Spine* 2003;28:621-627.
372. Osterman K, Schlenzka D, Poussa M, et al. Isthmic spondylolisthesis in symptomatic and asymptomatic subjects, epidemiology, and natural history with special reference to disk abnormality and mode of treatment. *Clin Orthop Relat Res* 1993:65-70.
373. 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.
374. Padua R, Padua L, Ceccarelli E, et al. Italian version of the Roland Disability Questionnaire, specific for low back pain: cross-cultural adaptation and validation. *Eur Spine J* 2002;11:126-129.
375. Panagiotacopoulos ND, Pope MH, Bloch R, et al. Water content in human intervertebral discs. Part II. Viscoelastic behavior. *Spine* 1987;12:918-924.
376. Panjabi M, Yamamoto I, Oxland T, et al. How does posture affect coupling in the lumbar spine? *Spine* 1989;14:1002-1011.
377. Panjabi MM, Takata K, Goel VK. Kinematics of lumbar intervertebral foramen. *Spine* 1983;8:348-357.
378. 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.
379. Park P, Garton HJ, Gala VC, et al. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine* 2004;29:1938-1944.
380. Percy M, Portek I, Shepherd J. The effect of low-back pain on lumbar spinal movements measured by three-dimensional X-ray analysis. *Spine* 1985;10:150-153.
381. Percy M, Portek I, Shepherd J. Three-dimensional x-ray analysis of normal movement in the lumbar spine. *Spine* 1984;9:294-297.
382. Percy MJ, Bogduk N. Instantaneous axes of rotation of the lumbar intervertebral joints. *Spine* 1988;13:1033-1041.
383. Peltier LF. Complications Associated with Fractures of the Pelvis. *J Bone Joint Surg Am* 1965;47:1060-1069.
384. Pennal GF, Conn GS, McDonald G, et al. Motion studies of the lumbar spine: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Br* 1972;54:442-452.
385. Penta M, Fraser RD. Anterior lumbar interbody fusion. A minimum 10-year follow-up. *Spine* 1997;22:2429-2434.
386. 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.
387. Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, et al. An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction. *Spine* 1996;21:1133-1138; discussion 1139.

388. Pfeiffer M, Hildebrand R, Grande M, et al. Evaluation of indication-based use of transpedicular instrumentations with different rigidity for lumbar spinal fusion: a prospective pilot study with 3 years of follow-up. *Eur Spine J* 2003;12:369-377.
389. Poiraudou S, Revel M. Lumbalgies. In techniques E ed. *Encycl Med Chir, Appareil locomoteur*. Paris- France: Elsevier, 1994.
390. Polly DW, Jr., Kilkelly FX, McHale KA, et al. Measurement of lumbar lordosis. Evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability. *Spine* 1996;21:1530-1535; discussion 1535-1536.
391. Pope M, Wilder D, Krag M. Biomechanics of the lumbar spine. A. Basic principles. In JW F ed. *The Adult Spine. Principles and Practice*. New York: Raven Press, 1991:1487-1502.
392. Pope MH, Frymoyer JW, Krag MH. Diagnosing instability. *Clin Orthop Relat Res* 1992;60-67.
393. Pope MH, Panjabi M. Biomechanical definitions of spinal instability. *Spine* 1985;10:255-256.
394. Potter BK, Freedman BA, Verwiebe EG, et al. Transforaminal lumbar interbody fusion: clinical and radiographic results and complications in 100 consecutive patients. *J Spinal Disord Tech* 2005;18:337-346.
395. Pouget G, Chaboche P, Servant J, et al. L'arthrodèse postérolatérale lombaire et lombosacrée. Historique. Technique. Résultats d'une série homogène de 78 cas. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1979;65:365-372.
396. Prasarthitha T. Surgical repair of pars defects in spondylolysis. *J Med Assoc Thai* 2001;84:1235-1240.
397. Putzier M, Schneider SV, Funk JF, et al. The surgical treatment of the lumbar disc prolapse: nucleotomy with additional transpedicular dynamic stabilization versus nucleotomy alone. *Spine* 2005;30:E109-114.
398. Radloff LS. The CES-D scale: A self-report depression scale for research in the general population. *Applied Psychological Measurement* 1977;1:385-401.
399. Rahm MD, Hall BB. Adjacent-segment degeneration after lumbar fusion with instrumentation: a retrospective study. *J Spinal Disord* 1996;9:392-400.
400. Rajnics P, Pomeroy V, Templier A, et al. Computer-assisted assessment of spinal sagittal plane radiographs. *J Spinal Disord* 2001;14:135-142.
401. Rao RD, David KS, Wang M. Biomechanical changes at adjacent segments following anterior lumbar interbody fusion using tapered cages. *Spine* 2005;30:2772-2776.
402. Ray CD. Threaded titanium cages for lumbar interbody fusions. *Spine* 1997;22:667-679; discussion 679-680.
403. 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.
404. Rémy AJ, Daures JP, al. TGe. Mesure de la qualité de vie chez des malades ayant une hépatite chronique virale C : validation d'un indicateur général et d'un indicateur spécifique. Premières données françaises. *Gastroenterol Clin Biol* 1999;23:1296-1309.
405. Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, et al. Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 8: lumbar fusion for disc herniation and radiculopathy. *J Neurosurg Spine* 2005a;2:673-678.
406. Resnick DK, Choudhri TF, Dailey AT, et al. Guidelines for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 12: pedicle screw fixation as an adjunct to posterolateral fusion for low-back pain. *J Neurosurg Spine* 2005b;2:700-706.
407. Ricciardi JE, Pflueger PC, Isaza JE, et al. Transpedicular fixation for the treatment of isthmic spondylolisthesis in adults. *Spine* 1995;20:1917-1922.
408. 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.
409. 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.
410. Roca J, Iborra M, Cavanilles-Walker JM, et al. Direct repair of spondylolysis using a new pedicle screw hook fixation: clinical and CT-assessed study: an analysis of 19 patients. *J Spinal Disord Tech* 2005;18 Suppl:S82-89.
411. Rodrigues FF, Dozza DC, de Oliveira CR, et al. Failed back surgery syndrome: casuistic and etiology. *Arq Neuropsiquiatr* 2006;64:757-761.
412. Rodriguez-Garcia J, Sanchez-Gastaldo A, Ibanez-Campos T, et al. [Related factors with the failed surgery of herniated lumbar disc.]. *Neurocirugia (Astur)* 2005;16:507-517.
413. Roland M, Morris R. A study of the natural history of back pain. Part I: development of a reliable and sensitive measure of disability in low-back pain. *Spine* 1983;8:141-144.
414. Rosenberg NJ, Bargar WL, Friedman B. The incidence of spondylolysis and spondylolisthesis in nonambulatory patients. *Spine* 1981;6:35-38.
415. Rosnow RL, Rosenthal R. Computing contrasts, effect sizes, and counterfactuals on other people's published data: General procedures for research consumers. *Psychological Methods* 1996;1:331-340.
416. Rossi F, Dragoni S. The prevalence of spondylolysis and spondylolisthesis in symptomatic elite athletes: radiographic findings. *Radiography* 2001;7:37-42.
417. Rousseau MA, Lazennec JY, Bass EC, et al. Predictors of outcomes after posterior decompression and fusion in degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2005;14:55-60.
418. Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. Critères sagittaux de réglage d'une arthrodèse postérieure du rachis. *Rachis* 1999;10:224-226.
419. Roussouly P, Berthonnaud E, Dimnet J. [Geometrical and mechanical analysis of lumbar lordosis in an asymptomatic population: proposed classification]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003;89:632-639.
420. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 2005;30:346-353.
421. Roy-Camille R, Mazel C, Saillant G. Fractures et luxations du rachis dorsal et lombaire de l'adulte. In techniques E ed. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Appareil locomoteur*, 1985.
422. 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.
423. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res* 1986:7-17.
424. Saal JA. Natural history and nonoperative treatment of lumbar disc herniation. *Spine* 1996;21:2S-9S.
425. Sailhan F, Gollogly S, Roussouly P. The radiographic results and neurologic complications of instrumented reduction and

- fusion of high-grade spondylolisthesis without decompression of the neural elements: a retrospective review of 44 patients. *Spine* 2006;31:161-169; discussion 170.
426. Salerni AA. A minimally invasive approach for posterior lumbar interbody fusion. *Neurosurg Focus* 2002;13:e6.
427. Santos ER, Goss DG, Morcom RK, et al. Radiologic assessment of interbody fusion using carbon fiber cages. *Spine* 2003;28:997-1001.
428. Sasso RC, Kenneth Burkus J, LeHuec JC. Retrograde ejaculation after anterior lumbar interbody fusion: transperitoneal versus retroperitoneal exposure. *Spine* 2003;28:1023-1026.
429. Sasso RC, Kitchel SH, Dawson EG. A prospective, randomized controlled clinical trial of anterior lumbar interbody fusion using a titanium cylindrical threaded fusion device. *Spine* 2004;29:113-122; discussion 121-112.
430. Sato H, Kikuchi S. The natural history of radiographic instability of the lumbar spine. *Spine* 1993;18:2075-2079.
431. Schade V, Semmer N, Main CJ, et al. The impact of clinical, morphological, psychosocial and work-related factors on the outcome of lumbar discectomy. *Pain* 1999;80:239-249.
432. Schlegel JD, Smith JA, Schleusener RL. Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar, lumbar, and lumbosacral fusions. *Spine* 1996;21:970-981.
433. Schlenzka D, Remes V, Helenius I, et al. Direct repair for treatment of symptomatic spondylolysis and low-grade isthmic spondylolisthesis in young patients: no benefit in comparison to segmental fusion after a mean follow-up of 14.8 years. *Eur Spine J* 2006;1-11.
434. Schmitt H, Dubljanin E, Schneider S, et al. Radiographic changes in the lumbar spine in former elite athletes. *Spine* 2004;29:2554-2559.
435. Schneider G, Pearcy MJ, Bogduk N. Abnormal motion in spondylolytic spondylolisthesis. *Spine* 2005;30:1159-1164.
436. Schoeggl A, Reddy M, Matula C. Functional and economic outcome following microdiscectomy for lumbar disc herniation in 672 patients. *J Spinal Disord Tech* 2003;16:150-155.
437. Schofferman J, Reynolds J, Herzog R, et al. Failed back surgery: etiology and diagnostic evaluation. *Spine J* 2003;3:400-403.
438. Schultz A, Andersson G, Ortengren R, et al. Loads on the lumbar spine. Validation of a biomechanical analysis by measurements of intradiscal pressures and myoelectric signals. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:713-720.
439. Schwab F, Lafage V, Boyce R, et al. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine* 2006;31:E959-967.
440. 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.
441. Seitsalo S, Osterman K, Hyvarinen H, et al. Progression of spondylolisthesis in children and adolescents. A long-term follow-up of 272 patients. *Spine* 1991;16:417-421.
442. 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.
443. Senegas J. Mechanical supplementation by non-rigid fixation in degenerative intervertebral lumbar segments: the Wallis system. *Eur Spine J* 2002;11 Suppl 2:S164-169.
444. Sengupta DK. Dynamic stabilization devices in the treatment of low back pain. *Neurol India* 2005a;53:466-474.
445. Sengupta DK, Herkowitz HN. Degenerative spondylolisthesis: review of current trends and controversies. *Spine* 2005b;30:S71-81.
446. Sengupta DK, Herkowitz HN. Lumbar spinal stenosis. Treatment strategies and indications for surgery. *Orthop Clin North Am* 2003;34:281-295.
447. Shufflebarger HL, Geck MJ. High-grade isthmic dysplastic spondylolisthesis: monosegmental surgical treatment. *Spine* 2005;30:S42-48.
448. Siambanes D, Mather S. Comparison of plain radiographs and CT scans in instrumented posterior lumbar interbody fusion. *Orthopedics* 1998;21:165-167.
449. Simmons ED, Jr., Guntupalli M, Kowalski JM, et al. Familial predisposition for degenerative disc disease. A case-control study. *Spine* 1996;21:1527-1529.
450. Simper LB. Spondylolysis in Eskimo skeletons. *Acta Orthop Scand* 1986;57:78-80.
451. 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.
452. Skalli W, Champain S, Mosnier T. *Biomécanique du rachis. SOFCOT. Paris, 2007.*
453. Skalli W, Lavaste F. *Informatique et modélisation statique et dynamique du rachis. SOFCOT. Paris, 2002:209-221.*
454. Skalli W, Robin S, Lavaste F, et al. A biomechanical analysis of short segment spinal fixation using a three-dimensional geometric and mechanical model. *Spine* 1993;18:536-545.
455. Skalli W, Zeller RD, Miladi L, et al. Importance of pelvic compensation in posture and motion after posterior spinal fusion using CD instrumentation for idiopathic scoliosis. *Spine* 2006;31:E359-366.
456. Snider RK, Krumwiede NK, Snider LJ, et al. Factors affecting lumbar spinal fusion. *J Spinal Disord* 1999;12:107-114.
457. Songer MN, Rovin R. Repair of the pars interarticularis defect with a cable-screw construct. A preliminary report. *Spine* 1998;23:263-269.
458. Spielberger CD, Gorsuch RL, Lushene R. *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto, California, 1983.
459. Spielberger CD, Vagg PR. Psychometric properties of the STAI: a reply to Ramanaiah, Franzen, and Schill. *J Pers Assess* 1984;48:95-97.
460. Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, et al. Scientific monograph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders: redefining "whiplash" and its management. *Spine* 1995;20:1S-73S.
461. Stagnara P, De Mauroy JC, Dran G, et al. Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine* 1982;7:335-342.
462. Stauffer RN, Coventry MB. Posterolateral lumbar-spine fusion. Analysis of Mayo Clinic series. *J Bone Joint Surg Am* 1972;54:1195-1204.
463. Steffee AD, Biscup RS, Sitkowski DJ. Segmental spine plates with pedicle screw fixation. A new internal fixation device for disorders of the lumbar and thoracolumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986:45-53.
464. 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.

465. Steib J. Le spondylolisthesis- Appareil Loco-Moteur: Faculté de Médecine Strasbourg - DCEM1 2004/ 2005, 2005:Module 12B.
466. Stevens CD, Dubois RW, Larequi-Lauber T, et al. Efficacy of lumbar discectomy and percutaneous treatments for lumbar disc herniation. *Soz Praventivmed* 1997;42:367-379.
467. Stokes IA, Frymoyer JW. Segmental motion and instability. *Spine* 1987;12:688-691.
468. Stureson B, Selvik G, Uden A. Movements of the sacroiliac joints. A roentgen stereophotogrammetric analysis. *Spine* 1989;14:162-165.
469. Suh PB, Esses SI, Kostuik JP. Repair of pars interarticularis defect. The prognostic value of pars infiltration. *Spine* 1991;16:S445-448.
470. Swank SM, Mauri TM, Brown JC. The lumbar lordosis below Harrington instrumentation for scoliosis. *Spine* 1990;15:181-186.
471. Swartz KR, Trost GR. Recurrent lumbar disc herniation. *Neurosurg Focus* 2003;15:E10.
472. Taillard WF. Etiology of spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1976:30-39.
473. Tajima N, Kawano K, Sera K, et al. Posterolateral fusion of the lumbar and lumbosacral spine--a review of long term results. *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi* 1989;63:262-268.
474. Takahashi K, Yamagata M, Takayanagi K, et al. Changes of the sacrum in severe spondylolisthesis: a possible key pathology of the disorder. *J Orthop Sci* 2000;5:18-24.
475. Tallroth K, Alaranta H, Soukka A. Lumbar mobility in asymptomatic individuals. *J Spinal Disord* 1992;5:481-484.
476. Tanz SS. Motion of the lumbar spine; a roentgenologic study. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1953;69:399-412.
477. 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.
478. Templier A. Comparison between two different concepts of lumbar posterior osteosynthesis implant-A finite-element analysis. *EJOST* 1998a;8:27-36.
479. Templier A. Paramètres et méthodes d'évaluation des implants rachidiens lombaires. LBM. Paris: ENSAM, 1998b.
480. Thalgot J, Klezl Z, Timlin M, et al. Anterior lumbar interbody fusion with processed sea coral (coralline hydroxyapatite) as part of a circumferential fusion. *Spine* 2002;27:E518-525; discussion E526-517.
481. Thomsen K, Christensen FB, Eiskjaer SP, et al. 1997 Volvo Award winner in clinical studies. The effect of pedicle screw instrumentation on functional outcome and fusion rates in posterolateral lumbar spinal fusion: a prospective, randomized clinical study. *Spine* 1997;22:2813-2822.
482. Thorbjörnsson CB, Alfredsson L, Fredriksson K, et al. Physical and psychosocial factors related to low back pain during a 24-year period. A nested case-control analysis. *Spine* 2000;25:369-374; discussion 375.
483. 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.
484. Tiusanen H, Seitsalo S, Osterman K, et al. Anterior interbody lumbar fusion in severe low back pain. *Clin Orthop Relat Res* 1996b:153-163.
485. Toyone T, Tanaka T, Kato D, et al. Patients' expectations and satisfaction in lumbar spine surgery. *Spine* 2005;30:2689-2694.
486. Trief PM, Grant W, Fredrickson B. A prospective study of psychological predictors of lumbar surgery outcome. *Spine* 2000;25:2616-2621.
487. Tropiano P, Huang RC, Girardi FP, et al. Lumbar total disc replacement. Seven to eleven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:490-496.
488. Troyanovich SJ, Robertson GA, Harrison DD, et al. Intra- and interexaminer reliability of the chiropractic biophysics lateral lumbar radiographic mensuration procedure. *J Manipulative Physiol Ther* 1995;18:519-524.
489. 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.
490. 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.
491. Turner JA, Ersek M, Herron L, et al. Surgery for lumbar spinal stenosis. Attempted meta-analysis of the literature. *Spine* 1992a;17:1-8.
492. Turner JA, Ersek M, Herron L, et al. Patient outcomes after lumbar spinal fusions. *Jama* 1992b;268:907-911.
493. Vaccaro AR, Anderson DG, Patel T, et al. Comparison of OP-1 Putty (rhBMP-7) to iliac crest autograft for posterolateral lumbar arthrodesis: a minimum 2-year follow-up pilot study. *Spine* 2005;30:2709-2716.
494. 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.
495. Van Royen BJ, Toussaint HM, Kingma I, 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.
496. Vaz G, Rousouly P, Berthonnaud E, et al. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J* 2002;11:80-87.
497. Vazquez RM, Gireesan GT. Balloon-assisted endoscopic retroperitoneal gasless (BERG) technique for anterior lumbar interbody fusion (ALIF). *Surg Endosc* 2003;17:268-272.
498. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, et al. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:260-267.
499. Vibert BT, Sliva CD, Herkowitz HN. Treatment of instability and spondylolisthesis: surgical versus nonsurgical treatment. *Clin Orthop Relat Res* 2006;443:222-227.
500. Vidal J, Marnay T. La morphologie et l'équilibre antéro-postérieur dans le spondylolisthésis L5-S1. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1983;69:17-28.
501. Vingard E, Alfredsson L, Hagberg M, et al. To what extent do current and past physical and psychosocial occupational factors explain care-seeking for low back pain in a working population? Results from the Musculoskeletal Intervention Center-Norrtaälje Study. *Spine* 2000;25:493-500.
502. Virta L, Ronnema T. The association of mild-moderate isthmic lumbar spondylolisthesis and low back pain in middle-aged patients is weak and it only occurs in women. *Spine* 1993;18:1496-1503.

503. Vishteh AG, Crawford NR, Chamberlain RH, et al. Biomechanical comparison of anterior versus posterior lumbar threaded interbody fusion cages. *Spine* 2005;30:302-310.
504. Vital JM, Lavignolle B, Grenier N, et al. Anatomy of the lumbar radicular canal. *Anat Clin* 1983;5:141-151.
505. Vogt MT, Rubin DA, Palermo L, et al. Lumbar spine listhesis in older African American women. *Spine J* 2003;3:255-261.
506. Voutsinas SA, MacEwen GD. Sagittal profiles of the spine. *Clin Orthop Relat Res* 1986:235-242.
507. Waddell G, McCulloch JA, Kummel E, et al. Nonorganic physical signs in low-back pain. *Spine* 1980;5:117-125.
508. Waguespack A, Schofferman J, Slosar P, et al. Etiology of long-term failures of lumbar spine surgery. *Pain Med* 2002;3:18-22.
509. Ware J, Kosinski M, Turner-Bowker D, et al. eds. How to score version 2 of the SF-12® Health Surveyed: Qualimetric Inc., 2002.
510. Ware JE, Jr., Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care* 1992;30:473-483.
511. Ware JE, Sherbourne CD, Davies AR. Developing and testing the MOS 20-item short-form health survey: A general population application. In Ware ALSJE ed. *Measuring functioning and well-being: The Medical Results Study Approach*. Durham: Duke University Press, 1991:277-290.
512. Weatherley CR, Prickett CF, O'Brien JP. Discogenic pain persisting despite solid posterior fusion. *J Bone Joint Surg Br* 1986;68:142-143.
513. Weber J, Vieweg U. [Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF) using a Cage with Stabilization.]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2006;144:40-45.
514. Wenger M, Sapio N, Markwalder TM. Long-term outcome in 132 consecutive patients after posterior internal fixation and fusion for Grade I and II isthmic spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine* 2005;2:289-297.
515. Wetzel FT, Brustein M, Phillips FM, et al. Hardware failure in an unconstrained lumbar pedicle screw system. A 2-year follow-up study. *Spine* 1999;24:1138-1143.
516. Wetzel FT, McCracken L, Robbins RA, et al. Temporal stability of the Minnesota Multiphasic Personality Inventory (MMPI) in patients undergoing lumbar fusion: a poor predictor of surgical outcome. *Am J Orthop* 2001;30:469-474.
517. White A, Panjabi M. *Clinical biomechanics of the spine*, 1990.
518. White AA, 3rd, Panjabi MM. The basic kinematics of the human spine. A review of past and current knowledge. *Spine* 1978;3:12-20.
519. 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.
520. Wilke H, Neef P, Hinz B, et al. Intradiscal pressure together with anthropometric data--a data set for the validation of models. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001;16 Suppl 1:S111-126.
521. Wiltse LL, Jackson DW. Treatment of spondylolisthesis and spondylolysis in children. *Clin Orthop Relat Res* 1976a:92-100.
522. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop Relat Res* 1976b:23-29.
523. Wiltse LL, Winter RB. Terminology and measurement of spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am* 1983;65:768-772.
524. Winter M, Jani L. Results of screw osteosynthesis in spondylolysis and low-grade spondylolisthesis. *Arch Orthop Trauma Surg* 1989;108:96-99.
525. Wodecki P, Guigui P, Hanotel MC, et al. [Sagittal alignment of the spine: comparison between soccer players and subjects without sports activities]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2002;88:328-336.
526. Wood KB, Popp CA, Transfeldt EE, et al. Radiographic evaluation of instability in spondylolisthesis. *Spine* 1994;19:1697-1703.
527. Wynne-Davies R, Scott JH. Inheritance and spondylolisthesis: a radiographic family survey. *J Bone Joint Surg Br* 1979;61-B:301-305.
528. Yamamoto I, Panjabi MM, Crisco T, et al. Three-dimensional movements of the whole lumbar spine and lumbosacral joint. *Spine* 1989;14:1256-1260.
529. Yamamoto I, Panjabi MM, Oxland TR, et al. The role of the iliolumbar ligament in the lumbosacral junction. *Spine* 1990;15:1138-1141.
530. Yang KH, King AI. Mechanism of facet load transmission as a hypothesis for low-back pain. *Spine* 1984;9:557-565.
531. Yeung AT, Tsou PM. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: Surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases. *Spine* 2002;27:722-731.
532. 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.
533. Yorimitsu E, Chiba K, Toyama Y, et al. Long-term outcomes of standard discectomy for lumbar disc herniation: a follow-up study of more than 10 years. *Spine* 2001;26:652-657.
534. Yoshimura N, Dennison E, Wilman C, et al. Epidemiology of chronic disc degeneration and osteoarthritis of the lumbar spine in Britain and Japan: a comparative study. *J Rheumatol* 2000;27:429-433.
535. Zanolli G, Stromqvist B, Jonsson B. Visual analog scales for interpretation of back and leg pain intensity in patients operated for degenerative lumbar spine disorders. *Spine* 2001;26:2375-2380.
536. Zdeblick TA. A prospective, randomized study of lumbar fusion. Preliminary results. *Spine* 1993;18:983-991.
537. Zdeblick TA. The treatment of degenerative lumbar disorders. A critical review of the literature. *Spine* 1995;20:126S-137S.
538. Zdeblick TA, David SM. A prospective comparison of surgical approach for anterior L4-L5 fusion: laparoscopic versus mini anterior lumbar interbody fusion. *Spine* 2000;25:2682-2687.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

PUBLICATIONS- articles

2007 Mazel Ch., **Champain S.**, Balabaud L., Mitulescu A., Skalli W., “Dynamic arthrodesis in the treatment of degenerative spondylolisthesis “ à soumettre prochainement à European Spine Journal.

2007 **Champain S.**, Fièrè V., Mitulescu A., Schmitt P., Skalli W. “Early outcomes after ALIF using a cage and plate construct in the treatment of discogenic low-back pain – a quantitative analysis ”, European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology (EJOST)18(3):177-188.

2007 **Champain S.**, Pointillart V., Koleck M., Vital JM, Gille O., Templier A., Mazel C., Skalli W.” Relationships between clinical, biomechanical and psychosocial parameters in outcome assessment 7 years after posterior lumbar fusion” EJOST 17(6) : 543-552.

2007 **Champain S.**, David Th., Mazel C., Mitulescu A., Skalli W. :” Quantitative analysis in long term outcome evaluation after surgical treatment of low-grade isthmic spondylolisthesis”, European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology (EJOST) 2007, 17 :337-347.

2007 **Champain S.**, Mazel C., Mitulescu A., Skalli W. « Quantitative analysis in outcome assessment of instrumented lumbosacral arthrodesis”, European Spine J. 2007, 16 :1241-1249 (E-pub 2006).

2005 - 2006 **Champain S.**, Benchikh K, Nogier A, et al. Validation of new clinical quantitative analysis software applicable in spine orthopaedic studies.Eur Spine J. 2006, 15(6) :982-991(E-publication 2005).

2004 **S. Champain**, C. Mazel, L.Miladi, J. Dubousset, A.Mitulescu, J de Guise, W. Skalli ”Computerized X-ray films analysis for surgically treated lumbar spine evaluation”, Revue Roumaine d’Orthopédie Pédiatrique, N° 3, mars 2004, p 7-9.

PUBLICATIONS- abstracts et longs abstracts

2007 David Th., **Champain S.**, Mitulescu A., Skalli W. :” Long term outcomes evaluation after pars defect repair in adult low-grade isthmic spondylolisthesis”, European Spine J. 2007, 16(Suppl 1) :S1-S28.

2007 Mazel Ch., **Champain S.**, Balabaud L., Skalli W. « Mid-term outcome after postero-lateral fusion with dynamic instrumentation for degenerative spondylolisthesis”, European Spine J. 2007, 16(Suppl 1) :S43-S103.

2006 JP Steib, X Chiffolot, **S. Champain**, I Bogorin, Treatment of Severe Spondylolisthesis With Reduction and Osteosynthesis : Long-term Clinical and Radiological Outcome. Eur Spine J (2006) 15 (Suppl. 4) :S485.

2005 **S. Champain**, C. Mazel, A. Mitulescu, W. Skalli « L’analyse quantitative dans l’évaluation de la fusion après arthrodèse lombo-sacrée », Revue de Chirurgie Orthopédique (RCO) 2005, 6(91) : 3S109.

COMMUNICATIONS CONGRES- orales

2007 Congrès Eurospine 3-5 oct., Bruxelles : David Th., **Champain S.**, Mitulescu A., Skalli W. :” Long term outcomes evaluation after pars defect repair in adult low-grade isthmic spondylolisthesis”..

2006 Congrès Eurospine 25-28 oct., Istanbul, Turquie, 2006 : JP Steib, X Chiffolot, **S. Champain**, I Bogorin,”Treatment

of Severe Spondylolisthesis With Reduction and Osteosynthesis : Long-term Clinical and Radiological Outcome”..

Nov 2005	Congrès de la SOFCOT, Paris, S. Champain , C. Mazel, A. Mitulescu, W. Skalli « L’analyse quantitative dans l’évaluation de la fusion après arthrodèse lombo-sacrée », 80 Annual Meeting of the French Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology /SOFCOT, Nov 07-11, 2005, n° 167.
Mai 2004	SOROP, Calimanesti, Roumanie S. Champain , C. Mazel, L.Miladi, J. Dubousset, A.Mitulescu, J de Guise, W. Skalli ”Computerized X-ray films analysis for surgically treated lumbar spine evaluation”
Mars 2004	ISSIE, Paris, France S. Champain , Ch. Mazel, W. Skalli” Computerized X-ray films analysis for spinal implants evaluation”.

COMMUNICATIONS CONGRES- poster

2007	Congrès Eurospine 3-5 oct. Bruxelles : Mazel Ch., Champain S. , Balabaud L., Skalli W. « Mid-term outcome after postero-lateral fusion with dynamic instrumentation for degenerative spondylolisthesis” poster et e-poster.
-------------	---

Nov 2006	Congrès de la SOFCOT, Paris, V. Fièrè, S. Champain , V. Maindron, P. Schmitt, W. Skalli « Evaluation quantitative à court et moyent terme d’une arthrodèse lombaire antérieure par plaque et cage », 81 Annual Meeting of the French Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology (SOFCOT), Nov 06-9, 2006.
-----------------	--

AUTRE

DIVERS 2002-2006	Association of Research groups for Spinal Osteosynthesis (ARGOS), Paris, France Communications annuelles pour la Comission d’Evaluation de l’ARGOS.
-------------------------	--
