



HAL
open science

Le spondylolisthesis dégénératif lombaire, un élément d'instabilité dans un équilibre sagittal précaire : proposition d'une nouvelle classification - Etude de reproductibilité et impact clinique de la nouvelle classification

Soufiane Ghailane

► **To cite this version:**

Soufiane Ghailane. Le spondylolisthesis dégénératif lombaire, un élément d'instabilité dans un équilibre sagittal précaire : proposition d'une nouvelle classification - Etude de reproductibilité et impact clinique de la nouvelle classification. Médecine humaine et pathologie. 2017. dumas-01540969

HAL Id: dumas-01540969

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01540969>

Submitted on 16 Jun 2017

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.

Université de Bordeaux – Victor Segalen

U.F.R. DES SCIENCES MÉDICALES

Année 2017

Thèse n° 3040

THÈSE

Pour l'obtention du

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Le 16 Mai 2017

Par Soufiane GHAILANE

Né le 05 mai 1986, à Tafraout (MAROC)

Le spondylolisthésis dégénératif lombaire,
un élément d'instabilité dans un équilibre sagittal précaire :
Proposition d'une nouvelle classification
Etude de reproductibilité et impact clinique de la nouvelle classification

Directeur de thèse :

M. le Professeur Olivier GILLE

Membres du Jury

M. le Professeur Jean-Marc VITAL..... Président
M. le Professeur Olivier GILLE..... Juge
M. le Professeur Thierry SCHAEVERBEKE Juge
M. le Docteur Mathieu DE-SEZE Juge
M. le Docteur Louis BOISSIERE..... Juge et rapporteur

Remerciements :

A notre maître et président de thèse,

Monsieur le Professeur Jean-Marc VITAL

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Chef du pôle chirurgie – et ancien Chef de service de l'Unité de chirurgie orthopédique et traumatologique, Rachis 1 au CHU de Bordeaux.

Vous me faites l'honneur de présider cette thèse. Depuis le début de notre internat vous avez su faire de la chirurgie rachidienne une passion pour nous. Nous avons pu apprécier votre grande disponibilité, votre soutien et l'étendue de vos connaissances théoriques et pratiques. Nous sommes honorés d'avoir fait partie de vos disciples et d'avoir pu profiter de vos talents d'enseignement dès notre première année de médecine. Veuillez trouver ici le témoignage de notre profond respect et de notre très haute considération.

A notre maître et directeur de thèse,

Monsieur le Professeur Olivier GILLE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Chef de service de l'Unité de chirurgie orthopédique et traumatologique, Rachis 1 au CHU de Bordeaux.

Vous me faites l'honneur de diriger ce travail. Nous sommes honorés d'avoir fait partie de vos disciples, d'avoir pu apprécier votre rigueur et l'immense qualité de vos gestes dans l'exercice de la chirurgie. Votre enseignement et vos conseils nous sont les plus chers. Veuillez trouver ici le témoignage de notre profonde gratitude.

A notre rapporteur de thèse,

Monsieur le Docteur Louis BOISSIERE

Chirurgien Orthopédiste – ancien CCA Rachis Unité 1

Clinique Jean-Villar

Tes qualités humaines, chirurgicales et scientifiques, ainsi que ton sens du compagnonnage sont un exemple pour moi. Tu as su me mettre en confiance, et tes conseils sont d'une grande valeur.

A nos juges,

Monsieur le Professeur Thierry SCHAEVERBEKE

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Chef de service de l'Unité de Rhumatologie, CHU de Bordeaux.

Vous me faites l'honneur de faire partie de ce jury. Nous avons été honorés de compter parmi vos élèves à la faculté de médecine Paul Broca (UFR1). Vous avez su nous faire apprécier et faciliter l'enseignement de la rhumatologie. Je vous en suis reconnaissant.

Monsieur le Docteur Mathieu DE-SEZE

Maître de Conférences Universitaires – Praticien Hospitalier

Service de Médecine physique et de Réadaptation, CHU de Bordeaux.

Vous me faites l'honneur de faire partie de ce jury. Nous avons pu apprécier votre collaboration avec notre service. Merci de votre disponibilité.

A mes maîtres de la chirurgie rachidienne,

Monsieur le Professeur SENEGAS,
Notre maître, fondateur de notre école à qui nous devons tout.

Monsieur le Professeur Vincent POINTILLART,
Vous êtes pour moi l'exemple de l'Humilité et de la Générosité ; une école à vous seul.

Monsieur le Professeur Jean-Charles LE-HUEC,
En témoin d'une profonde reconnaissance. Ce fut un grand honneur de suivre votre enseignement et apprécier vos qualités chirurgicales et scientifiques.

Monsieur le Docteur Ibrahim OBEID,
Tu es pour moi un exemple de rigueur scientifique et technique inégales. Merci de ton enseignement et de ton amitié.

Monsieur le Docteur Rachid SADDIKI,
Le peu de temps passé avec toi au bloc opératoire ou à discuter de perspectives chirurgicales sont inestimables. Tu es un exemple pour moi. Merci de tes précieux conseils et encouragements. Tu es un maître mais avant tout un ami.

A mes maîtres de l'internat,

Monsieur le Professeur Thierry FABRE
Monsieur le Professeur Dominique CHAUVEAUX

Monsieur le Docteur Vincent SOUILLAC
Monsieur le Docteur Olivier LAFFENETRE
Monsieur le Docteur Jean-marc ROGERO
Monsieur le Docteur Vincent DABBADIE
Monsieur le Docteur Michel ALLIZARD

A mes praticiens hospitaliers et chefs de clinique-assistants, et Amis

Monsieur le Docteur Mohamed ACRA
Monsieur le Docteur Jean BERNARD
Monsieur le Docteur Vincent CHALLIER
Monsieur le Docteur Alexandre DHENIN
Monsieur le Docteur Patrick GUERIN
Monsieur le Docteur Rémi MARIEY

Monsieur le Docteur Stéphane AUNOBLE
Monsieur le Docteur Arnaud COGNIET
Monsieur le Docteur Julien RIGAL
Monsieur le Docteur Nicolas PELLET

Madame le Docteur Véronique DARCEL
Monsieur le Docteur Franck ALBISSON
Monsieur le Docteur Jean-Michel MARTIN
Monsieur le Docteur Bastien RAIMBAULT

Monsieur le Docteur Julien ABAD
Monsieur le Docteur Julien LUCAS Y HERNANDES
Monsieur le Docteur Charles RIVIERE
Monsieur le Docteur Yann WIART

Monsieur le Docteur Bertrand DUNET
Monsieur le Docteur Julien PALLARO
Monsieur le Docteur Clément TOURNIER

Madame le Docteur Marie-Laure ABI-CHAHLA
Madame le Docteur Alexandra ERBLAND
Madame le Docteur Deborah ROYAUX
Madame le Docteur Morgane VARGAS
Monsieur le Docteur Paul CREMER
Monsieur le Docteur Rafael DE BARTOLO
Monsieur le Docteur Clément RIBES
Monsieur le Docteur Thomas THELEN
Monsieur le Docteur Nicolas VERDIER

Monsieur le Docteur Pierre-Jean BOUILLANNE
Monsieur le Docteur Jérémie CHAYET,
Et toute l'équipe paramédicale de chirurgie vasculaire du CH périgieux

A toute l'équipe de chirurgie Pédiatrique de l'AP-Hopitaux de Marseille

Monsieur le Professeur Jean-Luc JOUVE
Monsieur le Professeur Franck LAUNAY
Madame le Professeur Elke VIEHWEGER
Monsieur le Docteur Elie CHOUFANI
Monsieur le Docteur Jean-Marie GENNARI
Monsieur le Docteur Sébastien PESENTI
Madame le Docteur Emilie PELTIER
Monsieur le Docteur Alexandre ECALLE
Monsieur le Docteur Samir CHAOUICHE

A toutes les équipes médicales, paramédicales et secrétaires que j'ai eu la chance de croiser tout au long de mon internat.

A mes parents :

En témoignage de mon profond amour, de ma gratitude pour leur soutien constant et sans failles. Que Dieu vous donne la bonne santé et vous protège.

A mon père, pour ses précieux conseils, ses encouragements, et amour de la médecine qu'il a su me transmettre. Tu es un modèle pour moi. Mon exemple d'homme et de père de famille. J'espère pouvoir faire aussi bien que toi. Merci de ce que tu as fait de moi.

A ma mère, pour tout son Amour, son Soutien, et son Affection. C'est grâce à toi que j'en suis arrivé là aujourd'hui...

A mes sœurs :

Amal, Meryem, et Sarah ; qui sont les plus attentionnées et les plus formidables ; ainsi qu'à leurs maris, ma petite nièce et mes deux petits neveux.

A Marine, pour son soutien constant et ses encouragements. Merci d'avoir été là.

A tous mes amis d'enfance :

Karim AMARE, Mehdi LAZREK, Othman MOUNIB, Yassine EDDAYAB, Tarik CHAOUI, Saad CHAFCHAOUNI, Cygil OUTALEB, Ali BOUHDOD ...

Mes amis de l'externat :

Karim FAYE, Réziale BENSLAMA, Jean-Baptiste ROBIN, Anthony LALORETTE, Pierre-Emmanuel GEFFIER, Mathieu LAJUS, Marie DEL CASTILLO, Hilal KARHAMAN, Saphiya MENNI, Ali TOUZANI, Ahmed BENZAKOUR, Khalil EZZAKI, Khalid AZZIZI. Kheirddine BOUHOREIRA, Yassine GUEMMAR, Ayoub GUERRAB, Yassine MOUFID, Jaoued DAMMANE, Modar JAMJOOM, Mohcine TAIZOU, Bruce, Hatim ...

A tous mes amis et collègues d'internat POB :

Houssam BOULOUSSA pour toutes ces soirées à l'ICV !

Mathias BLANGIS, Jean-Etienne CASTELAIN, Pierre COUDERT, Marion PETIT, Adrien CADENNES, Thomas CHEVILLOTTE, Yann MOHSINALY, Antoine FOURGEAUX, Lucas AZZOLIN, Edouard HARLY, Simon MAZAS, Daniel RISTIC, Mathieu CAMPANA, Mathieu GARCIA, Paul LECOANET, Gipsy AGAVOEDO, Rupestre ZANNOU ...

A Sandra, pour sa relecture perspicace.

« Je suis certain qu'en ce jour, nous sommes les maîtres de notre destin, que la tâche qui nous a été dévolue n'est pas au dessus de nos forces, que les douleurs et les fatigues de cette tâche ne dépasseront pas les limites de notre endurance. Tant que nous aurons foi en notre propre cause et la volonté inébranlable de gagner, la victoire ne nous sera pas refusée »

W.CHURCHILL

Titre :

Le spondylolisthésis dégénératif lombaire, un élément d'instabilité dans un équilibre sagittal précaire : proposition d'une nouvelle classification.

Etudes de reproductibilité et impact clinique de la nouvelle classification.

Mots-clés :

Spondylolisthésis lombaire dégénératif, Equilibre sagittal, Classification, Reproductibilité, Impact clinique.

Conflit d'intérêt : Aucun.

Ce travail a été soumis sous forme de deux articles originaux à deux journaux internationaux spécialisés en chirurgie rachidienne :

Le premier travail intitulé : « **New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine: a Reliability Study** » est en cours de reviewing chez SPINE DEFORMITY (le journal officiel de la SRS Scoliosis Research Society)

Le deuxième travail intitulé : « **Clinical Relevance of a New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine** » est en révision mineure chez ESJ European Spine Journal.

Par ailleurs, ce travail a été bien accueilli et accepté dans la communauté de chirurgie rachidienne nationale et internationale.

Il a été ainsi accepté et présenté en communications orales à plusieurs congrès :

« New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine: a Reliability Study »

- Congrès annuel de la Société Française de Chirurgie Rachidienne, **SFCR Lyon** 10.06.2016 : Reproductibilité de la nouvelle classification du Spondylolisthésis dégénératif Lombar.
- Annual Meeting of the Scoliosis Research Society, **SRS Prague** 24.09.2016 : New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine : a Reliability Study.

« Clinical Relevance of a New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine »

- Annual Meeting of SICOT (Société International de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique), **SICOT Rome** 08.09.2016 : Clinical relevance of a new classification for degenerative spondylolisthesis of the lumbar spine.
- Congrès annuel de la Société française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique, **SOFCOT Paris** 10.11.2016 : Reproductibilité de la nouvelle classification du Spondylolisthésis dégénératif Lombar.
- The 24th International Meeting on Advanced Spine Techniques, **IMAST Cape-Town** 14.07.2017 : Clinical relevance of a new classification for degenerative spondylolisthesis of the lumbar spine.



8-10 September
2016

Rome, Italy

Certificate of Oral Presentation

This is to certify that
Soufiane Ghailane
has presented paper 43858 entitled
Clinical Relevance of a New Classification for Degenerative Spondylolisthesis of
the Lumbar Spine
by Soufiane Ghailane, Vincent Challier, Houssam Bouloussa, Claudio Vergari, Go Yoshida, Jean-
Marc Vital, Olivier Gille
at the 37th SICOT Orthopaedic World Congress held on 8-10 September 2016 in Rome, Italy

Keith Luk
SICOT President

Francesco Falez
Congress President



8-10 September
2016

Rome, Italy

Certificate of Poster Presentation

This is to certify that
Soufiane Ghailane
has presented paper 43869 entitled
New Classification For Degenerative Spondylolisthesis Of The Lumbar Spine: A
Reliability
by Soufiane Ghailane, Vincent Challier, Houssam Bouloussa, Claudio Vergari, Go Yoshida, Jean-
Marc Vital, Olivier Gille
at the 37th SICOT Orthopaedic World Congress held on 8-10 September 2016 in Rome, Italy

Keith Luk
SICOT President

Francesco Falez
Congress President



SCOLIOSIS RESEARCH SOCIETY
51st Annual Meeting

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This certifies that

Soufiane Ghailane

*attended the Scoliosis Research Society's 51st Annual Meeting
held September 21-24, 2016 in Prague, Czech Republic and was a Presenter and/or Author on the following
presentation(s):*

Paper #129: New Classification for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine: a Reliability Study
*Soufiane Ghailane, MD; Vincent Challier, MD; Houssam Bouloussa, MD, MS; Claudio Vergari, PhD; Go Yoshida, MD; Louis
Boissiere, MD; Jean-Marc Vital, MD, PhD; Olivier Gille, MD, PhD*

Justin S. Smith, MD, PhD
Program Committee Chair 2015-2016

David W. Polly, Jr., MD
SRS President 2015-2016

Liste des abréviations :

- ASD : Adjacent Segment Disease (Syndrome adjacent)
- CLR : Canal Lombaire Rétréci
- CT : Cyphose Thoracique
- EVA : Echelle Visuelle Analogique
- EVAL : Echelle Visuelle Analogique lombaire
- EVAr : Echelle Visuelle Analogique radiculaire
- IRM : Imagerie par Résonance Magnétique
- IP : Incidence Pelvienne
- LL : Lordose Lombaire
- LS : Lordose Segmentaire
- ODI : Oswestry Disability Index
- PS : Pente sacrée
- SF-12 : Short Form questionnaire-12
- SLD : Spondylolisthésis lombaire degeneratif
- SVA : Sagittal Vertical Axis
- TDM : Tomodensitométrie
- VP : Version Pelvienne

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	16
2. GENERALITES.....	19
2.1. Le Spondylolisthésis Lombaire Dégénératif.....	19
2.1.1. Définition et données historiques.....	19
2.1.2. Physiopathologie.....	19
2.1.3. Classifications existantes.....	21
2.1.4. Clinique.....	24
2.1.5. Paraclinique.....	26
2.1.6. Traitement.....	29
2.2. L'équilibre sagittal.....	30
2.2.1. Paramètres pelviens.....	30
2.2.2. Paramètres rachidiens et leurs relations avec les paramètres pelviens.....	32
2.2.3. Mécanismes de compensation.....	34
3. PARTIE 1: Proposition d'une nouvelle classification du spondylolisthésis dégénératif lombaire.....	36
3.1. Présentation de la nouvelle classification.....	36
3.2. Etude de reproductibilité.....	43
3.2.1. Résumé.....	43
3.2.2. Abstract:.....	44
3.2.3. Introduction.....	45
3.2.4. Matériel et Méthode.....	46
3.2.4.1. Données démographiques.....	46
3.2.4.2. L'analyse radiographique.....	47
3.2.4.3. L'analyse statistique.....	48
3.2.5. Résultats.....	49
3.2.5.1. Données démographiques.....	49
3.2.5.2. Paramètres rachidiens et pelviens en fonction du type de SLD.....	50
3.2.5.3. Corrélations entre les types et les paramètres radiographiques.....	50
3.2.5.4. La reproductibilité.....	51
3.2.6. Discussion.....	52
3.2.7. Conclusion.....	55
3.3. Etude de l'impact clinique.....	56
3.3.1. Résumé.....	56
3.3.2. Abstract.....	57
3.3.3. Introduction.....	58
3.3.4. Matériel et Méthode.....	58
3.3.4.1. Design de l'étude et population.....	58
3.3.4.2. Recueil des données cliniques et scores fonctionnels.....	59
3.3.4.3. Analyse radiographique.....	59
3.3.4.4. Analyse statistique.....	59
3.3.5. Résultats.....	60

3.3.5.1.	Données démographiques.....	60
3.3.5.2.	Echelles de qualité de vie pré-opératoires.....	60
3.3.5.3.	Données radiographiques.....	61
3.3.5.4.	Corrélation entre le type de SLD et les données cliniques et radiographiques.....	62
3.3.6.	Discussion	64
3.3.7.	Conclusion.....	67
4.	PARTIE 2 : SPONGIT 2.0 - Etude prospective en soins courants	68
4.1.	Justification de l'étude / Contexte.....	68
4.2.	Matériel et Méthodes.....	70
4.2.1.	Schéma de la recherche.....	70
4.2.2.	Critères d'éligibilité.....	71
4.2.2.1.	Critères d'inclusion.....	71
4.2.2.2.	Critères de non inclusion	71
4.2.3.	Critères d'évaluation	72
4.2.3.1.	Critère d'évaluation principal.....	72
4.2.3.2.	Critères d'évaluation secondaires.....	72
4.2.4.	Taille de la population étudiée.....	73
4.2.5.	Tirage aléatoire.....	74
4.2.6.	Nature des soins courants évalués dans la recherche	74
4.2.6.1.	Stabilisation dynamique B-Dyn®.....	75
4.2.6.2.	Stabilisation par fusion (Acte de comparaison).....	76
4.2.6.3.	Consignes post-opératoires	76
4.2.7.	Déroulement de la recherche.....	76
4.2.7.1.	Calendrier prévisionnel de la recherche	76
4.2.7.2.	Tableau récapitulatif du suivi du patient.....	77
4.2.7.3.	Règles d'arrêt de la recherche	77
4.2.8.	Analyse statistique des données.....	78
4.3.	Résultats et retombées attendues	80
5.	CONCLUSION.....	82
6.	REFERENCES.....	83
7.	Serment d'Hippocrate.....	88

1. INTRODUCTION

La position debout et érigée, caractéristique de l'Homme bipède a modifié les paramètres rachidiens avec l'apparition des lordoses cervicale et lombaire et la libération des membres supérieurs [1][2][3]. L'organisation de cette statique avec trois courbures augmente la résistance mécanique globale tout en maintenant une dynamique favorable à la locomotion et aux mouvements de la vie quotidienne. Le rachis est un tuteur du corps humain qui ne cesse d'évoluer depuis la naissance jusqu'à la mort. Passant par différentes phases, il évolue constamment avec des étapes clés telles que l'acquisition de la position debout, la marche, ou encore la puberté.

Le vieillissement est inéluctable et commence à partir de l'âge de dix-huit ans, notamment au niveau cervical. Le morphotype sagittal reste cependant sensiblement le même jusqu'au début de la quatrième décennie au cours de laquelle apparaît une certaine instabilité vertébrale déclenchant plusieurs mécanismes compensateurs. Le vieillissement est responsable entre autre d'une perte de la musculature para-vertébrale et fessière (décrivant au maximum un tableau de camptocormie), mais aussi d'une dégénérescence des éléments disco-ligamentaires et ostéo-articulaires [4]. Il existe une faiblesse particulièrement localisée aux muscles extenseurs du rachis et une rétraction du psoas [5].

De tous ces mécanismes dégénératifs résultent globalement :

- une perte de la lordose lombaire [6][7], une hypercyphose thoracique, avec une tendance à une cyphose globale ancestrale bien rapportée par TAKEMITSU [5].
- une raideur et une perte de la mobilité disco-articulaire.
- un rétrécissement canalaire avec potentiellement une souffrance radiculaire, voire médullaire quand il s'agit des étages cervicaux ou thoraciques.

- et, une instabilité segmentaire se surajoute à ces mécanismes de compensation. Le spondylolisthésis lombaire dégénératif (SLD) est un des témoins d'une dégénérescence avancée.

L'équilibre sagittal global est la résultante de forces qui s'exercent sur le rachis dans les trois plans de l'espace. La moindre faillite dans le maintien d'une statique ergonomique entraînera des mécanismes de compensation et d'adaptation [8]. Le corps humain oscille à l'intérieur d'un cône dont le sommet serait situé sur la surface au sol entre les deux pieds [9].

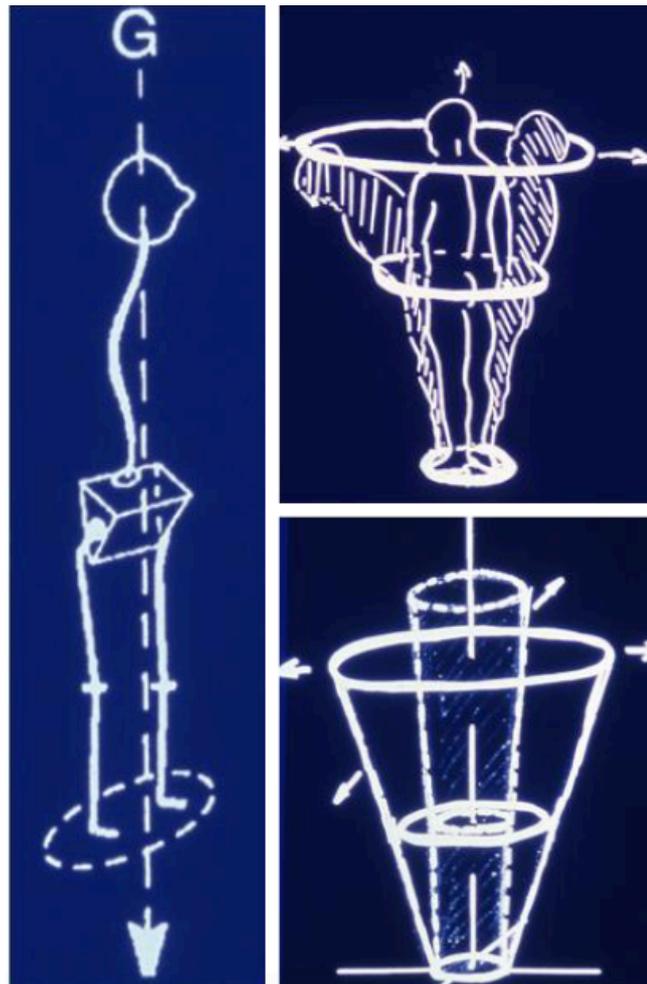


Figure 1 : « Chaîne de l'équilibre » et le cône de « l'économie musculaire », DUBOUSSET [9].

Ce système nécessite une chaîne d'éléments anatomiques adaptés : des pieds avec une bonne surface d'appui au sol, des membres inférieurs verticaux avec des genoux en extension, un bassin rétroversé, des courbures rachidiennes adaptées avec un rachis lombaire en lordose et l'aplomb de la tête sur le même axe vertical que le bassin.

La diminution de la lordose lombaire lors du vieillissement déplace le centre de gravité de la partie supérieure du corps en avant, et est responsable d'un déséquilibre sagittal compensé initialement puis décompensé. Il s'agit là d'un équilibre précaire dont l'objectif est de repositionner ce centre de gravité en arrière des têtes fémorales [10].

Après de brefs rappels sur le SLD et sur l'équilibre sagittal, nous décrivons une nouvelle classification du SLD que nous proposons et qui prend en compte l'équilibre sagittal. L'objectif de ce travail est, d'une part, de valider la classification proposée à travers une étude de reproductibilité, et d'autre part, d'évaluer l'impact clinique qui pourrait en découler. Nous évoquerons enfin dans un troisième chapitre, à travers une étude prospective, une alternative thérapeutique de stabilisation dynamique qui pourrait s'adresser à un type particulier de patient équilibré et potentiellement générer un meilleur résultat comparé à l'arthrodèse.

2. GENERALITES

2.1. Le Spondylolisthésis Lombaire Dégénératif

2.1.1. Définition et données historiques

Le spondylolisthésis est défini par le glissement (*olisth sis*) antérieur (*ant -listhésis*) d'une vertèbre (*spondulos*) par rapport à la vertèbre sous-jacente.

JUNGHANNS est le premier à avoir décrit cette pathologie qu'il avait nommé 'pseudo-spondylolisthésis' [11]. En 1950, MACNAB différencie le spondylolisthésis avec 'un arc neural intact' par opposition aux spondylolisthésis de l'enfant et de l'adolescent par lyse isthmique [12]. Ce n'est qu'en 1963 que NEWMAN proposa le terme de 'Spondylolisthésis dégénératif' [13].

Au niveau lombaire, il survient habituellement chez des patients de plus de 50 ans, avec une prédominance féminine. Il devient le plus fréquemment symptomatique une dizaine d'années plus tard. Le glissement siège le plus souvent entre la quatrième vertèbre (L4) et la cinquième vertèbre (L5) lombaires. Il est en moyenne de 14%, ne dépassant que très rarement les 30% [14].

2.1.2. Physiopathologie

La physiopathologie du spondylolisthésis n'est toujours pas parfaitement connue. Le caractère multifactoriel quant à lui est certain. Le glissement est le témoin d'une instabilité due à la dégénérescence discale et zygapophysaire postérieure liée au vieillissement.

Le bombement discal, l'hypertrophie des articulaires et du ligament jaune sont responsables d'un rétrécissement du canal rachidien. Il se produit ainsi une compression des racines de la queue de

cheval au niveau central et latéral. Des douleurs lombaires, radiculaires, et une claudication neurogène peuvent résulter de ces phénomènes dégénératifs.

Selon VITAL, plusieurs théories - musculaire, discale, hormonale, architecturale - tentent d'expliquer l'origine du SLD, sans pour autant y arriver de façon isolée. [15]

La revue de la littérature permet d'énumérer quelques facteurs de risque potentiellement associés à la survenue de SLD [16][17] :

- L'âge, supérieur à cinquante ans.
- Le sexe féminin, la multiparité [18].
- L'obésité [19].
- Une sagittalisation des articulaires postérieures (angle de SATO $>40^\circ$) [20][21].
- Une perte de la musculature para-vertébrale.
- Une dégénérescence discale [15][22].
- Une incidence pelvienne élevée [23][24][25].

2.1.3. Classifications existantes

Plusieurs classifications existent et décrivent le spondylolisthésis lombaire.

- La classification de MEYERDING [26] – 1932

MEYERDING a établi une nosologie en fonction du degré de glissement et a proposé une procédure de fusion comme solution thérapeutique. Cette classification est vraisemblablement plus adaptée aux lyses isthmiques.

Il distingue ainsi 5 grades :

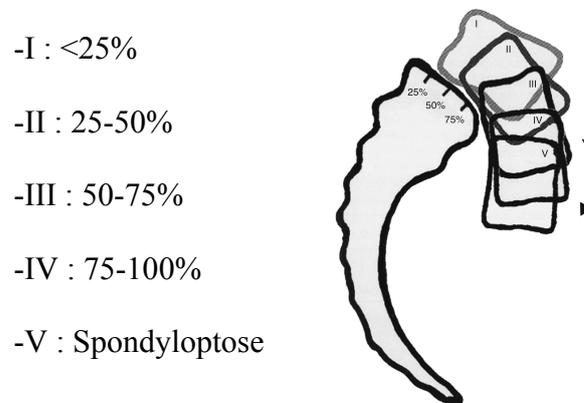


Figure 2 : Classification de MEYERDING

- La classification de WILTSE, NEWMAN, et MACNAB [27] – 1976

Elle est étiologique, anatomique, et décrit six types de spondylolisthésis :

Type 1 : dysplasique ou malformatif

Type 2 : isthmique pur

Type 3 : **dégénératif**

Type 4 : traumatique (pédiculaire)

Type 5 : lésions destructrices de l'arc postérieur (tumorales)

Type 6 : iatrogénique

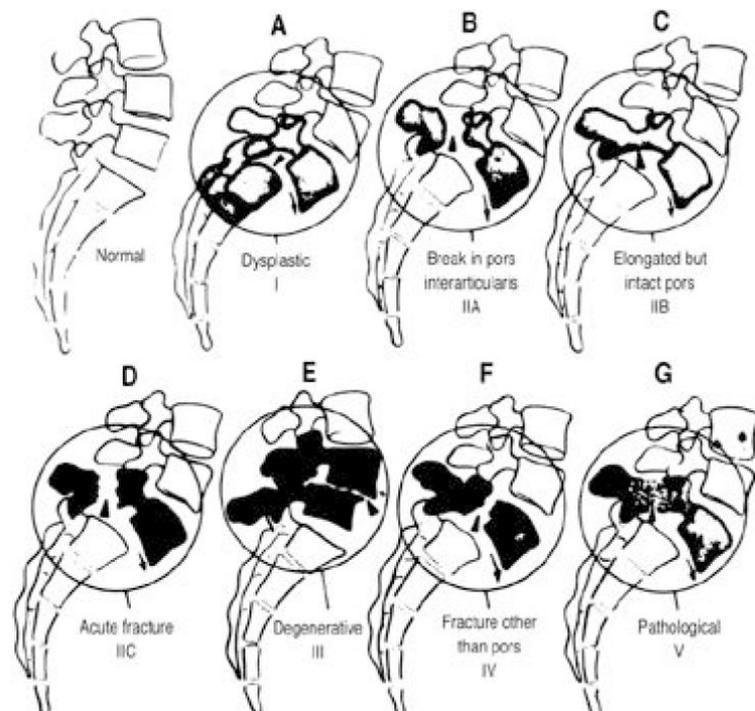


Figure 3 : Classification de WILTSE, NEWMAN, MACNAB

- La classification de MARCHETTI et BARTOLOZZI [28] – 1997

Elle est aussi étiologique, similaire à la précédente, mais semble être plus proche de la réalité :

Type 1 : congénital (développemental)

Type 2 : acquis (lyse à l'âge adulte)

Type 3 : iatrogène

Type 4 : pathologique

Type 5 : dégénératif

- La classification CARDS de KEPLER [29] – 2015

Plus récemment, KEPLER a proposé une classification clinique et radiologique du spondylolisthésis dégénératif lombaire. Elle reste peu utilisée et peu citée dans la littérature. Nous pensons qu'elle mérite d'être évoquée ici dans ce chapitre. La Classification CARDS (Clinical And Radiographic Degenerative Spondylolisthesis system) est basée sur un critère clinique et trois critères radiologiques :

- Critère clinique : présence ou non de radiculalgie, uni- ou bilatérale.
- Critères radiologiques : pincement discal, cyphose segmentaire, degré de la translation vertébrale.

Quatre stades sont ainsi décrits :

- A- Discopathie avancée sans cyphose segmentaire
- B- Hauteur discale préservée, avec une translation vertébrale < 5 mm, sans cyphose segmentaire
- C- Hauteur discale préservée, avec une translation vertébrale > 5 mm, sans cyphose segmentaire
- D- Cyphose segmentaire

Un 'modifier' clinique est proposé pour évaluer la présence ou non de radiculalgie :

- 0 : pas de radiculalgie
- 1 : radiculalgie unilatérale
- 2 : radiculalgie bilatérale

Les classifications sont utiles pour uniformiser des groupes de patients souffrant d'une même pathologie notamment afin de faciliter la comparaison des données épidémiologiques. Elles peuvent avoir un intérêt diagnostique ou encore thérapeutique.

Aucune des classifications précédentes ne prend en compte l'influence et/ou les conséquences du SLD sur l'équilibre sagittal régional ou global. Ce travail original s'attache à analyser le SLD en prenant en compte l'analyse segmentaire, régionale et globale de l'équilibre sagittal.

2.1.4. Clinique

Le tableau clinique se rapproche et s'associe vraisemblablement au syndrome de rétrécissement canalaire dégénératif.

La plupart des patients restent par ailleurs longtemps asymptomatiques malgré la modification de leur alignement sagittal et l'étendue du processus dégénératif.

Certains patients souffrent de radiculalgies associées ou non à des lombalgies. Beaucoup plus fréquemment l'association d'un SLD et d'un canal lombaire rétréci est responsable d'une claudication intermittente radiculaire, avec des douleurs et une faiblesse des membres inférieurs.

Les radiculalgies sont plus marquées lors des activités qui requièrent une position en extension lombaire (position debout prolongée ou lors de la marche). Un syndrome postural permettra au malade d'adopter une position antalgique en agrandissant son canal rachidien par une cyphose du rachis lombaire (figure 4). La position assise est ainsi plus confortable. Le classique 'signe du caddie' est assez représentatif.

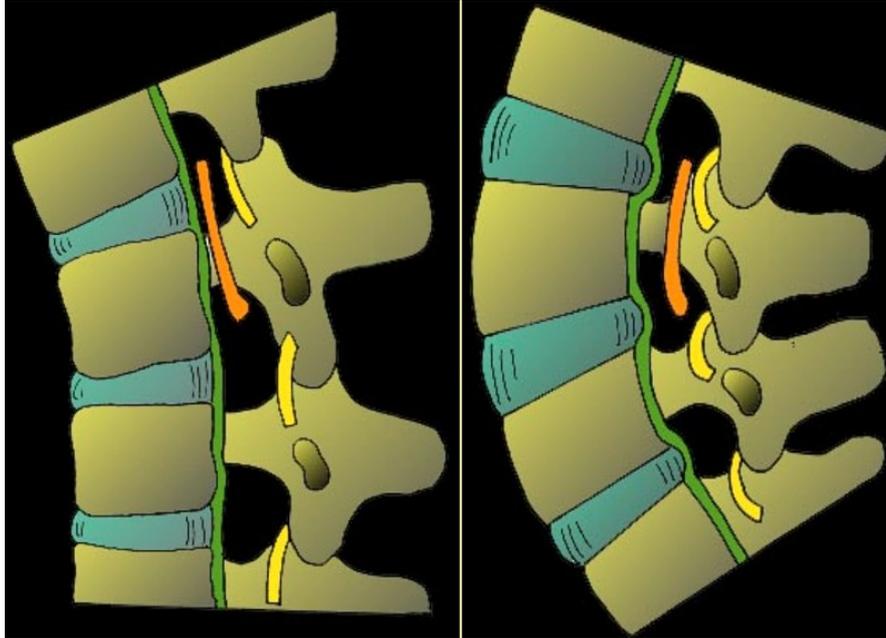


Figure 4 : L'effet de la cyphose sur le diamètre canalaire (icv33)

Pour rappel, la répartition des symptômes du SLD est la suivante : lombalgie : 78% (isolée : 28%), radiculalgie : 41%, claudication radiculaire : 42% [30]. Les troubles vésico-sphinctériens sont beaucoup plus rarement retrouvés dans 5% des cas [31].

La plupart des patients souffrant de canal lombaire rétréci (CLR) présenteront un tableau clinique assez stable. JOHNSON a montré une stabilité des symptômes chez 70% des patients avec un recul de 4 ans d'un traitement conservateur, 15% d'aggravation (majoration des douleurs), et 15% d'amélioration [32]. L'histoire naturelle du CLR associé au SLD reste peu connue. Aucune corrélation n'a été démontrée concernant le degré de glissement et la sévérité des symptômes. MATSUNAGA a montré dans sa série, avec 15.8 années de recul, que l'amélioration spontanée des symptômes des patients souffrant à la fois de SLD et CLR était rare [16].

2.1.5. Paraclinique

Le diagnostic de SLD est suspecté après un examen clinique complet. Le diagnostic positif est quant à lui radiologique. L'électro-neuro-myogramme est contributif lorsqu'il existe une discordance anatomo-clinique mais n'est pas systématiquement réalisé.

Une radiographie en charge (debout) du rachis lombaire de profil mettra en évidence un antélisthésis associé à des lésions dégénératives : pincement discal, sclérose de l'os sous-chondral, ostéophytose, hypertrophie articulaire postérieure. Elle va aussi éliminer les diagnostics différentiels : autres étiologies de spondylolisthésis, autres causes de lombalgies, radiculalgies, communes ou symptomatiques.

Des clichés standards dynamiques en flexion et extension sont intéressants (figure 5). Ils témoignent d'une instabilité au niveau atteint, qui peut parfois rester méconnue après des clichés statiques. Dans le cadre du bilan préopératoire, ils peuvent aider le chirurgien à simuler la réductibilité (cliché en extension) du spondylolisthésis par simple installation en décubitus ventral.

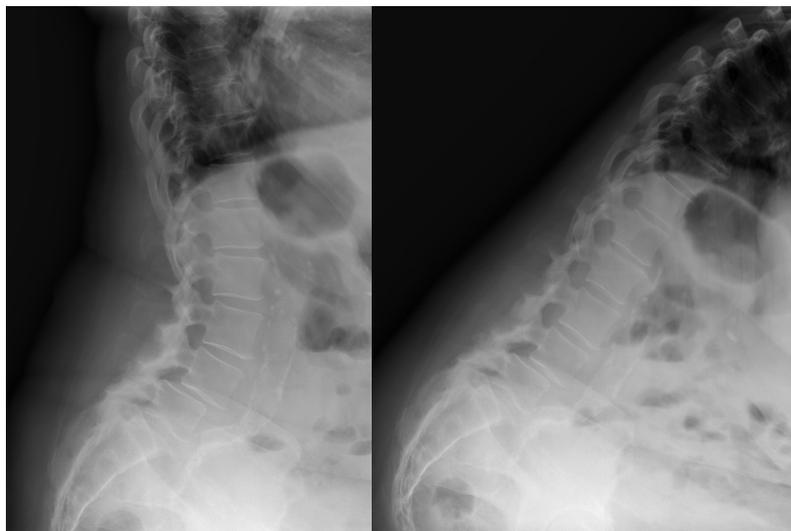


Figure 5. Clichés dynamiques en extension (à gauche) et en flexion (à droite).

L'IRM reste l'examen de choix pour évaluer le contenu rachidien (figure 6). Elle permettra d'apprécier le retentissement neurologique (sténose canalaire centrale ou foraminale) et d'évaluer les éléments dégénératifs des niveaux adjacents dans le cadre du bilan pré-thérapeutique.

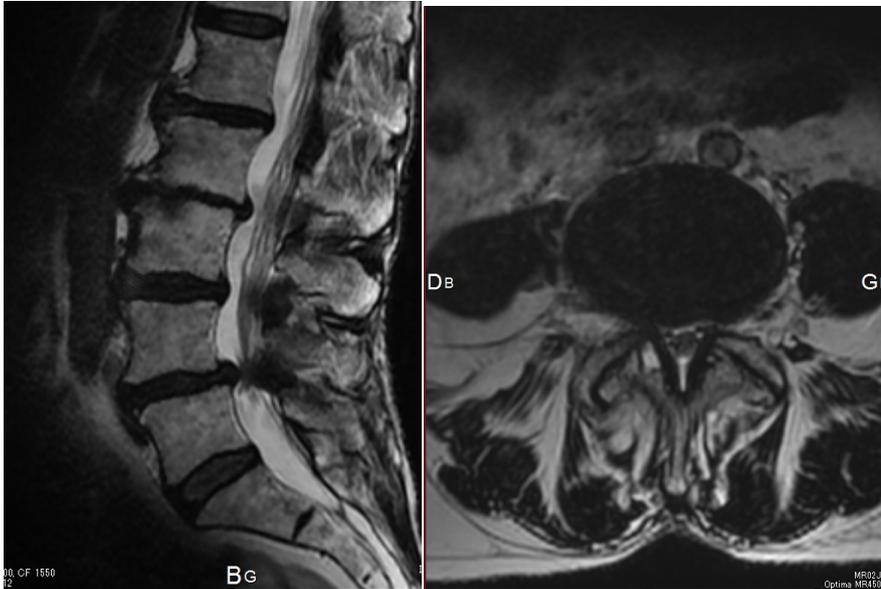


Figure 6. IRM rachis lombaire. Coupe sagittale (à gauche) et axiale (à droite), en séquence T2 permettant d'évaluer le contenu rachidien.

La TDM est d'intérêt moindre. Elle permet une meilleure analyse de la trame osseuse, des mécanismes dégénératifs ostéo-ligamentaires arthrosiques. (Figure 7)

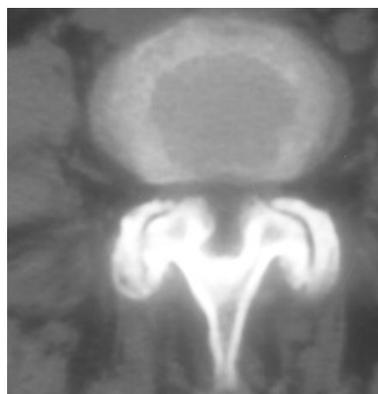


Figure 7. Coupe axiale TDM. Disque L4L5. SLD mobile. Caractère sagittal des zygapophyses.

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction, l'analyse de l'équilibre global est fondamentale. Un cliché grande cassette debout rachis entier (ou corps en entier) au minimum doit être réalisé. L'EOS (EOS imaging, Paris, France) tend à remplacer ces clichés grandes cassettes (figure 8). Il s'agit d'un système de stéréo-radiographie biplanaire permettant des acquisitions simultanées de face et de profil. Il est beaucoup moins irradiant et présente une résolution accrue. Cet examen nous paraît fortement recommandé pour l'évaluation de l'équilibre sagittal global. Toutes les mesures de notre étude ont été réalisées sur des clichés numériques EOS.



Figure 8. Principe de fonctionnement EOS par double balayage vertical de rayons X. (illustration EOS system, EOS imaging, Paris, France).

2.1.6. Traitement

Dans tous les cas, le traitement médical conservateur s'impose en première intention. Il permet de soulager le patient de façon satisfaisante en cas de sténose canalaire ou radiculaire modérées. Il associe à la fois une prise médicamenteuse (antalgiques des différents palliers / anti-inflammatoires non stéroïdiens / antalgiques neuropathiques), une rééducation du rachis lombaire, et le port d'une ceinture lombaire ou d'un corset thermoformé [33]. Les infiltrations peuvent soulager temporairement les douleurs, et représentent parfois un test thérapeutique.

En cas d'échec du traitement conservateur de plus de 3 mois, associé à une dégradation significative de la qualité de vie, le traitement chirurgical est indiqué. La présence d'un déficit neurologique évolutif ou de troubles vésico-sphinctériens représente une indication chirurgicale certaine [34]. L'objectif reste la stabilisation (rigide ou *dynamique*) du segment atteint avec un geste de décompression en cas de sténose rachidienne centrale ou foraminale. Dans notre dernier chapitre, nous évoquerons une étude prospective en cours et qui a pour objectif d'évaluer un système de stabilisation dynamique (B-DYN) par rapport au système de référence qu'est l'arthodèse instrumentée.

La restauration d'un équilibre sagittal satisfaisant est fondamentale. L'incidence des syndromes adjacents (ASD) par exemple est plus forte chez les patients opérés qui présentent un déséquilibre sagittal persistant comme l'a bien montré KUMAR [35].

Cette analyse du SLD à travers la classification qui prend en compte l'équilibre sagittal pourra orienter le chirurgien dans sa planification pré-opératoire afin de rétablir un équilibre sagittal adapté.

2.2. L'équilibre sagittal

L'analyse de l'équilibre sagittal dans la prise en charge globale du SLD paraît désormais obligatoire [36]. Ne pas corriger un déséquilibre existant pourra être responsable d'un échec thérapeutique certain et responsable de la persistance de syndromes douloureux chroniques résiduels.

Le chirurgien a pour objectif de rétablir une situation ergonomique, c'est à dire un équilibre adapté entre paramètres pelviens et forme globale de la colonne vertébrale.

2.2.1. Paramètres pelviens

Mme DUVAL-BEAUPERE a défini trois angles [8][37] (figure 9). Paramètre pelvien le plus important : l'incidence pelvienne (IP), décrit la relation entre le sacrum et les têtes fémorales. Il s'agit d'un angle morphologique qui reste constant chez un même individu après l'âge de 10 ans [38].

Deux autres paramètres sont reliés directement à l'IP :

-La Version Pelvienne (VP) : représente la rotation du pelvis, augmente en cas de rétroversion du bassin, et diminue en cas d'antéversion. Elle est l'angle entre la verticale passant par le centre des têtes fémorales et une ligne rejoignant le centre des têtes fémorales au milieu du plateau sacré.

-La Pente Sacrée (PS) : définie par l'orientation du plateau de S1 par rapport à l'horizontale.

Ces deux paramètres sont positionnels et dépendent de l'IP, selon la loi géométrique suivante :

$IP = VP + PS$. Le paramètre de forme fixe est égal à la somme des deux paramètres positionnels.

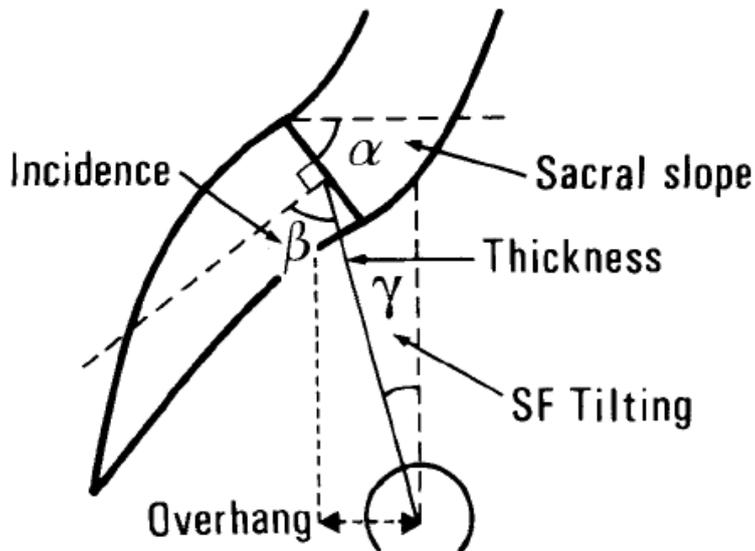


Figure 9 : Paramètres pelviens, Duval-Beaupère.

Chez une personne avec une grande IP, le pelvis est horizontal avec une grande pente sacrée et une réserve de rétroversion élevée, alors que la réserve d'extension des hanches est limitée. Quand l'IP est faible, le pelvis est vertical, avec une faible pente sacrée et une faible capacité de rétroversion.

L'IP moyenne admise dans la littérature pour une population blanche caucasienne est de 52° . Avec des valeurs moyennes de VP à 12° et de PS à 40° . MAC THIONG [39] donne une valeur limite de VP qui ne doit pas dépasser $\frac{IP}{2}$. En s'intéressant à des critères de qualité de vie LAFAGE, SCHWAB [40] donnent une valeur limite de VP à 20° , quelle que soit la valeur de l'IP.

L'évaluation de l'équilibre global du corps en position debout requiert l'analyse de la position de l'ensemble cervico-céphalique situé au sommet du mât. Le consensus est de considérer le milieu du corps de C7 comme le repère anatomique le plus fiable pour évaluer

l'équilibre global. Le « Sagittal Vertical Axis » (SVA) décrit par FARCY est le plus communément admis. Il s'agit de la distance horizontale à l'aplomb de C7 par rapport au bord postérieur du plateau sacré. LAFAGE [41] donne une limite de 50 mm pour le SVA au delà de laquelle le système est considéré comme déséquilibré. Nous avons décidé d'utiliser dans ce travail le SVA comme paramètre global.

2.2.2. Paramètres rachidiens et leurs relations avec les paramètres pelviens

Le rachis humain, formé par deux lordoses, cervicale (LC) et lombaire (LL), et une cyphose thoracique (CT), est fixé tel un mât dans la vertèbre pelvienne : le sacrum.

LEGAY [37] a décrit une relation entre la PS et la LL. C'est ainsi que pour de fortes PS, le rachis lombaire présente un départ horizontal avec un profil dynamique. Alors qu'à l'opposé une faible PS dicte un départ vertical avec un dos plat statique. ROUSSOULY [42] a décrit dans une série de population asymptotique quatre types de dos (figure 10):

-Type 1 : $SS < 35^\circ$ avec un apex très bas près de L5, LL courte et longue CT.

-Type 2 : $SS < 35^\circ$ l'axe de l'arc distal est plat, avec une colonne vertébrale plate.

-Type 3 : $35 < SS < 45^\circ$ patient bien équilibré avec un apex au milieu de L4. Régulière et harmonieuse.

-Type 4 : $SS > 45^\circ$ apex au bord supérieur de L4, point d'inflexion au dessus de T12 : hyperlordose harmonieuse.

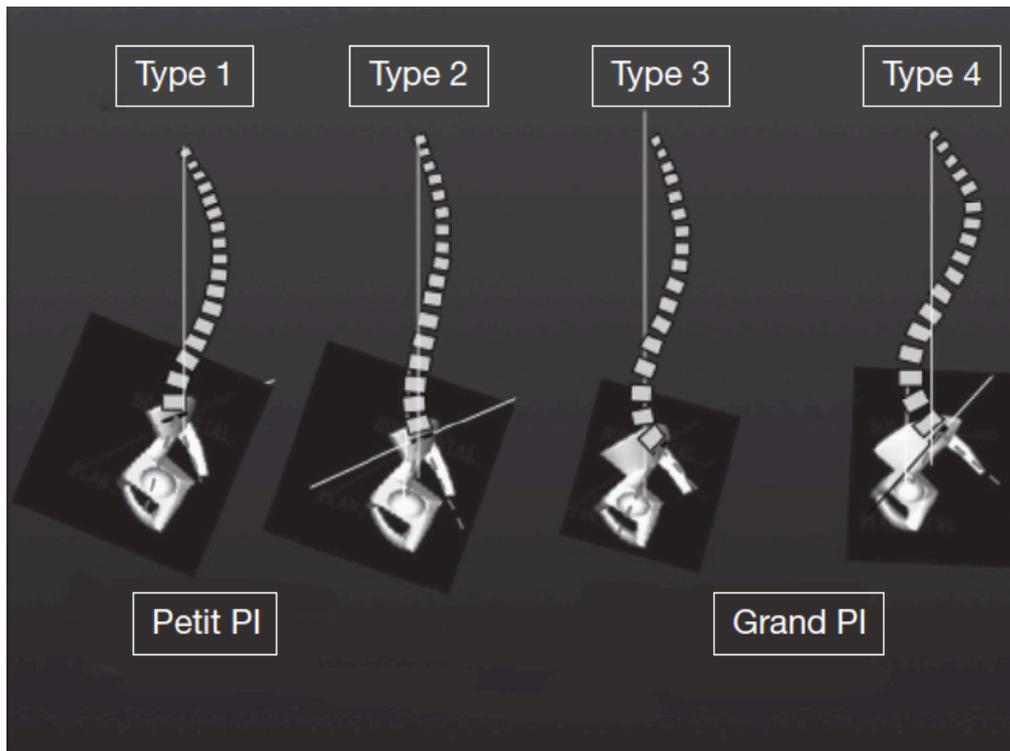


Figure 10 : Les quatre types de dos de ROUSSOULY

Plusieurs auteurs ont montré l'existence d'une corrélation entre paramètres pelviens et paramètres rachidiens [43][44][45].

L'analyse des paramètres pelviens permet de prédire les paramètres rachidiens (LL, CT) théoriques [46][47]. Une formule simple est proposée par SCHWAB : $LL = PI \pm 9^\circ$ (en fonction de l'IP : en cas de forte incidence $>60^\circ$: $+9^\circ$, faible incidence $<45^\circ$: -9°).

La formule IP-LL reflète l'adéquation entre ces deux paramètres. La LL sera adaptée ou non à l'IP. Il en résultera des rachis harmonieux et d'autres dysharmonieux.

LAFAGE a récemment rapporté une forte corrélation entre les paramètres pelviens suivants : VP, IP-LL, SVA et les scores de qualité de vie [48].

2.2.3. Mécanismes de compensation

Plusieurs phénomènes dégénératifs décrits ci-dessus sont responsables en grande partie du SLD et de la perte de lordose lombaire. La position d'antéflexion antalgique tend à augmenter le diamètre antéro-postérieur du canal rachidien et participe également à la perte de lordose lombaire. Le centre de gravité du tronc tend ainsi à se déplacer en avant avec comme résultante un déséquilibre sagittal antérieur.

Des mécanismes de compensation ont été largement étudiés et sont bien connus de nos jours [49]. La rétroversion du bassin (VP augmente-PS diminue = verticalisation du bassin) et l'aplatissement de la cyphose thoracique sont deux éléments clés de cette compensation spino-pelvienne[48]. Dans le cadre du SLD, ces mécanismes de compensation sont longtemps préservés. Ceci explique que la population SLD reste longtemps équilibrée [36].

BARREY [24] et MOREL [25] ont montré que les patients souffrant de SLD avaient une IP plus élevée que la population normale asymptomatique.

La VP est aussi plus élevée dans cette population et témoigne d'un mécanisme compensateur.

DUARTE [50] a étudié l'impact clinique de la restauration ou non d'un équilibre sagittal après arthrodeuse instrumentée chez les patients atteints de SLD. Il a ainsi mis en évidence de meilleurs résultats chez les patients où la VP était diminuée.

Comme nous l'avons déjà évoqué plus haut, le vieillissement de la colonne vertébrale physiologique et/ou pathologique entraîne une cyphose dégénérative.

Les mécanismes de compensation de cette bascule antérieure du tronc se produiront sur un rachis enraidit. Il semblerait que ces mécanismes d'adaptation du trouble rachidien lombaire se mettent

en oeuvre de haut en bas [51] avec comme objectif le maintien d'un regard horizontal :

- Hypolordose cervicale.
- Aplatissement de la cyphose thoracique.
- La lordose lombaire est la source du problème d'où une incapacité de régulation à ce niveau là.
- Rétroversion du bassin.
- Hyper-extension des hanches.
- Flexion des genoux
- Flexion dorsale des chevilles.

3. PARTIE 1: Proposition d'une nouvelle classification du spondylolisthésis dégénératif lombaire

3.1. Présentation de la nouvelle classification

Le spondylolisthésis lombaire dégénératif (SLD) est donc une pathologie fréquente, responsable de lombo-sciatalgie et de claudication neurogène intermittente, chez les sujets adultes à partir de la quatrième décennie. L'âge élevé, le sexe féminin, la surcharge pondérale, la sagittalisation des facettes articulaires, la dégénérescence musculaire, et la présence d'un déséquilibre sagittal ont été décrits comme des facteurs de risque potentiels de SLD [52][19][53][54][55][56][57][58][16]. A ce jour, il n'existe pas de consensus clair quant à l'analyse et la prise en charge du SLD. Le tableau clinique peut varier et dépendra de plusieurs paramètres dont la sévérité du glissement, la sténose canalaire (centrale et/ou foraminale), les paramètres spino-pelviens et l'équilibre sagittal global. Plusieurs études ont rapporté récemment l'étroite relation entre l'équilibre sagittal et plusieurs pathologies segmentaires rachidiennes [59][44] dont le SLD [60][61]. LAFAGE a récemment rappelé la relation étroite entre l'IP et la LL [62][47].

Lors de la table ronde du congrès annuel de la Société Française de Chirurgie Rachidienne (SFCR) de 2013, GILLE a proposé une nouvelle classification du SLD basée sur l'analyse de l'équilibre sagittal [63]. Nous proposons ici une version modifiée de cette classification qui pourrait être un outil simple pour l'analyse du SLD.

La nouvelle classification du SLD a pour but d'analyser le SLD en tenant compte de l'équilibre sagittal global. Elle est inspirée de la classification de l'« Adult Spinal Deformity » de SCHWAB [45].

Elle comprend l'analyse des critères suivants :

Les paramètres rachidiens :

- sur un plan segmentaire : lordose segmentaire (LS)
- sur un plan régional : lordose lombaire (LL)

Certains des paramètres pelviens décrits précédemment :

- l'adéquation entre IP et LL (IP-LL)
- version pelvienne (VP)

Un paramètre d'évaluation sagittal global : le sagittal vertical axis (SVA)

Elle prend ainsi en considération la pathologie segmentaire en question, son retentissement, et les mécanismes de compensation mis en jeu. Le déséquilibre croît du type 1 au type 3.

Le tableau 1 détaille la classification et décrit les différents types de spondylolisthésis.

Type	Description	Paramètres	Sous-type	Description sous-types
Type 1	Rachis harmonieux et équilibré (LL adaptée à l'IP) (Figure 6)	IP-LL < 10°	1A	Lordose segmentaire (LS) préservée
			1B	LS altérée avec une LL préservée
Type 2	Rachis dysharmonieux équilibré mais compensé (Figure 7)	IP-LL > 10°	2A	Sans compensation pelvienne (VP < 25°)
			2B	Avec compensation pelvienne (VP > 25°)
Type 3	Rachis déséquilibré (Figure 8)	SVA > 40mm	3	

Tableau 1. Description de la classification

Nous proposons trois types principaux, avec deux sous-types dans les types 1 et 2 :

-Type 1 : Rachis harmonieux équilibré (fig.11).

-Type 2 : Rachis équilibré compensé (fig.12).

-Type 3 : Déséquilibre sagittal global (fig.13).

Dans le type 1, il n'existe pas d'anomalie de l'équilibre sagittal. Le spondylolisthésis n'a pas de répercussion sur la LL ($IP-LL < 10^\circ$). Nous distinguons un groupe de patients qui conservent une bonne lordose segmentaire (Type 1A : $LS > 5^\circ$) d'un groupe de patients cyphosés (Type 1B : $LS < 5^\circ$).

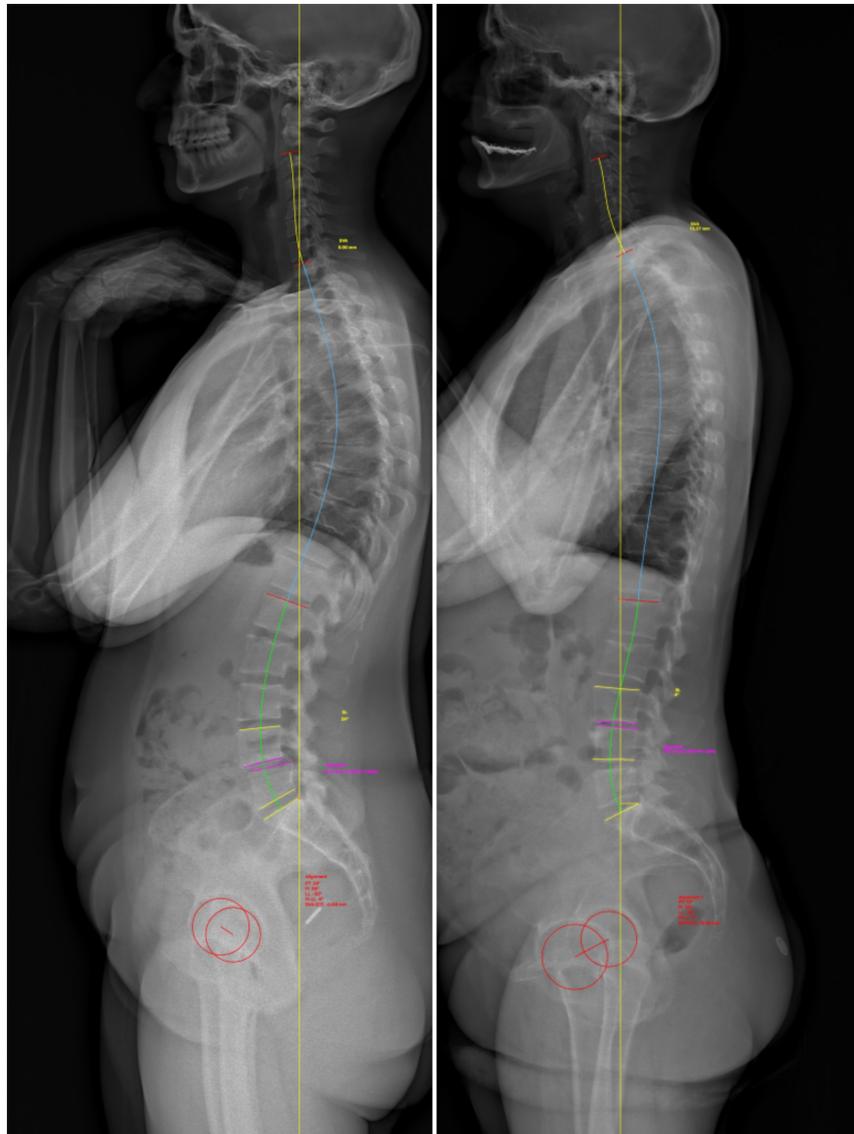


Figure 11. Type 1A

Type 1B

Dans le type 2, il existe une inadéquation entre la LL et l'IP ($IP-LL > 10^\circ$). Il s'agit d'un déséquilibre sagittal compensé. Dans le sous groupe 2A : il existe une compensation thoracique par aplatissement de la cyphose thoracique ($VP < 25^\circ$). Dans le sous groupe 2B : la compensation se fait au niveau pelvien par une rétroversion du bassin ($VP > 25^\circ$).

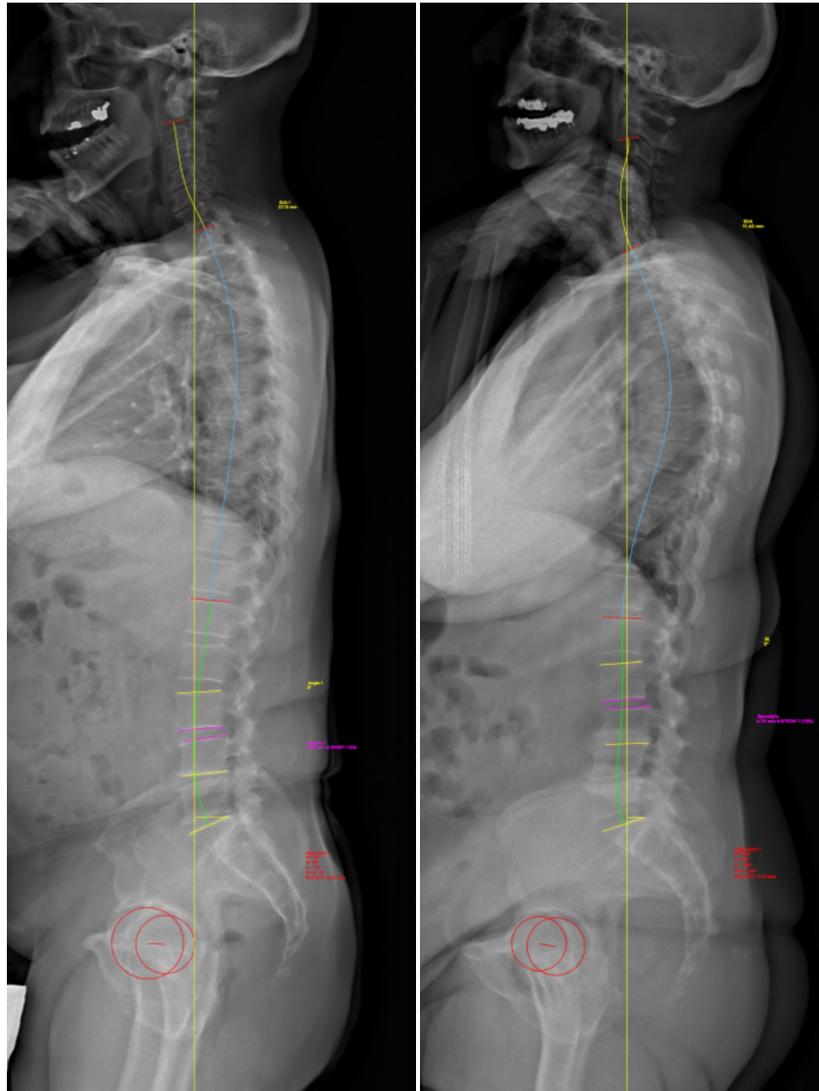


Figure 12. Type 2A

Type 2B

Dans le type 3, il existe un déséquilibre sagittal global (SVA > 40 mm).

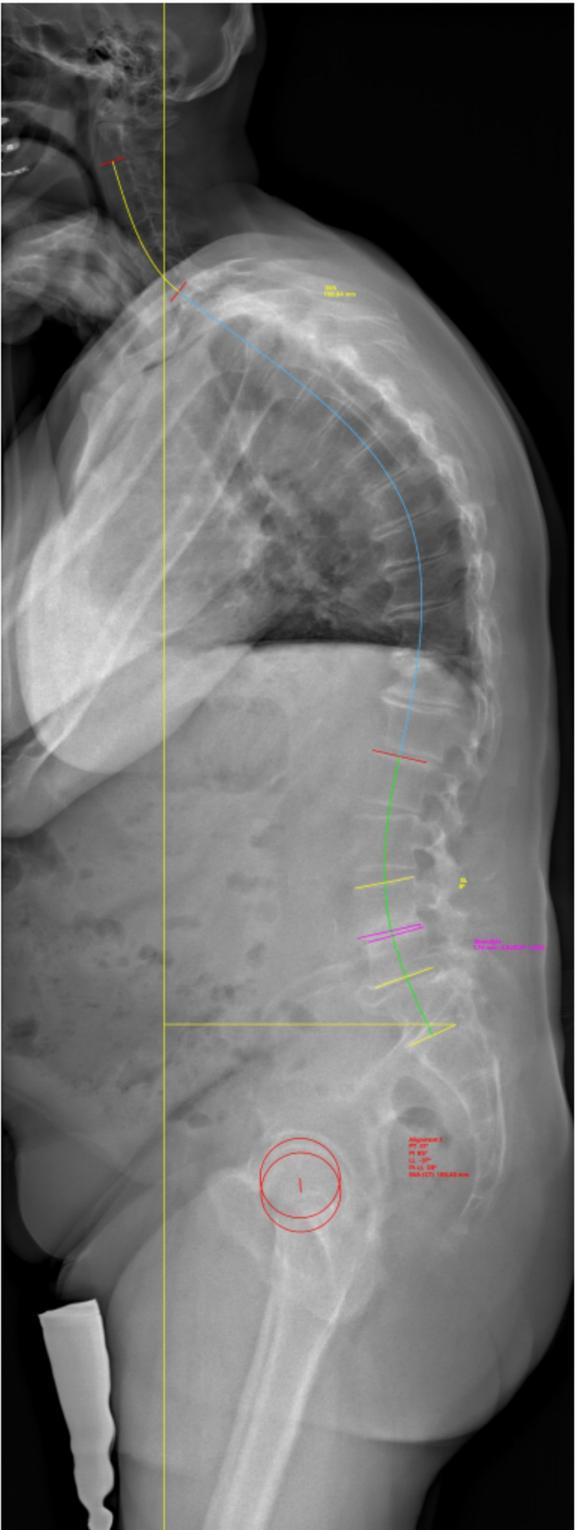


Figure 13. Type 3

La figure 14 représente un organigramme diagnostique, qui permet de visualiser les différents paramètres à mesurer pour typer un SLD.

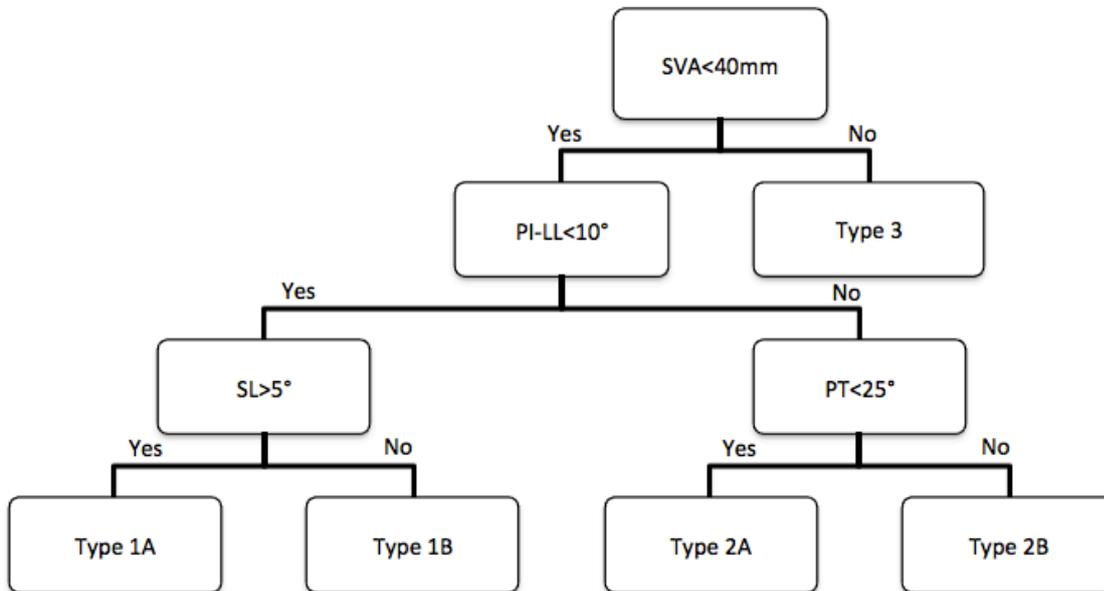


Figure 14. Organigramme diagnostique.

3.2. Etude de reproductibilité

3.2.1. Résumé

Objectif : Valider la nouvelle classification du SLD et évaluer sa reproductibilité.

Design de l'étude : Etude de reproductibilité inter- et intra- observateur.

Matériel et Méthodes : Le SLD est une pathologie fréquente, responsable de lombalgies, radiculalgies et de claudication neurogène. A ce jour, il n'existe pas de consensus concernant la prise en charge du SLD. Une nouvelle classification du SLD est proposée, et requiert sa validation. Nous avons inclus 99 patients souffrant de SLD pris en charge chirurgicalement dans notre unité de chirurgie rachidienne entre janvier 2012 et décembre 2015. Trois chirurgiens ont réalisé des mesures de l'équilibre sagittal segmentaire, régional et global, à l'aide d'un logiciel validé sur des clichés EOS debout corps entier. La lordose segmentaire (LS), la lordose lombaire (LL), l'incidence pelvienne (IP), la version pelvienne (VP), et le 'sagittal vertical axis' (SVA) ont été mesurés. Les patients étaient classés en trois groupes principaux selon la nouvelle classification : *type 1* : rachis harmonieux et équilibré avec une adéquation entre LL et IP ($IP-LL < 10^\circ$) avec une bonne LS (type 1A) ou une diminution de la LS (type 1B); *type 2* : rachis dysharmonieux (inadéquation entre IP et LL : $IP-LL \geq 10^\circ$), équilibré mais compensé au niveau pelvien (type 2B : $PT \geq 25^\circ$) ou sans compensation pelvienne (type 2A : $PT < 25^\circ$); *type 3* : déséquilibre sagittal global avec un $SVA \geq 40mm$. Afin de mesurer la reproductibilité intra-observateur, les trois chirurgiens ont effectué une double lecture à trois semaines d'intervalle dans un ordre aléatoire différent.

Des tests statistiques κ de Fleiss et corrélation intra-class (ICC) ont été réalisés pour mesurer la reproductibilité inter-observateur, alors que la reproductibilité intra-observateur a été évaluée par le test κ Cohen.

Résultats : 99 clichés corps entier debout ont été analysés. L'âge moyen était de $68.8 \text{ ans} \pm 9.8$ ans. Les valeurs moyennes des paramètres spino-pelviens étaient les suivants : IP: $60.1^\circ \pm 12.7^\circ$; VP: $24.7^\circ \pm 8.5^\circ$; SVA: $44.9mm \pm 44.6mm$; LS: $16.6^\circ \pm 8.4^\circ$. La reproductibilité intra-observateur a montré une concordance presque parfaite ($ICC > 0.92$ and Cohen's $\kappa > 0.89$ pour chaque observateur). La valeur du κ de Fleiss pour la reproductibilité inter-observateur était de 0.82 avec un pourcentage d'accord entre les observateurs entre 88% et 89%.

Conclusion : La nouvelle classification a montré une excellente reproductibilité inter- et intra-observateur. C'est une méthode simple et accessible qui peut aider le chirurgien à analyser l'équilibre sagittal segmentaire, régional et global chez les patients souffrant de SLD, et l'aider dans la planification pré-opératoire.

Mots clés :

Spondylolisthésis lombaire dégénératif, Equilibre sagittal, Classification, Spondylolisthésis.

3.2.2. Abstract:

New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine: a Reliability Study (*Submitted to SPINE DEFORMITY*)

Study Design. Inter-observer and Intra-observer reliability study.

Object. To assess the reliability of a new classification of degenerative spondylolisthesis of the lumbar spine (DSLS).

Summary of background data: DSLS is a common cause of chronic low back and leg pain in adults. To this date, there is no consensus for a comprehensive analysis of DSLS. A new DSLS classification system based on sagittal alignment was proposed and required validation.

Methods: 99 patients admitted to our spinal surgery department for surgical treatment of DSLS between January 2012 and December 2015 were included. Three observers measured sagittal alignment parameters with validated software: segmental lordosis (SL), lumbar lordosis (LL), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), and sagittal vertical axis (SVA). Full body low-dose lateral view X-rays were analyzed and classified according to three main types: type 1a: preserved LL and SL; type 1b: preserved LL and reduced SL ($\leq 5^\circ$); type 2a: $PI-LL \geq 10^\circ$ without pelvic compensation ($PT < 25^\circ$); type 2b: $PI-LL \geq 10^\circ$ with pelvic compensation ($PT \geq 25^\circ$); type 3: global sagittal malalignment ($SVA \geq 40\text{mm}$). The three observers classified X-rays twice with a 3-week-interval for intra-observer reproducibility. Inter-observer reproducibility was calculated using Fleiss's κ and intra-class coefficient. Intra-observer reproducibility was calculated using Cohen's κ .

Results: Mean age was 68.8 ± 9.8 years. Mean sagittal alignment parameters values were the following: PI: $60.1 \pm 12.7^\circ$; PI-LL was $12.2^\circ \pm 13.9^\circ$, PT: $24.7 \pm 8.5^\circ$; SVA: $44.9 \pm 44.6\text{mm}$; SL: $16.6 \pm 8.4^\circ$. Intra-observer repeatability showed an almost perfect agreement ($ICC > 0.92$ and Cohen's $\kappa > 0.89$ for each observer). Fleiss κ value for inter-observer reproducibility was 0.82, with percentage agreement among observers between 88% and 89%.

Conclusion: This new classification showed an excellent inter- and intra-observer reliability. This simple method can help surgeons improve their preoperative DSLS analysis taking into account global sagittal parameters.

Keywords:

Degenerative spondylolisthesis, lumbar spine, classification system, spondylolisthesis.

3.2.3. Introduction

L'utilisation et la validation d'une classification nécessitent qu'elle soit reproductible et répétable.

- La méthode doit être reproductible : c'est à dire applicable dans des milieux différents, par des opérateurs différents, en utilisant des équipements physiques différents, même si conceptuellement analogues, tout en obtenant des résultats similaires, c'est à dire compris dans la marge d'incertitude attribuée à la méthode.

- La méthode doit être répétable : c'est à dire fournir des résultats similaires pour un opérateur donné et un équipement donné.

La première partie de notre travail consiste à vérifier la reproductibilité et la répétabilité de la classification.

Par ailleurs une classification n'a d'intérêt que si elle a un impact clinique sur la prise en charge diagnostique et/ou thérapeutique des patients. *La deuxième partie* consistera à vérifier l'impact clinique de la classification et sa corrélation aux scores de qualité de vie.

3.2.4. Matériel et Méthode

3.2.4.1. Données démographiques

Quatre-vingt-dix-neuf patients admis dans notre service entre janvier 2012 et décembre 2015 pour une prise en charge chirurgicale de leur SLD ont été inclus de façon rétrospective.

Les critères d'inclusion étaient :

(1) âge > 40 ans, (2) patient souffrant de SLD nécessitant une prise en charge chirurgicale pour claudication neurogène ou radiculalgie avec échec d'un traitement médical bien conduit après 6 mois, (3) données démographiques et radiographiques complètes.

Les critères d'exclusion étaient :

(1) une déformation coronale avec un angle de Cobb >10°, (2) autres étiologies de spondylolisthésis (isthmique, congénital, traumatique, iatrogène), (3) antécédents de chirurgie rachidienne lombaire, (4) pathologie infectieuse ou néoplasique active.

La nouvelle classification proposée était établie après la réalisation de mesures sur des clichés EOS (EOS system, EOS imaging, Paris, France) de profil. Clichés réalisés dans le cadre du bilan préopératoire de façon systématique dans notre structure.

Le tableau 2 détaille une description formelle de la classification ainsi que les données démographiques de la population étudiée.

Type	Description	Paramètres	Sous-types	Description	Âge (années)	Nombre des patients (F/H)
Type 1	Rachis harmonieux et équilibré (Figure 6)	IP-LL<10°	1A	Lordose segmentaire (LS) préservée	66.4 ± 8.6	34 (42/10)
			1B	LS altérée avec une LL préservée	64.3 ± 13.2	2 (1/1)
Type 2	Rachis dysharmonieux équilibré mais compensé (Figure 7)	IP-LL>10°	2A	Sans compensation pelvienne (VP<25°)	70.4 ± 10.1	4 (3/1)
			2B	Avec compensation pelvienne (VP>25°)	69.9 ± 11.1	11 (11/0)
Type 3	Rachis déséquilibré (Figure 8)	SVA > 40mm	3		70.3 ± 10.1	48 (32/16)
Moyenne					68.8 ± 9.8	99 (71/28)

Tableau 2. Description de la classification et répartition en fonction des types

Les figures 11, 12 et 13 ci-dessus illustrent les trois types de SLD.

3.2.4.2. L'analyse radiographique

Trois chirurgiens ont mesuré les paramètres sagittaux segmentaires, régionaux et globaux, de chaque patient inclus à l'aide d'un logiciel validé (Surgimap®, Nemaris, Inc., New York, USA) [64]. ILHARREBORDE [65] a montré que les moyens de mesures numériques étaient supérieurs aux mesures manuelles trigonométriques sur clichés radiologiques standards :

- La lordose segmentaire (LS) est représentée par l'angle de Cobb sagittal entre le plateau supérieur de la vertèbre glissée et le plateau inférieur de la vertèbre sous-jacente.

- Le degré de glissement est exprimé en % de glissement du diamètre antéro-postérieur de la vertèbre sus-jacente par rapport à la vertèbre sous-jacente.
- La lordose lombaire (LL) est définie par l'angle sagittal de Cobb entre le plateau supérieur de L1 et le plateau supérieur de S1 (L1S1).
- L'incidence pelvienne (IP) est définie par l'angle entre la ligne reliant le centre des têtes fémorales au milieu du plateau supérieur de S1, et la ligne perpendiculaire au milieu du plateau sacré.
- La version pelvienne (VP) est définie par l'angle entre la verticale passant par le centre des têtes fémorales et une ligne rejoignant le centre des têtes fémorales au milieu du plateau sacré.
- La distance entre la verticale abaissée à partir du milieu de C7 et le bord postérieur du plateau sacré définit le (SVA) en mm.

3.2.4.3. L'analyse statistique

Trois chirurgiens avec plus de quatre ans d'expérience en orthopédie (un professeur assistant et deux internes en dernière année) ont dès lors mesuré et typé les 99 cas selon la nouvelle classification. Après un délai de trois semaines, les trois investigateurs ont mesuré une deuxième fois tous les cas dans un ordre différent aléatoire afin d'établir la reproductibilité intra-observateur. La reproductibilité inter- et intra-observateur a été quantifiée à l'aide du coefficient de corrélation intra-classe (ICC). La reproductibilité inter-observateur a été calculée grâce au coefficient κ de Fleiss, alors que la reproductibilité intra-observateur a été calculée grâce au coefficient κ de Cohen [66][67].

Plus le kappa était proche de 1, et plus l'écart entre la proportion d'accords observée et la proportion théorique d'accords « aléatoires », se rapproche de l'écart entre l'accord parfait des deux observateurs et leur concordance aléatoire.

Le coefficient Kappa est interprété selon le 'barème' suivant :

<0	Grand désaccord
0.00 - 0.20	Accord très faible
0.21 - 0.40	Accord faible
0.41 - 0.60	Accord moyen
0.61 - 0.80	Accord satisfaisant
0.81 - 1.00	Accord excellent

Toutes les mesures statistiques ont été réalisées par un staticien indépendant (Dr C.VERGARI-University of Exeter) à l'aide du logiciel : Matlab 2015b (Mathworks, Natick, MA, USA).

3.2.5. Résultats

3.2.5.1. Données démographiques

Au final, 99 patients pris en charge dans notre service ont été analysés. L'âge moyen était de 68.8 ans \pm 9.8 ans. Il y avait 71 femmes, et 28 hommes. Le Type 1A et le type 3 étaient les types majoritaires dans notre série (respectivement 34 et 48 patients) alors que le type 1B et le type 2A représentaient les groupes les moins fréquents (respectivement deux et quatre patients). Les données démographiques en fonction du type affecté sont résumées dans le tableau 2 ci-dessus.

3.2.5.2. Paramètres rachidiens et pelviens en fonction du type de SLD

L'IP moyenne était de $60.1^\circ \pm 12.7^\circ$, l'IP-LL moyenne était de $12.2^\circ \pm 13.9^\circ$, la VP moyenne était de $24.7^\circ \pm 8.5^\circ$, le SVA moyenne étaient de $44.9 \text{ mm} \pm 44.6 \text{ mm}$. Les valeurs moyennes, ainsi que les déviations standards des paramètres sagittaux étudiés en fonction du type de SLD sont reportées dans le tableau 3. Le glissement moyen était de $14.6\% \pm 7.6\%$ et survenait au niveau L4-L5 chez 62 patients, L3-L4 chez 28 patients, et en L5-S1 chez 4 patients.

Types	SVA (mm)	PI-LL (°)	LL (°)	PI (°)	PT (°)	SL (°)
1A (n = 34)	9.8 ± 16.3	0.8 ± 5.5	57.5 ± 8.1	56.6 ± 9.2	20.6 ± 4.8	19.9 ± 6.9
1B (n = 2)	15.3 ± 0.4	6 ± 1.4	34.5 ± 3.5	40.5 ± 2.1	14.5 ± 3.5	3 ± 1.4
2A (n = 4)	26.9 ± 5.2	15.3 ± 2.2	37 ± 13.4	52 ± 13.4	22.3 ± 1.3	16 ± 9.5
2B (n = 11)	7.5 ± 21.3	19.5 ± 8.5	48.8 ± 14.7	68.1 ± 9.5	34.3 ± 5.8	15.5 ± 8.8
3 (n = 48)	80.2 ± 36.2	18.6 ± 14.7	45.6 ± 14.6	62.2 ± 14.1	26.1 ± 9.3	15 ± 8.6
Moyenne (n=99)	44.9 ± 44.6	12.2 ± 13.9	49.5 ± 13.9	60.1 ± 12.7	24.7 ± 8.5	16.6 ± 8.4

Tableau 3. Paramètres pelviens, SL, LL et SVA pour chaque type

3.2.5.3. Corrélations entre les types et les paramètres radiographiques

Les différents types de la nouvelle classification sont corrélés de façon significative avec la majorité des critères radiographiques étudiés : SVA, IP-LL, LL, VP, SL excepté l'IP et la PS. Ces corrélations sont reportées dans le tableau 4.

	r de Pearson	p	significativité
SVA	0.82	5.5E-25	***
IP-LL	0.53	1.4E-08	***
LL	-0.39	6.5E-05	***
IP	0.14	0.16	
VP	0.21	0.04	*
SL	-0.20	0.048	*
PS	-0.06	0.58	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; IP-LL = Incidence Pelvienne-Lordose Lombaire

Tableau 4. Corrélations entre les types de SLD et les paramètres radiographiques étudiés

3.2.5.4. La reproductibilité

L'analyse de la reproductibilité intra- observateur a montré un accord excellent (ICC > 0.92 et κ de Cohen > 0.89 pour chaque observateur). La valeur du κ de Fleiss pour la reproductibilité inter-observateur était de 0.82, avec un pourcentage d'accord compris entre 88% et 89%. Il n'existait que très peu d'erreurs d'interprétation occasionnelles, sans biais systématique comme le montre le tableau 5 : matrice de confusion moyenne et le graphique de Bland-Altman qui a comparé les moyennes de mesure à leurs différences (figure 15). Aucune confusion systématique qui pourrait expliquer une potentielle confusion entre deux types de SLD n'a été retrouvée.

		1 st measurement				
		Type 1A	Type 1B	Type 2A	Type 2B	Type 3
2 nd measurement	Type 1A	31	0	1	1	1
	Type 1B	1	2	0	0	0
	Type 2A	4	0	3	2	1
	Type 2B	0	0	1	10	1
	Type 3	0	0	1	0	45

Tableau 5. Matrice de confusion moyenne pour les deux lectures des trois observateurs.

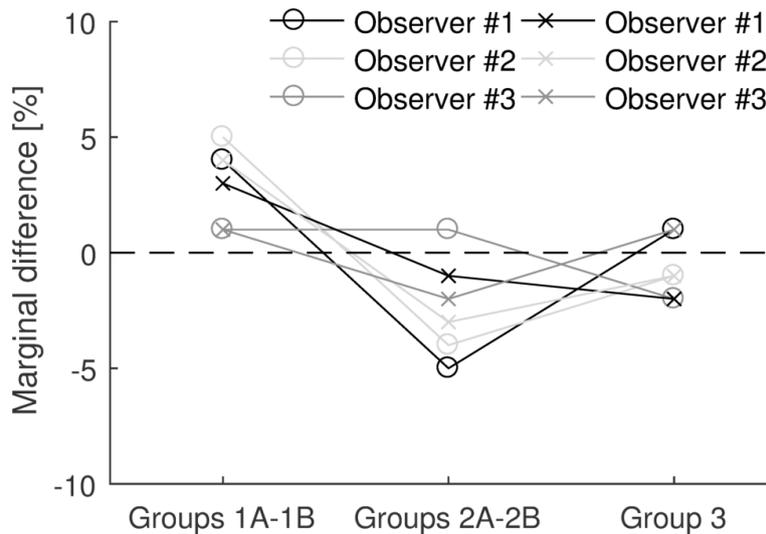


Figure 15. Graphique de Bland-Altman.

3.2.6. Discussion

Il n'existe à ce jour aucun système de classification complet permettant une analyse rationnelle du SLD dans un cadre plus global. Toutes les classifications existantes considèrent ce dernier comme étant un phénomène segmentaire [26][27]. Cette nouvelle classification est dans ce contexte intéressante et originale. Après la table ronde sur le SLD au congrès annuel de la SFCR de 2013, il a été vivement conseillé de réaliser une évaluation de l'équilibre sagittal global, à l'aide de clichés debout corps entier, afin de planifier une prise en charge adaptée.

L'équilibre sagittal peut être évalué par plusieurs paramètres angulaires ou métriques. Dans la littérature, elle est le plus souvent évaluée par le SVA qui est corrélé aux scores cliniques: les patients avec un SVA élevé (> 40 mm) sont plus symptomatiques et présentent un handicap plus élevé [45]. Le SVA traduit la résultante entre les forces de déséquilibre segmentaire, régional et les mécanismes de compensation. Ces mécanismes de compensation sont bien décrits dans la littérature et se font habituellement de haut en bas [51]. SCHWAB [62] a montré que la perte de LL chez les adultes scoliotiques est significativement liée à une altération de la qualité de vie et des scores fonctionnels. L'IP, IP-LL, VP et le SVA étaient les paramètres les mieux corrélés aux résultats chirurgicaux. Ces mêmes paramètres validés ont été utilisés dans notre étude pour analyser le SLD. L'«IP-LL» quantifie la différence entre la morphologie du bassin (IP) et la lordose lombaire. Il permet de répondre à la question suivante : la LL est-elle adaptée à l'IP ? La VP représente la rotation du pelvis et est le témoin d'une compensation pelvienne : le malade équilibré, compense-t-il ou pas ?

Dans cette série, le sexe ratio (F/H) était de 2.5/1 avec un âge moyen de $68.8 \text{ ans} \pm 9.8$ ans. Le glissement moyen à $14.6\% \pm 7.6\%$. Comparé aux données de la littérature, notre série est plus âgée, le sex ratio est similaire. L'incidence pelvienne moyenne était de $60.1^\circ \pm 12.7^\circ$ et est

significativement plus élevée que dans la population normale [68]. BARREY [24] a suggéré que les patients ayant une grande incidence pelvienne avaient plus de risque de développer un SLD. Dans le même sens, LIU [69] a récemment montré dans sa série qu'une hyper LL et donc une forte IP était un facteur de risque de SLD L4-L5. Une forte IP constitue une réserve pelvienne plus élevée. Plusieurs mécanismes d'adaptation ont été décrits. La rétroversion pelvienne représente un des facteurs les plus importants. Elle décrit l'orientation du pelvis. Elle compense ce défaut de LL afin de maintenir une position érigée équilibrée. L'IP-LL moyenne était de $11.8^\circ \pm 14.1^\circ$, alors que la SVA moyenne était de $44.9 \text{ mm} \pm 44.6 \text{ mm}$, faisant apparaître la place importante de l'équilibre sagittal chez ces patients souffrant de SLD.

Prendre en compte de façon isolée le SLD sans analyser l'équilibre sagittal global ni les mécanismes compensateurs, ne permettra pas d'anticiper les éventuels processus dynamiques post-opératoires de rééquilibration. Ce concept est à la base du développement de cette classification qui cherche à analyser trois niveaux de problèmes qui peuvent coexister au SLD : l'équilibre sagittal global (à travers le SVA), le déséquilibre régional (IP-LL), et les mécanismes compensateurs (VP élevée).

Les résultats de cette étude ont montré une excellente reproductibilité intra et inter observateur (accord excellent) qui répond parfaitement aux critères de validation d'une classification. Par ailleurs, ce niveau de reproductibilité a été obtenu sans apprentissage ou entraînement particulier. La reproductibilité des mesures radiographiques n'a pas été réalisée ici, le logiciel utilisé (Surgimap®) étant déjà validé [64]. L'objectif principal de ce travail est de valider le processus global qui comprend les mesures radiographiques, le raisonnement, et l'affectation de chaque patient dans un type de SLD donné. En effet, toutes ces étapes pourraient être susceptibles d'entraîner plus d'erreurs et d'écarts de mesure.

Cette étude présente quelques limites. Comme toute classification radiologique, elle ne considère pas les données cliniques : l'âge, les comorbidités et la symptomatologie du malade. Or le vieillissement diminue ces capacités compensatrices [51]. Par ailleurs, seuls les patients opérés ont été inclus. L'indication principale de la chirurgie était le CLR. Différencier la part du déséquilibre sagittal due à la sténose canalaire est difficile et peut être source de confusion [70]. La sténose canalaire associée au SLD génère une perte de LL afin d'élargir le canal et soulager le malade. La simple décompression canalaire permet dans ce cas d'améliorer la statique rachidienne. Il s'agit là d'une déformation souple. Les clichés dynamiques trouvent ici leur place même s'ils sont parfois difficiles à réaliser du fait de la douleur.

Cette classification pourrait aider le chirurgien à optimiser sa planification préopératoire et intégrer le déséquilibre sagittal dans son raisonnement. Il pourra ainsi proposer une chirurgie localisée, s'adressant uniquement à l'étage du SLD dans le type 1. Une décompression associée à une stabilisation rigide ou dynamique (système B-Dyn par exemple, procédure évaluée dans le troisième chapitre) avec ou sans dispositif intersomatique antérieur. Dans le type 2, il existe un déséquilibre compensé. Le chirurgien devra considérer et corriger un problème régional de façon à corriger les mécanismes de compensation qui devront disparaître en phase post-opératoire. Une chirurgie plus invasive et multi-étagée sera réservée au type 3, avec une nécessité de correction d'une déformation le plus souvent rigide du fait des mécanismes dégénératifs. Des ostéotomies vertébrales et des dispositifs intersomatiques pourront être utiles à ce stade. Ces propositions d'orientation thérapeutique et de planification nécessitent d'être évaluées par des études ultérieures.

3.2.7. Conclusion

Cette nouvelle classification du SLD a montré une excellente reproductibilité inter et intra-observateur. Il s'agit là d'un moyen simple et facile d'utilisation, sans nécessité d'entraînement ou d'expérience particulière. Elle pourra aider le chirurgien du rachis à analyser le SLD avec une évaluation précise de l'équilibre sagittal segmentaire, régional, global et des mécanismes compensateurs. Et ce d'autant plus qu'il existe une corrélation clinique que l'on abordera dans le chapitre suivant.

3.3. Etude de l'impact clinique

3.3.1. Résumé

Introduction : Le spondylolisthésis lombaire dégénératif (SLD) est une cause fréquente de lombo-radicalgie chronique. Une nouvelle classification basée sur l'analyse de l'équilibre sagittal est proposée et pourrait aider le chirurgien dans sa décision thérapeutique.

Objectif : Evaluer la pertinence clinique de cette classification qui pourrait être corrélée à certains paramètres cliniques.

Matériel et méthode : Etude rétrospective. 166 patients (119 F: 47 H) admis dans notre service pour SLD entre janvier 2011 et décembre 2015 ont été inclus. L'âge moyen était de $67,1 \pm 11$ ans. Etaient recueillis : les caractéristiques démographiques, ainsi que les échelles de qualité de vie préopératoire (Short Form-12 questions physical composite scale (SF-12 pcs), Oswestry Disability Index (ODI), Echelle visuelle analogique (EVA) lombaire et radiculaire). L'analyse radiographique comportait : le grade de Meyerding, la mesure des angles de lordose segmentaire (LS), de lordose lombaire (LL), l'incidence pelvienne (IP), la version pelvienne (VP), et l'axe vertical rapporté au sacrum (SVA). Les patients étaient dès lors classés en trois types principaux : 1a: LL et LS conservées; 1b: LL conservée, LS réduite ($\leq 5^\circ$); 2a: $IP-LL \geq 10^\circ$ sans compensation pelvienne ($VP < 25^\circ$); 2b: $IP-LL \geq 10^\circ$ avec compensation pelvienne ($VP \geq 25^\circ$); type 3: déséquilibre sagittal global ($SVA \geq 40\text{mm}$). Les corrélations entre les paramètres cliniques et la nouvelle classification étaient évaluées en utilisant le test de Spearman, et le test de Mann-Whitney.

Résultats : Les valeurs moyennes étaient de : IP: $59,3^\circ \pm 11,9^\circ$; VP: $24,3^\circ \pm 7,6^\circ$; SVA: $29,1 \text{ mm} \pm 42,2 \text{ mm}$; LS: $18,2^\circ \pm 8,1^\circ$. Le SLD était en: L4-L5 (n=121), L3-L4 (n=34), L2-L3 (n=6), et L5-S1 (n=5). La répartition des types était : type 1a: n=73, type 1b: n=3, type 2a: n=8, type 2b: n=22, type 3: 60. Une corrélation a été démontrée avec l'âge, l'ODI et le SF-12 pcs (respectivement: $\rho = 0,34$, $p < 0,05$; $\rho = 0,33$, $p < 0,05$; $\rho = -0,20$, $p = 0,01$) (Fig1). Une LS basse n'avait pas d'influence sur la qualité de vie.

Conclusion : La nouvelle classification est corrélée aux scores fonctionnels. Plus le grade est élevé, plus la qualité de vie se détériore. Elle est ainsi pertinente et pourrait aider le chirurgien dans sa décision dans le traitement du SLD en tenant compte de l'équilibre sagittal global.

Mots clés :

Impact, Spondylolisthésis dégénératif lombaire, Classification, Equilibre Sagittal

Clinical Relevance of a New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine (submitted to *European Spine Journal, ESJ*)

3.3.2. Abstract

Purpose: There is no consensus for a comprehensive analysis of Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine (DSLS). A new classification system for DSLS based on sagittal alignment was proposed. Its clinical relevance was explored.

Methods: Health-Related Quality of Life Scales (HRQOLs) and clinical parameters were collected: SF-12, ODI, low back and leg pain visual analog scales (BP-VAS, LP-VAS). Radiographic analysis included Meyerding grading and sagittal parameters: segmental lordosis (SL), L1-S1 lumbar lordosis (LL), T1-T12 thoracic kyphosis (TK), pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), and sagittal vertical axis (SVA). Patients were classified according to three main types: 1A: preserved LL and SL; 1B: preserved LL and reduced SL ($\leq 5^\circ$); 2A: $PI-LL \geq 10^\circ$ without pelvic compensation ($PT < 25^\circ$); 2B: $PI-LL \geq 10^\circ$ with pelvic compensation ($PT \geq 25^\circ$); type 3: global sagittal malalignment ($SVA \geq 40\text{mm}$).

Results: 166 patients (119 F: 47 M) suffering from DSLS were included. Mean age was 67.1 ± 11 years. DSLS demographics were respectively: type 1A: 73 patients, type 1B: 3, type 2A: 8, type 2B: 22, type 3: 60. Meyerding grading was: grade 1 ($n=124$), grade 2 ($n=24$). Affected levels were: L4-L5 ($n=121$), L3-L4 ($n=34$), L2-L3 ($n=6$), and L5-S1 ($n=5$). Mean sagittal parameter values were: PI: $59.3^\circ \pm 11.9^\circ$; PT: $24.3^\circ \pm 7.6^\circ$; SVA: 29.1 ± 42.2 mm; SL: $18.2^\circ \pm 8.1^\circ$. DSLS types were correlated with age, ODI and SF-12 PCS ($\rho = 0.34$, $p < 0.05$; $\rho = 0.33$, $p < 0.05$; $\rho = -0.20$, $p = 0.01$, respectively).

Conclusion: This classification was consistent with age and HRQOLs and could be a preoperative assessment tool. Its therapeutic impact has yet to be validated.

Level of evidence: 4

Keywords:

Degenerative Spondylolisthesis, Lumbar Spine, Classification System, Spondylolisthesis, Clinical Relevance

3.3.3. Introduction

Une nouvelle classification du SLD basée sur l'alignement sagittal a été proposée [63]. Sa reproductibilité a été vérifiée dans le chapitre précédent. L'impact clinique de cette classification doit être évalué. L'objectif de cette étude est de vérifier l'existence d'une relation entre les différents types de la classification, les données démographiques, radiographiques, et les scores de qualité de vie.

3.3.4. Matériel et Méthode

3.3.4.1. Design de l'étude et population

Tous les patients opérés pour un SLD dans notre service ont été inclus de façon rétrospective entre Janvier 2011 et Décembre 2015 après l'accord de notre comité d'éthique local.

Les critères d'éligibilité étaient similaires à l'étude de reproductibilité :

Les critères d'inclusion étaient les suivants : (1) âge > 40 ans, (2) patient souffrant de SLD nécessitant une prise en charge chirurgicale pour claudication neurogène ou radiculalgie avec échec d'un traitement médical bien conduit après 6 mois, (3) données complètes (démographiques, scores de qualité de vie, Clichés EOS).

Les critères d'exclusion étaient les suivants : (1) une déformation coronale avec un angle de Cobb >10°, (2) autres étiologies de spondylolisthésis (isthmique, congénital, traumatique,

iatrogène), (3) antécédents de chirurgie rachidienne lombaire, (4) pathologie infectieuse ou néoplasique active.

3.3.4.2. Recueil des données cliniques et scores fonctionnels

Les données cliniques : âge, sexe, indice de masse corporel (IMC) et les auto-questionnaires de qualité de vie ont été recueillis : Short Form-12 questionnaire (SF-12), Oswestry Disability Index (ODI), échelles visuelles analogiques (EVA) lombaire et radiculaire.

3.3.4.3. Analyse radiographique

L'analyse radiographique incluait : le niveau de glissement, le pourcentage de glissement, le grade de Meyerding et les paramètres spino-pelviens utiles pour typer le patient dans la nouvelle classification : lordose segmentaire (LS), L1-S1 lordose lombaire (LL), T1-T12 cyphose thoracique (CT), incidence pelvienne (IP), version pelvienne (VP), et le « sagittal vertical axis » (SVA).

3.3.4.4. Analyse statistique

Les différences entre les paramètres cliniques ou spino-pelviens dans les différents types de la classification ont été évaluées grâce au test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Les corrélations entre les paramètres démographiques, les scores de qualité de vie, et les paramètres radiographiques ont été évaluées grâce au test de corrélation de Spearman, alors que les différences dans chaque type ont été évaluées par le test de Mann-Whitney. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Matlab 2015b (Mathworks, Natick, MA, USA); Tous les tests seront effectués au risque d'erreur de première espèce $\alpha = 5\%$.

3.3.5. Résultats

3.3.5.1. Données démographiques

Cent-soixante-six patients opérés pour un SLD ont été inclus. Il y avait 119 femmes, et 47 hommes (sexe ratio : 2.5). L'âge moyen était de 67.1 ans \pm 10.5 ans au moment de la chirurgie. Tous les malades présentaient en même temps une sténose canalaire. Les niveaux atteints étaient : L4-L5 (n=121), L3-L4 (n=34), L2-L3 (n=6), et L5-S1 (n=5). La répartition en fonction des types de la classification est la suivante : type 1A (n=73), type 1B (n=3), type 2A (n=8), type 2B (n=22), type 3 (n=60). L'IMC moyen était de 26.14 \pm 5.05 kg/m².

Le tableau 6 résume les données démographiques par type.

Type	Description	Paramères	Sous-type	Sous-type description	Âge	Nombre de patients (H / F)
Type 1	Rachis harmonieux et équilibré adapté à l'IP	et PI-LL < 10° (LL (figure 1))	1A	Lordose segmentaire préservée (LS)	64 \pm 11	73 (22/51)
			1B	LS altérée avec une préservée LL	62 \pm 10	3 (2/1)
Type 2	Rachis dysharmonieux équilibré compensé	PI-LL > 10° mais (figure 2)	2A	Sans compensation pelvienne (VP < 25°)	65 \pm 12	8 (4/4)
			2B	Avec compensation pelvienne (VP > 25°)	66 \pm 10	22 (11/21)
Type 3	Rachis déséquilibré (SVA > 40mm) (figure 3)	SVA > 40mm	> 3		72 \pm 9	60 (18/42)
Moyenne					66 \pm 10	166 (47/119)

Tableau 6. Description de la classification et des données démographiques de la série

3.3.5.2. Echelles de qualité de vie pré-opératoires

L'EVA lombaire (EVAI) et l'EVA radiculaire (EVAr) étaient respectivement de 6 \pm 2 et de 7 \pm 2 ; Il n'existait aucune corrélation entre la douleur et les paramètres radiographiques.

L'ODI moyen était de 48 ± 15 . La composante physique pes du SF-12 (SF-12 PCS) était en moyenne à 31 ± 8 .

Les échelles de qualité de vie ont été classées par type et sont reportées dans le tableau 7.

	EVA r	EVA l	ODI	SF-12 PCS
Type 1A	6 ± 2	7 ± 2	0.42 ± 0.12	39 ± 11
Type 1B	5 ± 1	6 ± 1	0.39 ± 0.14	42 ± 1
Type 2A	7 ± 1	8 ± 1	0.49 ± 0.17	35 ± 12
Type 2B	6 ± 2	7 ± 2	0.45 ± 0.16	37 ± 10
Type 3	6 ± 2	6 ± 2	0.52 ± 0.15	39 ± 10
Mean \pm SD	6 ± 2	7 ± 2	0.46 ± 0.15	31 ± 8

Tableau 7. Caractéristiques cliniques par type

Echelles de qualité de vie : Short Form-12 questionnaire Physical Composite Scale (SF-12 PCS), Oswestry Disability Index (ODI), EVA lomabire et radulaire (EVA l, EVA r).

3.3.5.3. Données radiographiques

La répartition selon la classification de Meyerding était la suivante : grade 1 (n=124), grade 2 (n=24). Le pourcentage de glissement moyen était de $15\% \pm 7.6\%$. Les valeurs moyennes des paramètres spino-pelviens étaient les suivantes : IP ($59.3^\circ \pm 11.9^\circ$), VP ($24.3^\circ \pm 7.6^\circ$), PS ($35^\circ \pm 9^\circ$), IP-LL ($9^\circ \pm 12^\circ$), LS ($18.2^\circ \pm 8.1^\circ$), SVA ($29.1 \text{ mm} \pm 42.2 \text{ mm}$), LL ($51.3^\circ \pm 13.1^\circ$), CT ($41.0^\circ \pm 13.9^\circ$).

Les données radiographiques ont été rapportées dans le tableau 8.

IP-LL était corrélé à l'ODI ($\rho = 0.24$, $p=0.002$). SVA était corrélé à l'ODI ($\rho = 0.3$, $p =$

0.0002) et le SF12-PCS ($\rho = -0.18$, $p = 0.02$). L'analyse statistique ne retrouvait pas de corrélations significatives entre la VP, IP, LL, CT, LS et les questionnaires de qualité de vie.

	PI [°]	LL [°]	PI-LL [°]	PT [°]	SS [°]	SL [°]	SVA [mm]	TK [°]	Slippage [%]
Type 1A	57 ± 9	57 ± 9	1 ± 6	21 ± 5	36 ± 8	21 ± 7	11 ± 17	44 ± 11	13 ± 8
Type 1B	45 ± 9	40 ± 9	6 ± 1	17 ± 5	28 ± 4	3 ± 1	13 ± 4	36 ± 15	12 ± 7
Type 2A	57 ± 11	46 ± 17	11 ± 10	22 ± 1	35 ± 11	19 ± 11	18 ± 15	30 ± 21	12 ± 6
Type 2B	67 ± 12	49 ± 14	18 ± 6	33 ± 5	34 ± 10	16 ± 8	14 ± 17	33 ± 10	16 ± 6
Type 3	61 ± 14	47 ± 15	16 ± 13	26 ± 9	35 ± 11	16 ± 8	73 ± 34	42 ± 15	17 ± 8
Mean ± SD	59 ± 12	51 ± 13	9 ± 12	24 ± 8	35 ± 9	18 ± 8	34 ± 38	41 ± 14	15 ± 8

Tableau 8. Données radiographiques par type

Paramètres pelviens : incidence pelvienne (IP), lordose lombaire (LL), version pelvienne (VP), pente sacrée (PS), lordose segmentaire (LS), sagittal vertical axis (SVA), cyphose thoracique (CT).

3.3.5.4. Corrélation entre le type de SLD et les données cliniques et radiographiques

Les différents types de SLD étaient corrélés à l'âge, l'ODI et SF-12 PCS (respectivement $\rho = 0.34$, $p < 0.05$; $\rho = 0.33$, $p < 0.05$; $\rho = -0.20$, $p = 0.01$). Le Type 3 présentait un ODI significativement plus élevé que les types 1A et 1B ($p = 0.0002$), alors que le SF-12 PCS était significativement plus bas dans le type 3 que dans les types 1A et 1B ($p = 0.03$), objectivant une dégradation de la qualité de vie. L'EVA l et l'EVA r ne variaient pas de façon significative avec les types. Une LS basse n'influçait pas les échelles de qualité de vie. La figure 16 représente les corrélations significatives entre la classification, l'âge et les échelles de qualité de vie.

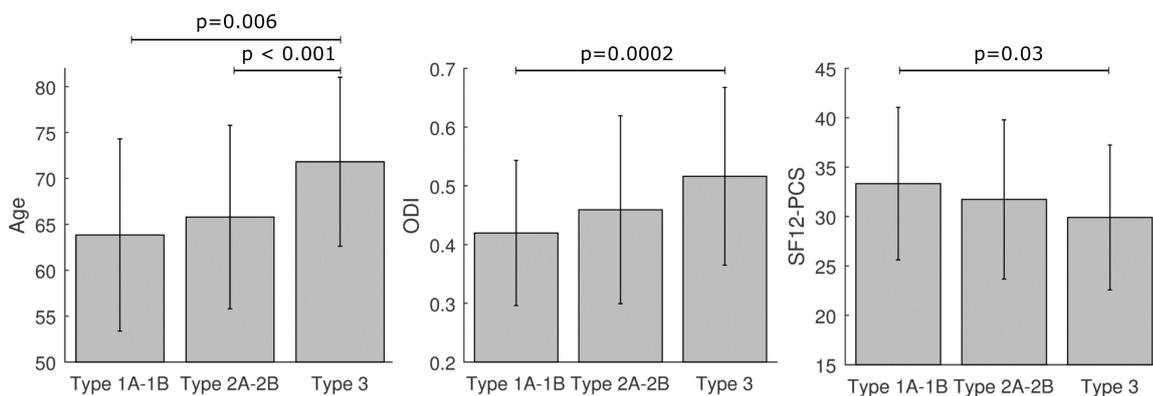


Figure 16. Corrélations significatives entre la classification, l'âge et les échelles de qualité de vie. ODI: Oswestry Disability Index. SF-12 PCS: Short Form-12 questionnaire Physical Composite Scale

Une tendance linéaire est observée entre les paramètres segmentaires (LS et pourcentage de glissement) et les différents types de la classification. La LS diminue du type 1 au type 3, alors que le pourcentage de glissement augmente. Par ailleurs, la LL diminue du type 1 au type 3 de façon significative ($p < 0.05$). L'IP moyenne dans le type 1 est similaire à la population générale ($56.3^\circ \pm 9.4^\circ$), alors qu'elle est significativement plus élevée dans le type 2 ($63.9^\circ \pm 12^\circ$, $p < 0.001$) et dans le type 3 ($69^\circ \pm 13.7^\circ$, $p < 0.001$). La VP moyenne était par définition la plus élevée dans le type 2 ($29.7^\circ \pm 6.3^\circ$, $p < 0.05$). De la même façon, le SVA augmente du type 1 au type 3. La cyphose thoracique (CT) est quant à elle significativement plus basse dans le type 2 ($32.3^\circ \pm 13.5^\circ$) que dans le type 1 ($43.9^\circ \pm 11.3^\circ$, $p = 0.00002$) et dans le type 3 ($41.8^\circ \pm 15.4^\circ$, $p = 0.004$).

La figure 17 décrit les corrélations entre la classification et les paramètres radiographiques.

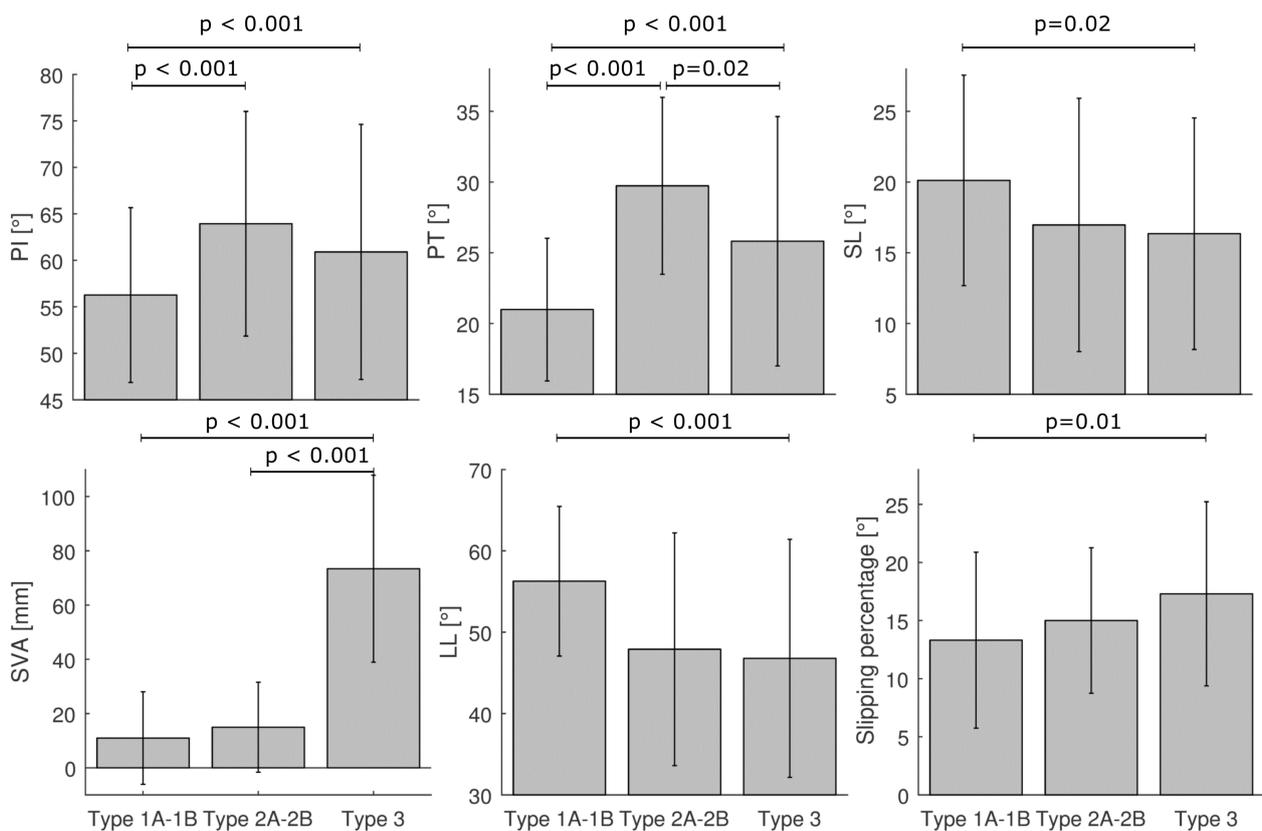


Figure 17. Relation entre les différents types et les paramètres spino-pelviens : Pelvic incidence (PI), pelvic tilt (PT), segmental lordosis (SL), sagittal vertical axis (SVA), L1-S1 lumbar lordosis (LL)

3.3.6. Discussion

Dans notre expérience, nous avons remarqué que les patients opérés pour un SLD sans évaluation ni prise en compte de l'équilibre sagittal avaient des résultats médiocres. KUMAR [35] a suggéré cela dans sa série et a montré que les résultats chirurgicaux et le taux de satisfaction des malades étaient faibles. Nous avons pu observer que des malades, considérés comme étant de faux type 1, et opérés par simple fusion instrumentée postérieure du niveau glissé, étaient repris pour prolonger le montage et corriger dans un deuxième temps un déséquilibre sagittal, qui en réalité pré-existait et passait inaperçu. Cette théorie reste basée sur notre expérience dans notre service, sans niveau de preuve suffisant. Des études sont

actuellement en cours pour tenter de valider ces hypothèses.

Notre série a une bonne validité externe. Les données démographiques et radiographiques sont comparables aux séries retrouvées dans la littérature. Typiquement, le glissement reste inférieur à 30% [14][16][17][71][72]. Il est de $14.6\% \pm 7.6\%$. L'âge moyen est de 67.1 ± 11 ans. Le sexe ratio est de 2.5. L'IP moyenne est de $59.3^\circ \pm 11.9^\circ$, ce qui est légèrement plus élevé que dans la population générale ($52.6^\circ \pm 10.4^\circ$, Mac Thiong et al. [39]) mais comparable aux séries de SLD [63]. Une forte IP prédispose en effet au développement du SLD [49][69].

Les résultats de cette étude montrent que la classification est corrélée à l'âge, l'ODI et au SF-12 PCS (rho= 0.34, p<0.05; rho= 0.33, p<0.05; rho= -0.20, p=0.01, respectivement). Le vieillissement est responsable d'une aggravation clinique et radiographique du SLD et est ainsi plus élevé dans le type 3. En effet, les mécanismes compensateurs seront progressivement dépassés du fait de la dégénérescence musculaire et de l'arthrose évoluée. Les questionnaires de qualité de vie montrent une dégradation des capacités fonctionnelles qui s'aggravent du type 1 au type 3. La classification est entièrement basée sur des mesures radiographiques sans lien direct avec l'âge ou les auto-questionnaires, ce qui diminue le risque de biais. L'ODI et le SF-12 PCS sont corrélés à plusieurs paramètres sagittaux (IP-LL est corrélé à l'ODI, p<0.05 alors que le SVA est corrélé à l'ODI et au SF-12 PCS, p<0.05). Par ailleurs, la cyphose segmentaire n'est pas corrélée aux échelles de qualité de vie. Cela pourrait être expliqué par le faible nombre de patients cyphosés ($LS < 5^\circ$). La classification n'est pas corrélée à l'EVA l, EVA r, ou encore la composante mentale du SF-12. Ces derniers sont des paramètres hautement subjectifs et d'intérêt limité en l'absence de réévaluation post-opératoire notamment.

Nos résultats correspondent à la description connue de l'historique naturel du SLD. Le disque lombaire concerné se cyphose, s'affaisse et perd de sa hauteur, parallèlement à l'aggravation du glissement [73]. En effet, le type 3 présente une LS et LL moyenne inférieures

au type 1 ($p=0.02$) avec une tendance de décroissance linéaire. Le pourcentage de glissement croît quant à lui avec les types. Par ailleurs, la VP était plus élevée dans les types 2 et 3, comparés au type 1. La rétroversion pelvienne prédominait bien évidemment dans le type 2 par définition. Elle est plus basse dans le type 3 du fait de l'insuffisance probable des mécanismes compensateurs. Les patients du type 2 compensent leur déséquilibre et maintiennent un $SVA < 40$ mm.

L'âge augmente de façon significative avec le type. Cette constatation nous amène à faire l'hypothèse suivante : existe-t-il une continuité entre les différents types de la classification ? Un type 1 évoluera-t-il vers un type 2 puis un type 3 en l'absence d'une prise en charge adaptée et précoce ? Cette hypothèse pourrait être vérifiée si on avait un même patient témoin suivi au cours du temps. Le type 1A correspond à un rachis harmonieux, équilibré d'un point de vue local et global. Le type 1B correspond à un glissement avec un pincement et une perte de LS, témoin d'un processus dégénératif plus évolué. Les types 2A et 2B correspondent à un rachis dysharmonieux, ($IP-LL >10^\circ$) déséquilibré, mais compensé. Ceci est dû à une dégénérescence multi-étagée, responsable d'une perte de LL. Le sous-type 2A présente une IP moyenne à 57° significativement plus basse que le type 2B ($IP = 67^\circ$). Dans ce groupe de malades déséquilibrés compensés, le sous-type 2A présente un rachis lombaire plat (flat back), avec une compensation principalement thoracique en hypocyphose (aplatissement de la CT), alors que le sous-type 2B présente une compensation thoracique dépassée nécessitant une compensation pelvienne ($VP > 25^\circ$). En effet, les patients du type 2 ont une CT moyenne ($32.3^\circ \pm 13.5^\circ$) significativement inférieure au type 1 ($43.9^\circ \pm 11.3^\circ$) et au type 3 ($41.8^\circ \pm 15.4^\circ$). Ces mécanismes compensateurs diminuent comme cités précédemment avec le vieillissement (fatigabilité musculaire des extenseurs du rachis, limite de la rétroversion pelvienne par la coxarthrose associée notamment) pour arriver au type 3 déséquilibré nécessitant le recours à un appui antérieur (cane par

exemple).

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux mécanismes physiopathologiques du SLD [60][61][69]. Il en ressort que les dos dynamiques (Roussouly 3 ou 4) avec une forte IP sont plus à risque de développer un SLD [42] [59]. Une IP haute est à l'origine du glissement vertébral. L'IP moyenne des types 2 et 3 est plus élevée que le type 1 qui se rapproche de la population normale (Figure 12). Dans ce sens, nous pensons que la dégénérescence discale est progressive au cours de l'histoire naturelle du SLD. Tout d'abord par une dégénérescence limitée à un seul niveau (type 1) avec une cyphose segmentaire (type 1B) ou non (type 1A). Puis à un stade plus évolué, celle-ci affecte plusieurs niveaux et entraîne une perte de la LL (type 2). Le type 1B a l'IP moyenne la plus faible ($PI=45^\circ \pm 9^\circ$) dans notre série. Ceci pourrait expliquer sa faible prévalence (3 patients). En effet, les dos statiques (Roussouly 1 and 2) avec une faible IP et PS souffrent beaucoup plus rarement de SLD. Le type 2 a une réserve de compensation pelvienne très élevée. Cela explique la prévalence supérieure du type 2B (13.25%) comparée au type 2A (4.8%). Le type 3 représente le stade le plus évolué, et survient de façon logique chez les patients les plus âgés (72 ± 9 ans, $p=0.006$).

3.3.7. Conclusion

Cette classification analyse le SLD en prenant en considération l'équilibre sagittal segmentaire, régional et global. Elle est corrélée à l'âge et aux échelles de qualité de vie (ODI, SF12-PCS). Par ailleurs, elle intègre une analyse physiopathologique qui peut s'avérer utile au chirurgien pour sa planification opératoire. Des études ultérieures sont nécessaires afin de valider ces hypothèses thérapeutiques.

4. PARTIE 2 : SPONGIT 2.0 - Etude prospective en soins courants

Comparaison de deux stratégies chirurgicales dans le traitement du Spondylolisthésis Lombar Dégénératif (SLD) L4-L5, de type 1 :
Système de stabilisation Dynamique B-Dyn® versus Arthrodèse (fusion).

PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE SOINS COURANTS

4.1. Justification de l'étude / Contexte

Après avoir proposé cette classification diagnostique du SLD prenant en considération l'équilibre sagittal, nous avons pu valider dans les chapitres précédents, d'une part sa reproductibilité intra- et inter- observateur, et d'autre part, souligner l'impact clinique qui en découlait. Une conduite à tenir thérapeutique avec une planification pré-opératoire a été évoquée précédemment en fonction du type de SLD et pourrait aider le chirurgien dans sa prise en charge globale.

Une grande partie des SLD prise en charge de façon isolée -en tant que pathologie principale- surviennent chez des patients équilibrés. Ces derniers correspondent au Type 1 et plus précisément au type 1A de notre classification. Il n'existe à ce jour aucun consensus ni recommandation quant à la prise en charge thérapeutique du SLD. Le traitement est souvent chirurgical après l'échec du traitement conservateur bien conduit.

L'intervention actuellement utilisée consiste à réaliser une stabilisation du segment vertébral pour éviter la progression du glissement, associée à un recalibrage en cas de symptomatologie radiculaire. Cette stabilisation peut être « rigide » par fusion (arthrodèse) ou «dynamique», ces deux techniques présentant une efficacité et une sécurité comparables [74]. La stabilisation rigide a cependant été associée à une augmentation du risque de dégénérescence des disques adjacents, liée à une mobilité et une pression intra discale accrues de ces niveaux induites

par la perte de mobilité des segments fusionnés [75][76][77]. Ces syndromes adjacents (ASD) concernent dans la majorité des cas les niveaux sus-jacents. Les systèmes de stabilisation dynamique ont été développés pour limiter ces risques. Une étude portant sur des patients traités par stabilisation dynamique pour SLD mono-segmentaire a montré un faible taux d'ASD pour ces patients à 7 ans de suivi [78], suggérant que cette technique pourrait être une bonne alternative à la fusion. Néanmoins, aucune étude n'a pu démontrer à ce jour de bénéfice de la stabilisation dynamique sur une potentielle protection contre la survenue d'ASD [74].

Le dispositif B-Dyn® est un système de stabilisation postérieure dynamique autorisé depuis 2008 pour le traitement de dégénérescences discales et/ou de facettes articulaires, de sténose lombaire, de spondylolisthésis de grade I et d'hyper mobilité segmentaire. Il est utilisé en pratique courante par une cinquantaine de chirurgiens dont une quinzaine en France. Le dispositif est composé de tiges rigides en alliage métallique et d'éléments élastomères aux propriétés d'amortissement. La combinaison de pièces rigides et souples permet de préserver la mobilité et d'absorber les charges en flexion, traction et compression. Une étude rétrospective, comparant deux populations de patients traités par le dispositif B-Dyn® ou par arthrodèse, montre une mobilité sus-jacente inférieure dans le groupe B-Dyn®. Cela suggérerait un potentiel bénéfice sur la protection des segments adjacents. Ces résultats devront néanmoins être vérifiés par une étude prospective comparative. L'objectif principal de cette étude est de démontrer la supériorité d'une stabilisation dynamique par le dispositif B-Dyn® par rapport à l'arthrodèse en terme de protection contre l'hyper mobilité sus-jacente à 2 ans dans le traitement du SLD. Un suivi des patients au plus long terme permettra de comparer les taux de survenue d'ASD afin d'évaluer un bénéfice potentiel d'un traitement par stabilisation dynamique B-Dyn® sur la prévention de ce risque.

4.2. Matériel et Méthodes

4.2.1. Schéma de la recherche

Il s'agit d'une étude monocentrique, comparative, de soins courant avec un tirage aléatoire, visant à démontrer la supériorité en termes de protection contre l'hyper mobilité sus-jacente, de la stabilisation dynamique B-Dyn[®] dans le traitement du SLD L4-L5, de type 1 par rapport à la fusion. Afin d'homogénéiser notre population, seuls les SLD L4L5 (les plus fréquents) seront inclus.

Les patients adressés au service d'orthopédie du CHU de Bordeaux seront recrutés à l'occasion de leur visite de consultation de diagnostic sur une période de 18 mois.

Après diagnostic, les patients seront inclus par tirage aléatoire dans deux bras :

- ✓ Bras 1 : Traitement par stabilisation dynamique B-Dyn[®]
- ✓ Bras 2 : Traitement par arthrodèse (fusion)

En l'absence de consensus, ou de données démontrant une différence quant à l'efficacité et la sécurité des deux stratégies pour le traitement du SLD, l'arthrodèse et la stabilisation dynamique B-Dyn[®] sont couramment utilisées dans le service d'orthopédie. En conséquence, cette procédure de tirage aléatoire ne remet pas en cause la prise en charge habituelle des patients par le service.

Les patients seront traités et suivis sur une période de quatre ans selon la procédure habituelle de prise en charge de leur pathologie dans le service d'orthopédie du CHU de Bordeaux (sans examen, prélèvement, ni visite complémentaire).

4.2.2. Critères d'éligibilité

4.2.2.1. Critères d'inclusion

- ✓ Age supérieur à 40 ans.
- ✓ Diagnostic de spondylolisthésis dégénératif lombaire.
- ✓ Niveau lombaire unique L4-L5.
- ✓ Patient équilibré : Type 1 de la nouvelle classification.
- ✓ Grade 1 Meyerding.
- ✓ Signature du consentement éclairé.

4.2.2.2. Critères de non inclusion

- ✓ Autres étiologies de spondylolisthésis lombaire : lyse isthmique, congénital, traumatique, iatrogène.
- ✓ Antécédents de chirurgie rachidienne lombaire.
- ✓ Trouble de l'équilibre frontal.
- ✓ Contre-indications aux systèmes dynamiques :
 - Discopathie évoluée (grade Pfirrmann 5),
 - Spondylolisthésis de grade de Meyerding >1,
 - Déséquilibre sagittal compensé ou non (Type 2 et 3)
- ✓ Infection, tumeur, traumatisme.
- ✓ Toute pathologie évolutive considérée par le médecin investigateur comme pouvant retentir de façon significative sur l'interprétation de l'essai.
- ✓ Patients refusant de donner leur consentement signé.

4.2.3. Critères d'évaluation

4.2.3.1. Critère d'évaluation principal

Le critère principal est la mobilité à 2 ans du segment sus-jacent mesurée à partir des clichés dynamiques en flexion-extension à l'aide d'un même logiciel validé (Surgimap®) [64].

4.2.3.2. Critères d'évaluation secondaires

- ✓ Evolution des paramètres radiologiques au cours du suivi (hauteur discale, mobilité des unités fonctionnelles segmentaires et adjacentes, glissements).
- ✓ Taux d'ASD en termes de hauteur discale, hyper mobilité adjacente et glissement.
- ✓ Taux de complication et leur description (nature, causes et conséquences).
- ✓ Taux de reprises chirurgicales.
- ✓ Evolution des scores fonctionnels et de qualité de vie :
 - Indice d'incapacité liée à la douleur (Oswestry disability index - ODI),
 - Scores des douleurs lombaires et radiculaires évaluées par l'échelle visuelle analogique (EVA),
 - Scores (physique et mental) de qualité de vie évalués par le questionnaire Medical Outcome Study Short Form à 12 items (SF-12),
 - Score JOA (Japanese Orthopaedic Association) de statut neurologique et fonctionnel.
- ✓ Taux d'efficacité à 2 et 4 ans en terme de diminution de la douleur (EVA) et/ou de l'indice Oswestry d'incapacité liée à la douleur (ODI) en fonction des profils lombalgique et/ou radiculalgique des patients :

- Diminution d'au moins 15 points de l'indice ODI et d'au moins 2,0 cm du score d'EVA radiculaire (ou des membres inférieurs) chez les patients radiculalgiques et lombalgiques.
 - Diminution d'au moins 2,0 cm du score EVA radiculaire chez les patients radiculalgiques et non lombalgiques.
- ✓ Impacts médico-sociaux :
- Recours à des traitements antalgiques (paliers 1-2 selon la classification de l'OMS),
 - Reprise ou modification d'activité professionnelle post-opératoire.
- Satisfaction du patient selon le Patient Satisfaction Index (PSI) déterminé par le questionnaire simple de l'annexe VII conçu et recommandé par la North American Spine Society (NASS).

4.2.4. Taille de la population étudiée

Le critère principal est la mobilité à 2 ans du segment sus-jacent. En considérant les résultats des premières valeurs du critère de jugement principal observées avec les deux stratégies à l'étude (Thèse du Dr T. CLOCHE), soit des valeurs moyennes de mobilité sus-jacente de $9,5^\circ \pm 3,2^\circ$ avec le dispositif B-Dyn® et de $13,0^\circ \pm 2,4^\circ$, la taille de l'échantillon nécessaire pour démontrer une supériorité de la stabilisation dynamique avec une signification statistique de 0.05 et une puissance de 0.90 est de 30 patients (15 par groupe). En tenant compte du risque de perdus de vue (environ 10%) la population sera étendue à un total de 34 patients (soit : 17 par groupe).

4.2.5. Tirage aléatoire

Le tirage aléatoire a été effectué en bloc sur tableur Excel : les patients ont été affectés au bras 1 ou 2 en associant une valeur aléatoire à chaque patient, puis en ordonnant les patients selon cette valeur, et enfin en associant la première quinzaine de patients au bras 1 et la deuxième au bras 2. Un numéro d'identifiant indiquant l'ordre et le bras d'inclusion du patient lui a été attribué à l'issue de la procédure.

4.2.6. Nature des soins courants évalués dans la recherche

Les soins courants évalués dans cette étude sont les 2 techniques de stabilisation postérieure (voie conventionnelle) instrumentée suivantes :

- Stabilisation dynamique par le dispositif B-Dyn®,
- Stabilisation par arthrodèse instrumentée (quelle soit postéro-latérale ou circonférentielle) associée à une greffe autologue (stratégie de comparaison).

Quelle que soit la stratégie, la stabilisation est réalisée par chirurgie conventionnelle (voie postérieure) qui permet d'intervenir sur le canal rachidien pour effectuer une décompression neurologique [79]. La chirurgie est réalisée sous anesthésie générale et comprend les étapes suivantes :

- ✓ Anesthésie générale
- ✓ Installation du patient en Décubitus ventral
- ✓ Champage stérile selon protocole en vigueur
- ✓ Check List selon recommandations HAS 2011
- ✓ Antibioprophylaxie

- ✓ Abord postérieur médian centré sur l'étage L4-L5
- ✓ Mise en place du matériel d'ostéosynthèse (dynamique ou rigide – voir §).
- ✓ Recalibrage L4-L5 : résection du ligament jaune, ouverture des récessus latéraux, et des foramens, puis vérification de la bonne libération radiculaire.
- ✓ Hémostase soigneuse - Lavage abondant.
- ✓ Fermeture plan par plan sur un redon.

4.2.6.1. Stabilisation dynamique B-Dyn®

Le matériel est composé de vis pédiculaires et du dispositif dynamique, lui-même composé de tiges rigides en alliage métallique et d'éléments élastomères aux propriétés d'amortissement. La mise en place du matériel doit être conforme aux instructions figurant sur la notice fournie par le fabricant.

Mise en place du matériel d'ostéosynthèse dynamique :

- Mise en place des vis polyaxiales pédiculaires dans la structure osseuse des segments L4 et L5
- Solidarisation des vis par mise en place du dispositif B-Dyn®
- Réglage de la distance inter-pédiculaire avant le serrage définitif des bouchons.

4.2.6.2. Stabilisation par fusion (Acte de comparaison)

Le matériel est composé de vis pédiculaires solidarisées par tiges rigides en alliage métallique pour fusion lombaire transforaminale (ou Transforaminal Interbody Fusion – TLIF).

Mise en place du matériel d'ostéosynthèse :

- Mise en place des vis polyaxiales pédiculaires dans la structure osseuse des segments L4 et L5
- Solidarisation des vis par mise en place des tiges métalliques pour arthrodèse
- Greffe autologue postéro-latérale.

4.2.6.3. Consignes post-opératoires

Les consignes post-opératoires sont identiques quelle que soit la procédure :

- Lever : J1 post-opératoire avec ceinture souple (qui devra être portée durant 2 mois).
- Ablation du redon : J2.
- Contrôle radiographique post-opératoire : J3.
- Sortie d'hôpital : J4.

4.2.7. Déroulement de la recherche

4.2.7.1. Calendrier prévisionnel de la recherche

- Début des inclusions : troisième trimestre 2016
- Durée de la période d'inclusion : 18 mois
- Durée de participation de chaque patient : 4 ans
- Durée totale de la recherche : 5 ans

4.2.7.2. Tableau récapitulatif du suivi du patient

	Pré-inclusion M 0- 4 sem à 6 mois	Inclusion M 0	Visite M 3	Visite M 12	Visite M 24	Visite M 48
Information du patient	✓					
Consentement éclairé	✓					
Informations sur le patient : sexe, âge, antécédents, statut professionnel, tabagisme	✓					
Diagnostic	✓					
Score ASA	✓					
Examen clinique	✓		✓	✓	✓	✓
Bilan radiologique	✓		✓	✓	✓	✓
IRM	✓					
EVA, ODI, JOA, SF-12	✓	✓*	✓	✓	✓	✓
Traitements antalgiques	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Complications		✓	✓	✓	✓	✓
Données de Chirurgie		✓				
Reprises chirurgicales			✓	✓	✓	✓
Reprise d'activité professionnelle post-opératoire			✓	✓	✓	✓
Satisfaction du patient (PSI)			✓	✓	✓	✓

Tableau 9. Planification du suivi des patients.

* les scores EVA, ODI, JOA et SF-12 préopératoires sont ré-évalués la veille de l'intervention.

4.2.7.3. Règles d'arrêt de la recherche

Motifs de sortie prématurée de la recherche

Les patients pourront sortir de la recherche sur leur demande quelle qu'en soit la raison.

Les autres critères de sortie sont les suivants :

- Evènement indésirable nécessitant le retrait du dispositif
- Apparition en cours d'étude d'un critère de non-inclusion.

Procédure :

Toute sortie prématurée de l'étude et les motifs de cette sortie seront notifiés au Responsable de la recherche et reportés dans la base de données.

Conséquences :

Les patients sortis prématurément ne pourront pas être à nouveau inclus dans l'étude. Ces patients continueront à bénéficier de la prise en charge habituelle de leur pathologie par leur chirurgien tenant compte de leur état de santé et/ou de leur opposition à l'utilisation de leurs données. Les données des patients ayant manifesté une opposition à l'utilisation des données les concernant ne seront pas analysées. Les sorties prématurées seront comptabilisées et les sujets seront remplacés. Les numéros des sujets ne seront pas réutilisés.

Les sorties d'étude après l'intervention chirurgicale et les perdus de vue seront comptabilisés et considérés comme des échecs. Les patients ne seront pas remplacés.

4.2.8. Analyse statistique des données

L'analyse statistique comporte :

- Une analyse descriptive de la population des patients à l'inclusion :

âge, sexe, tabagisme, statut professionnel, évaluations préopératoires cliniques, radiologiques et fonctionnelles (EVA, ODI, SF-12, JOA) pour vérifier la comparabilité des deux groupes.

- Une analyse de l'évolution des paramètres radiologiques au cours du suivi (post-opératoires versus préopératoires) et une analyse comparative de l'évolution de ces scores entre les deux stratégies à l'étude.

- Une comparaison entre les deux stratégies, des taux de survenue de syndromes adjacents en termes d'hyper mobilité adjacente, hauteur discale, cyphose segmentaire et glissement.
- Une analyse descriptive et quantitative des complications, dont les reprises chirurgicales.
- Une analyse de l'évolution des scores EVA, ODI, SF-12, JOA au cours du suivi (post-opératoires vs préopératoires) et une analyse comparative de l'évolution de ces scores entre les deux stratégies à l'étude.
- La comparaison des taux d'efficacité à 2 et 4 ans, en termes d'amélioration des scores EVA et ODI par sous-groupes de population :
 - o Amélioration d'au moins 15 points du score ODI et d'au moins 2,0 cm du score EVA radiculaire chez les patients radiculalgiques et lombalgiques.
 - o Amélioration d'au moins 20 mm du score EVA radiculaire chez les patients radiculalgiques et non lombalgiques.
- Une analyse descriptive de l'évolution du recours à un traitement antalgique et de l'activité professionnelle postopératoire (reprise, aménagement de poste, invalidité)
- Une comparaison des taux de satisfaction des patients.

L'analyse du critère principal sera réalisée par comparaison des moyennes de mobilité des niveaux sus-jacents dans les 2 groupes de sujets, avec un seuil de significativité de 5 %.

4.3. Résultats et retombées attendues

A ce jour, 15 patients ont été inclus. Le tableau suivant résume les données démographiques pré-opératoires des deux groupes étudiés.

	Groupe Fusion	Groupe B-dyn	Total
Âge (ans)	58	66,625	62,6
H	2	2	4
F	5	6	11
Sex ratio	2,5	3,00	2,75
IMC (moy)	25,15285714	27,3625	26,33133333
(écart-Type)	9,110433579	4,354248336	4,459775566
Score ASA			
1	3	1	4
2	4	6	10
3	0	1	1
SF:			
-Lombo-radiculalgie	6	6	12
-Claudication	2	3	5
EVA Lombaire	4,5	6,6875	5,666666667
EVA Radiculaire	6,071428571	6,1375	6,106666667
ODI	39%	52%	46%
SF-12 pcs	34,06571429	28,59	30,504
mcs	37,72142857	35,34714286	37,29533333
JOA	14,28571429	12,83333333	13,4
Durée opératoire (min)	58,14285714	47,5	52,46666667
Saignement (cc)	221,4285714	187,5	203,3333333

Tableau 10. Données démographiques et cliniques pré-opératoires.

La démonstration de la supériorité de la stabilisation dynamique, en terme de prévention du risque d'ASD, devrait nous permettre d'envisager, ce traitement comme une alternative à la fusion pour les SLD de type 1.

Afin de vérifier l'intérêt de la planification pré-opératoire issue de la classification, nous envisageons de réaliser dans un futur proche une étude rétrospective évaluant les résultats

thérapeutiques de deux groupes ayant répondu ou non aux propositions thérapeutiques issues de la classification. On pourra ainsi comparer les résultats de ce qui a été fait, et de ce qui aurait dû être fait, en respectant le traitement proposé par la classification.

5. CONCLUSION

Cette nouvelle classification du SLD a montré une excellente reproductibilité inter et intra-observateur. Il s'agit d'un moyen simple et fiable pour évaluer le SLD dans un cadre plus global. Aucun entraînement ou expérience particulière ne se sont avérés nécessaires. Elle pourra aider le chirurgien du rachis à analyser le SLD avec une évaluation précise de l'équilibre sagittal segmentaire, régional, et global. Cette approche globale du rachis est un moyen fiable d'éviter des erreurs causées par un manque d'analyse préopératoire.

L'étude sur l'impact clinique a démontré une corrélation certaine entre les différents types et la qualité de vie des patients. Plus le type augmente (de 1 à 3), plus la qualité de vie se détériore.

L'imagerie de la colonne en position debout et dans son ensemble nous semble obligatoire pour vérifier l'équilibre du rachis de face et de profil. Une bonne analyse systématique de ces paramètres permettra d'éviter des interventions chirurgicales mal indiquées qui mènent souvent à de mauvais résultats fonctionnels. Ce nouveau typage pourrait être systématique et faire partie de la planification opératoire.

Des études en cours ont pour objectif d'évaluer les résultats d'une prise en charge chirurgicale qui respecte cette planification pré-opératoire.

6. REFERENCES

1. Abitbol MM (1987) Evolution of the sacrum in hominoids. *Am J Phys Anthropol* 74:65–81.
2. Delmas A (1972) L'homme devant l'hominisation. *Quad Anat Prat* 28:22–56.
3. Nachemson AL (1976) The Lumbar Spine An Orthopaedic Challenge. *spine* 1:59–71.
4. Vital JM, Senegas J, Pointillart V, et al (1992) Cyphoses dégénératives lombaires. *Rachis Vieil Paris Masson* 146–54.
5. Takemitsu Y, Harada Y, Iwahara T, et al (1988) Lumbar Degenerative Kyphosis: Clinical, Radiological and Epidemiological Studies. *Spine* 13:1317–1326.
6. Milne JS, Lauder IJ (1974) Age effects in kyphosis and lordosis in adults. *Ann Hum Biol* 1:327–337.
7. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, et al (1995) An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine* 20:1351–1358.
8. Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson PH (1992) A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 20:451–462.
9. Dubouset J (2012) L'homme debout: le rachis et son plan horizontal, scolioses. La scoliose est une «maladie» du plan horizontal: le secret pour comprendre les 3 dimensions. *E-Mém Académie Natl Chir* 11:066–070.
10. Braune CW, Fischer O (1889) The center of gravity of the human body as related to the equipment of the German Infantry. *S. Hirtel*
11. Junghanns H (1930) Spondylolisthesis ohne spalt im Zwischengelenkstück. *ArchOrthop Unfall Chir* 29 : 11 8-127.
12. MacNab I (1950) Spondylolisthesis with an intact neural arch—the so-called pseudo-spondylolisthesis. *Bone Jt J* 32:325–333.
13. Newman PH, Stone KH (1963) The etiology of spondylolisthesis. *Bone Jt J* 45:39–59.
14. Rosenberg NJ (1975) Degenerative spondylolisthesis. Predisposing factors. *J Bone Jt Surg Am* 57:467–474.
15. Pedram M, Dupuy R, Vital JM (2003) Spondylolisthésis lombaire dégénératif. *Encycl Med Chir Appar. Locomoteur* 15-835-B-10 Elsevier-Masson Issy--Mouлинаux
16. Matsunaga S, SAKOU T, MORIZONO Y, et al (1990) Natural History of Degenerative Spondylolisthesis: Pathogenesis and Natural Course of the Slippage. *Spine* 15:1204–1210.
17. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Rosing H, et al (2007) Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. *Spine* 32:120–125.
18. Sanderson PL, Fraser RD (1996) The influence of pregnancy on the development of degenerative spondylolisthesis. *Bone Jt J* 78:951–954.
19. Schuller S, Charles YP, Steib J-P (2011) Sagittal spinopelvic alignment and body mass index in patients with degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 20:713–719.
20. Iguchi T, Wakami T, Kurihara A, et al (2002) Lumbar multilevel degenerative spondylolisthesis: radiological evaluation and factors related to anterolisthesis and retrolisthesis. *Clin Spine Surg* 15:93–99.
21. SATO K, WAKAMATSU E, YOSHIZUM A, et al (1989) The Configuration of the Laminas and

- Facet Joints in Degenerative Spondylolisthesis: A Clinicoradiologic Study. *Spine* 14:1265–1271.
22. Butler D, Trafimow JH, Andersson GBJ, et al (1990) Discs degenerate before facets. *Spine* 15:111–113.
 23. Boisaubert B, Montigny JP, Duval Beaupère G, et al (1997) Incidence, sacrum et spondylolisthésis. *Rachis* 9:187–192.
 24. Barrey C, Jund J, Nosedà O, Roussouly P (2007) Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J* 16:1459–1467.
 25. Morel E, Ilharreborde B, Lenoir T, et al (2005) Analyse de l'équilibre sagittal du rachis dans les spondylolisthésis dégénératifs. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot* 91:615–626.
 26. Meyerding HW (1932) Spondylolisthesis. In: *Surg Gynecol Obstet*. pp 371–377
 27. Wiltse LL, Newman PH, Macnab IAN (1976) Classification of Spondylois and Spondylolisthesis. *Clin Orthop* 117:23–29.
 28. Marchetti P., Bartolozzi P (1997) Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: *Textb. Spinal Surg.*, Lippincott Raven. Philadelphia, pp 1211–1256
 29. Kepler CK, Hilibrand AS, Sayadipour A, et al (2015) Clinical and radiographic degenerative spondylolisthesis (CARDS) classification. *Spine J* 15:1804–1811.
 30. Brown MD, Lockwood JM (1982) Degenerative spondylolisthesis. *Instr Course Lect* 32:162–169.
 31. Kostuik JP, Harrington I, Alexander D, et al (1986) Cauda equina syndrome and lumbar disc herniation. *J Bone Jt Surg Am* 68:386–391.
 32. JOHNSON K-E, ROSÉAN I, UDÉAN A (1992) The natural course of lumbar spinal stenosis. *Clin Orthop* 279:82–86.
 33. Magora A (1976) Conservative treatment in spondylolisthesis. *Clin Orthop* 117:74–79.
 34. Herkowitz HN (1995) Degenerative Lumbar Spondylolisthesis. *Spine* 20:1084–1090.
 35. Kumar M, Baklanov A, Chopin D (2001) Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *Eur Spine J* 10:314–319.
 36. Le Huec JC, Roussouly P (2009) Importance de l'analyse de l'équilibre sagittal en pathologie rachidienne—Rôle de la balance spino-pelvienne dans les maladies dégénératives du rachis. *Maîtrise Orthopédique*
 37. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C (1998) Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 7:99–103.
 38. Marty C, Boisaubert B, Descamps H, et al (2002) The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients. *Eur Spine J* 11:119–125.
 39. Mac-Thiong J-M, Roussouly P, Berthonnaud É, Guigui P (2010) Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults. *Spine* 35:E1193–E1198.
 40. Lafage V, Schwab F, Skalli W, et al (2008) Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine* 33:1572–1578.
 41. Blondel B, Schwab F, Ungar B, et al (2012) Impact of magnitude and percentage of global sagittal plane correction on health-related quality of life at 2-years follow-up. *Neurosurgery* 71:341–348.

42. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J (2005) Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine* 30:346–353.
43. Labelle H, Mac-Thiong J-M, Roussouly P (2011) Spino-pelvic sagittal balance of spondylolisthesis: a review and classification. *Eur Spine J* 20:641–646.
44. Schwab FJ, Blondel B, Bess S, et al (2013) Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis. *Spine* 38:E803–E812.
45. Schwab F, Patel A, Ungar B, et al (2010) Adult spinal deformity—postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine* 35:2224–2231.
46. Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, et al (2006) Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 15:415–422.
47. Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy J-P (2009) Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient. *Spine* 34:1828–1833.
48. Lafage V, Schwab F, Patel A, et al (2009) Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity. *Spine* 34:E599–E606.
49. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec J-C (2011) Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J* 20:626–633.
50. Duarte FR, Sousa AMSN de, Raposo FJA, et al (2013) Impact of spino-pelvic balance on clinical and functional results after instrumented fusion in patients with degenerative spondylolisthesis. *Coluna/Columna* 12:196–199. doi: 10.1590/S1808-18512013000300004
51. Diebo BG, Ferrero E, Lafage R, et al (2015) Recruitment of compensatory mechanisms in sagittal spinal malalignment is age and regional deformity dependent: a full-standing axis analysis of key radiographical parameters. *Spine* 40:642–649.
52. Smorgick Y, Park DK, Baker KC, et al (2013) Single Versus Multilevel Fusion, For Single Level Degenerative Spondylolisthesis And Multilevel Lumbar Stenosis. Four-Year Results of the Spine Patient Outcomes Research Trial. *Spine* 38:797.
53. Fujiwara A, Tamai K, Yamato M, et al (1999) The relationship between facet joint osteoarthritis and disc degeneration of the lumbar spine: an MRI study. *Eur Spine J* 8:396–401.
54. DeVine JG, Schenk-Kisser JM, Skelly AC (2012) Risk factors for degenerative spondylolisthesis: a systematic review. *Evid-Based Spine-Care J* 3:25–34.
55. Mariconda M, Galasso O, Imbimbo L, et al (2007) Relationship between alterations of the lumbar spine, visualized with magnetic resonance imaging, and occupational variables. *Eur Spine J* 16:255–266.
56. Berlemann U, Jeszenszky DJ, Bühler DW, Harms J (1999) The role of lumbar lordosis, vertebral end-plate inclination, disc height, and facet orientation in degenerative spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech* 12:68–73.
57. Berlemann U, Jeszenszky DJ, Buhler DW, Harms J (1999) Mechanisms of retrolisthesis in the lower lumbar spine. A radiographic study. *Acta Orthop Belg* 65:472–484.
58. Boden SD, Riew KD, Yamaguchi K, et al (1996) Orientation of the lumbar facet joints: association with degenerative disc disease. *J Bone Jt Surg Am* 78:403–11.
59. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL (2011) Biomechanical analysis of the spino-pelvic

organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J* 20:609–618.

60. Kim MK, Lee S-H, Kim E-S, et al (2011) The impact of sagittal balance on clinical results after posterior interbody fusion for patients with degenerative spondylolisthesis: a pilot study. *BMC Musculoskelet Disord* 12:1.
61. Funao H, Tsuji T, Hosogane N, et al (2012) Comparative study of spinopelvic sagittal alignment between patients with and without degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 21:2181–2187.
62. Schwab FJ, Smith VA, Biserni M, et al (2002) Adult scoliosis: a quantitative radiographic and clinical analysis. *Spine* 27:387–392.
63. Gille O, Challier V, Parent H, et al (2014) Le spondylolisthésis lombaire dégénératif. Cohorte de 670 patients et proposition d'une nouvelle classification. *Rev Chir Orthopédique Traumatol* 100:S157–S161.
64. Lafage R, Ferrero E, Henry JK, et al (2015) Validation of a new computer-assisted tool to measure spino-pelvic parameters. *Spine J* 15:2493–2502.
65. Ilharreborde B, Steffen JS, Nectoux E, et al (2011) Angle Measurement Reproducibility Using EOS Three-Dimensional Reconstructions in Adolescent Idiopathic Scoliosis Treated by Posterior Instrumentation: *Spine* 36:E1306–E1313. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182293548
66. Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics* 159–174.
67. Fleiss JL (1971) Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychol Bull* 76:378.
68. Le Huec JC, Demezou H, Aunoble S (2015) Sagittal parameters of global cervical balance using EOS imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers. *Eur Spine J* 24:63–71.
69. Liu H, Li S, Zheng Z, et al (2015) Pelvic retroversion is the key protective mechanism of L4–5 degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 24:1204–1211.
70. Buckland AJ, Vira S, Oren JH, et al (2016) When is compensation for lumbar spinal stenosis a clinical sagittal plane deformity? *Spine J* 16:971–981.
71. Love TW, Fagan AB, Fraser RD (1999) Degenerative spondylolisthesis. *Bone Jt J* 81:670–674.
72. Cummins J, Lurie JD, Tosteson T, et al (2006) Descriptive epidemiology and prior healthcare utilization of patients in the spine patient outcomes research trial's (sport) three observational cohorts: disc herniation, spinal stenosis and degenerative spondylolisthesis. *Spine* 31:806.
73. Tan Y, Aghdasi BG, Montgomery SR, et al (2012) Kinetic magnetic resonance imaging analysis of lumbar segmental mobility in patients without significant spondylosis. *Eur Spine J* 21:2673–2679.
74. Chou D, Lau D, Skelly A, Ecker E (2011) Dynamic stabilization versus fusion for treatment of degenerative spine conditions. *Evid-Based Spine-Care J* 2:33–42.
75. Hilibrand AS, Carlson GD, Palumbo MA, et al (1999) Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Jt Surg* 81:519–28.
76. Lee CS, Hwang CJ, Lee S-W, et al (2009) Risk factors for adjacent segment disease after lumbar fusion. *Eur Spine J* 18:1637.

77. Park P, Garton HJ, Gala VC, et al (2004) Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine* 29:1938–1944.
78. Hoppe S, Schwarzenbach O, Aghayev E, et al (2016) Long-term outcome after monosegmental L4/5 stabilization for degenerative spondylolisthesis with the Dynesys device. *Clin Spine Surg* 29:72–77.
79. Freppel, S. Colnat-Coulbois and T. Civit, “Traitement chirurgical du spondylolisthésis de l’adulte”, EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie, 44-179, 2008, (2008). - Google Scholar. https://scholar.google.fr/scholar?q=Freppel%2C+S.+Colnat-Coulbois+and+T.+Civit%2C+%27Traitement+chirurgical+du+spondylolisth%C3%A9sis+de+l%27adulte%27%2C+EMC+%28Elsevier+Masson+SAS%2C+Paris%29%2C+Techniques+chirurgicales+-+Orthop%C3%A9die-Traumatologie%2C+44-179%2C+2008%2C+%282008%29.&btnG=&hl=fr&as_sdt=0%2C5. Accessed 29 Mar 2017

7. Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission.

Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

RESUME :

Introduction : Le spondylolisthésis lombaire dégénératif (SLD) est une pathologie fréquente, responsable de lombalgies, radiculalgies et de claudication neurogène. A ce jour, il n'existe pas de consensus concernant la prise en charge du SLD. Une nouvelle classification prenant en compte l'analyse de l'équilibre sagittal est proposée, et requiert sa validation. Elle définit trois types de SLD comme suivant : - type 1 : rachis harmonieux et équilibré avec une adéquation entre LL et IP ($IP-LL < 10^\circ$) avec une bonne LS (type 1A) ou une diminution de la LS (type 1B); type 2 : rachis dysharmonieux (inadéquation entre IP et LL : $IP-LL \geq 10^\circ$), équilibré mais compensé au niveau pelvien (type 2B : $PT \geq 25^\circ$) ou sans compensation pelvienne (type 2A : $PT < 25^\circ$); type 3 : déséquilibre sagittal global avec une $SVA \geq 40\text{mm}$. **Objectif :** proposer et valider une nouvelle classification du SLD. Puis dans un deuxième temps vérifier l'impact clinique de cette classification.

Matériel et Méthodes : Une étude de reproductibilité a été réalisée sur une cohorte de 99 patients pris en charge chirurgicalement dans notre unité entre janvier 2012 et décembre 2015. Trois chirurgiens ont réalisé les mesures radiographiques nécessaires pour typer chaque patient sur des clichés EOS. La lordose segmentaire (LS), la lordose lombaire (LL), l'incidence pelvienne (IP), la version pelvienne (VP), et le « sagittal vertical axis » (SVA) ont été mesurés. Afin de mesurer la reproductibilité intra-observateur, ils ont effectué une double lecture à trois semaines d'intervalle dans un ordre aléatoire différent. Des tests statistiques κ de Fleiss, corrélation intra-class (ICC), test κ Cohen ont été réalisés. L'impact clinique de la classification a été réalisé sur une cohorte de 166 patients (119 F: 47 M). L'âge moyen était de 67,1 +/- 11 ans. Etaient recueillis : les caractéristiques démographiques, ainsi que les échelles de qualité de vie préopératoires usuels. Les corrélations entre les paramètres cliniques et la nouvelle classification étaient évaluées en utilisant le test de Spearman, et le test de Mann-Whitney.

Résultats : Les valeurs moyennes de l'ensemble de la cohorte étaient de : IP: $59,3^\circ \pm 11,9^\circ$; VP: $24,3^\circ \pm 7,6^\circ$; SVA: $29,1 \text{ mm} \pm 42,2 \text{ mm}$; LS: $18,2^\circ \pm 8,1^\circ$. Le SDL était en: L4-L5 (n=121), L3-L4 (n=34), L2-L3 (n=6), et L5-S1 (n=5). La répartition des types était : type 1a: n=73, type 1b: n=3, type 2a: n=8, type 2b: n=22, type 3: 60. La reproductibilité intra- observateur a montré une concordance presque parfaite (ICC > 0.92 and Cohen's $\kappa > 0.89$ pour chaque observateur). La valeur du κ de Fleiss pour la reproductibilité inter-observateur était de 0.82 avec un pourcentage d'accord entre les observateurs entre 88% et 89%. Une corrélation a été démontrée avec l'âge, l'ODI et le SF-12 pcs (respectivement: $\rho = 0,34$, $p < 0,05$; $\rho = 0,33$, $p < 0,05$; $\rho = -0,20$, $p = 0,01$) (Fig1).

Conclusion : La nouvelle classification est valide et reproductible. Elle est corrélée aux scores fonctionnels. Plus le type est élevé, plus la qualité de vie se détériore. C'est une méthode simple et accessible qui peut aider le chirurgien à analyser l'équilibre sagittal segmentaire, régional, et global chez les patients souffrants SLD, et l'aider dans sa planification préopératoire.

ABSTRACT : see p. 41, p54

TITLE : Clinical Relevance and Reliability of a New Classification System for Degenerative Spondylolisthesis of the Lumbar Spine.

MOTS CLES : Spondylolisthésis lombaire dégénératif, Equilibre sagittal, Classification, Spondylolisthésis.

DISCIPLINE : Chirurgie Orthopédique et Rachidienne- Orthopedic & Spine Surgery