

UNIVERSITE BORDEAUX 2 – VICTOR SEGALEN

U.F.R DES SCIENCES MEDICALES

Année 2014

Thèse n° 3094

Thèse pour l'obtention du

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Discipline : Chirurgie orthopédique

Présentée et soutenue publiquement par

THOMPSON Wendy

Née le 30 octobre 1985 à Meaux

Le 22 Octobre 2014

**ANALYSE DES PARAMETRES DE L'EQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS
CERVICAL APRES RESTITUTION DE LA LORDOSE LOMBAIRE PAR
OSTEOTOMIE TRANSPEDICULAIRE :**

Etude de 59 cas et comparaison à une population asymptomatique

Directeur de thèse

Docteur Hugues DEMEZON

Membres du Jury

Monsieur le Professeur Jean-Charles Le Huec	Président
Monsieur le Professeur Jean-Marc Vital	Juge
Monsieur le Docteur Stéphane Aunoble	Juge
Monsieur le Docteur Hugues Demezou	Juge
Monsieur le Professeur Jean-Rodolphe Vignes	Juge

Rapporteur de thèse

Monsieur le Professeur Jean-Rodolphe Vignes

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	4
PRÉSENTATION.....	12
TABLE DES ABREVIATIONS.....	13
PARTIE 1 - VARIATIONS DES PARAMÈTRES DE L'ÉQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS CERVICAL PAR IMAGERIE EOS® APRÈS RESTITUTION DE LA LORDOSE LOMBAIRE PAR OSTÉOTOMIE TRANSPÉDICULAIRE CHEZ DES PATIENTS EN ÉTAT DE DÉSÉQUILIBRE SAGITTAL MAJEUR:	14
RESUME	15
INTRODUCTION	17
I. MATERIELS ET METHODES.....	19
1. POPULATION	19
2. ANALYSE RADIOLOGIQUE	20
3. ANALYSE STATISTIQUE.....	22
II. RÉSULTATS.....	23
1. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION	23
2. RESULTATS DES MODIFICATIONS PRE ET POST OPERATOIRES DES PARAMETRES RADIOLOGIQUES:	24
3. RESULTATS DES CORRELATIONS ENTRE LES PARAMETRES PELVIENS ET CERVICAUX :	25
III. DISCUSSION	28
1. ANALYSE ET CRITIQUE DE L'ÉTUDE	28
2. ANALYSE ET CRITIQUE DES RESULTATS AUX VUES DE LA LITTÉRATURE.....	29
CONCLUSION	37
BIBLIOGRAPHIE.....	38

PARTIE 2 - VARIATIONS DES PARAMÈTRES DE L'ÉQUILIBRE SAGITTAL DU RACHIS CERVICAL PAR IMAGERIE EOS® APRÈS RESTITUTION DE LA LORDOSE LOMBAIRE PAR OSTÉOTOMIE TRANSPÉDICULAIRE :	44
RESUME	45
1. OBJECTIF :	45
2. METHODES :	45
3. RESULTATS :	45
4. CONCLUSION :	46
INTRODUCTION	47
I. MATERIELS ET METHODES.....	48
1. DESCRIPTION DES DEUX POPULATIONS	48
2. ANALYSE RADIOLOGIQUE	48
3. ANALYSE STATISTIQUE.....	52
II. RESULTATS.....	53
1. PARAMETRES PELVIENS ET THORACOLOMBAIRES :	53
2. PARAMETRES CERVICAUX ET CRANIENS :	53
III. DISCUSSION	58
1. ANALYSE ET CRITIQUE DE L'ÉTUDE	58
2. ANALYSE ET CRITIQUES DES RÉSULTATS AU VUE DE LA LITTÉRATURE	59
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE.....	64

REMERCIEMENTS

A mon Maître et Président de thèse,

Monsieur le Professeur Jean-Charles Le Huec,

Professeur des Universités,

Chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique, unité rachis 2 au CHU de Bordeaux,

Vous me faites l'honneur de présider ce travail. Vous m'apportez chaque jour les atouts de votre rigueur chirurgicale et intellectuelle. Veuillez trouver ici le témoignage de mon dévouement et de mon profond respect. Merci de m'avoir fait confiance. Devenir votre élève est un honneur.

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Hugues Demezou,

Chef de clinique dans le service du Professeur Le Huec, chirurgie orthopédique et traumatologique, au CHU de Bordeaux,

Cher Hugues,

Ton soutien, ton sourire, tes qualités chirurgicales et tes valeurs sont pour moi un modèle. Ta présence me rassure. Merci d'avoir accepté de diriger ce travail. Sois assuré de tout mon respect et de mon amour pour toi et ta famille.

A mon rapporteur de thèse,

Monsieur le Professeur Jean-Rodolphe Vignes,

Professeur des Universités,

Service de Neurochirurgie du Professeur Liguoro au CHU de Bordeaux,

Vous me faites l'honneur de rapporter ce travail.

Soyez assuré de ma considération et de mon profond respect.

A mes juges,

Monsieur le Professeur Jean-Marc Vital,

Professeur des Universités,

Chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique, unité rachis 1 au CHU de Bordeaux,

J'ai eu la chance d'admirer vos qualités humaines, chirurgicales et scientifiques. Votre accessibilité est un exemple. Je suis fière de faire partie de vos élèves. Soyez assuré de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Stéphane Aunoble,

Maitre de conférence des Universités,

Service de chirurgie orthopédique et traumatologique du Professeur Le Huec, unité rachis 2 au CHU de Bordeaux,

Dear Stéphane,

You do me the honor to judge this work. Your kindness and humor are a daily support in performing spinal surgery. God save the Queen and your soul.

A mes maîtres d'internat,

Monsieur le Docteur Bruno Zipoli, mon premier Patron, une idole, je vous le redis, vous avez changé ma vie.

Monsieur le Docteur Damien Ribeyre, pour Claire Chazal.

Madame le Docteur Anne Cernier, pour cette complicité sans faille.

Monsieur le Docteur Alfonso Riojas, un ange à l'accent fleuri.

Monsieur le Professeur Vincent Pointillart, Assurez-vous par ces quelques lignes de mon profond respect pour votre personne.

Monsieur le Professeur Olivier Gille.

Monsieur le Docteur Ibrahim Obeid.

Monsieur le Professeur Dominique Chauveaux.

Monsieur le Docteur Vincent Souillac.

Monsieur le Docteur Yann Wiart.

Monsieur le Docteur Gaël Ledoyer.

Monsieur le Docteur Mohamed Faïk.

Monsieur le Docteur Antonio Minitti.

Monsieur le Docteur Eric Lasseur, mon fol ami.

Monsieur le Docteur Stéphane Coste, pour toi, un respect immense, merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir montré que rien n'était impossible.

Monsieur le Docteur Prakash Dindoyal, merci pour tout.

Monsieur le Professeur Eric Dobremez.

Monsieur le Docteur Jean Roger Pontallier.

Monsieur le Docteur Yan Lefevre.

Monsieur le Docteur Stéphane Ramirez.

A mes chefs de clinique et assistants,

Docteur Anouar Bourghli, j'ai plus qu'aimé travailler à tes côtés.

Docteur Stéphane Luc.

Docteur Patrick Guérin.

Docteur Frédéric Sibilla.

Docteur Rachid Saddiki, fière d'avoir croisé ton chemin et de continuer à le suivre.

Docteur Thomas Cascella.

Docteur Julien Abad.

Docteur Stanislas Rémy, Stanou, ta gentillesse (ne) te perdra (jamais).

Docteur Dorothée Trombert, une amie, un exemple pour toutes.

Docteur Cécile Ambolet, merci d'être là, je te souhaite tout le bonheur que tu mérites Toi et ta famille.

Docteur Bertrand Dunet.

Docteur Julien Pallaro.

Docteur Julien Rigal, Juju, assures toi de mon amitié.

A ma mère, tu es un soutien quotidien. Pendant toutes mes études et jusqu'à aujourd'hui, tu as toujours été là. Ta force, l'éducation que tu nous as transmise à Lucy et à moi, ta gentillesse, sont pour moi un exemple. Tu m'as toujours appris à ne travailler que pour moi, saches que je l'ai toujours aussi fait pour te rendre fière. Je t'aime.

To my Dad, to infinity and beyond. No words could tell how much I am touched by your presence today. No matter how far you are, how many times we can hug in a year, you always stood by me. As Tracy would say : « I love you, it is all that you can't say, years gone by and still, words don't come easily, like I love you, I love you but you can say Baby, Baby can I hold you tonight. » Luv ya Dad xxx.

A ma sœur, ma Lulu, ma princesse. Quoique tu fasses ou quoique tu choisisses dans ta vie, je serais toujours là.

A David, merci d'être aux côtés de mon Bijou, d'en prendre soin comme tu le fais chaque jour.

A mes grands-parents béarnais et irlandais, vous êtes partis trop vite. Je pense à vous.

A Christian et Françoise, pour votre soutien et votre présence, merci d'être là.

A la Famille Maddio, pour Tatie Solange.

A la famille Boué, que le bonheur continue de vous envahir.

To Aisling, you are such a piece of woman, thank you for your happiness and your kindness in every moments we shared.

To Oscar and Finn, my little brothers, love you more than chocolate.

Pour les copines de Longpont, à Lulu et Mémé, ainsi qu'à leurs parents.

A Brigitte, pour être près de ma mère quand je ne peux l'être.

A ma Loute, Caro, je l'ai enfin écrite, merci d'être toujours à mes côtés.

A Toto, pour Amsterdam le jour de mes 20 ans et tout le reste.

Pour les copains de KB,

A Meuh, pour la dernière clope, pour Boissy, pour les huîtres, pour la Sexion, pour Carglass, et pour encore toutes les choses à venir. Je t'aime tellement.

A Caro, ma cave, parce que c'est évident. Parce qu'à Agen, c'est 2 minutes d'arrêt et qu'en lendemain de soirée, on est dégueu. Je te love.

A Nono, j'ai eu plus de chance que les autres, car moi j'ai vécu avec toi. Toi+moi+toi+moi+toi+moi.

A Meriem, Mimi, bravo pour tout ce que tu accomplis chaque jour. Assures-toi de mon amour pour toute ta famille.

A Ophé, Soso et Léo, mes desperates, Je suis fière de vous voir heureuses aujourd'hui et du chemin que vous avez parcouru.

A Pam, Camillooooooooouuuuu !

A Vince, Oli et Gib, je pense à vous et aux lapins crétins.

A Jerem, parce qu'il a toujours une meuf et qu'il va toujours se marier ;-)

A Phildar, pour la musique.

A Chacha, parce qu'il vaut mieux être dans son équipe, je t'adore.

A Babou et Dodo, tellement heureuse de vous avoir rencontrées les filles, vraiment.

A Laura, tu as une force inégalable, saches que tu pourras toujours compter sur moi Lolo.

A Marion, Claire, Anne Ma, Lulu, Tanguy, Gabas.

Aux Makabés.

A ma vie bordelaise,

A Léa, tu pourras toujours compter sur moi, tu es une personne extraordinaire, je te souhaite le bonheur que tu mérites ma belle.

A Mes « Garçons », Jean et Benjamin, vivement les vacances, je vous aime.

A Thibault Cloché, mon Titi, je scierais de nouveau la terrasse de Libourne, je boirais tous les bidons de clopes pour Toi, je suis tellement fière de Nous Mec.

A Manouch, pour ton lit à toute heure comme ta présence.

A Maxou, mon atypique, mon unique, mon Emmaüs, mon étoile des neiges, pays merveilleux, mon exutoire.

A Geoff, parce que chez Geoff, on voit tout Bordeaux et que je n'ai pas de leçons à recevoir d'un mec qui marche au plafond. Qu'est-ce que je ferais sans toi ?

A La Jousse, ce rayon de soleil, je t'adore et on n'adore qu'un Dieu.

A Dim, parce que je n'ai pas le syndrome de celle qui pardonne, 1, 2, 3 ☺.

A Nick, la sagesse et l'excès ont du bon.

A Gaby, parce qu'on est mieux là qu'à Gradi.

A Vignal, pour le jaune, la serendipité et tous ces merveilleux moments que je partage avec toi.

A Mylène, parce que tu veux tout, Jean et tous ses amis.

A Marie-Laure, parce qu'on préfère l'amour en mer.

A Ahlem, parce qu'être à l'heure c'est surfait et que y'a que toi qui connaît la ligne 7.

A Alex, Erblana, ma Tchoupi, pour le Lucifer, Carpe Diem.

A Paulo, je remercie KB de t'avoir foutu dans mes pattes, tu pourras toujours compter sur moi.

A Pompom, pour ta gentillesse et ta fiscalité.

A Hélo, je vais le dire, ma révélation paloise, je plains ceux qui ne t'ont pas encore rencontrée.

A Challier, mon chacha, Dr Love.

A Romain D, mon premier co-interne, pour la carpette.

A Angelliaume, Cathy, Galou, Greg et Buscail.

A mes orthopédistes,

A Nico, Arnaud, Mama, Raf, Nanaaaaaa, Knafo, Debi Deb, Briquette, Momo ou Vargasme, quelle rencontre sublime, pour ta moucheture et tes contacts déjà enregistrés, Maillot, Lulu, Pierre, Gaybrad, Blangis, Clem, Soufiane, Thomas T, JET, Doudou, Toinou, Marion P, La Bergère, Johan, Xavier.

A MC et Maylis L.

A Los Teoporos.

A l'Iboat et Daou.

A la Kitchen de Jean B.

A Barbara Sartor.

Aux fêtes de Dax et de Bayonne.

A l'équipe paloise : Marie et Pasca, Audrey-Elodie, MV, Juju, Charlie, Ben et Comby, Juan, Kristin, Yann.

A la Cup : Anne mon Amour, à la Boîte Jaune, Hédi, Laurent, Sean Paul, Babz, Skippy, Gaumar, Oliv, Inès, Audrey P, Amélie et Chloé B.

Présentation

Ce travail se compose de deux parties.

La rédaction scientifique a été privilégiée afin de permettre la publication de ces deux travaux.

- Le premier travail rapporte l'analyse de la statique du rachis cervical après restauration de la lordose lombaire par ostéotomie transpédiculaire lombaire chez 59 patients.
- Le second travail vise à comparer l'équilibre sagittal du rachis cervical après restauration de la lordose lombaire chez des patients opérés par ostéotomie transpédiculaire à celui d'une population asymptomatique et analyser les mécanismes de compensation entre ces deux populations.

TABLE DES ABBREVIATIONS

SCA Spino Crânial Angle ou Angle Spino Crânial

IP Incidence Pelvienne

VP Version Pelvienne

PS Pente Sacrée

CT Cyphose Thoracique

IC Incidence Crânienne

PC Pente Crânienne

OC2 Angle Occiput-C2

VC Version Crânienne

PK Maladie de Parkinson

SPA Spondylarthrite Ankylosante

BMI Body Mass Index ou Indice de Masse Corporelle

C7SVA C7 Sagittal Vertical Axis

FBI Full Balance Integrated

vs Versus

PARTIE 1 - Variations des paramètres de l'équilibre sagittal du rachis cervical par imagerie EOS® après restitution de la lordose lombaire par ostéotomie transpédiculaire chez des patients en état de déséquilibre sagittal majeur:

Série de 59 patients

RESUME

Objectif : analyser les modifications de l'équilibre sagittal du rachis cervical secondaire à la restauration d'un alignement thoracolombaire par ostéotomie transpédiculaire chez les patients atteints de déséquilibre sagittal antérieur.

Méthodes : Cette étude est radiologique, monocentrique et rétrospective. 79 patients ayant bénéficié d'une correction lombaire par ostéotomie ont réalisé une imagerie EOS® en pré et en post opératoire entre Janvier 2008 et Décembre 2013 au CHU de Bordeaux. Les critères d'inclusion étaient la réalisation d'une imagerie EOS en pré et en post opératoire et un C7SVA > 5cm. Ont été exclus les patients dont l'Eos ne permettait pas de visualiser le rachis cervical. L'étude comportait l'analyse des paramètres pelviens (incidence pelvienne, version pelvienne et pente sacrée), lombaire (lordose lombaire L1S1), thoracique (cyphose thoracique T1T12), cervicaux (C7SVA, lordose C2C7, C1C7, C1C2, SCA, tilt de C2, tilt de la selle turcique, OC2) et crâniens (incidence crânienne, pente crânienne et version crânienne) avant et après la chirurgie.

Résultats : 59 patients ont été inclus dans l'étude. Il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les paramètres cervicaux pré et post opératoire (C2C7 22.7° à 21.5° p=0.64, C1C7 50.6° à 48.8° p=0.56, C1C2 28.2° à 27.9° p=0.82, pente de C7 32.3° à 30.5° p=0.47, OC2 15.54° à 15.56° p=0.99). Par contre, la pente crânienne a diminué de façon significative (19.7° à 15.6°, p=0.037). Par ailleurs, il a été retrouvé une augmentation significative de L1S1 (28.9° à 49.7° p=0.0001) et une diminution significative de la cyphose thoracique (30° à 37.4° p=0.0001) et du C7SVA (9.11cm à 4.37cm p=0.001). Nous n'avons pas retrouvé de corrélation entre la lordose lombaire et la lordose cervicale (R=0.265). La variation de lordose cervicale est fortement corrélée à la variation de la pente de C7 (R=0.597) et à celle du SCA (R=-0.867).

Conclusion : Les modifications de la statique cervicale après ostéotomie transpédiculaire sont complexes. Le maintien d'un regard horizontal met en jeu des mécanismes de compensation locorégionaux en s'adaptant à la pente de C7. Le système crânial en diminuant la pente crânienne permet l'alignement du regard. La restauration d'un C7SVA optimal est nécessaire pour éviter le développement d'une symptomatologie cervicale douloureuse secondaire.

INTRODUCTION

La prise en charge des déformations rachidiennes est une chirurgie majeure qui nécessite parfois des ostéotomies transpédiculaires pour obtenir la correction désirée. Le but des ostéotomies transpédiculaires de soustraction lombaire est de restaurer la lordose lombaire pour rétablir un alignement rachidien harmonieux et ainsi tendre vers une balance sagittale économique.

Klineberg et al (1) rapportent une augmentation spontanée de la cyphose thoracique sur les segments non instrumentés après restauration de la lordose lombaire par ostéotomie.

Lafage et al (2-4) ont montré la diminution de la rétroversion du bassin après correction des déformations scoliotiques avec amélioration du SVA (Sagittal Vertical Axis) et ceci était corrélé avec l'amélioration de la qualité de vie. Lafage et al (4) ont souligné l'importance de l'appréciation globale de l'équilibre sagittal dans la prise en charge de la déformation rachidienne car les variations de cyphose thoracique induites par la chirurgie pouvaient compromettre la restauration d'un équilibre postural économique.

Il est donc indispensable de connaître les changements potentiels sagittaux engendrés par un déséquilibre pour appréhender au mieux la planification préopératoire.

Quelques travaux ont rapporté l'analyse sagittale du rachis cervical après ostéotomie transpédiculaire lombaire pour correction d'un déséquilibre sagittal majeur (5-8) mais aucun en l'absence de déformation scoliotique associée. L'alignement du rachis cervical assure le maintien d'un regard horizontal et ceci est associé à la qualité des résultats fonctionnels d'une ostéotomie (9,10). Il a été démontré que l'ostéotomie lombaire avait un retentissement clinique cervical certain (11,12).

Nous avons voulu analyser les modifications cervicales engendrées par la restauration d'un alignement harmonieux de la colonne thoraco-lombaire après ostéotomie lombaire transpédiculaire. Notre hypothèse était que les patients avec un déséquilibre antérieur compensaient par une hyperlordose cervicale pour maintenir le regard horizontal. Nous avons supposé qu'après correction de ce déséquilibre, les variations réciproques de la colonne tendraient vers une diminution de cette hyperlordose cervicale. Ce travail permettra l'analyse

des paramètres radiologiques préopératoires pour améliorer la compréhension des interactions sagittales en post-opératoire et ainsi mieux comprendre les bénéfices cliniques qui en découlent.

I. MATERIELS ET METHODES

1. Population

Il s'agit d'une étude radiologique, rétrospective, transversale, non contrôlée et monocentrique réalisée au CHU Bordeaux. 79 patients ont bénéficié d'une chirurgie de correction rachidienne par ostéotomie transpédiculaire lombaire par le même chirurgien pour déséquilibre sagittal antérieur entre Janvier 2008 et Décembre 2013 au sein du CHU de Bordeaux.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : patients déséquilibrés sagittaux définis par un C7SVA > 5 cm, distance entre la verticale abaissée de C7 et le coin postérieur du plateau sacré, (Figure 1) comme l'ont défini de nombreux auteurs (5,9,13). Ont été exclus les patients avec antécédents de chirurgie rachidienne cervicale, les patients atteints de scoliose thoracolombaire et les patients pour lesquels lors de la réalisation de l'Eos®, le déséquilibre antérieur majeur empêchait la totalité du rachis cervical d'être radiographié de profil car celui-ci sortait du champ de captation des rayons X de la machine.

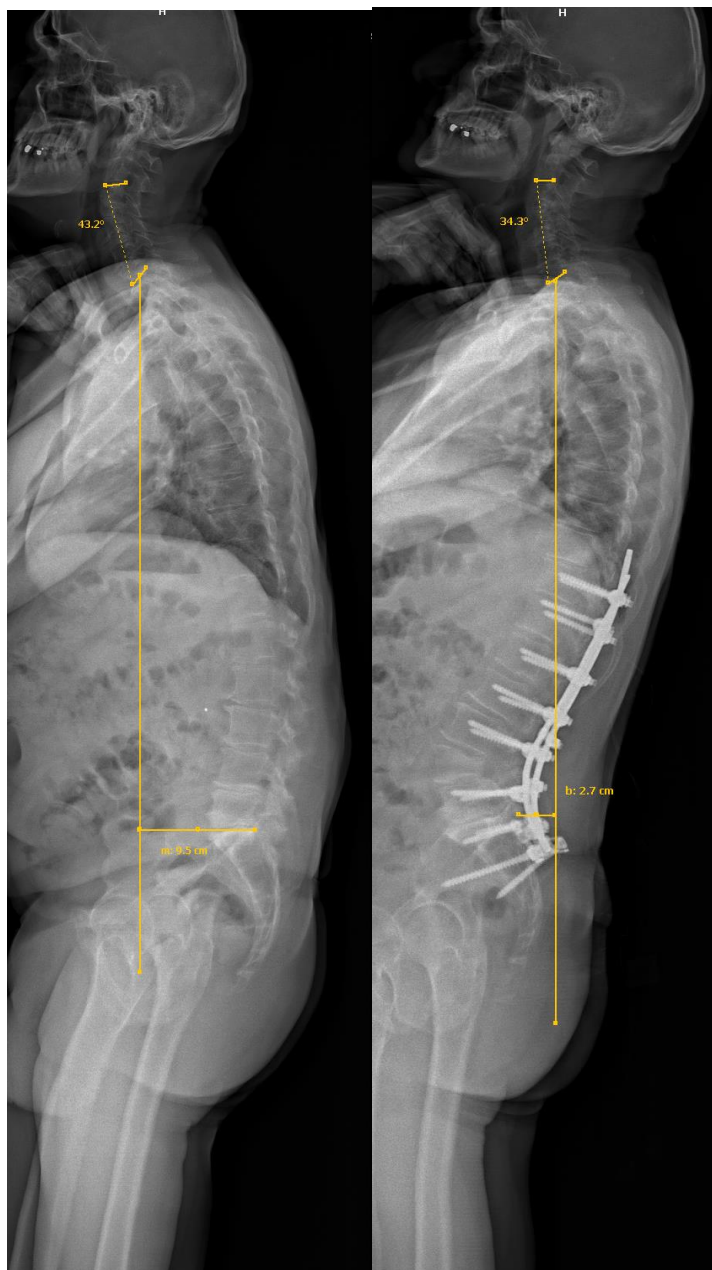


Figure 1: Présentation d'un cas. Imagerie EOS® pré et post opératoire. A noter la diminution de lordose cervicale après ostéotomie transpédiculaire.

2. Analyse radiologique

Les patients ont tous réalisés en pré et post opératoire une imagerie EOS® corps entier visualisant le rachis cervical de l'occiput à T1. Les mesures des paramètres rachidiens ont été

réalisées à partir du logiciel SterEOS (EOS® Imaging, Paris, France) par un même opérateur indépendant.

Les radiographies obtenues par le système EOS® sont des clichés de face et de profil de l'ensemble de la colonne vertébrale strictement perpendiculaires entre eux. Les patients ont réalisé une imagerie EOS® dans une position debout standardisée décrite selon Morvan (14). Les paramètres pelviens, lombaires, thoraciques, cervicaux et crâniens ont été mesurés en pré et en post opératoire (Table 1). Ces paramètres pelviens, lombaires, thoraciques et cervicaux ont été mesurés selon la méthode de Cobb (15). La ligne de Mc Gregor a été utilisée comme repère de la base du crâne (16). Nous avons utilisé les angles d'incidence crânienne, de version crânienne et de pente crânienne ainsi que l'angle spinocrânial, le tilt de C2 et le tilt de la selle turcique décrits par Le Huec and al (17). La jonction occipitocervicale était analysée par l'angle OC2 situé entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2.

Les variations des paramètres radiologiques ont été calculées en réalisant la différence entre les angles post opératoires et les angles pré opératoires, nommée Δ . Pour avoir une analyse pertinente des effets de la correction du déséquilibre sagittal sur le rachis lombaire, nous avons aussi stratifié la population en sous-groupes, comme le proposent Barrey et al (18) dans son analyse de la population asymptomatique. La classification s'est faite en fonction de l'angle d'incidence pelvienne : $\leq 45^\circ$, $45-60^\circ$, $> 60^\circ$. Ceci a pour intérêt de mieux analyser le retentissement éventuel des variations de courbure sagittale thoracolombaire sur le rachis cervical en fonction du type de dos comme l'a décrit Roussouly (19).

Paramètres		Définitions
Pelviens	Incidence pelvienne	Angle entre la ligne reliant le centre des têtes fémorales au milieu du plateau sacré et la perpendiculaire au plateau sacré
	Version pelvienne	Angle entre la ligne reliant le milieu du plateau sacré au centre des têtes fémorales et la verticale
	Pente sacrée	Angle entre la direction du plateau sacré et l'horizontale
Lombaire	Lordose L1S1	Angle entre le plateau supérieur de L1 et le plateau sacré
Thoracique	Cyphose T1T12	Angle entre le plateau supérieur de T1 et le plateau inférieur de T12
Cervicaux	Lordose C2C7	Angle entre le plateau inférieur de C2 et le plateau inférieur de C7
	Lordose C1C7	Angle entre la direction de C1 et le plateau inférieur de C7
	Lordose C1C2	Angle entre la direction de C1 et le plateau inférieur de C2
	Pente de C7	Angle entre le plateau inférieur de C7 et l'horizontale
	Angle Occiput-C2	Angle entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2
	Angle spinocrânial	Angle entre la ligne reliant la selle turcique et le milieu du plateau inférieur de C7 avec la direction du plateau inférieur de C7
	Tilt de C2	Angle entre la verticale passant par le centre de C7 et la ligne passant par le centre du plateau inférieur de C2 et le centre de C7
	Tilt de la selle turcique	Angle entre la verticale passant par le milieu de C7 et la ligne reliant la selle turcique au centre de C7
	Ligne de Mc Gregor	Ligne reliant le palais osseux à la partie la plus basse de l'occiput
Crâniens	Incidence crânienne	Angle entre la perpendiculaire à la ligne de Mc Gregor et la ligne qui unit le milieu de la ligne de Mc Gregor à la selle turcique
	Version crânienne	Angle entre la verticale et la ligne qui unit le centre de la ligne de Mc Gregor et la selle turcique
	Pente crânienne	Angle entre l'horizontale et la ligne de Mc Gregor
Globaux	C7 SVA	Distance entre la verticale passant par le milieu du plateau inférieur de C7 et le coin postérieur du plateau sacré
	Full Balance Integrated	Angle de translation de C7 + angle d'obliquité fémorale + angle de compensation pelvienne

Table 1 : Description des paramètres radiologiques mesurés sur SterEos, Imagine, Paris, France

3. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées par un bio statisticien. Les variables étaient quantitatives, leurs moyennes, écart-types et étendues ont été présentées et ont été recueillies dans une analyse descriptive.

Pour les analyses comparatives, les corrélations ont été réalisées lorsqu'une association symétrique entre deux variables était recherchée. Un seuil de significativité de 5% permettait de déterminer les associations et les différences significatives. Le logiciel utilisé pour cette analyse était XL-STAT 2012.

II. Résultats

1. Caractéristiques de la population

79 patients ont bénéficié d'une correction par ostéotomie pendant la période d'inclusion.

59 patients ont été inclus dans cette étude dont 23 hommes et 36 femmes. Tous les patients retenus avaient réalisés en pré et en post opératoire une imagerie EOS® visualisant le rachis cervical, du crâne jusqu'aux têtes fémorales.

20 patients ont été exclus car, soit leur rachis cervical sortait du champ d'acquisition de l'Eos®, soit ils avaient été opérés en cervical. L'âge moyen était de 61.1 ans (+/- 11.6). L'indice de masse corporelle, l'intoxication tabagique ainsi que les antécédents de maladie de Parkinson ou de spondylarthrite ankylosante ont été analysés afin d'apparier les patients sur ces données ($p>0.05$). Le recul moyen des imageries EOS® post opératoire était de 13,8 mois (+/-8.6). L'incidence pelvienne était en moyenne de 59° (+/-12.8) (Table 2).

	Min	Max	Moyenne	Ecart Type	p
Age	29	83	61,1	11,6	NA
IMC	17,6	33,3	25,2	3,6	> 0,05
Tabac	0	1	0,1	0,3	> 0,05
PK	0	1	0,05	0,2	> 0,05
SPA	0	1	0,01	0,1	> 0,05
Recul EOS	12	33	13,8	8,6	>0,05
IP	36	86	59	12,8	NA

Table 2 : Caractéristiques de la population. IMC=Indice de Masse Corporelle, PK=Parkinson, SPA=Spondylarthrite Ankylosante, IP=Incidence Pelvienne, NA =Non Adapté.

2. Résultats des modifications pré et post opératoires des paramètres radiologiques:

Les paramètres pelviens ont été modifiés de manière significative après la correction chirurgicale : la lordose lombaire L1S1, la cyphose thoracique T1T12 et la pente sacrée ont augmenté, le C7SVA et la version pelvienne ont diminué.

La pente crânienne qui renseigne sur la position du crâne par rapport à l'horizontale est le seul paramètre qui a significativement diminué.

La lordose cervicale C2C7, C1C7, C1C2, la pente de C7 ont diminué mais de manière non significative en post-opératoire. L'incidence crânienne a diminué et la version crânienne a augmenté de manière non significative. L'angle Occiput C2 est resté stable à 15°. L'angle spinocrânial (17), le tilt de C2 et le tilt de la selle turcique n'ont pas varié de manière significative (Table 3).

Paramètres radiographiques	Preop	Postop	p Value
C7-SVA(cm)	9,11±4,9	4,37±4,6	0,001*
FBI(°)	31,05±13,7	14,72±10,3	0,001*
L1S1(°)	28,9±11,6	49,7±9,0	0,0001*
T1T12(°)	30±11,4	37,4±10,1	0,0001*
PS(°)	29,8±10,5	32,4±8,1	0,12
VP(°)	28,9±10,6	25,2±10,8	0,05*
C2C7(°)	22,7±15,8	21,5±12,4	0,64
C1C7(°)	50,6±16,2	48,8±14,4	0,56
C1C2(°)	28,2±7,5	27,9±8,58	0,82
Pente de C7(°)	32,3±14,0	30,5±13,1	0,47
IC (°)	26,1±4,9	24,8±5,2	0,17
VC(°)	10,5±7,9	12,1±12,1	0,29
PC(°)	19,7±11,0	15,6±9,9	0,037*
OC2(°)	15,5±9,5	15,5±8,5	0,99
SCA(°)	71,3±12,0	72,3±9,8	0,62
Tilt C2	15,6±11,4	14,9±12,3	0,75
Tilt selle turcique	14,3±8,6	13,7±9,6	0,7

Table 3 : Comparaison des paramètres radiologiques en pré et post opératoire, * p<0.05.

L'analyse en sous-groupes d'incidence pelvienne a permis de retrouver :

- 9 patients dans le groupe $\leq 45^\circ$,
- 22 dans le groupe 45° - 60° ,
- et 28 dans le groupe $>60^\circ$.

Il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les valeurs de lordose cervicale C2C7 et C1C7 en pré opératoire entre les trois groupes et il n'y avait pas de différence significative en post opératoire.

Il en était de même pour l'angle OC2 (Table 4).

IP	N	C1C7 préop	C1C7 postop	C2C7 preop	C2C7 postop	OC2 preop	OC2 postop	p
$\leq 45^\circ$	9	46,64 $\pm$ 10,59	47,8 $\pm$ 11,29	18,02 $\pm$ 10,39	18,96 $\pm$ 6,63	17,92 $\pm$ 10,23	16,66 $\pm$ 6,07	$>0,05$
45° - 60°	22	53,27 $\pm$ 17,36	49,02 $\pm$ 14,83	25,94 $\pm$ 17,58	21,92 $\pm$ 12,86	13,98 $\pm$ 11,43	14,77 $\pm$ 9,21	$>0,05$
$> 60^\circ$	28	49,42 $\pm$ 16,93	48,46 $\pm$ 15,48	20,85 $\pm$ 15,93	21,41 $\pm$ 13,45	17,27 $\pm$ 7,77	16,01 $\pm$ 8,87	$>0,05$

Table 4 : Résultats pré et post opératoires en sous-groupes, aucune différence significative retrouvée.

L'analyse de l'équilibre sagittal avec l'index FBI dans les 3 groupes a permis d'analyser globalement la correction obtenue. Le groupe $\leq 45^\circ$ et le groupe 45° - 60° avaient des FBI post opératoire $<10^\circ$ ($6.62^\circ \pm 9.87$ et 5.47 ± 10.7 , respectivement) alors que le FBI était $>10^\circ$ dans le groupe $>60^\circ$ (15.6 ± 9.82).

4.3. Résultats des corrélations entre les paramètres pelviens et cervicaux :

Nous avons analysé pour l'ensemble de la population les différentes corrélations entre la variation de lordose cervicale C2C7 et les autres paramètres radiologiques.

Nous avons retrouvé une forte corrélation entre la variation de lordose C2C7 et la lordose C1C7 ($R=0.857$) ainsi qu'avec la pente de C7 ($R=0.597$) et l'angle SCA ($R=-0.867$) (Figure 2).

Nous n'avons pas trouvé de corrélation avec la variation de lordose lombaire.

La corrélation retrouvée entre la lordose C2C7 et la cyphose thoracique était faible ($R=0.288$) (Table 5).

Paramètres radiologiques	Moyenne $\pm$ EC	Pearson
Age	61,1 $\pm$ 11,6	-0,055
$\Delta C1C7$	-1,7 $\pm$ 11,9	0,857
$\Delta C1C2$	-0,3 $\pm$ 5,6	-0,172
Δ Pente de C7	-1,8 $\pm$ 8,3	0,597
$\Delta OC2$	0,01 $\pm$ 7,5	0,013
ΔSCA	0,9 $\pm$ 11	-0,867
ΔIC	-1,2 $\pm$ 5,71	-0,128
ΔPC	-4 $\pm$ 9,84	-0,462
ΔVC	1,6 $\pm$ 8,6	0,121
$\Delta C7SVA$	-4,74 $\pm$ 4,65	0,31
$\Delta L1S1$	20,8 $\pm$ 10,4	0,265
$\Delta T1T12$	7,3 $\pm$ 11,8	0,288
ΔPS	2,63 $\pm$ 8,2	-0,105
ΔVP	-3,74 $\pm$ 7,3	0,265

Table 5 : Corrélation entre $\Delta C2C7$ et les autres paramètres radiologiques.

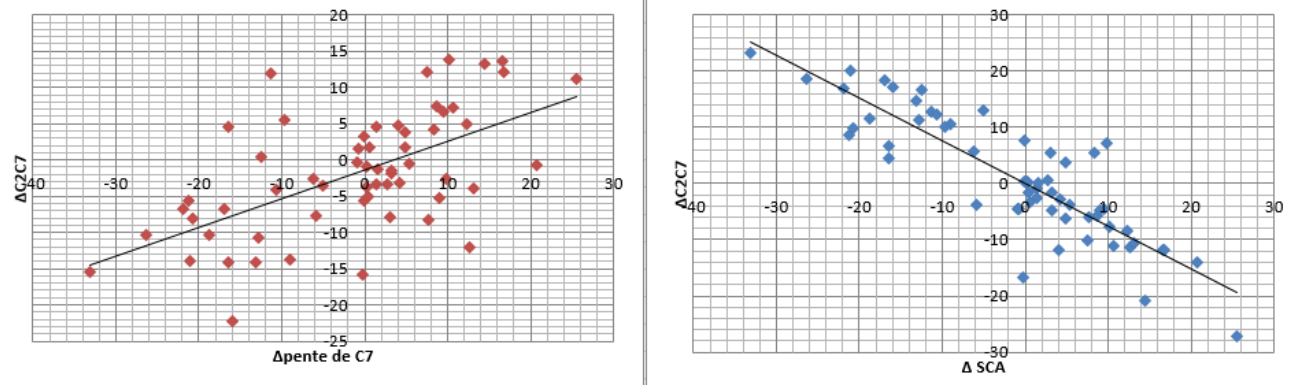


Figure 2 : Corrélation de la variation de la lordose cervicale C2C7 avec la variation de la pente de C7 et avec la variation du SCA.

Nous avons trouvé une diminution significative de la pente crânienne en post opératoire, nous avons donc recherché les corrélations entre cette variation et les autres paramètres. Nous avons retrouvé une forte corrélation avec la variation de version crânienne ($R=-0.776$) et celle du SCA ($R=0.559$). Une corrélation modérée a été retrouvée avec la variation de lordose cervicale C2C7 ($R=-0.462$) et avec l'incidence crânienne ($R=0.448$) (Table 6 et Figure 3).

Paramètres radiologiques	moyenne $\pm$ EC	Pearson
Age	61,1 $\pm$ 11,6	0,002
$\Delta C1C7$	-1,7 $\pm$ 11,9	-0,526
$\Delta C1C2$	-0,3 $\pm$ 5,6	0,1
Δ Pente de C7	-1,8 $\pm$ 8,3	0,064
$\Delta OC2$	0,01 $\pm$ 7,5	-0,1
ΔSCA	0,9 $\pm$ 11	0,559
ΔIC	-1,2 $\pm$ 5,71	0,448
$\Delta C2C7$	-1,2 $\pm$ 12,5	-0,462
ΔVC	1,6 $\pm$ 8,6	-0,476
$\Delta C7SVA$	-4,74 $\pm$ 4,65	0,122
$\Delta L1S1$	20,8 $\pm$ 10,4	-0,08
$\Delta T1T12$	7,3 $\pm$ 11,8	-0,145
ΔPS	2,63 $\pm$ 8,2	0,115
ΔVP	-3,74 $\pm$ 7,3	-0,222

Table 6 : Corrélation entre Δ pente crânienne et les autres paramètres radiologiques.

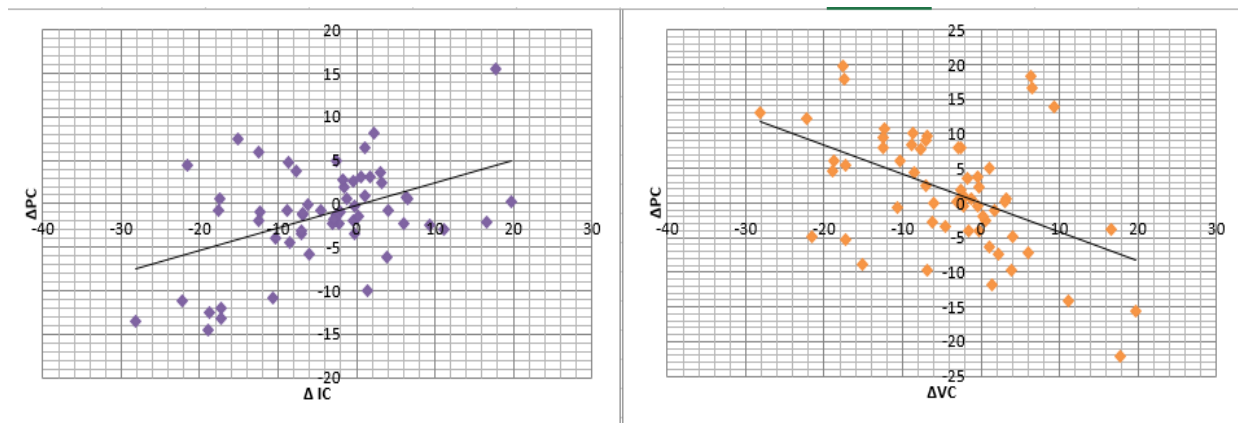


Figure 3 : Corrélation de la variation de pente crânienne (PC) avec la variation de l'incidence crânienne (IC) et la variation de la version crânienne (VC).

III. Discussion

1. Analyse et critique de l'étude

Aucune étude à notre connaissance n'a été publiée sur l'équilibre du rachis cervical après ostéotomie transpédiculaire lombaire en l'absence de scoliose thoracolombaire. Cette étude est monocentrique et a inclus 59 patients, ce qui est la plus importante série à ce jour. Ce chiffre est superposable aux autres études similaires notamment celles de Smith et al (5), Blondel et al (8), Laouissat et al et Ha et al (6) , 75, 76, 31 et 49 patients respectivement qui rapportent des travaux d'ostéotomie lombaire avec déformation cyphoscoliotique.

La population étudiée était homogène. En effet, les patients ont été appariés sur leur âge, leur sexe, le tabagisme, l'indice de masse corporelle, l'atteinte d'une maladie de Parkinson ou d'une spondylarthrite et aucune différence significative n'a été relevée. L'âge moyen était de 61 ans, chiffre similaire à l'étude de Smith et al (5) qui retrouvait un âge moyen de 59 ans, Ha et al (6) de 65,2 ans et Blondel et al (8) de 57 ans.

L'intérêt de notre étude est lié à la qualité du recueil des données radiologiques car les mesures ont été réalisées sur le logiciel SterEos (EOS® Imaging, Paris, France). Les acquisitions

ont été faites en 3D et en 2D. Les données de la littérature validaient la reproductibilité et la fiabilité de ces données (20). La notion de regard horizontal est une référence mais son caractère physiologique reste discuté. Le maintien du centre de gravité de la tête autorise une orientation du regard de 0 à 30° vers le bas (45,46).

Le recul post opératoire des radiographies était supérieur à toutes les études publiées qui était de 3 à 6 mois (5,7,8). Dans notre étude, le recul d'au moins 12 mois a permis de laisser la musculature rachidienne cicatriser et la statique s'adapter au nouvel équilibre sans biais physiologique lié à l'agression musculaire des abords postérieurs. Les paramètres pelviens et rachidiens ont tous variés dans le même sens, la lordose cervicale C2C7 a diminué, la lordose lombaire a augmenté tout comme la cyphose thoracique, l'angle SCA et Occiput C2 étaient restés stables, ce qui est similaire aux autres études.

L'analyse de l'index FBI a montré que lorsqu'il était inférieur à 10° en post-opératoire, la correction était proche d'une situation physiologique et était corrélée avec un bon résultat fonctionnel prouvé par le score d'OSWESTRY et le C7SVA (21). Si le FBI est > 10°, la correction était insuffisante et les résultats fonctionnels moins bons.

Malgré la subdivision en 3 sous-groupes de notre série en fonction de la valeur de l'incidence pelvienne, nous n'avons pas retrouvé de différence dans les variations des paramètres cervicaux post-opératoires. Dans le groupe $\leq 45^\circ$ et dans le groupe 45° - 60° , le FBI était ramené dans des valeurs idéales sans modification significative de la lordose cervicale. Dans le groupe $> 60^\circ$, le FBI post opératoire était insuffisant avec un phénomène de compensation résiduel au niveau pelvien et une faible modification de l'alignement cervical en post opératoire.

2. Analyse et critique des résultats aux vues de la littérature

Le maintien d'un état de posture vertébral économique grâce au rétablissement d'un bon équilibre sagittal lombopelvien a fait l'objet de beaucoup de travaux (2,3,22-24) ; l'ostéotomie transpédiculaire et inter-pédiculaire étaient les techniques les plus utilisées (25-28). L'équilibre sagittal est un phénomène complexe qui met en jeu le complexe pelvi-lombo-thoracique et cervical afin de permettre le maintien d'un regard horizontal. Cette chaîne de

corrélation entre le rachis cervical et le bassin n'a pas été clairement établie à ce jour. Le rachis cervical soutient la base du crâne. De nombreuses études ont défini le rôle du système crânial dans le maintien de la tête et son lien étroit avec le rachis cervical (29–32). Sa capacité de mouvement de manière indépendante a aussi été soulignée. L'altération de l'équilibre du rachis cervical précipite la dégénérescence discale cervicale et est associée à un retentissement clinique à type de cervicalgie, radiculalgie ou myélopathie (12,33). Comprendre les mécanismes de compensation de la colonne cervicale chez les patients atteints de déformation thoracolombaire est donc indispensable pour prévenir une symptomatologie cervicale secondaire.

Nous avons utilisé les paramètres radiologiques du système cervical et du système crânial définis par Le Huec et al (17) Le rachis cervical avait pour socle la pente de C7 et a servi à définir la lordose C2C7, la lordose C1C7, la lordose C1C2, le tilt de C2, le tilt de la selle turcique et l'angle SCA. Le système crânial est défini par l'incidence crânienne, la pente crânienne et la version crânienne. Nous avons utilisé ces angles car ils sont validés et couramment utilisés dans la littérature. La lordose C2C7 par la méthode de Cobb sous-estime la lordose cervicale mais est facilement reproductible (1,2,15).

Notre étude avait pour hypothèse que la lordose C2C7 diminuait après restauration de la lordose lombaire du fait qu'elle représentait un mécanisme de compensation pour maintenir un regard horizontal chez les patients en position d'antéflexion thoracolombaire. Cette hyperlordose cervicale devait compenser ce déséquilibre. Nos résultats n'ont pas confirmé cette hypothèse. Nous avons objectivé une diminution de la lordose cervicale C2C7 mais cette différence n'était pas significative.

Smith et al (5) ont rapporté une série dont la perte de lordose cervicale était significative de 30,8° à 21,6°, tout comme Laouissat et al (7) de 16° à 10,9°. Pour ces deux auteurs, le déséquilibre antérieur était majeur.

Pour Ha et al (6), qui a séparé sa population en deux groupes, la variation de lordose cervicale n'était significative que dans le groupe où le C7SVA était > 9cm (diminution de 30,5° à 23°). Ce résultat était similaire au nôtre. Notre population présentait uniquement un déséquilibre sagittal sans déformation frontale associée, ce qui expliquait certaines variations

de mesure. En effet, notre lordose lombaire préopératoire moyenne était de 28,9° contre 17,4° pour Smith (5), 19,9° pour Laouissat (7) et 19° pour Blondel(8).

Il est bien connu que la mesure de la lordose sur des patients scoliotiques était faussée sur les radiographies car il faudrait la mesurer dans le plan de la déformation ce qui n'était pas possible pour ces auteurs qui n'avaient pas la technologie EOS avec reconstruction 3D. Les mesures dans notre étude étaient réalisées dans le plan d'élection, ce qui expliquait très certainement la différence retrouvée. En effet, il était souvent difficile d'avoir une superposition des têtes fémorales sur des patients scoliotiques ce qui signifiait une rotation potentielle du bassin qui augmentait la valeur du C7SVA de façon artificielle. Notre étude a utilisé les reconstructions 3D qui permettaient d'éviter cette erreur et d'avoir une évaluation parfaite du C7SVA. Notre C7SVA moyen était de 9.11 cm (+/- 4.9).

La variation de lordose cervicale significative retrouvée par les autres auteurs était probablement liée à une erreur possible de mesures préopératoires du fait de la déformation rachidienne coronale induite par la scoliose et de mesures qui n'avaient pas été effectuées dans le plan d'élection, alors que les mesures postopératoires étaient à priori réalisées sur un rachis corrigé dans le plan coronal et frontal. L' hyperlordose cervicale préopératoire mesurée pouvait être liée aussi à une nécessité de compensation du déséquilibre frontal lié à la scoliose.

Dans le travail de Ha qui a réalisé trois groupes (C7SVA <6cm avec 21 patients, C7SVA entre 6 et 9 cm avec 7 patients et C7SVA>9cm avec 21 patients), la variation significative de lordose pré et post opératoire n'existait que pour le groupe avec C7SVA > 9cm et le groupe où C7SVA était < 6cm la variation était inverse. Il était donc difficile d'en tirer des conclusions d'autant plus que les deux groupes extrêmes ne contenaient que 21 patients. Notre série montrait une tendance à la diminution de la lordose cervicale C2C7 non significative mais la pente crânienne et le C7SVA étaient significativement diminués.

L'analyse de la diminution de lordose cervicale et des variations de lordose lombaire et de cyphose thoracique était intéressante.

Nous n'avons pas trouvé de corrélation entre la variation de lordose cervicale C2C7 et la correction de lordose lombaire (alors que la correction lombaire est significativement

différente, $28,9^\circ$ à $49,7^\circ$ $p < 0,05$) avec un coefficient de Pearson de 0.265. Ce résultat est superposable à celui de la série de Smith et al (5) avec un coefficient de Pearson de 0,339 et de Ha et al (6) où il était de 0,16. Notre série a donc confirmé l'absence de corrélation forte entre la restitution de lordose lombaire et la conséquence sur l'alignement cervical comme les résultats des auteurs précités.

L'équilibre du rachis cervical est lié à l'anatomie de la jonction cervicothoracique. Lee et al (34) rapportent dans une population asymptomatique, une corrélation significative entre la pente de T1 et l'équilibre crâniocervical, une faible pente de T1 impliquerait une faible lordose cervicale et inversement. La pente de T1 déterminerait la proportion de lordose cervicale nécessaire pour maintenir le centre de gravité de la tête en position d'équilibre et dépendrait de la variation de l'équilibre sagittal global prédit par le C7SVA et la cyphose thoracique inhérente au patient.

Dans leur revue de littérature, Ames et al (33) ont analysé rétrospectivement les paramètres de l'équilibre sagittal chez 55 asymptomatiques.

Ils rapportaient une corrélation entre l'incidence pelvienne et la lordose lombaire, entre la lordose lombaire et la cyphose thoracique et entre la cyphose thoracique et la lordose cervicale. Quand la cyphose thoracique augmentait, la lordose cervicale augmentait ($R=0.51$). Dans notre étude, cette corrélation était plus faible mais présente et de même positivité ($R=0.288$).

Leurs résultats rapportaient aussi une corrélation entre la lordose cervicale et la version pelvienne de 0.31, comparable à notre résultat de 0.265. Par analogie, la pente de C7 que l'on peut assimiler à la pente de T1 était plus fortement corrélée dans notre étude à la lordose cervicale ($R=0.597$ contre $R=0.38$). Ceci confirmait le lien étroit existant entre la pente de C7 et le système cervical, faisant ainsi de la pente de C7 un paramètre plus fortement lié au rachis cervical que la pente de T1. A noter que la vertèbre C7 était systématiquement visualisée sur les clichés EOS® de nos patients ostéotomisés, contrairement à T1 difficilement visualisable sur de nombreux clichés standards de profil. La pente de C7 était un repère clé pour la description de l'équilibre du rachis cervical, facilement mesurable et fortement corrélée à la

lordose cervicale, ce qui confirmait le travail de Le Huec et al (17) sur la pente de C7 réalisé dans une population asymptomatique.

Smith et al (5) qui ont analysé une population de patients ostéotomisés, la corrélation entre la variation de cyphose thoracique et la variation de lordose cervicale était superposable à notre résultat ($R=0.339$ et $R=0.288$ respectivement) alors que la corrélation avec la pente de T1 était de 0.621. Dans notre étude, la corrélation de la lordose C2C7 avec la pente de C7 similaire à la pente de T1 était de 0.597, ce qui était un résultat similaire. Notre série a rapporté une moyenne de niveaux fusionnés de 9.44 (± 3.25 , [6-15]). Smith et al (5) rapportait une moyenne de niveaux arthrodésés de 12 (± 3.7) sans corrélation retrouvée avec la variation de lordose cervicale C2C7 ($R= 0.054$). Ce grand nombre de niveaux arthrodésés participait sans doute à la faible corrélation retrouvée avec la cyphose thoracique. En effet, un montage court s'arrêtant à la jonction thoraco-lombaire laissait un degré d'adaptation thoracique et cervical, un montage long ne permettait pas à la colonne thoracique de s'adapter. Ceci soulignait l'importance d'une restauration chirurgicale de cyphose thoracique optimale. Les patients arthrodésés jusqu'en T4 ne compensaient leur colonne cervicale qu'à partir de la variation de la pente de C7 imposée par l'arthrodèse. Les patients arthrodésés jusqu'en T12 pouvaient utiliser une compensation mécanique en lien avec la modification thoracique liée à la restauration de leur lordose lombaire et auront une capacité d'adaptation cervicale supplémentaire. Ceci était sans doute influencé par la qualité de la musculature thoracique chez les patients à montage court.

Nous pouvons donc conclure que dans les mécanismes de compensation, c'est de manière locorégionale que s'adaptait le segment cervical. La description d'un mécanisme global de compensation n'a pas pu être définie dans cette étude.

Dans notre étude, la pente crânienne a diminué en postopératoire et fut le seul critère à diminuer de façon significative. Ceci montrait que pour maintenir un regard horizontal après la restauration de lordose lombaire, le système crânial représenté par l'incidence crânienne, la version et la pente crânienne (17) s'est modifié en premier. Les patients de notre population n'ont pas utilisé le système cervical pour restaurer leur équilibre mais seulement le système crânial en diminuant leur pente crânienne. Nous pourrions donc supposer qu'avant la mise en

jeu de la lordose cervicale pour rééquilibrer le regard, le système crânial est d'abord actionné. La pente crânienne restait liée au système cervical ($R = -0.462$ entre la lordose cervicale et la pente crânienne) et ce dernier rentrait en jeu quand le système crânial était dépassé.

Nous pourrions donc supposer que dans notre série, après restauration de la lordose lombaire, les patients, pour rétablir le regard horizontal, avaient utilisé leur système crânial en diminuant leur pente crânienne. Dans leur état de déséquilibre sagittal initial, la compensation de leur équilibre s'était faite en une tendance à l'hyperlordose cervicale et en une augmentation de leur pente crânienne. Le premier système d'adaptation du regard horizontal à une perte de lordose lombaire est le système crânial, suivi secondairement du système cervical (Figure 4).

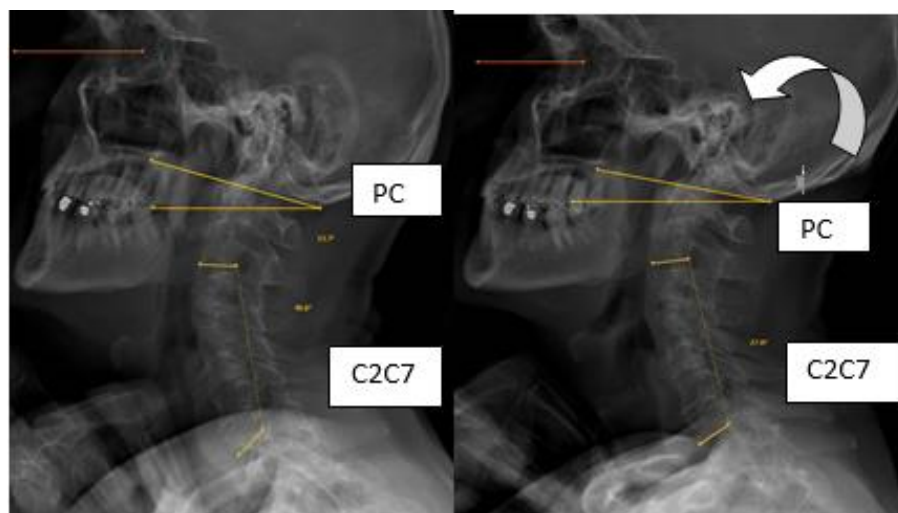


Figure 4 : Exemple d'un cas. EOS® centré sur le rachis cervical pré et post opératoire. Diminution de la pente crânienne pour maintien du regard horizontal.

La lordose C2C7 était corrélée modérément à la pente crânienne ($R = -0.462$) et très peu à l'incidence crânienne ($R = -0.128$), ceci confirmait que le système crânial était lié au système cervical mais aussi que le système crânial évoluait pour son propre compte. La variation de la pente crânienne était très fortement corrélée à la version crânienne ($R = -0.776$) et à l'incidence crânienne ($R = 0.448$), ceci validait la description du système crânial. Il possédait un degré d'indépendance vis-à-vis du système cervical et une capacité d'adaptation propre(17).

L'angle OC2 était défini entre la ligne de Mc Gregor (16) et le plateau inférieur de C2 et permettait l'analyse de la jonction occipitocervicale. Kuntz et al (35) dans son étude sur les arthrodèses occipitocervicales, soulignaient l'importance d'une restauration d'un angle OC2 entre 0 et 28°. En effet, les patients arthrodésés avec un angle OC2 hyperlordotique développaient en post opératoire une cyphose cervicale ou une déformation en col de cygne, et ceux possédant un angle OC2 cyphosé étaient associés au développement d'une subluxation sous-jacente. Nous comprenons donc toute l'importance de connaître la valeur normale de cet angle afin de planifier au mieux ces chirurgies cervicales. Dans notre série, nous retrouvions un angle OC2 strictement stable à 15.5° (± 9) avant et après correction lombaire, résultat comparable à celui mesuré dans la population asymptomatique de Le Huec et al (17) (15.81° ± 7.15). Ce résultat validait la constance de cet angle et confortait les résultats des autres auteurs (35,36) quant à la nécessité de rétablir un angle OC2 entre 0 et 30° dans la chirurgie d'arthrodèse occipitocervicale.

Hilibrand et al (37) ont recueilli les paramètres sagittaux en pré et post opératoire d'adolescents opérés de scoliose idiopathique par fusion et instrumentation postérieure. Ils ont noté déjà en pré opératoire une différence de lordose cervicale en fonction de la cyphose thoracique, les patients avec une hypercyphose thoracique avaient un rachis cervical plus hyperlordosé et inversement ($R = -0,5$) avec les mêmes résultats post opératoires (la réduction de la cyphose thoracique engendrait une perte de lordose cervicale). Par contre, les patients avec une petite cyphose thoracique ne modifiaient pas leur rachis cervical de façon significative (Figure 5). L'équilibre du rachis cervical était donc atteint dans la scoliose idiopathique et ne se modifiait que pour de grandes variations thoraciques.

Hwang et al (38) rejoignaient les résultats de Hilibrand en précisant la nécessité d'une précaution chirurgicale dans la réduction des cyphoses thoraciques des scoliotiques pouvant engendrer des cyphoses cervicales.

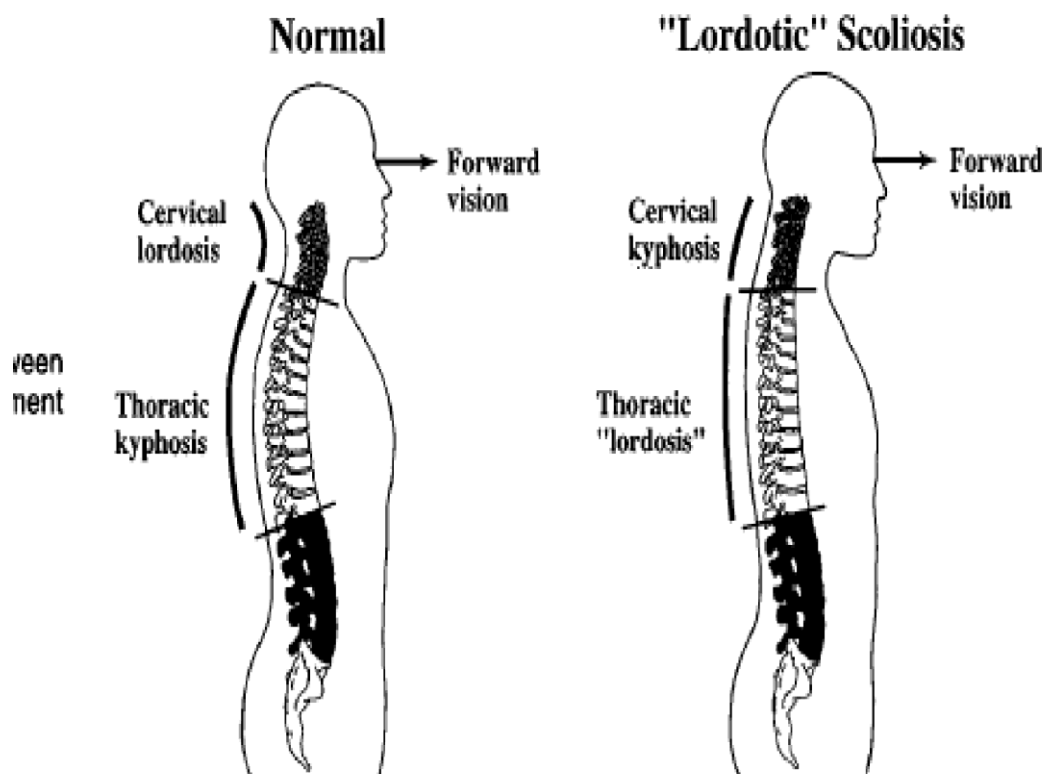


Figure 5 : Modifications de la lordose cervicale et de la cyphose thoracique selon Hilibrand.

Roussouly et al (39) ne trouvaient pas de différence post opératoire entre la lordose cervicale et la cyphose thoracique de ses adolescents. Ils rejoignent Hilibrand (37) en trouvant une réduction de la cyphose thoracique et une perte de lordose cervicale dans son analyse en sous-groupes de patients normo ou hypercyphotiques.

Canavese et al (40), Yu et al (41) et Ilharreborde et al (42) retrouvaient tous les mêmes résultats et s'accordaient à dire que la diminution de la cyphose thoracique engendrait une perte de lordose cervicale tout comme dans notre série de patients ostéotomisés lombaires.

Enfin, des études récentes ont été menées sur les conséquences cliniques et altération de la qualité de vie des patients atteints de déformations cervicales (12,43,44). La rétrospectivité de notre étude ne nous a pas permis de recueillir en pré opératoire une échelle de score d'évaluation clinique de la cervicalgie. Une étude complémentaire prospective recueillant les scores d'incapacité cervicale avant correction lombaire par ostéotomie transpédiculaire serait

nécessaire afin d'évaluer l'amélioration de la symptomatologie cervicale post opératoire en lien avec la restauration de l'équilibre de la colonne cervicale.

CONCLUSION

Les phénomènes d'adaptation de la colonne vertébrale en lien aux déformations sagittales lombaires et à la dégénérescence discale sont réputés complexes.

La statique du rachis cervical, dernier pilier de la statique rachidienne semblait être liée à la cyphose thoracique. Les mécanismes de compensation de la colonne cervicale mettaient en jeu un processus loco-régional lié à la pente de C7. La perte de lordose lombaire entraînait un déséquilibre antérieur mesuré grâce au C7SVA et entraînait une hypocyphose thoracique compensatrice.

Afin de préserver un état d'équilibre optimal, la colonne cervicale doit elle aussi s'adapter via l'hyperlordose de ses segments mais elle ne rentrait en jeu qu'à partir d'un déséquilibre antérieur sévère.

Le système crânial était un système clé dans le maintien d'un regard horizontal et semblait être mis en jeu avant le système cervical dans la compensation d'une déformation sagittale lombaire.

Les modifications régionales de la colonne vertébrale dans la pathologie déformative sagittale ne permettaient pas pour autant d'expliquer sa variation globale au vue de l'absence de corrélation retrouvée avec la lordose lombaire restituée après chirurgie.

Comprendre les mécanismes de compensation de la colonne cervicale chez les patients atteints de déformation thoracolombaire était donc indispensable pour prévenir une symptomatologie cervicale secondaire potentielle.

BIBLIOGRAPHIE

1. Klineberg E, Schwab F, Ames C, Hostin R, Bess S, Smith JS, et al. Acute reciprocal changes distant from the site of spinal osteotomies affect global postoperative alignment. *Adv Orthop*. 2011;2011:415946.
2. Lafage V, Schwab F, Vira S, Patel A, Ungar B, Farcy J-P. Spino-pelvic parameters after surgery can be predicted: a preliminary formula and validation of standing alignment. *Spine*. juin 2011;36(13):1037-45.
3. Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey P-M, Ondra S, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine*. 15 juin 2008;33(14):1572-8.
4. Lafage V, Ames C, Schwab F, Klineberg E, Akbarnia B, Smith J, et al. Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy: a comprehensive radiographic analysis. *Spine*. 1 févr 2012;37(3):E180-7.
5. Smith JS, Shaffrey CI, Lafage V, Blondel B, Schwab F, Hostin R, et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy. *J Neurosurg Spine*. oct 2012;17(4):300-7.
6. Ha Y, Schwab F, Lafage V, Mundis G, Shaffrey C, Smith J, et al. Reciprocal changes in cervical spine alignment after corrective thoracolumbar deformity surgery. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. mars 2014;23(3):552-9.
7. Laouissat F, Obeid I, Bourghli A, Pointillart V, Gille O, Vital J-M. La restauration de la lordose lombaire après ostéotomie transpédiculaire de soustraction modifie-t-elle la statique du rachis cervical. *Rev Chir Orthopédique Traumatol*. nov 2013;99(7, Supplement):S306.
8. Blondel B, Schwab F, Bess S, Ames C, Mummaneni PV, Hart R, et al. Posterior global malalignment after osteotomy for sagittal plane deformity: it happens and here is why. *Spine*. 1 avr 2013;38(7):E394-401.

9. Schwab FJ, Patel A, Shaffrey CI, Smith JS, Farcy J-P, Boachie-Adjei O, et al. Sagittal realignment failures following pedicle subtraction osteotomy surgery: are we doing enough?: Clinical article. *J Neurosurg Spine*. juin 2012;16(6):539-46.
10. Moal B, Bronsard N, Kebaish K, Oheneba B-A, Obeid I, Schwab F, et al. Chirurgie de révision après une Ostéotomie TransPédiculaire (OTP) pour 335 adultes atteints de déformation rachidiennes. *Rev Chir Orthopédique Traumatol*. nov 2013;99(7):S306-7.
11. Villavicencio AT, Babuska JM, Ashton A, Busch E, Roeca C, Nelson EL, et al. Prospective, randomized, double-blind clinical study evaluating the correlation of clinical outcomes and cervical sagittal alignment. *Neurosurgery*. mai 2011;68(5):1309-16; discussion 1316.
12. Tang JAB, Scheer JKB, Smith JS, Deviren V, Bess S, Hart RA, et al. The Impact of Standing Regional Cervical Sagittal Alignment on Outcomes in Posterior Cervical Fusion Surgery. [Miscellaneous Article]. *Neurosurg Sept 2012*. 2012;71(3):662-9.
13. Hyun S-J, Kim YJ, Rhim S-C. Spinal pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients. *World J Clin Cases WJCC*. 16 nov 2013;1(8):242-8.
14. Morvan G, Mathieu P, Vuillemin V, Guerini H, Bossard P, Zeitoun F, et al. Standardized way for imaging of the sagittal spinal balance. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. sept 2011;20 Suppl 5:602-8.
15. Cobb J. Outlines for the study of scoliosis. *The American Academy of orthopedic Surgeons*
16. McGREGGER M. The significance of certain measurements of the skull in the diagnosis of basilar impression. *Br J Radiol*. avr 1948;21(244):171-81.
17. Le Huec JC. L'équilibre du rachis cervical sur une population asymptomatique. [cité 7 août 2014]. academie-chirurgie.fr/ememoires/005_2013_12_2_018x024.pdf
18. Barrey C, Jund J, Nosedà O, Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. sept 2007;16(9):1459-67.

19. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine*. 1 févr 2005;30(3):346-53.
20. Gille O, Champain N, Benchikh-El-Fegoun A, Vital J-M, Skalli W. Reliability of 3D reconstruction of the spine of mild scoliotic patients. *Spine*. 1 mars 2007;32(5):568-73.
21. Le Huec JC, Leijssen P, Duarte M, Aunoble S. Thoracolumbar imbalance analysis for osteotomy planification using a new method: FBI technique. *Eur Spine J*. sept 2011;20(Suppl 5):669-80.
22. Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. *Eur Spine J*. sept 2011;20(Suppl 5):578-85.
23. Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A Barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng*. 1992;20(4):451-62.
24. Legaye J, Duval-Beaupere G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J*. mai 1998;7(2):99-103.
25. Scheer JK, Tang JA, Smith JS, Acosta FL Jr, Protopsaltis TS, Blondel B, et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine*. août 2013;19(2):141-59.
26. Kim K-T, Lee S-H, Suk K-S, Lee J-H, Jeong B-O. Outcome of Pedicle Subtraction Osteotomies for Fixed Sagittal Imbalance of Multiple Etiologies: A Retrospective Review of 140 Patients. [Miscellaneous Article]. *Spine* Sept 01 2012. 2012;37(19):1667-75.
27. Kim K-T, Suk K-S, Cho Y-J, Hong G-P, Park B-J. Clinical Outcome Results of Pedicle Subtraction Osteotomy in Ankylosing Spondylitis With Kyphotic Deformity. [Miscellaneous Article]. *Spine* March 15 2002. 2002;27(6):612-8.

28. Le Huec J-C, Aunoble S. Pedicle subtraction osteotomy for sagittal imbalance. *Eur Spine J.* sept 2012;21(9):1896-7.
29. Johnson GMDP. The Correlation Between Surface Measurement of Head and Neck Posture and the Anatomic Position of the Upper Cervical Vertebrae. [Miscellaneous Article]. *Spine* April 15 1998. 1998;23(8):921-7.
30. Cooke MS, Wei SH. Intersex differences in craniocervical morphology and posture in southern Chinese and British Caucasians. *Am J Phys Anthropol.* sept 1988;77(1):43-51.
31. Fjellvang H, Solow B. Craniocervical postural relations and craniofacial morphology in 30 blind subjects. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* oct 1986;90(4):327-34.
32. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand.* nov 1971;29(5):591-607.
33. Ames CP, Blondel B, Scheer JKB, Schwab FJ, Le Huec J-C, Massicotte EM, et al. Cervical Radiographical Alignment: Comprehensive Assessment Techniques and Potential Importance in Cervical Myelopathy. [Miscellaneous Article]. *Spine* Oct 15 2013
34. Lee S-H, Kim K-T, Seo E-M, Suk K-S, Kwack Y-H, Son E-S. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. *J Spinal Disord Tech.* avr 2012;25(2):E41-7.
35. Kuntz C, Levin LS, Ondra SL, Shaffrey CI, Morgan CJ. Neutral upright sagittal spinal alignment from the occiput to the pelvis in asymptomatic adults: a review and resynthesis of the literature. *J Neurosurg Spine.* 1 févr 2007;6(2):104-12.
36. Matsunaga S, Onishi T, Sakou T. Significance of occipitoaxial angle in subaxial lesion after occipitocervical fusion. *Spine.* 15 janv 2001;26(2):161-5.

37. Hilibrand AS, Tannenbaum DA, Graziano GP, Loder RT, Hensinger RN. The Sagittal Alignment of the Cervical Spine in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Pediatr Orthop* Sept. 1995;15(5):627-32.
38. Hwang SW, Samdani AF, Tantorski M, Cahill P, Nydick J, Fine A, et al. Cervical sagittal plane decompensation after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: an effect imparted by postoperative thoracic hypokyphosis: Clinical article. *J Neurosurg Spine*. nov 2011;15(5):491-6.
39. Pierre Roussouly, Hubert Labelle, Jihane Rouissi, Arnaud Bodin. Pre- and post-operative sagittal balance in idiopathic scoliosis: a. *Eur Spine J*.
40. Canavese F, Turcot K, De Rosa V, de Coulon G, Kaelin A. Cervical spine sagittal alignment variations following posterior spinal fusion and instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. juill 2011;20(7):1141-8.
41. Yu M, Silvestre C, Mouton T, Rachkidi R, Zeng L, Roussouly P. Analysis of the cervical spine sagittal alignment in young idiopathic scoliosis: a morphological classification of 120 cases. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. nov 2013;22(11):2372-81.
42. Ilharreborde B, Vidal C, Skalli W, Mazda K. Sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis treated by posteromedial translation. *Eur Spine J*. févr 2013;22(2):330-7.
43. Santaguida PL, Keshavarz H, Carlesso LC, Lomotan M, Gross A, MacDermid JC, et al. A Description of the Methodology Used in an Overview of Reviews to Evaluate Evidence on the Treatment, Harms, Diagnosis/Classification, Prognosis and Outcomes Used in the Management of Neck Pain. *Open Orthop J*. 20 sept 2013;7:461-72.
44. GORE DR, SEPIC SB, GARDNER GM, MURRAY MP. Neck Pain: A Long-term Follow-up of 205 Patients. *Spine* JanuaryFebruary 1987. 1987;12(1):1-5.

45. Vital JM, Senegas J. Anatomical bases of the study of the constraints to which the cervical spine is subject in the cervical plane. A study of the centre of gravity of the head. *Surgical Radiology Anatomy* 1986 ;8 :169-173
46. Hsung TC, Lo J, Li TS, Cheung LK. Recording of natural head position using Stereophotogrammetry : A new technique and reliability study. *J Oral Maxillo Surg.* 2014 Apr 2.

PARTIE 2 - Variations des paramètres de l'équilibre sagittal du rachis cervical par imagerie EOS® après restitution de la lordose lombaire par ostéotomie transpédiculaire :

Série de 59 patients comparée à une population asymptomatique

RESUME

Objectif : cette étude avait pour but de comparer l'équilibre sagittal du rachis cervical chez des patients atteints de déséquilibre sagittal antérieur et opérés par ostéotomie transpédiculaire à celui d'une population asymptomatique et ainsi valider les mécanismes de compensation crâniocervicale entre ces deux populations.

Méthodes : cette étude radiologique était monocentrique, rétrospective et comparative. 79 patients ont bénéficié d'une correction rachidienne par ostéotomie transpédiculaire entre Janvier 2008 et Décembre 2013 au CHU de Bordeaux. Les critères d'inclusion étaient la réalisation en pré et post opératoire d'une imagerie EOS® et un C7SVA >5cm. Ont été exclus les patients dont le rachis cervical n'étaient pas visible sur l'imagerie EOS®. La population des asymptomatiques était composée de sujets sains volontaires pour réaliser une imagerie EOS®, recrutés dans le cadre d'un protocole de recherche clinique de Juillet 2011 à Juillet 2012 au sein du même centre. Les critères d'inclusion étaient un EVA lombaire <2/10 et un score d'OSWESTRY <20%. L'étude comportait l'analyse des paramètres pelviens, lombaires, thoraciques, cervicaux et crâniens.

Résultats : 59 patients ont été inclus dans la population des ostéotomisés lombaires et 106 dans la population asymptomatique. La lordose cervicale C2C7, C1C7, la pente de C7, la pente crânienne et le tilt de C2 étaient significativement plus élevés avant la correction chirurgicale dans le groupe des ostéotomisés par rapport au groupe asymptomatique (22.7° vs 5.5° p=0.0001, 50.6° vs 34° p=0.0001, 32.3° vs 20.1° p=0.001, 19.7° vs 5.4° p=0.0001, 15.6° vs 10.4° p=0.001). En post opératoire, la lordose C2C7 a diminué mais est restée significativement différente de celle des asymptomatiques (21.5° vs 5.5° p=0.0001). La corrélation entre la lordose C2C7 et la pente de C7 était forte dans les deux groupes (R=0.597 pour les ostéotomisés et 0.77 pour les asymptomatiques) ainsi que celle retrouvée avec le SCA (R=-0.867 pour les

ostéotomisés et $R=-0.863$ pour les asymptomatiques). La corrélation entre la lordose C2C7 et la cyphose thoracique était de 0.288 pour les ostéotomisés et de 0.542 pour les asymptomatiques. Il n'a pas été retrouvé de corrélation entre la lordose C2C7 et la lordose lombaire dans les deux groupes. Une forte corrélation a été retrouvée dans les deux populations entre la pente crânienne et la version crânienne ($R=-0.476$ pour les ostéotomisés et $R=-0.451$ pour les asymptomatiques) et entre la pente crânienne et l'incidence crânienne ($R= 0.448$ pour les ostéotomisés et $R= 0.451$ pour les asymptomatiques).

Conclusion : Les patients atteints de déséquilibre sagittal antérieur présentaient une hyperlordose cervicale en pré opératoire comparée aux asymptomatiques. Cette hyperlordose cervicale était un mécanisme de compensation pour maintenir le regard horizontal en réponse à l'hypocyphose thoracique secondaire à la perte de lordose lombaire dans le groupe des patients avec déséquilibre sagittal. Les corrélations du système crâniocervical comprenant la pente de C7 et l'angle spinocrânial se distribuaient de la même manière dans les deux populations. L'angle spinocrânial était un élément intrinsèque au rachis cervical facilement mesurable et une valeur inférieure à $83^{\circ}+/-9^{\circ}$ reflétait une hyperlordose cervicale.

INTRODUCTION

La perte de lordose lombaire est à l'origine de nombreuses pathologies rachidiennes. Les différents segments de la colonne mettent en jeu des phénomènes de compensation afin de maintenir un équilibre économique.

L'hypocyphose thoracique et la rétroversion du bassin sont deux mécanismes permettant la compensation d'une perte de lordose lombaire et le maintien d'un regard horizontal. Les variations de lordose cervicale servent à maintenir le centre de gravité au-dessus de la tête.

Des valeurs de référence sont essentielles pour évaluer les conséquences des modifications engendrées par la dégénérescence discale. L'équilibre sagittal de la colonne vertébrale dans une population asymptomatique a été décrit(1–7). Nombreuses sont les études ayant analysées la colonne lombaire, thoracique et cervicale et déterminer leur lien étroit(8–14).

Les régions de la colonne ne sont pas indépendantes les unes des autres mais les corrélations sont variables et la chaîne de corrélation entre le pelvis et la colonne cervicale reste contradictoire dans la littérature.

Les patients avec déséquilibre sagittal global développent des mécanismes de compensation douloureux pouvant affecter la colonne cervicale incluant l'hyperlordose. Des études ont analysées ces mécanismes de compensation chez les patients présentant un déséquilibre sagittal (21–25).

A notre connaissance, aucune étude n'a comparé les paramètres cervicaux de ces patients à ceux d'une population asymptomatique au sein d'une même étude. Nous avons tout d'abord comparé l'équilibre du rachis cervical d'une population de pathologiques à une population asymptomatique avant correction rachidienne. Secondairement, nous avons analysé et comparé ces paramètres après restauration de la lordose lombaire par ostéotomie transpédiculaire permettant ainsi d'évaluer le potentiel de restauration d'un équilibre cervical plus physiologique après chirurgie lombaire.

I. MATERIELS ET METHODES

1. Description des deux populations

Cette étude était radiologique, comparative, rétrospective et contrôlée. Elle était unicentrique et a été réalisée au sein du CHU de Bordeaux. La population des déséquilibrés sagittaux a inclus les patients ayant subi une ostéotomie transpédiculaire lombaire pour correction d'un déséquilibre sagittal entre Janvier 2008 et Décembre 2013 au sein du CHU de Bordeaux.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : patients déséquilibrés sagittaux définis par un C7SVA > 5 cm, distance entre la verticale abaissée de C7 et le coin postérieur du plateau sacré (1-3), patients ayant réalisé en pré et en post opératoire une imagerie EOS® visualisant le rachis cervical incluant l'occiput et T1. Ont été exclus les patients avec antécédents de chirurgie rachidienne cervicale, les patients atteints de scoliose thoracolombaire et les patients pour lesquels lors de la réalisation de l'EOS®, le déséquilibre antérieur majeur empêchait la totalité du rachis cervical d'être radiographié de profil car celui-ci sortait du champ de captation des rayons X de la machine.

La population asymptomatique était composée de volontaires ayant réalisé une imagerie EOS® entre Juillet 2011 et Juillet 2012 dans le cadre du programme hospitalier de recherche clinique (EOS® SPINE DATABASE) dont le promoteur était le CHU de Bordeaux. Le caractère asymptomatique était défini par un score EVA lombaire <2 et un score d'OSWESTRY < 20%. Un consentement éclairé a été recueilli pour chaque volontaire sain.

2. Analyse radiologique

Tous les patients des deux populations ont réalisé une imagerie EOS® dans une position debout standardisée décrite selon Morvan(26). Les mesures des paramètres rachidiens ont été réalisées à partir du logiciel SterEOS en 2D et en 3D par le même opérateur indépendant (Figure 1).



Figure 1 : A. EOS® chez un patient asymptomatique B. EOS® chez un patient ayant subi une OTA

Les paramètres pelviens, lombaires, thoraciques, cervicaux et crâniens suivants ont été mesurés dans les deux populations.

Pour la population des ostéotomisés lombaires, les mesures ont été réalisées en pré et en post opératoire : incidence pelvienne, version pelvienne, pente sacrée, lordose lombaire L1S1, cyphose thoracique T1T12, lordose cervicale C2C7, C1C7, C1C2, l'angle Occiput-C2, le SCA, pente de C7, le tilt de C2 et de la selle turcique, incidence crânienne, version crânienne, et pente crânienne (Table 1). Les mesures lombaires, thoraciques et cervicales ont été effectuées par la méthode de Cobb(27). La ligne de Mc Gregor a été utilisée comme repère de la base du crâne(28–32). Nous avons utilisé les angles d'incidence crânienne, de version crânienne et de pente crânienne ainsi que l'angle spinocrânial (Figure 2), le tilt de C2 et le tilt de la selle turcique décrits par Le Huec et al(33). La jonction occipitocervicale était analysée par l'angle OC2 situé entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2 (Figure 2).

Paramètres		Définitions
Pelviens	Incidence pelvienne	Angle entre la ligne reliant le centre des têtes fémorales au milieu du plateau sacré et la perpendiculaire au plateau sacré
	Version pelvienne	Angle entre la ligne reliant le milieu du plateau sacré au centre des têtes fémorales et la verticale
	Pente sacrée	Angle entre la direction du plateau sacré et l'horizontale
Lombaire	Lordose L1S1	Angle entre le plateau supérieur de L1 et le plateau sacré
Thoracique	Cyphose T1T12	Angle entre le plateau supérieur de T1 et le plateau inférieur de T12
Cervicaux	Lordose C2C7	Angle entre le plateau inférieur de C2 et le plateau inférieur de C7
	Lordose C1C7	Angle entre la direction de C1 et le plateau inférieur de C7
	Lordose C1C2	Angle entre la direction de C1 et le plateau inférieur de C2
	Pente de C7	Angle entre le plateau inférieur de C7 et l'horizontale
	Angle Occiput-C2	Angle entre la ligne de Mc Gregor et le plateau inférieur de C2
	Angle spinocrânial	Angle entre la ligne reliant la selle turcique et le milieu du plateau inférieur de C7 avec la direction du plateau inférieur de C7
	Tilt de C2	Angle entre la verticale passant par le centre de C7 et la ligne passant par le centre du plateau inférieur de C2 et le centre de C7
	Tilt de la selle turcique	Angle entre la verticale passant par le milieu de C7 et la ligne reliant la selle turcique au centre de C7
Crâniens	Ligne de Mc Gregor	Ligne reliant le palais osseux à la partie la plus basse de l'occiput
	Incidence crânienne	Angle entre la perpendiculaire à la ligne de Mc Gregor et la ligne qui unit le milieu de la ligne de Mc Gregor à la selle turcique
	Version crânienne	Angle entre la verticale et la ligne qui unit le centre de la ligne de Mc Gregor et la selle turcique
	Pente crânienne	Angle entre l'horizontale et la ligne de Mc Gregor
Globaux	C7 SVA	Distance entre la verticale passant par le milieu du plateau inférieur de C7 et le coin postérieur du plateau sacré
	Full Balance Integrated	Angle de translation de C7 + angle d'obliquité fémorale + angle de compensation pelvienne

Table 1 : Description des paramètres radiologiques mesurés sur SterEos, Imagine, Paris, France.

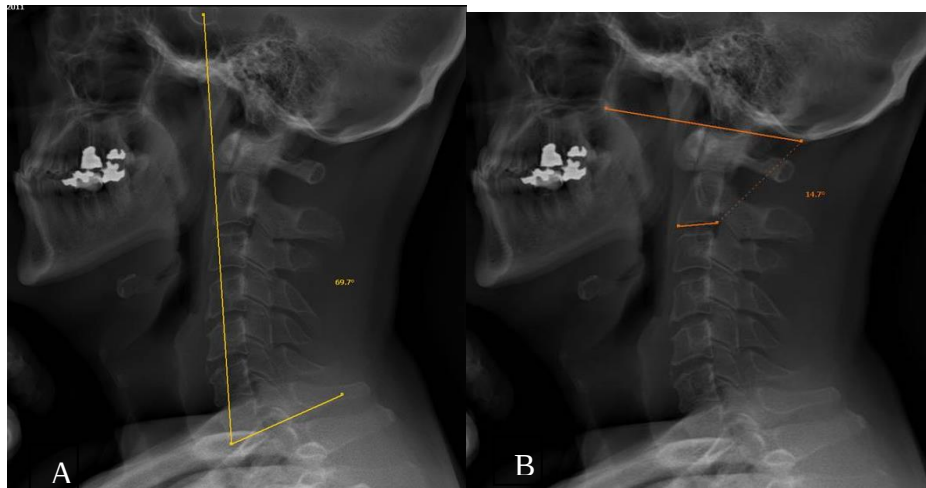


Figure 2 : A. Angle spinocrânial B. Angle OC2

3. Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées par un bio statisticien. Les variables étaient quantitatives, leurs moyennes, écart-types et étendues ont été présentées et ont été recueillies dans une analyse descriptive.

Pour les analyses comparatives, les corrélations étaient réalisées lorsqu'une association symétrique entre deux variables était recherchée.

Pour la population des ostéotomisés, les corrélations ont été réalisées sur la différence des données pré et post opératoire des différentes variables (Δ). Une corrélation s'avérait forte entre 0.5 et 1, un signe négatif signifiait une corrélation inversement proportionnelle. Un seuil de significativité de 5% permettait de déterminer les associations et les différences significatives. Le logiciel utilisé pour cette analyse était XL-STAT 2012.

II. RESULTATS

Caractéristiques des deux populations :

106 patients asymptomatiques ont été analysés dont 59 hommes et 47 femmes. L'âge moyen était de 38.03 ans (+/-15.75 [18-76]). L'EVA moyen était de 0,09 [0-2]. Le score d'OSWESTRY moyen était de 1% (+/-3.06, [0-16]). L'incidence pelvienne moyenne était de 51.3° (+/-10.42).

59 patients ont été inclus dans la population des ostéotomisés lombaires dont 23 hommes et 36 femmes. L'âge moyen était de 61.1 ans (+/- 11.6, [29-83]). Le recul moyen des imageries EOS® post opératoire était de 13,8 mois (+/-8.6). L'incidence pelvienne était en moyenne de 59° (+/-12.8).

1. Paramètres pelviens et thoracolumbaires :

La lordose lombaire, la version pelvienne et le C7SVA étaient différents significativement entre les deux populations. Les patients asymptomatiques avaient tous un C7SVA inférieur à 5cm et les pathologiques avaient un C7SVA pré-op à 9,11 (Table 2).

	Asymptomatiques	Pre op	p
IP(°)	51,3±10,42	59±12,8	>0,05
VP(°)	12,5±6,91	28,9±10,6	0,001
PS(°)	38,7±7,3	29,8±10,5	0,001
L1S1(°)	56,8±8,9	28,9±11,6	0,0001
T1T12(°)	41,8±10,4	30±11,4	0,001
C7-SVA(cm)	1,91±2,4	9,11±4,9	0,0001

Table 2 : Comparaison des paramètres thoraco-lombaires et pelviens en pré opératoire et chez les asymptomatiques.

2. Paramètres cervicaux et crâniens :

La lordose cervicale C2C7 pré opératoire était supérieure chez les patients déséquilibrés sagittaux par rapport au groupe témoin et ceci de façon significative.

L'angle occiputC2 est resté stable dans les deux populations : 15,54 vs 15,6.

L'angle SCA était plus faible dans la population des ostéotomisés de manière significative.

La pente crânienne, la lordose C1C7, la pente de C7 et le tilt de C2 étaient plus élevés en pré opératoire de façon significative.

La version crânienne était plus faible.

Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre l'incidence crânienne, le tilt de la selle turcique et la lordose C1C2 entre les deux groupes (Table 3).

Variable	Pré opératoire	Asymptomatique	p
IC(°)	26.107	27,32	0,1
PC(°)	19.720	5,4	0,0001
VC(°)	10.514	25,1	0,0001
OC2(°)	15.541	15,6	0,82
C1-C7(°)	50.651	34,03	0,0001
C1-C2(°)	28.268	29,2	0,45
C2-C7(°)	22.768	5,5	0,0001
Pente de C7(°)	32.325	20,1	0,0001
Tilt C2(°)	15.676	10,48	0,001
Tilt ST(°)	14.390	12,84	0,22
SCA(°)	71,315	83,04	0,0001

Table 3 : Comparaison des paramètres cervicaux et crâniens en pré opératoire et chez les asymptomatiques.

En post opératoire, nous avons observé une diminution de la lordose C2C7 mais elle reste significativement différente de celle des asymptomatiques.

L'angle occiputC2 est resté stable en post opératoire, et était comparable à celui des asymptomatiques et était d'une valeur de 15°.

L'incidence crânienne a diminué en post opératoire et était significativement plus faible que celle des asymptomatiques.

La pente crânienne, la lordose C1C7, la pente de C7 et le tilt de C2 dans la population post opératoire étaient supérieurs de manière significative à ceux de la population

asymptomatique.

La version crânienne et l'angle spinocrânial étaient inférieurs significativement.

Il n'a pas été montré de différence significative entre la lordose C1C2 et le tilt de la selle turcique (Table 4).

Variable	Post opératoire	Asymptomatique	p
IC(°)	24.822	27,32	0,002
PC(°)	15.671	5,4	0,0001
VC(°)	12.159	25,1	0,0001
OC2(°)	15.559	15,6	0,82
C1-C7(°)	48.881	34,03	0,0001
C1-C2(°)	27.920	29,2	0,31
C2-C7(°)	21.542	5,5	0,0001
Pente de C7(°)	30.508	20,1	0,0001
Tilt C2(°)	14.985	10,48	0,008
Tilt ST(°)	13.759	12,84	0,51
SCA(°)	72,312	83,04	0,0001

Table 4 : Comparaison des paramètres cervicaux et crâniens en post opératoire et chez les asymptomatiques.

Nous avons analysé les corrélations existant entre les différents paramètres rachidiens dans chacune des populations. Nous avons évalué la corrélation de la lordose C2C7 avec tous les autres paramètres ainsi que les corrélations de la pente crânienne dans chacune des deux populations.

L'analyse des corrélations dans ces deux populations a permis de mettre en évidence les liens étroits entre les variables et ainsi de confirmer des mécanismes de compensation entre les différents segments de la colonne.

Nous avons retrouvé une forte corrélation entre la lordose C2C7 et la pente de C7 dans la population des ostéotomisés et dans la population des asymptomatiques ($R= 0.597$ et $R=0.77$, respectivement) (Figure 3) ainsi qu'avec l'angle spinocrânial ($R= -0.867$ et $R= -0.863$, respectivement) (Figure 4).

Nous avons observé une corrélation entre la lordose C2C7 et la cyphose thoracique plus

élevée dans le groupe asymptomatique ($R=0.542$ contre $R=0.288$) (Figure 4).

La corrélation avec le C7SVA était modérée dans les deux groupes ($R= 0.31$ pour les ostéotomisés et $R=0.22$ pour les asymptomatiques).

Il n'a pas été retrouvé de corrélation avec la lordose lombaire dans les deux populations.

La lordose lombaire était faiblement corrélée à la lordose cervicale dans la population des ostéotomisés et n'était pas retrouvée chez les asymptomatiques ($R= 0.265$ et $R= -0.017$ respectivement).

Concernant la pente crânienne, une forte corrélation a été retrouvée dans les deux populations avec la version crânienne ($R=-0.476$ pour les ostéotomisés et $R=0.451$ pour les asymptomatiques) et avec l'incidence crânienne ($R= 0.448$ pour les ostéotomisés et $R= 0.451$ pour les asymptomatiques) (Table 5).

	$\Delta C2C7$ OTP	C2C7 Asympto	ΔPC OTP	PC Asympto
Age	-0,055	0,22	0,002	0,166
C1C7	0,857	0,832	-0,526	0,125
C1C2	-0,172	-0,415	0,1	0,186
C2C7	1	1	-0,462	-0,33
Pente de C7	0,597	0,77	0,064	0,081
OC2	0,013	-0,532	-0,1	-0,014
SCA	-0,867	-0,863	0,559	-0,05
Tilt selle turcique	-0,322	-0,265	0,167	0,013
IC	-0,128	0,002	0,448	0,451
PC	-0,462	0,011	1	1
VC	0,121	-0,186	-0,476	-0,423
L1S1	0,265	-0,017	-0,08	-0,001
T1T12	-0,288	-0,542	-0,145	-0,06
C7SVA	0,31	0,22	0,122	0,075
PS	-0,105	-0,193	0,115	0,09
VP	0,265	0,013	-0,222	0,08

Table 5 : Corrélation de la lordose C2C7 et de la pente crânienne avec les autres paramètres dans les deux populations (OTP = population ostéotomisés).

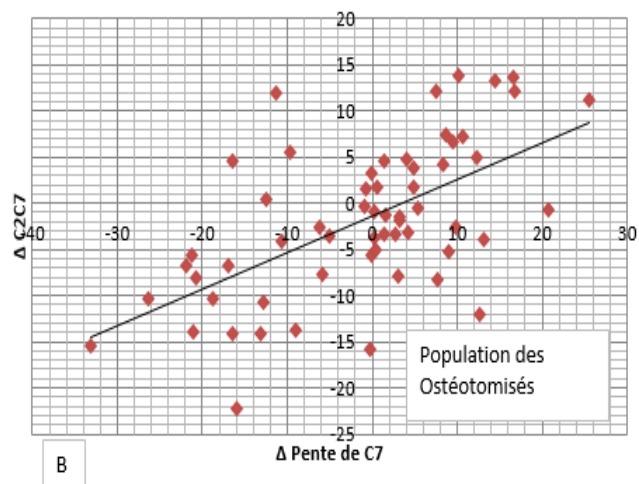
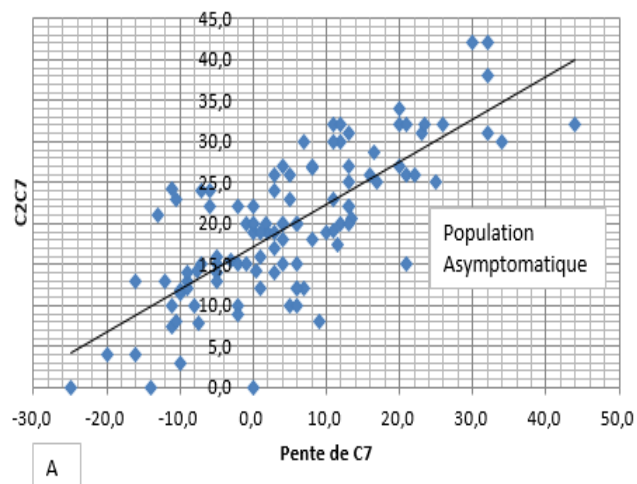


Figure 3 : Corrélation entre la lordose C2C7 et la pente de C7. (A) Population asymptotique $R=0.77$. (B) Population des ostéotomisés $R=0.597$.

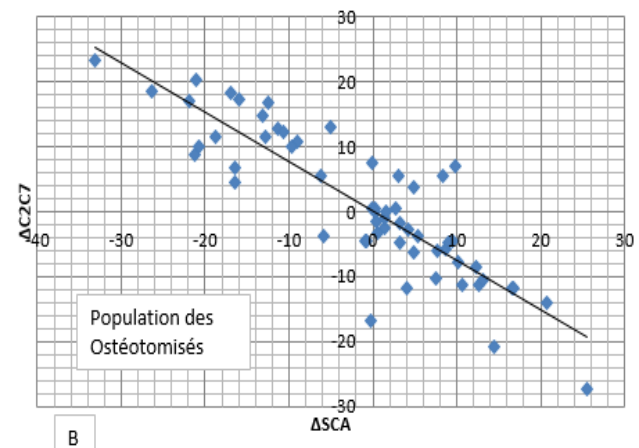
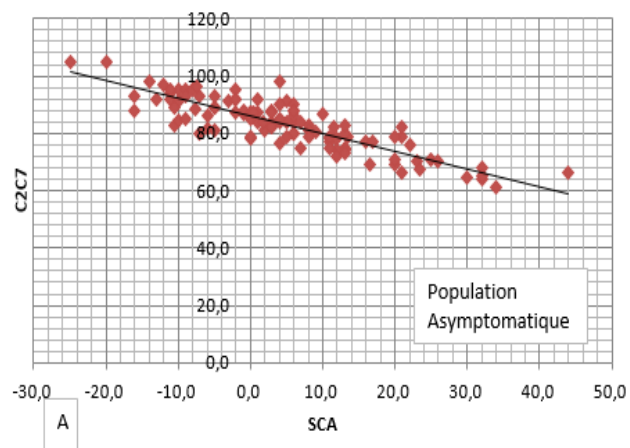


Figure 3 : Corrélation entre la lordose C2C7 et le SCA. (A) Population asymptotique $R=-0.863$. (B) Population des ostéotomisés $R=-0.867$.

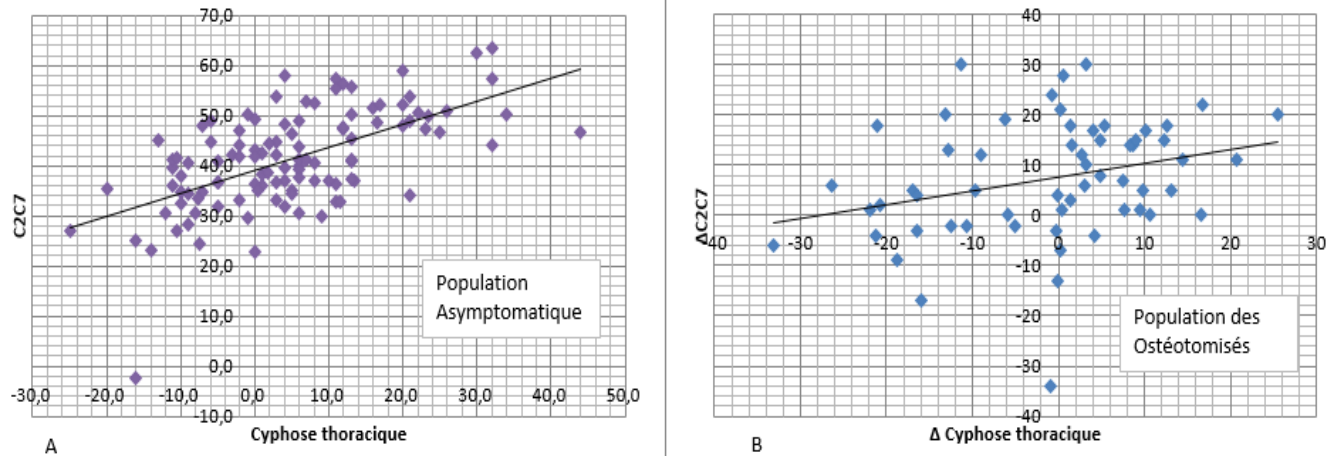


Figure 4 : Corrélation entre la lordose C2C7 et la cyphose thoracique. (A) Population asymptotique $R = -0.542$. (B) Population des ostéotomisés $R = -0.288$.

III. DISCUSSION

1. Analyse et critique de l'étude

Les études s'intéressant à l'équilibre sagittal cervical chez les patients traités pour pathologie lombaire type cyphoscoliose sont nombreuses(21,22,25,34).

La comparaison des mécanismes de compensation cervicale chez les patients ostéotomisés lombaires par rapport à une population asymptotique fait l'originalité de ce travail.

Cette étude monocentrique a permis de recueillir de façon très fiable en 3D les paramètres rachidiens de deux populations.

Beaucoup d'études se sont penchées sur les corrélations existant entre les paramètres lombopelviens et les paramètres cervicaux chez les patients asymptotiques(1,4,5,16,18,35) mais aucune n'a démontré le caractère asymptotique de leur population par l'utilisation d'au moins deux critères cliniques.

Le caractère asymptotique de notre population était validé par deux critères d'inclusion forts : un score d'OSWESTRY à 1% et un EVA lombaire à 0.09.

Notre population asymptomatique était composée de 106 patients. Gelb et al(1) rapportent 100 asymptomatiques, Ames et al(15) 55, Lee et al(8) 77, Hardacker et al(18) 100, Gore et al(16) 153 et Nojiri et al(7) 313, ce qui est similaire à notre série.

Notre nombre de sujets asymptomatiques était supérieur au nombre de patients ostéotomisés (N=106 vs N=59, respectivement), ceci ajoutait de la puissance à nos résultats, car il est plus difficile de montrer des résultats significatifs en comparant les données à un groupe témoin plus grand.

Notre population d'asymptomatiques était plus jeune que notre population d'ostéotomisés (38.03 ans vs 61.1 ans). La dégénérescence discale cervicale s'accélère avec l'âge(5,36). L'âge reste donc un biais dans nos résultats de mesure de lordose cervicale. Cependant, la corrélation entre la lordose cervicale et l'âge des patients pour les ostéotomisés fut nulle et faible pour les asymptomatiques (R=-0.05 et R= 0.22 respectivement).

2. Analyse et critiques des résultats au vue de la littérature

Les patients atteints de déformation rachidienne avec déséquilibre sagittal développent des mécanismes de compensation parfois douloureux pouvant affecter la colonne cervicale incluant l'hyperlordose des segments(15).

Dans notre étude, la lordose cervicale C2C7 des patients ostéotomisés lombaires en pré opératoire était significativement plus forte que celle des asymptomatiques (22.76 vs 5.5 p<0.0001), concluant donc à la présence d'une hyperlordose cervicale pré opératoire.

Cependant, les données de lordose cervicale sont très hétérogènes dans la littérature.

Yukawa et al(36) rapportent plus de 10% de rachis cervicaux cyphotiques asymptomatiques mais ils ne rapportaient aucune donnée sur leur équilibre sagittal global ni sur la lordose lombaire.

Dans notre population asymptomatique, 33.9% de patients présentaient une cyphose C2C7 (15), contribuant aussi à la différence significative retrouvée entre les deux populations. Mais notre résultat de lordose cervicale asymptomatique C2C7 reste superposable à celle retrouvée par Lee et al(4) de 9.9° (+/- 12.5). La lordose cervicale en post opératoire est restée

significativement différente de celle des asymptomatiques mais a diminué après correction chirurgicale. En post opératoire, le C7SVA moyen était de 4.37 cm +/- 4.6, valeur inférieure à 5cm considérée comme satisfaisante selon Schwab et al(37).

L'ostéotomie transpédiculaire a permis de restaurer un équilibre satisfaisant mais la colonne cervicale restant dégénérative a diminué sa lordose exagérée mais il persistait des modifications sagittales après l'intervention.

Les différentes régions de la colonne vertébrale ne sont pas indépendantes. Ceci permet aux différents segments de la colonne de modifier leurs courbures pour s'adapter à un déséquilibre.

Ces mécanismes ont été décrits chez des patients asymptomatiques.

Lafage et al(38) ont proposé une évaluation des corrélations entre la colonne cervicale et le pelvis afin de déterminer les mécanismes d'adaptation nécessaires pour maintenir un équilibre économique dans une population asymptomatique.

La lordose cervicale était fortement corrélée à la cyphose thoracique ($R = -0.509$) et au C7SVA ($R = 0.305$).

Dans notre population des asymptomatiques, la corrélation entre la lordose cervicale et la cyphose thoracique était de -0.542 et de 0.22 pour le C7SVA et de -0.288 et 0.31 dans la population des ostéotomisés, respectivement. Nos résultats étaient similaires. La compensation d'une augmentation du C7SVA par l'augmentation de lordose cervicale et la diminution de la cyphose thoracique démontrée chez les asymptomatiques était un mécanisme validé chez les déséquilibrés sagittaux. La capacité cervicale à se lordoser permettait une répartition harmonieuse des forces et permettait de compenser une diminution de la cyphose thoracique engendrée par une perte de lordose lombaire (Figure 4).

Le Huec et al(33) proposaient de nouveaux paramètres descriptifs du rachis cervical et la description d'un système crânial chez l'asymptomatique.

Nos résultats étaient superposables aux leurs. En effet, les auteurs décrivaient une forte corrélation entre la pente de C7 et la lordose cervicale C2C7 de 0.516. Dans notre population d'ostéotomisés, elle était de 0.597.

A l'image de l'angle spinosacré décrit par Roussouly et al(39), ils définissaient l'angle spinocrânial que nous avons analysé dans nos deux populations. Ce paramètre était défini entre la pente de C7 et la droite reliant le milieu du plateau inférieur de C7 et de la selle turcique. Il permettait d'avoir une mesure intrinsèque de l'équilibre cervical.

Dans leur population asymptomatique, Le Huec et al(33) retrouvaient une valeur constante du SCA de $83^{\circ} \pm 9$ quel que soit la lordose cervicale et une corrélation forte avec cette dernière de -0.607. Ils concluaient donc que dans cette position de SCA à 83° , il existait un équilibre économique.

Nous avons retrouvé un SCA de 72° en post opératoire et une corrélation forte avec la lordose cervicale chez les ostéotomisés ($R = -0.867$) (Figure 3). Nous pouvions supposer que le manque de gain de SCA en post opératoire était lié à la faible correction de lordose cervicale chez nos patients ostéotomisés qui présentaient par ailleurs du fait de leur âge une dégénérescence discale cervicale.

Un angle SCA inférieur à 83° signalait une hyperlordose cervicale, permettant d'utiliser cette mesure en pré et post opératoire.

Nous avons aussi décrit un système crânial par l'incidence crânienne, la version crânienne et la pente crânienne(33), en analogie au système lombo-pelvien(8). Nous avons retrouvé une corrélation différente entre la pente crânienne et la lordose cervicale dans nos deux populations ($R = -0.462$ chez les ostéotomisés contre 0.011 chez les asymptomatiques).

Par contre, les corrélations entre la pente crânienne et l'incidence crânienne ainsi qu'avec la version crânienne étaient fortes et de même positivité dans les deux populations, ce qui validait la description de ce système crânial ($R = 0.448$ pour l'incidence et 0.451 pour la version chez les ostéotomisés, $R = -0.476$ et -0.423 respectivement chez les asymptomatiques).

Des corrélations similaires chez des asymptomatiques et chez des déséquilibrés sagittaux validaient leur dépendance et leur appartenance à un système crânial propre.

De plus, la plus forte corrélation de la pente crânienne dans la population des ostéotomisés avec la lordose cervicale montrait la capacité du système crânial à répondre à une modification

posturale sous-jacente. Le système crânial participait donc au maintien d'un regard horizontal et d'une posture économique chez les déséquilibrés sagittaux.

La jonction occipitocervicale évaluée par l'angle OC2 était stable à 15° dans les deux populations. Malgré la pathologie dégénérative présentée par les patients déséquilibrés sagittaux, ils possédaient le même angle OC2 que les patients asymptomatiques (15.55+/-8.5, 15.6+/-7.4, $p=0.82$, respectivement) et possédaient donc une jonction occipitocervicale équilibrée tous comme les asymptomatiques.

En post opératoire, cet angle ne variait pas. Ceci rejoignait le travail de Kuntz et al(19) qui préconisait la restauration de cet angle dans la chirurgie des arthrodèses occipitocervicales.

Une évaluation clinique cervicale des patients pathologiques n'était pas disponible pour cette étude. Les modifications cervicales engendrées par le déséquilibre lombaire peuvent être symptomatiques(17,40,41) et être à l'origine de cervicalgies ou de troubles neurologiques.

Une évaluation par un score clinique d'évaluation de la cervicalgie comme le score de NDI (2,41,42) pré et post opératoire dans une étude prospective serait à même de compléter ces résultats.

CONCLUSION

Des valeurs de référence sont essentielles pour évaluer les modifications pathologiques de l'équilibre sagittal du rachis. Les patients atteints de déformation rachidienne avec déséquilibre sagittal développent des mécanismes de compensation douloureux pouvant affecter la colonne cervicale avec hyperlordose des segments(15).

La compensation d'une augmentation du C7SVA par l'augmentation de lordose cervicale et la diminution de la cyphose thoracique démontrée chez les asymptomatiques était un mécanisme retrouvé chez les déséquilibrés sagittaux.

La capacité cervicale à se lordoser permettait une répartition harmonieuse des forces et permettait de compenser une diminution de la cyphose thoracique engendrée par une perte de

lordose lombaire. L'angle spinocrânial était un élément intrinsèque au rachis cervical, sa valeur moyenne était de 83° chez les asymptomatiques.

Une diminution du SCA signalait une hyperlordose cervicale et était un paramètre radiologique simple et reproductible.

Enfin, l'angle occipitoC2 était constant au sein des deux populations.

BIBLIOGRAPHIE

1. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, McEnery KW. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. Spine. 15 juin 1995;20(12):1351-8.
2. STAGNARA P, CLAUDE DE MAUROY J, DRAN G, GONON GP, COSTANZO G, DIMNET J, et al. Reciprocal Angulation of Vertebral Bodies in a Sagittal Plane: Approach to References for the Evaluation of Kyphosis and Lordosis. Spine JulyAugust 1982. 1982;7(4):335-42.
3. BERNHARDT M, BRIDWELL KH. Segmental Analysis of the Sagittal Plane Alignment of the Normal Thoracic and Lumbar Spines and Thoracolumbar Junction. Spine July 1989. 1989;14(7):717-21.
4. Lee S-H, Son E-S, Seo E-M, Suk K-S, Kim K-T. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. Spine J [Internet]. [cité 25 févr 2014].
5. Park MS, Moon S-H, Lee H-M, Kim SW, Kim T-H, Lee SY, et al. The Effect of Age on Cervical Sagittal Alignment: Normative Data on 100 Asymptomatic Subjects. [Miscellaneous Article]. Spine April 15 2013.
6. Gangnet N, Dumas R, Pomero V, Mitulescu A, Skalli W, Vital J-M. Three-dimensional spinal and pelvic alignment in an asymptomatic population. Spine. 1 juill 2006;31(15):E507-12.
7. Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Maruiwa H, Nakamura M, Nishizawa T, et al. Relationship between alignment of upper and lower cervical spine in asymptomatic individuals. J Neurosurg. juill 2003;99(1 Suppl):80-3.
8. Lee S-H, Kim K-T, Seo E-M, Suk K-S, Kwack Y-H, Son E-S. The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults. J Spinal Disord Tech. avr 2012;25(2):E41-7.

9. Lafage V, Ames C, Schwab F, Klineberg E, Akbarnia B, Smith J, et al. Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy: a comprehensive radiographic analysis. *Spine*. 1 févr 2012;37(3):E180-7.
10. Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey P-M, Ondra S, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters. *Spine*. 15 juin 2008;33(14):1572-8.
11. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine*. 1 févr 2005;30(3):346-53.
12. Schwab F, Lafage V, Boyce R, Skalli W, Farcy J-P. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine*. 1 déc 2006;31(25):E959-67.
13. Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec J-C. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. sept 2011;20 Suppl 5:626-33.
14. Barrey C, Roussouly P, Le Huec J-C, D'Acunzi G, Perrin G. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. nov 2013;22 Suppl 6:S834-41.
15. Ames CP, Blondel B, Scheer JKB, Schwab FJ, Le Huec J-C, Massicotte EM, et al. Cervical Radiographical Alignment: Comprehensive Assessment Techniques and Potential Importance in Cervical Myelopathy. [Miscellaneous Article]. *Spine* Oct 15 2013.
16. Gore DR, Sepic SB, Gardner GM. Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine*. août 1986;11(6):521-4.

17. GORE DR, SEPIC SB, GARDNER GM, MURRAY MP. Neck Pain: A Long-term Follow-up of 205 Patients. *Spine* January/February 1987. 1987;12(1):1-5.
18. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine*. 1 juill 1997;22(13):1472-80; discussion 1480.
19. Kuntz C, Levin LS, Ondra SL, Shaffrey CI, Morgan CJ. Neutral upright sagittal spinal alignment from the occiput to the pelvis in asymptomatic adults: a review and resynthesis of the literature. *J Neurosurg Spine*. 1 févr 2007;6(2):104-12.
20. Vidal C, Ilharreborde B, Azoulay R, Sebag G, Mazda K. Reliability of cervical lordosis and global sagittal spinal balance measurements in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. juin 2013;22(6):1362-7.
21. Ha Y, Schwab F, Lafage V, Mundis G, Shaffrey C, Smith J, et al. Reciprocal changes in cervical spine alignment after corrective thoracolumbar deformity surgery. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. mars 2014;23(3):552-9.
22. Smith JS, Shaffrey CI, Lafage V, Blondel B, Schwab F, Hostin R, et al. Spontaneous improvement of cervical alignment after correction of global sagittal balance following pedicle subtraction osteotomy. *J Neurosurg Spine*. 3 août 2012;17(4):300-7.
23. Scheer. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review [Internet]. [cité 25 févr 2014].
24. Blondel B, Schwab F, Bess S, Ames C, Mummaneni PV, Hart R, et al. Posterior global malalignment after osteotomy for sagittal plane deformity: it happens and here is why. *Spine*. 1 avr 2013;38(7):E394-401.

25. Laouissat F, Obeid I, Bourghli A, Pointillart V, Gille O, Vital J-M. La restauration de la lordose lombaire après ostéotomie transpédiculaire de soustraction modifie-t-elle la statique du rachis cervical. *Rev Chir Orthopédique Traumatol.* nov 2013;99(7, Supplément):S306.
26. Morvan G, Mathieu P, Vuillemin V, Guerini H, Bossard P, Zeitoun F, et al. Standardized way for imaging of the sagittal spinal balance. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* sept 2011;20 Suppl 5:602-8.
27. Cobb J. Outlines for the study of scoliosis. *The American Academy of orthopedic Surgeons*
28. Johnson GM. The correlation between surface measurement of head and neck posture and the anatomic position of the upper cervical vertebrae. *Spine.* 15 avr 1998;23(8):921-7.
29. Sonnesen L, Pedersen CE, Kjaer I. Cervical column morphology related to head posture, cranial base angle, and condylar malformation. *Eur J Orthod.* août 2007;29(4):398-403.
30. Cooke MS, Wei SH. Intersex differences in craniocervical morphology and posture in southern Chinese and British Caucasians. *Am J Phys Anthropol.* sept 1988;77(1):43-51.
31. Fjellvang H, Solow B. Craniocervical postural relations and craniofacial morphology in 30 blind subjects. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* oct 1986;90(4):327-34.
32. Solow B, Tallgren A. Natural head position in standing subjects. *Acta Odontol Scand.* nov 1971;29(5):591-607.
33. Le Huec JC. L'équilibre du rachis cervical sur une population asymptomatique [Internet]. [cité 7 août 2014]. academie-chirurgie.fr/ememoires/005_2013_12_2_018x024.pdf
34. Scheer JK, Tang JA, Smith JS, Acosta FL Jr, Protopsaltis TS, Blondel B, et al. Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review. *J Neurosurg Spine.* août 2013;19(2):141-59.

35. Koroivessis PG, Stamatakis MV, Baikousis AG. Reciprocal angulation of vertebral bodies in the sagittal plane in an asymptomatic Greek population. *Spine*. 15 mars 1998;23(6):700-4; discussion 704-5.
36. Yukawa Y, Kato F, Suda K, Yamagata M, Ueta T. Age-related changes in osseous anatomy, alignment, and range of motion of the cervical spine. Part I: Radiographic data from over 1,200 asymptomatic subjects. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. août 2012;21(8):1492-8.
37. Schwab FJ, Patel A, Shaffrey CI, Smith JS, Farcy J-P, Boachie-Adjei O, et al. Sagittal realignment failures following pedicle subtraction osteotomy surgery: are we doing enough?: Clinical article. *J Neurosurg Spine*. juin 2012;16(6):539-46.
38. Lafage V. The Crucial Role of Cervical Alignment in Regulating Sagittal Spino-Pelvic Alignment in Human Standing Posture [Internet]. [cité 31 août 2014]. Disponible sur: <http://w3.cns.org/dp/2012CNS/1067.pdf>
39. Roussouly P, Gollogly S, Nosedà O, Berthonnaud E, Dimnet J. The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers. *Spine*. 15 mai 2006;31(11):E320-5.
40. Tang JAB, Scheer JKB, Smith JS, Deviren V, Bess S, Hart RA, et al. The Impact of Standing Regional Cervical Sagittal Alignment on Outcomes in Posterior Cervical Fusion Surgery. [Miscellaneous Article]. *Neurosurg Sept 2012*. 2012;71(3):662-9.
41. Lee JS, Youn MS, Shin JK, Goh TS, Kang SS. Relationship between cervical sagittal alignment and quality of life in ankylosing spondylitis. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 12 août 2014;
42. Vernon H. The Neck Disability Index: state-of-the-art, 1991-2008. *J Manipulative Physiol Ther*. sept 2008;31(7):491-502.

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) 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 leurs 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(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) 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(e) et méprisé(e) si j'y manque.

