



HAL
open science

Étude de l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine et d'une population atteinte de scoliose idiopathique de l'adolescent en préopératoire, post-opératoire immédiat et à 2 ans post-opératoire

Benoît Kipper

► To cite this version:

Benoît Kipper. Étude de l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine et d'une population atteinte de scoliose idiopathique de l'adolescent en préopératoire, post-opératoire immédiat et à 2 ans post-opératoire. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03205635

HAL Id: dumas-03205635

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03205635>

Submitted on 22 Apr 2021

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

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

UNIVERSITÉ de CAEN NORMANDIE

UFR SANTÉ

Année 2020/2021

THÈSE POUR L'OBTENTION
DU GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Présentée et soutenue publiquement le : 06 Novembre 2020

par

M. KIPPER Benoît

Né (e) le 14 Septembre 1993 à Metz (*Moselle*)

TITRE DE LA THÈSE :

Étude de l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine et d'une population atteinte de scoliose idiopathique de l'adolescent en préopératoire, post-opératoire immédiat et à 2 ans post-opératoire

Président : Monsieur le Professeur ROD Julien

Membres : Monsieur le Professeur LECHEVALLIER Joël

Madame le Docteur BRONFEN Corinne

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur PESENTI Sébastien

Année Universitaire 2020/2021**Doyen**

Professeur Emmanuel TOUZÉ

Assesseurs

Professeur Paul MILLIEZ (pédagogie)

Professeur Guy LAUNOY (recherche)

Professeur Sonia DOLLFUS & Professeur Evelyne EMERY (3^{ème} cycle)**Directrice administrative**

Madame Sarah CHEMTOB

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

M.	AGOSTINI Denis	Biophysique et médecine nucléaire
M.	AIDE Nicolas	Biophysique et médecine nucléaire
M.	ALEXANDRE Joachim	Pharmacologie clinique
M.	ALLOUCHE Stéphane	Biochimie et biologie moléculaire
M.	ALVES Arnaud	Chirurgie digestive
M.	AOUBA Achille	Médecine interne
M.	BABIN Emmanuel	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	BÉNATEAU Hervé	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
M.	BENOIST Guillaume	Gynécologie - Obstétrique
M.	BERGER Ludovic	Chirurgie vasculaire
M.	BERGOT Emmanuel	Pneumologie
M.	BIBEAU Frédéric	Anatomie et cytologie pathologique
Mme	BRAZO Perrine	Psychiatrie d'adultes
M.	BROUARD Jacques	Pédiatrie
M.	BUI Thanh-huy Eric	Psychiatrie d'adultes
M.	BUSTANY Pierre	Pharmacologie
Mme	CHAPON Françoise	Histologie, Embryologie
Mme	CLIN-GODARD Bénédicte	Médecine et santé au travail
M.	DAMAJ Ghandi Laurent	Hématologie
M.	DAO Manh Thông	Hépatologie-Gastro-Entérologie
M.	DAMAJ Ghandi Laurent	Hématologie
M.	DEFER Gilles	Neurologie

M. DELAMILLIEURE Pascal	Psychiatrie d'adultes
M. DENISE Pierre	Physiologie
Mme DOLLFUS Sonia	Psychiatrie d'adultes
Mme DOMPMARTIN-BLANCHÈRE Anne	Dermatologie
M. DREYFUS Michel	Gynécologie - Obstétrique
M. DU CHEYRON Damien	Réanimation médicale
Mme ÉMERY Evelyne	Neurochirurgie
M. ESMAIL-BEYGUI Farzin	Cardiologie
Mme FAUVET Raffaèle	Gynécologie – Obstétrique
M. FISCHER Marc-Olivier	Anesthésiologie et réanimation
M. GÉRARD Jean-Louis	Anesthésiologie et réanimation
M. GUÉNOLE Fabian	Pédopsychiatrie
Mme GUITTET-BAUD Lydia	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M. HAMON Martial	Cardiologie
Mme HAMON Michèle	Radiologie et imagerie médicale
M. HANOUIZ Jean-Luc	Anesthésie et réa. médecine péri-opératoire
M. HITIER Martin	Anatomie –ORL Chirurgie Cervico-faciale
M. HULET Christophe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. ICARD Philippe	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
M. JOIN-LAMBERT Olivier	Bactériologie - Virologie
Mme JOLY-LOBBEDEZ Florence	Cancérologie
M. JOUBERT Michael	Endocrinologie
M. LAUNOY Guy	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M. LE HELLO Simon	Bactériologie-Virologie
Mme LE MAUFF Brigitte	Immunologie
M. LOBBEDEZ Thierry	Néphrologie
M. LUBRANO Jean	Chirurgie viscérale et digestive
M. MAHE Marc-André	Cancérologie
M. MANRIQUE Alain	Biophysique et médecine nucléaire
M. MARCÉLLI Christian	Rhumatologie
M. MARTINAUD Olivier	Neurologie
M. MAUREL Jean	Chirurgie générale

M. MILLIEZ Paul	Cardiologie
M. MOREAU Sylvain	Anatomie/Oto-Rhino-Laryngologie
M. MOUTEL Grégoire	Médecine légale et droit de la santé
M. NORMAND Hervé	Physiologie
M. PARIENTI Jean-Jacques	Biostatistiques, info. médicale et tech. de communication
M. PELAGE Jean-Pierre	Radiologie et imagerie médicale
Mme PIQUET Marie-Astrid	Nutrition
M. QUINTYN Jean-Claude	Ophtalmologie
Mme RAT Anne-Christine	Rhumatologie
M. REPESSE Yohann	Hématologie
M. REZNIK Yves	Endocrinologie
M. ROD Julien	Chirurgie infantile
M. ROUPIE Eric	Médecine d'urgence
Mme THARIAT Juliette	Radiothérapie
M. TILLOU Xavier	Urologie
M. TOUZÉ Emmanuel	Neurologie
Mme VABRET Astrid	Bactériologie - Virologie
M. VERDON Renaud	Maladies infectieuses
Mme VERNEUIL Laurence	Dermatologie
M. VIVIEN Denis	Biologie cellulaire

PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A MI-TEMPS

Mme BELLOT Anne	Pédiatrie
M. DE LA SAYETTE Vincent	Neurologie
M. GUILLAUME Cyril	Médecine palliative
M. LE BAS François	Médecine Générale
M. SABATIER Rémi	Cardiologie

PRCE

Mme LELEU Solveig	Anglais
--------------------------	---------

PROFESSEURS ÉMÉRITES

M. DERLON Jean-Michel	Neurochirurgie
------------------------------	----------------

M. GUILLOIS Bernard	Pédiatrie
M. HABRAND Jean-Louis	Cancérologie option Radiothérapie
M. HURAUT de LIGNY Bruno	Néphrologie
Mme KOTTLER Marie-Laure	Biochimie et biologie moléculaire
M. LE COUTOUR Xavier	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M. LEPORRIER Michel	Hématologie
M. RAVASSE Philippe	Chirurgie infantile
M. TROUSSARD Xavier	Hématologie
M. VIADER Fausto	Neurologie

Année Universitaire 2020/2021**Doyen**

Professeur Emmanuel TOUZÉ

Assesseurs

Professeur Paul MILLIEZ (pédagogie)

Professeur Guy LAUNOY (recherche)

Professeur Sonia DOLLFUS & Professeur Evelyne EMERY (3^{ème} cycle)**Directrice administrative**

Madame Sarah CHEMTOB

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

Mme BENHAÏM Annie	Biologie cellulaire
M. BESNARD Stéphane	Physiologie
Mme BONHOMME Julie	Parasitologie et mycologie
M. BOUVIER Nicolas	Néphrologie
M. BROSSIER David	Pédiatrie
M. COULBAULT Laurent	Biochimie et Biologie moléculaire
M. CREVEUIL Christian	Biostatistiques, info. médicale et tech. de communication
M. DE BOYSSON Hubert	Médecine interne
Mme DINA Julia	Bactériologie - Virologie
Mme DUPONT Claire	Pédiatrie
M. ÉTARD Olivier	Physiologie
M. GABEREL Thomas	Neurochirurgie
M. GRUCHY Nicolas	Génétique
M. ISNARD Christophe	Bactériologie Virologie
M. JUSTET Aurélien	Pneumologie
Mme KRIEGER Sophie	Pharmacie
M. LEGALLOIS Damien	Cardiologie
Mme LELONG-BOULOUARD Véronique	Pharmacologie fondamentale
Mme LEVALLET Guénaëlle	Cytologie et Histologie
M. MACREZ Richard	Médecine d'urgence
M. MITTRE Hervé	Biologie cellulaire

M. MOLIN Arnaud	Génétique
M. SAINT-LORANT Guillaume	Pharmacie
M. SESBOÜÉ Bruno	Physiologie
M. TOUTIRAIS Olivier	Immunologie
M. VEYSSIERE Alexis	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

M. HUMBERT Xavier

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS A MI-TEMPS

Mme ABBATE-LERAY Pascale	Médecine générale
M. BANSARD Mathieu	Médecine générale
M. COUETTE Pierre-André	Médecine générale
Mme NOEL DE JAEGHER Sophie	Médecine générale
M. PITHON Anni	Médecine générale
M. SAINMONT Nicolas	Médecine générale
Mme SCHONBRODT Laure	Médecine générale

MAITRES DE CONFERENCES ÉMÉRITES

Mme DEBRUYNE Danièle	Pharmacologie fondamentale
Mme DERLON-BOREL Annie	Hématologie
Mme LEPORRIER Nathalie	Génétique

Remerciements

A Monsieur le Professeur ROD Julien, pour vos conseils et votre aide durant mon internat et encore bien après je l'espère. Vous me faites l'honneur de présider cette thèse. Veuillez accepter mes plus sincères et respectueux remerciements.

A Monsieur le Docteur PESENTI Sébastien, pour m'avoir permis de traiter ce sujet de thèse et pour tout ce que vous m'avez appris durant mon inter CHU à Marseille. Veuillez accepter mes plus sincères et respectueux remerciements.

A Monsieur le Professeur LECHEVALLIER Joel, vous me faites l'honneur de juger mon travail. Veuillez accepter mes plus sincères remerciements.

A Madame le Docteur BRONFEN Corinne, pour votre compagnonnage tant au bloc opératoire qu'en tout temps au cours de ma formation. Pour toutes vos connaissances, votre technicité chirurgicale et votre expérience, que vous nous transmettez. Merci pour tout.

A Monsieur le Dr LAQUIEVRE Antoine, pour ta bienveillance et ta patience au bloc opératoire et dans ma formation. Pour ton amitié, merci pour tout.

A Madame le Dr KIM Pui Pui, pour ton aide dans ma formation et ta rigueur. Merci pour tout.

A Monsieur le Docteur PETIT Thierry, pour votre aide indéniable lors de réduction orthopédique, pour votre bonne humeur et sympathie au quotidien.

A Monsieur le Professeur RAVASSE, pour votre accueil dans votre service, pour votre disponibilité et soutien durant le début de mon internat. Veuillez accepter mes plus sincères et respectueux remerciements.

A Monsieur le Dr MARRET Jean-Baptiste, pour ton soutien et tes conseils (tant en chirurgie qu'en immobilier).

A Madame le Docteur DESDOITS Alexandra, merci pour tous tes conseils en pédiatrie médicale.

A l'ensemble de l'équipe paramédicale du service de chirurgie pédiatrique du CHU de Caen et de Marseille.

A Aurore, notre princesse de la chir' péd' que l'on aime tant. Merci pour ta bonne humeur au quotidien.

A Nathan, pour ton aide et tes conseils durant les semestres que l'on a passés ensemble. Et pour toutes les années qu'il nous reste à travailler ensemble je l'espère.

A mes premiers co-internes Louis, Baptiste, Flavie, pour votre patience et votre aide au début de cette nouvelle vie Caennaise.

A tous mes co-internes orthopédistes et viscéraux actuels ou passés : Bertrand, Mathieu, Morgane, Paul, Laura, Jean-Charles, Roukaya, Camille, Arthur et Ahmed merci pour ces semestres de travail dans la bonne humeur et la solidarité.

A mes parents, Corinne et Jean-Claude, pour l'incroyable enfance que j'aie pu avoir, pour l'éducation que vous m'avez apportée. Et bien évidemment pour le soutien et la patience que vous avez eus et que vous devrez encore avoir avec moi ... Je vous aime.

A ma sœur Irène, pour tous ces restau', vacances et balades en ville. Merci pour tout.

A David, Romain et Vincent, merci pour tous ces bons moments passés ensemble

A mes amis Marseillais : Romain, Théo, Guillaume, Robin et Valentine. Merci de m'avoir fait découvrir la manière de vivre des sudistes.

A mes beaux-parents Christine et François, merci pour votre accueil dans la famille Colin.

A Anne-Justine, pour avoir accepté et compris tous mes choix. Pour ton soutien et ton aide au quotidien. Pour tous nos projets à venir. Je t'aime.

Abréviations

AIS : scoliose idiopathique de l'adolescent

IP : incidence pelvienne

LL max : lordose lombaire maximum

N LL max : longueur de la lordose

NS : non significatif

N Tk max : longueur de la cyphose

PJF: proximal junctional failur

PJK: proximal junctional kyphosis

PS : pente sacrée

Tk idéale : cyphose idéale

Tk max: cyphose thoracique maximum

UIV: upper instrumented vertebrae

VP : version pelvienne

Figures

Figure 1 : Corset en fer d'Ambroise Paré. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005

Figure 2 : Appareil ambulatoire à élongation. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005

Figure 3 : Cadre d'Abbot. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005

Figure 4 : Blount et son corset de Milwaukee. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005

Figure 5 : Instrumentation de Dwyer. Source : Gouron R. DESC chirurgie pédiatrique Rouen 2011

Figure 6 : Instrumentation de Harrington. Source : Gouron R. DESC chirurgie pédiatrique Rouen 2011

Figure 7 : Instrumentation Cotrel-Dubousset. Source : Dubousset, 1983

Figure 8 : Mesure de l'angle de Cobb

Figure 9 : Gibbosité

Figure 10 : Exemple de dos plat

Figure 11 : Courbe de Duval-Beaupère

Figure 12 : Paramètres pelviens, lordose lombaire LL, cyphose thoracique. Source : Legaye, Duval-Beaupère, Hecquet, & Marty, 1998

Figure 13 : Estimation de la cyphose en fonction de la lordose

Figure 14 : Mesure de l'angle d'une PJK. Source : Yagi, Akilah, & Boachie-Adjei, 2011

Figure 15 : Exemple d'un patient présentant une PJK à 2 ans post-opératoire. Radiographies respectivement en préopératoire, post-opératoire immédiat et post-opératoire 2 ans. Source : Spina et al., 2017

Figure 16 : Evolution radiologique d'une PJK en PJF. Radiographies respectivement à 6 semaines, 3 mois et 18 mois, avec mise en évidence d'une fracture à 18 mois de l'UIV.

Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de la population saine

Tableau 2 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en préopératoire

Tableau 3 : Comparaison population saine, population AIS en préopératoire

Tableau 4 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en post-opératoire immédiat

Tableau 5 : Comparaison population saine, population post-opératoire immédiat

Tableau 6 : Comparaison population AIS préopératoire, population AIS post-opératoire immédiat

Tableau 7 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en post-opératoire 2 ans

Tableau 8 : Comparaison population AIS post-op immédiat, population AIS post-op 2 ans

Tableau 9 : Comparaison population saine, population AIS post-op 2 ans

Tableau 10 : Comparaison population AIS préop, population AIS post-op 2 ans

Tableau 11 : Comparaison de l'équilibre préopératoire entre les patients présentant une PJK et ceux qui n'en présentent pas à 2 ans post-opératoire

Tableau 12 : Comparatif des paramètres sagittaux et du ratio en post-opératoire immédiat entre les patients présentant une PJK ou non

Tableau 13 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou diminution du ratio et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 14 : Nombre de patients en fonction de la cyphose préopératoire $< \text{ou} > -40^\circ$ et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 15 : Nombre de patients en fonction de la lordose préopératoire $< \text{ou} > 70^\circ$ et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 16 : Nombre de patients en fonction de la diminution ou non de la cyphose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 17 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou non de la lordose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 18 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou non de la longueur de lordose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Tableau 19 : Nombre de patients en fonction de la diminution ou non de la longueur cyphose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

Sommaire

Partie 1 : Généralités.....	1
1. Histoire de la scoliose	1
2. Scoliose idiopathique de l'adolescent.....	8
2.1.Définition et épidémiologie.....	8
2.2.Physiopathologie	10
2.2.1. Facteurs génétiques.....	10
2.2.2. Facteurs hormonaux et biochimiques.....	11
2.2.3. Facteurs neurosensoriels.....	12
2.3.Évolution au cours de la croissance.....	12
2.4.Complications.....	14
3. Thérapeutiques.....	16
3.1.Rééducation.....	16
3.2.Traitement orthopédique.....	17
3.3.Traitement chirurgical.....	18
Partie 2 : étude de l'équilibre sagittal.....	19
1. Introduction.....	19
2. Patients sains.....	21
2.1.Définition des différents paramètres sagittaux.....	21

2.2.	Matériel et méthode.....	22
2.2.1.	Population incluse.....	22
2.2.2.	Analyses statistiques.....	23
2.3.	Résultats.....	24
2.3.1.	Population incluse.....	24
2.3.2.	Corrélation.....	25
2.3.3.	Régression linéaire.....	26
3.	Population AIS.....	27
3.1.	Matériel et méthode.....	27
3.1.1.	Population incluse.....	27
3.1.2.	Analyses statistiques.....	28
3.2.	Résultats préopératoires.....	28
3.2.1.	Descriptif.....	28
3.2.2.	Études statistiques.....	30
3.3.	Résultats post-opératoires immédiats.....	31
3.3.1.	Descriptif.....	31
3.3.2.	Études statistiques.....	33
3.4.	Résultats post-opératoire à 2 ans.....	34
3.4.1.	Descriptif.....	34
3.4.2.	Études statistiques.....	35
4.	Analyse de la cyphose jonctionnelle proximale.....	38
4.1.	Définitions.....	38
4.2.	Matériels et méthodes.....	41
4.2.1.	Définition du ratio.....	41
4.2.2.	Analyses statistiques.....	42
4.3.	Résultats.....	43
4.4.	Calculs des odds ratio.....	46
5.	Discussion.....	50
5.1.	Population saine.....	50
5.2.	AIS préopératoire.....	52

5.3. AIS post-opératoire immédiat.....	53
5.4. AIS post-opératoire 2 ans.....	54
5.5. Etude de la cyphose jonctionnelle.....	55
5.6. Forces et limites.....	57
6. Conclusion.....	59
Bibliographie.....	61
Annexes.....	74

Partie 1 : Généralités

1. Histoire de la scoliose

Nous ne pouvons commencer l'histoire de cette pathologie sans citer Hippocrate qui aurait été l'un des premiers à décrire des déformations rachidiennes. Dans le « Corpus hippocraticum », recueil d'une soixantaine de livres qui sont attribués au médecin Hippocrate en 400 avant Jésus-Christ, plusieurs chapitres sont dédiés aux déformations rachidiennes sous le terme de Spina luxada principalement. Cependant, à cette époque, il différenciait très peu les déformations rachidiennes entre elles. Par exemple, il ne distinguait pas les scolioses idiopathiques d'un Mal de Pott.

Des premières pistes de traitement ont également été testées à cette même époque. Le traitement par « succussion » était utilisé : le patient était attaché à une échelle puis ensuite lâché d'une certaine hauteur pour permettre une élongation brutale du rachis. Cette technique permettait plus de distraire les foules que de traiter les déformations rachidiennes.

Hippocrate aurait, lui, décrié cette méthode car trop brutale. Il développe l'importance de deux forces qu'il faut exercer progressivement pour corriger les courbures : l'élongation et la pression latérale. Pour se faire, il développe même un lit associant traction et pression nommé lit scanmum.

Il décrit les affections rachidiennes comme graves et dit même que « peu ont dépassé soixante ans, et la plupart n'y vont pas » (*Oeuvres complètes d'Hippocrate Hippocrates Free Download, Borrow, and Streaming Internet Archive*, n.d.)

Depuis l'époque d'Hippocrate jusqu'au XVIIe siècle, aucun grand progrès n'a été réalisé en termes de traitement de ces affections du rachis. Par exemple, Ranchin (1565 - 1641), qui était le doyen de la faculté de Montpellier, utilisait lui une presse à linge pour redresser les vertèbres ce qui causait le plus souvent la mort que le redressement du rachis.

Vers 1550 Ambroise Paré fut le premier à inventer un traitement par orthèse. Ce corselet était en fer avec de nombreux trous pour permettre une diminution du poids. Il avait également pensé ce corset bien embourré pour ne pas blesser le patient. Il semble être également le premier à avoir défini la scoliose de l'adolescent pour laquelle il inventa cette orthèse.

Figure 1: Corset en fer d'Ambroise Paré. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005



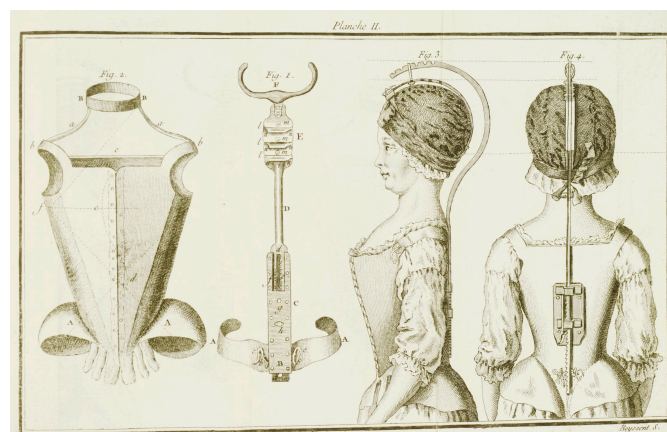
C'est au XVIIIe siècle que se développe l'étude des déformations rachidiennes en fonction de la croissance sous le terme de Rakitis. Francis Glisson, médecin britannique, étudia plus spécifiquement les déformations dues au rachitisme. Il inventa comme traitement « l'escarpolette anglaise » où le patient était suspendu par les aisselles.

Durant cette même période, Jean André Venel en Suisse inventa un des premiers lits à extension qu'il mettait en place la nuit, avec un relais la journée par corset. Cette technique eu principalement un impact en Allemagne et en Suisse mais très peu en France.

La toute première personne à avoir décrit la notion de rotation vertébrale n'est pas un médecin mais un ingénieur Français Mr Magny. (Magny, 1780)

A cette même époque, le médecin Français Levacher de la Feutrie (1739-1824), qui avait débuté ses études à l'université de médecine de Caen, développe le rakitiss dans son « traité du rakitiss ou l'art de redresser les enfants contre fait ». Il y relève toutes les connaissances de l'époque à ce sujet et essaye de décrire précisément les différentes prises en charge possibles. Il parle notamment de son appareil ambulateur à élongation.

Figure 2: Appareil ambulateur à élongation Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005 (Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005)



L'un des ouvrages les plus prolifiques de ce siècle est « l'Orthopédie ou l'art de prévenir et de corriger dans les enfants les difformités du corps »(Andry, 1741). Ecrit par Nicolas Andry,

principalement connu pour son étude de la parasitologie, il créa pour ce recueil le terme d'orthopédie qui vient du grec : Ortho qui signifie droit et pais, paidos qui signifie enfant.

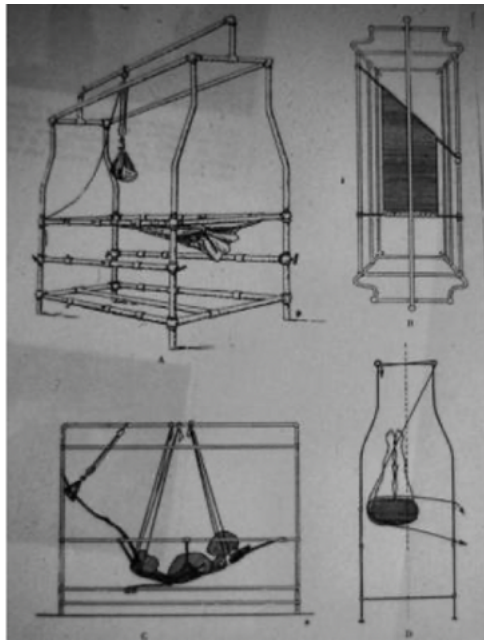
Le XIXe siècle est marqué par d'importants progrès en anatomopathologie et également par la création de nombreux instituts : « maisons de redressements » à l'intérieur desquelles leurs créateurs exercent des techniques médicales diverses et variées pour corriger les déformations rachidiennes.

Jules Guérin avait créé l'un de ces instituts, où il y avait développé une nouvelle théorie : la rétraction musculaire et son traitement par ténatomie. Pour lui, la section élective des muscles paraspiniaux, principalement des transversaires épineux, permettait de corriger la rotation vertébrale.

Les bienfaits de la rééducation sont mis en avant durant ce même siècle. On parle alors de « cinésithérapie » ou de gymnastique. Le Pr Henrick Ling en Suède permit l'essor de la rééducation en fondant « l'institut central de gymnastique » qui eut un fort impact sur le traitement des scoliozes.

Le début du XXe siècle pose les bases du traitement orthopédique moderne et les débuts de la chirurgie. Notamment grâce à Abbot qui décrit un cadre de réduction permettant non seulement l'élongation, l'appui latéral mais également la dérotation pour corriger la gibbosité.

Figure 3 : Cadre d'Abbot. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005



Plusieurs traitements chirurgicaux sont essayés notamment des ligatures intervertébrales par fils métalliques aux Etats-Unis, une griffe plaque en France, la résection de gibbosité mais également la première résection d'hémivertèbre. C'est également en 1910 que naît l'arthrodèse vertébrale soit par avivement de l'arc postérieur et apport d'os spongieux (Hibbs) soit par tuteur tibial (Albee). Cependant, l'anesthésie n'en n'était qu'à ses débuts (transfusion seulement dans les années 30) et ces opérations étaient lourdes.

Le XXe siècle est déterminant pour le traitement des scolioses. C'est en 1960 qu'est développé à l'institut Calot de Berck Plage le cadre EDF (élongation, dérotation et flexion). De même, aux Etats-Unis en 1945, W. Blount crée le corset Milwaukee qui est encore de nos jours utilisé.

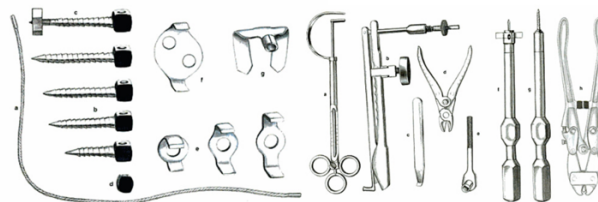
Cette période connaîtra également l'essor du halo crânien pour les déformations sévères, notamment par le chirurgien Stagnara.

Figure 4 : Blount et son corset de Milwaukee. Source : Cottalorda, Kohler, Dohin, & Bourelle, 2005



De plus, c'est dans les années 50 qu'est décrit l'abord vertébral antérieur qui est principalement utilisé en Chine et au Japon pour traiter le mal de Pott. De là naîtra l'instrumentation de Dwyer en 1964 qui consiste en la fixation par agrafes, vis et câbles torsadés.

Figure 5: Instrumentation de Dwyer. Source : Gouron R. DESC chirurgie pédiatrique Rouen 2011

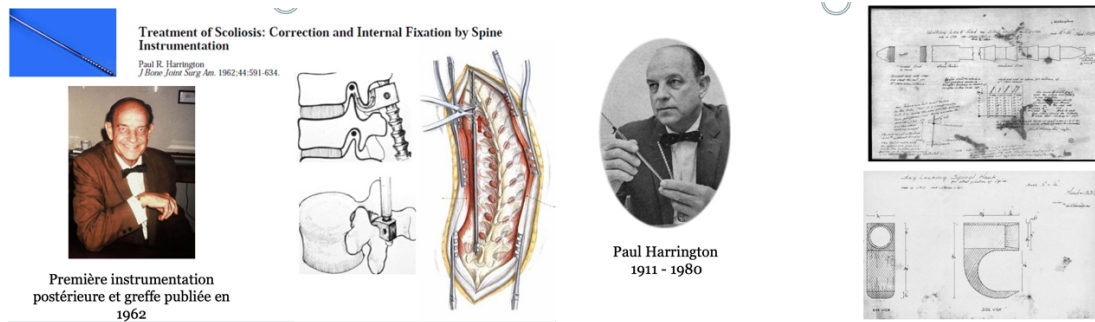


Vis et agrafes solidarisées par un câble torsadé

L'année 1960 est une année importante, par la création de l'instrumentation de Paul Harrington. Il traite dans un premier temps les enfants atteints de poliomyélite par un matériel d'ostéosynthèse postérieur : tiges + crochets (en compression convexe et distraction concave). Ce montage sera complété par la suite par une greffe osseuse.

Cette technique innovante ouvre la porte à de nombreuses avancées, notamment le vissage pédiculaire initié par Roy Camille.

Figure 6 : Instrumentation de Harrington. Source : Gouron R. DESC chirurgie pédiatrique Rouen 2011



Enfin, c'est dans les années 80 que Yves Cotrel qui voulait une instrumentation et une greffe stable pour éviter le corset post-opératoire, créa avec l'aide de Jean Dubousset l'instrumentation Cotrel-Dubousset. C'est en 1985 que le vissage pédiculaire intégra ce montage à l'aide de la collaboration de Raymond Roy Camille. Ce montage hybride et cette technique opératoire sont les plus utilisés actuellement. (Dubousset, 1983)

Figure 7 : Instrumentation Cotrel-Dubousset. Source : Dubousset, 1983



2. Scoliose idiopathique de l'adolescent

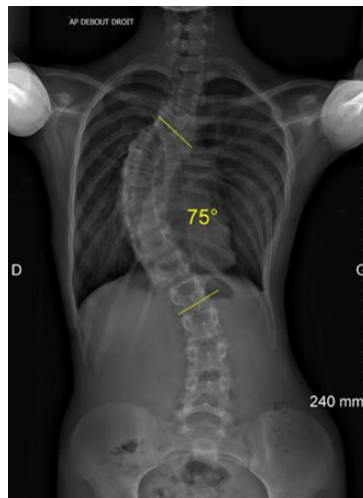
2.1.Définition et épidémiologie

La définition stricte de la scoliose est une déformation anatomique dans les trois plans de l'espace, non complètement réductible, sans cause connue, et évoluant lors de la période de croissance.

Pour parler de scoliose il faut donc que le rachis soit déformé dans le plan frontal. Cela nous permet de décrire la scoliose qui sera par exemple thoracique droite. Pour définir l'importance de la déformation dans le plan frontal, il faut utiliser l'angle de Cobb. Un angle supérieur à 10° détermine une partie de la définition de la scoliose.

L'angle de Cobb est la mesure de l'angle entre le plateau supérieur de la vertèbre supérieure la plus inclinée sur l'horizontal et le plateau inférieur de la vertèbre inférieure la plus inclinée sur l'horizontal.

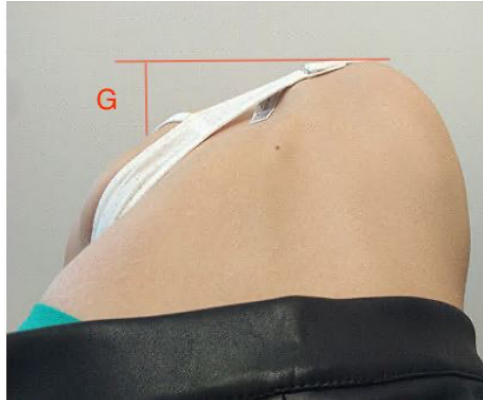
Figure 8 : Mesure de l'angle de Cobb



Il faut également une rotation vertébrale qui se voit cliniquement par une gibbosité. Ce signe clinique se voit lorsque le patient se penche en avant. En effet, la rotation entraîne une

déformation du tronc que l'on constate par une déformation au niveau des côtes en thoracique et des masses musculaires para-vertébrales par l'intermédiaire des apophyses transverses en lombaire.

Figure 9 : Gibbosité



En ce qui concerne le plan sagittal, il y a un désordre de l'équilibre du rachis qui est marqué par un dos plat par exemple, ou une cyphose importante.

Figure 10 : Exemple de dos plat



La scoliose idiopathique est structurale et non complètement réductible. Cela la différencie donc des attitudes scoliotiques et des scolioses dites secondaires, comme par exemple les scolioses neurologiques ou malformatives.

La prévalence de la scoliose idiopathique est estimée à 2,5 % de la population pédiatrique générale pour les angulations supérieures à 10°. Pour celle de plus de 30°, la prévalence est alors de 0,5 %. (Wong, Hui, Rajan, & Chia, 2005) (Willner & Udén, 1982)

Il existe une importante disparité entre les filles et les garçons. Le sexe ratio est de l'ordre de 2 filles pour 1 garçon en ce qui concerne les courbures de 10° à 20°, alors que cette proportion passe de 8 à 10 filles pour 1 garçon pour les scoliose de plus de 30°.

Parmi cette population scoliotique, 10 % nécessiteront un traitement par corset, et seulement 0,1 à 0,3 % nécessiteront un traitement chirurgical. (Negrini et al., 2018)

2.2. Physiopathologie

Une scoliose est dite idiopathique lorsqu'aucune cause n'est retrouvée. Cela prouve bien que de nos jours encore, la pathogénie de cette pathologie reste assez floue. Cependant, nous savons que certains facteurs peuvent être incriminés dans cette déformation tridimensionnelle du rachis.

2.2.1. Facteurs génétiques

La génétique semble être incriminée dans la pathologie scoliotique. En effet, 30 % des patients atteints de scoliose idiopathique sont issus au premier ou deuxième degré de parents atteints de cette même déformation rachidienne.

De plus, le sexe semble jouer un rôle important. Certaines études montrent même que 15 % des formes familiales de scoliose idiopathique seraient liées à un locus situé sur le chromosome X.(De George & Fisher, 1967)

2.2.2. Facteurs hormonaux et biochimiques

Des études ont essayé de montrer que certains facteurs biochimiques peuvent entrer en compte pour le développement d'une scoliose idiopathique. Les substances les plus retenues sont la mélatonine, la calmoduline et la ghréline.

Un taux bas de mélatonine serait retrouvé dans certaines espèces animales présentant des déformations scoliotiques.

De plus, un taux élevé de calmoduline, qui induit une réaction en cascade pour permettre la contraction musculaire, serait présent chez les adolescents présentant une scoliose idiopathique évolutive.

Enfin, la ghréline, hormone intervenant dans la sensation de satiété, pourrait être un facteur prédictif de l'évolution des scoliose notamment chez l'adolescente lorsque son taux plasmatique est élevé. (Negrini et al., 2018)(Lowe, Burwell, & Dangerfield, 2004)

De nombreux facteurs hormonaux pourraient également induire une scoliose. En effet, les sujets scoliotiques présentent en moyenne une plus grande taille par rapport à la population générale. Se pose alors la question du rôle de l'hormone de croissance.(Skogland & Miller, 1980)

2.2.3. Facteurs neurosensoriels

Le système vestibulaire semblerait expliquer une partie de l'étiologie des scolioses idiopathiques. En effet, quelques troubles au niveau de la proprioception ou de l'auto régulation entre le système visuel et vestibulaire seraient à l'origine des déformations structurelles de la scoliose idiopathique. Cependant, rien n'a encore été prouvé formellement. (O'beirne, Goldberg, Dowling, & Fogarty, 1989)(Wiener-Vacher & Mazda, 1998)

2.3.Évolution au cours de la croissance

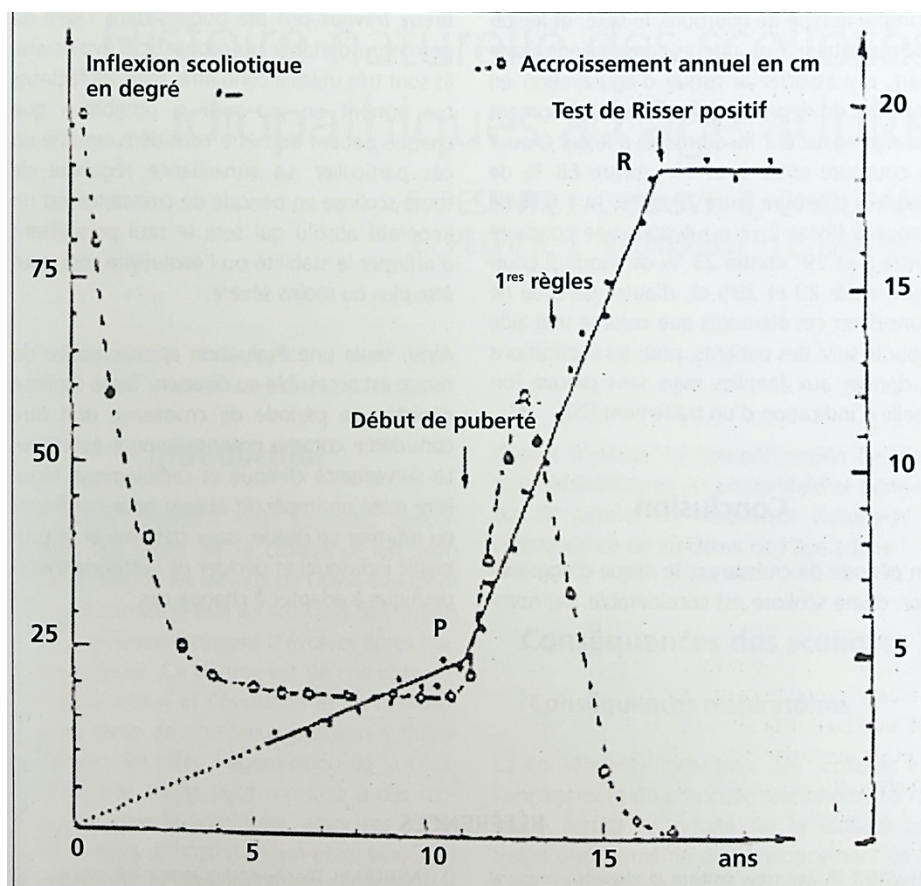
Duval Beaupère a réalisé de nombreux travaux conduisant à la création d'un diagramme selon lequel trois périodes se distinguent et se succèdent au cours de la croissance.

Le premier segment correspond à l'enfance et est appelé prépubertaire (P1). Sa pente définit l'aggravation en degrés par an au cours de la période, avec un risque modéré d'aggravation. Ce segment va jusqu'au début de la puberté qui est marquée par l'apparition de la pilosité pubienne.

Vient ensuite le segment pubertaire (P2) qui correspond au pic pubertaire de vitesse de croissance de la scoliose. Sur le graphique cela se traduit par un redressement brutal de la pente. Cette aggravation se poursuit jusqu'à l'apparition des premières règles, jusqu'à ce que les noyaux d'ossification commencent leur soudure.

Enfin, ces courbes de tendance se terminent par une pente quasiment horizontale qui correspond à l'évolution à l'âge adulte. Cette dernière partie en fin de croissance et de maturité squelettique est d'aggravation minimale. (Duval-Beaupère, Dubousset, Queneau, & Grossiord, 1970)

Figure 11 : Courbe de Duval-Beaupère



Le professeur Duval Beaupère a également défini certains critères de gravité. Notamment, plus l'évolution pubertaire est précoce, plus elle sera prolongée et donc plus la scoliose sera grave. De même, plus la période pubertaire est grande, plus P2 sera grande également, et donc, plus la scoliose sera importante.

Cependant, chaque scoliose est unique et il est impossible de prédire parfaitement son évolutivité.

2.4.Complications

Les conséquences de la scoliose surviennent principalement à l'âge adulte, alors que lors de son évolution en période de croissance aucun retentissement fonctionnel n'est ressenti par le patient. Seul l'aspect esthétique a un impact à cet âge.

Les complications d'une scoliose non traitée dépendent principalement de son degré d'évolution et sont de quatre ordres : esthétique, respiratoire, neurologique et douloureux.

Retentissement esthétique :

L'apparence esthétique est une des premières doléances des patients. Elle dépendra du type de courbure. Une courbure unique sera moins esthétique qu'une courbure double.

Ce sont principalement la gibbosité, l'asymétrie des épaules, l'asymétrie des plis de taille, qui déplaisent aux patients.

De plus, par définition une scoliose est marquée par une déformation dans le plan sagittal avec soit un dos plat soit une cyphose importante.

Retentissement respiratoire :

Le pronostic respiratoire est la principale conséquence des scolioses. En effet, la rotation vertébrale induit une asymétrie de développement de la cage thoracique et ainsi de son contenu.

Plus la courbure sera importante, plus la déformation thoracique et ainsi l'hypoplasie pulmonaire le sera aussi.

Weinstein et al (Hawes & Weinstein, 2003) ont montré qu'un angle de Cobb de 80° était un facteur de risque élevé d'apparition de difficultés respiratoires et de survenue d'un syndrome restrictif.

De même, un angle de Cobb supérieur à 110° accentue le risque d'insuffisance respiratoire après 20 ans d'évolution.

De plus, le déport latéral du côté de la convexité entraîne une pénétration du rachis dans la cage thoracique. Cela entraîne une diminution de volume de l'hémi-thorax et ainsi peut entraîner un conflit avec l'arbre respiratoire et provoquer une obstruction bronchique aggravant le pronostic respiratoire.

Retentissement neurologique :

Une compression médullaire due à une scoliose est extrêmement rare et doit amener dans un premier temps à rechercher une autre origine qu'idiopathique à cette déformation rachidienne.

Cependant, un retentissement sur la moelle épinière peut être vu pour une angulation supérieure à 120°. De plus, des radiculalgies peuvent apparaître au cours de l'évolution de cette pathologie et sont dues à la dégénération du rachis, notamment aux dislocations rotatoires.

Retentissement douloureux :

Chez les patients scoliotiques, les douleurs sont principalement marquées à l'étage lombaire et sont dues au remaniement arthrosique du rachis et non à l'amplitude de la courbure. Ces douleurs n'apparaissent qu'à partir de l'âge adulte. Un rachis douloureux à l'adolescence doit faire rechercher une cause secondaire autre que la scoliose.

Certaines études ont montré grâce à des scores de qualité de vie que cette dernière était significativement diminuée chez les patients scoliotiques (Danielsson & Nachemson, 2003)

3. Thérapeutique

3.1. Rééducation

La rééducation a une place importante dans la gestion thérapeutique des scolioses idiopathiques. Elle peut être isolée ou associée au traitement orthopédique et est un complément à la chirurgie, que ce soit en préopératoire ou en post-opératoire. (Negrini et al., 2018)

La littérature montre que la kinésithérapie est indiquée chez l'enfant non pubère ayant une scoliose avec un angle de Cobb supérieur à 15°. Chez les patients ayant un Risser compris entre 0 et 3, l'indication est retenue lorsque le risque de progression est de 40% et quel que soit l'angle de Cobb si douleurs.

Les séances se dérouleront selon plusieurs principes : massages et physiothérapie antalgique, travail postural, assouplissement et renforcement musculaire. Un autre point important est le travail respiratoire qui doit être réalisé même s'il n'y a pas de retentissement aux explorations fonctionnelles respiratoires.

Cette thérapeutique permet une bonne prise en charge des douleurs et des troubles posturaux mais ne permet pas de stopper l'évolution d'une scoliose très évolutive.

3.2. Traitement orthopédique

Le but d'un traitement orthopédique de la scoliose est de contraindre les courbures par des actions mécaniques pour stabiliser le potentiel évolutif pendant la croissance. On peut ainsi espérer une déviation résiduelle compatible avec une vie normale à l'âge adulte.

Ces objectifs peuvent être obtenus au moyen d'un plâtre EDF (élongation, détorsion, flexion) réalisé sur cadre de Cotrel, ou au moyen de corset.

Ce traitement est indiqué pour les scolioses évolutives pour des patients n'ayant pas atteint la maturité osseuse. Cela inclut donc les scolioses entre 20 et 45°, un test de Risser inférieur à 4 et les patientes avant leurs premières règles, voir maximum 1 an après.

Des études récentes ont permis de montrer l'efficacité de cette thérapeutique, notamment Weinstein et al (Weinstein, Dolan, Wright, & Dobbs, 2013). Cette étude multicentrique a permis de montrer une efficacité de 72% pour le groupe corset contre 48% pour le groupe observation. (Richards, Bernstein, D'Amato, & Thompson, 2005)

3.3.Traitement chirurgical

Le principe du traitement chirurgical est d'obtenir une correction de la scoliose dans les 3 plans de l'espace et de fixer cette correction au moyen d'un bloc osseux incluant les vertèbres les plus déformées, cela définit l'arthrodèse vertébrale.

Il existe plusieurs techniques chirurgicales mais le gold standard utilisé pour les scolioses idiopathiques de l'adolescent est l'arthrodèse vertébrale postérieure.

L'indication de la chirurgie est une déformation rachidienne ayant un angle de Cobb de 45 à 50°. Les déformations dans le plan sagittal et la localisation des courbures sont également des critères importants.

De plus, il faut prendre en compte la croissance résiduelle du rachis avant de poser l'indication d'une arthrodèse. La réalisation de ce geste pour des patients ayant un âge osseux aux alentours de 14 ans pour les filles et 16 ans pour les garçons semble des plus indiquées. (Sanders, Herring, & Browne, 1995)

Partie 2 : Etude de l'équilibre sagittal

1. Introduction

La scoliose idiopathique de l'adolescent est une part importante de l'activité d'un chirurgien orthopédiste pédiatre. Cependant, ce n'est que récemment que nous avons pris conscience de l'importance de l'équilibre sagittal du rachis. L'homme est la seule espèce qui présente une courbure lombaire. Cela est dû à notre station debout prolongée. Notre profil a donc une importance primordiale dans notre équilibre rachidien et par conséquent notre équilibre postural.

Lors d'une chirurgie de scoliose, il est donc important d'apporter non seulement une bonne correction dans le plan frontal mais également dans le plan sagittal. L'équilibre sagittal est obtenu au moyen d'un assemblage complexe de courbures allant du rachis cervical au pelvis évoluant au cours du temps. Il semble alors essentiel de connaître les valeurs de ces lordoses, cyphoses et paramètres pelviens dans une population saine, afin de donner une correction chirurgicale cohérente. Cependant, peu d'études s'y sont intéressées dans une population pédiatrique.

Il est également intéressant de se rendre compte que, lors d'une chirurgie, nous allons arthrodéser seulement une partie du rachis mais que le reste des segments rachidiens, eux, vont évoluer avec le temps. Cela peut aller jusqu'à la cyphose jonctionnelle proximale qui est une complication relativement courante pouvant avoir de graves conséquences.

Nous allons dans la première partie de cette étude nous intéresser à l'équilibre sagittal d'une population saine.

Ensuite nous étudierons une population de patients atteints de scoliose idiopathique de l'adolescent afin de comparer le profil rachidien en préopératoire, post-opératoire immédiat et post-opératoire à 2 ans.

Nous nous intéresserons, enfin, plus spécifiquement à la cyphose jonctionnelle post-opératoire au niveau proximal du montage.

L'objectif principal de cette étude est d'essayer de définir un ratio à utiliser, permettant de prédire la survenue d'une PJK en fonction de la lordose et de la cyphose en post-opératoire immédiat.

2. Patients sains

2.1. Définition des différents paramètres sagittaux

Nous allons dans ce paragraphe définir les différents paramètres sagittaux et pelviens que nous allons utiliser.

La **lordose lombaire maximum** est l'angle formé par le plateau supérieur de la vertèbre faisant la transition entre lordose lombaire et cyphose thoracique et le plateau sacré.

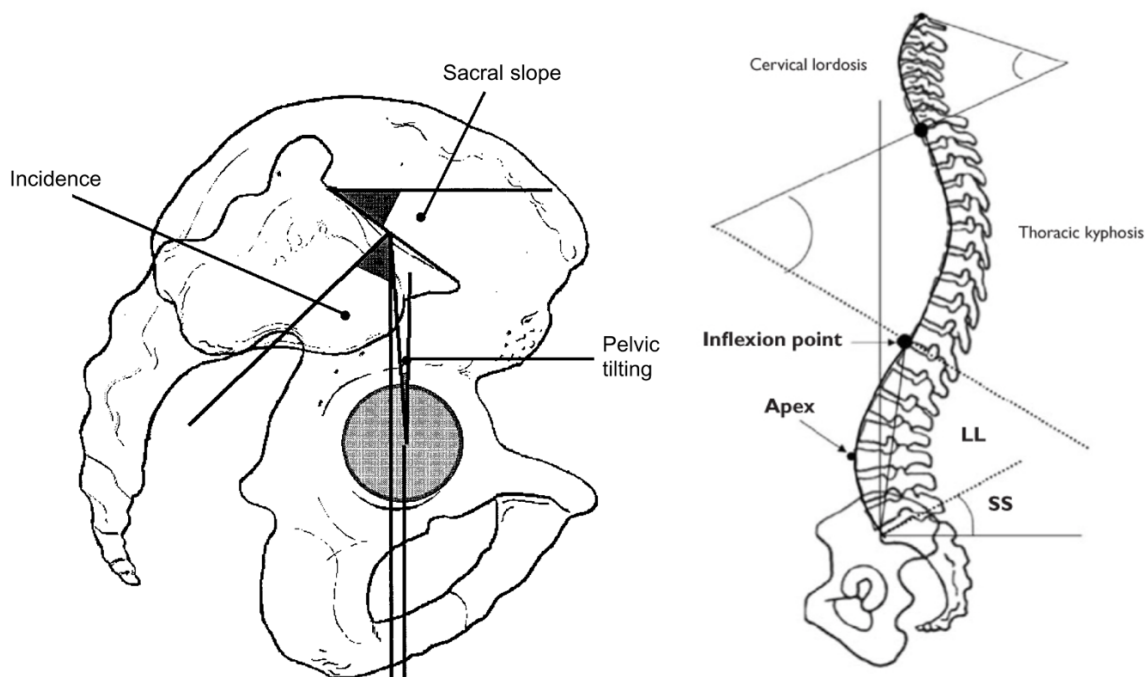
La **cyphose thoracique maximum** est l'angle formé par le plateau inférieur de la vertèbre faisant la transition entre la lordose cervicale et cyphose thoracique et le plateau supérieur de la vertèbre faisant la transition entre lordose lombaire et cyphose thoracique.

L'**incidence pelvienne** est l'angle formé par la perpendiculaire du plateau sacré en son milieu et la droite allant jusqu'au centre des têtes fémorales.

La **pente sacrée** est l'angle formé par le plateau supérieur de S1 et l'horizontal

La **version pelvienne** est l'angle formé par la droite allant du centre du plateau sacré et le milieu des têtes fémorales, et la verticale.

Figure 12 : Paramètres pelviens, lordose lombaire LL, cyphose thoracique. Source : Legaye, Duval-Beaupère, Hecquet, & Marty, 1998



2.2. Matériel et méthode

2.2.1. Population incluse

Il s'agit d'une étude de cohorte rétrospective uni centrique. Les données ont été recueillies sur des patients ayant consultés un orthopédiste pédiatre à l'hôpital de la Timone de Marseille. Elles ont ensuite été analysées au moyen du logiciel KEOPS spine.

Les critères d'inclusion sont :

- Sujet des deux sexes
- Radiographie du rachis en entier en charge de face et de profil dans le dossier
- Déformation rachidienne dans le plan frontal inférieur à 10° d'angle de Cobb
- Age supérieur à 10 ans et inférieur à 20 ans

- Pas de déformation importante de l'équilibre sagittal (pas de dos plat, de maladie de Scheuermann, de spondylolisthésis, etc)
- Pas de déformation ou de lésion vertébrale
- Consultation pour dépistage de scoliose
- Rachis non douloureux

Les critères d'exclusion sont :

- Déformation rachidienne dans le plan frontal supérieur à 10° d'angle de Cobb
- Age inférieur à 10 ans et supérieur à 20 ans
- Déformation ou lésion vertébrale
- Rachis douloureux

2.2.2. Analyses statistiques

Les données sont présentées sous forme de moyenne, de maxima, de minima et d'écart-type. Pour l'étude des corrélations, un test de Pearson est utilisé lorsque la répartition des données suit une loi normale et est de variance constante.

L'ensemble des tests statistiques est réalisé via le logiciel R version 4.0.2 pour Mac OS (<http://biostatgv.sentiweb.fr/>).

Un degré de significativité de 5% a été retenu pour le modèle final. Une valeur de $p < 0,05$ est considérée comme statistiquement significative.

2.3.Résultats

2.3.1. Population incluse

Nous avons obtenu une population de 100 patients dont 78 filles et 22 garçons.

L'âge moyen de la population est de 15,1 ans (de 11 ans à 19,1 ans, écart type : 2,1 ans)

Les caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de cette population notamment l'incidence pelvienne, la version pelvienne, la pente sacrée, la lordose lombaire maximum, la cyphose thoracique maximum, ont été décrites dans le tableau 1

Tableau 1 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de la population saine

	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Incidence pelvienne	48,1°	34,9 ; 61,3 (13,2)	22,5°	84,9°
Version pelvienne	7,8°	-1,1 ; 16,6 (8,8)	-12,2°	38,7°
Pente sacrée	40,3°	31,2 ; 49,4 (9,1)	20°	60,3°
LL Max	59,4°	48,3 ; 70,5 (11,1)	35,7°	83,2°
Tk Max	39,3°	27,9 ; 50,7 (11,4)	14,4°	67,3°
N LLmax	7,45	5,98 ; 8,92 (1,47)	4	11
N Tkmax	9,96	8,29 ; 11,63 (1,67)	6	13

2.3.2. Corrélation

Nous allons maintenant étudier les différents paramètres sagittaux pour essayer de mettre en évidence ceux qui sont liés entre eux.

Après réalisation des tests, il semble que la lordose lombaire maximum soit corrélée à l'incidence pelvienne ($p < 0,01$). Cette corrélation est même importante, car 42% de la lordose est dépendante de l'incidence pelvienne.

De même, la cyphose thoracique et la lordose lombaire sont liées entre elles ($p < 0,01$). 6,7% de la cyphose est due à la lordose.

En ce qui concerne la pente sacrée et la lordose lombaire maximum, une relation est bien mise en évidence ($p < 0,01$). 77% de la lordose est définie par la pente sacrée.

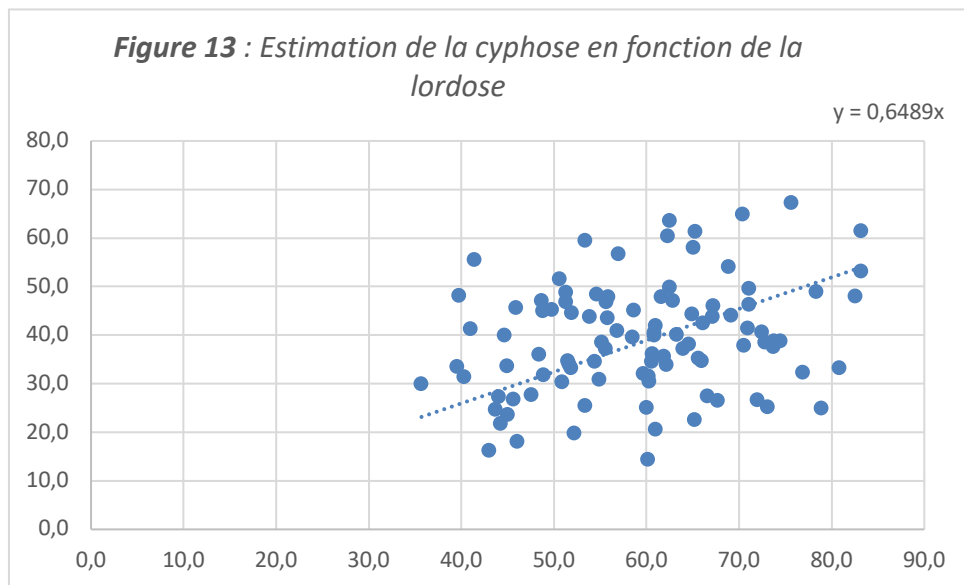
Il existe également une corrélation entre l'incidence pelvienne et la version pelvienne ($p < 0,01$), ainsi que l'incidence pelvienne et la pente sacrée ($p < 0,01$).

Par contre, aucune corrélation n'est mise en évidence entre la cyphose et l'incidence pelvienne ($p > 0,05$), la cyphose et la version pelvienne ($p > 0,05$), la cyphose et la pente sacrée ($p > 0,05$), la lordose et la version pelvienne ($p > 0,05$), la version pelvienne et la pente sacrée ($p > 0,05$).

2.3.3. Régression linéaire :

Nous estimons la cyphose thoracique maximale en fonction de la lordose. Pour cela nous utilisons une régression linéaire. Cette régression est forcée à l'origine car nous prenons pour principe que la lordose et la cyphose sont corrélées de telle manière que, si la lordose est de 0° il faudra que la cyphose soit de 0° également.

Nous obtenons la figure 13 : l'estimation de la cyphose en fonction de la lordose est obtenue au moyen de l'équation de la droite suivante $Tk_{max} = 0,65 * LL_{max}$.



3. Population AIS

3.1. Matériel et méthode

3.1.1. Population incluse

Il s'agit d'une étude de cohorte rétrospective, unicentrique. Les données ont été recueillies au moyen de la base de données du service de chirurgie orthopédique pédiatrique au CHU de Marseille Timone. Un recul minimum de 2 ans post-opératoire était nécessaire. Elles ont ensuite été analysées au moyen du logiciel KEOPS spine.

Les critères d'inclusion sont :

- Sujet des 2 sexes
- Age inférieur à 20 ans
- Radiographie du rachis en entier en charge de face et de profil dans le dossier
- Age supérieur à 10 ans
- Scoliose idiopathique
- Scoliose ayant nécessité une chirurgie
- Chirurgie par arthrodèse vertébrale postérieure selon un montage hybride

Les critères d'exclusion sont :

- Sujets de plus de 20 ans et de moins de 10 ans
- Scoliose non idiopathique
- Traitement chirurgical autre qu'une arthrodèse par voie postérieure
- Patient devant porter un corset en post-opératoire

3.1.2. Analyses statistiques

Les données sont présentées sous forme de moyenne, de maxima, de minima et d'écart-type. Pour l'étude des corrélations, un test de Pearson est utilisé lorsque la répartition des données suit une loi normale et est de variance constante. Pour les comparaisons de moyennes, un test-T de Student est utilisé lorsque la répartition des données suit une loi normale.

L'ensemble des tests statistiques est réalisé via le logiciel R version 4.0.2 pour Mac OS (<http://biostatgv.sentiweb.fr/>).

Un degré de significativité de 5% est retenu pour le modèle final. Une valeur de $p < 0,05$ est considérée comme statistiquement significative.

3.2. Résultats préopératoires

3.2.1 Descriptif

Nous obtenons une population de 115 patients dont 18 garçons (16%) et 97 filles (84%).

L'âge moyen est de 15 ans (de 11,3 ans à 19,5 ans, écart type de 1,7 ans)

Cette cohorte à un angle de Cobb moyen est de 64° , dont un minimum de $31,3^\circ$ et un maximum de $100,3^\circ$ (écart type de $13,3^\circ$).

Nous utilisons la classification de Lenke (annexe 1) pour classer les différents types de courbures et avons obtenu **75,7% de types 1** (dont 52 de type 1A, 19 de type 1B, 16 de type 1C), **18,3% de type 2** (dont 12 de type 2A, 3 de type 2B, 6 de type 2C) et **6% de type 3** (dont 1 de type 3A et 6 de type 3C)

Selon la classification de Roussouly de l'équilibre sagittal (cf Annexe 2), notre population est composée de **3 types 1** (2,6%) ; **24 types 2** (20,9%) ; **36 types 3** (31,3%) et de **52 types 4** (45,2%).

Les caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de cette population en pré opératoire, notamment l'incidence pelvienne, la version pelvienne, la pente sacrée, la lordose lombaire maximum, la cyphose thoracique maximum, la longueur de la lordose et également la longueur de la cyphose, sont décrites dans le tableau 2

Tableau 2 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en préopératoire

	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Incidence pelvienne	52°	(37,3 ; 66,7) 14,7	20,2°	89,7°
Version pelvienne	8,4°	(-0,3 ; 17,1) 8,7	-10,7°	31,7°
Pente sacrée	43,6°	(32,9 ; 54,3) 10,7	14,9°	70,7°
LL Max	59,6°	(45,8 ; 73,4) 13,8	32,4°	100,1°
Tk Max	29,3°	(18,1 ; 40,5) 11,2	4,6°	59,6°
N LL max	8,37	(6,26 ; 10,48) 2,11	4	14
N Tk max	9,3	(7,1 ; 11,5) 2,2	3	14

3.2.2 Études statistiques

Comme précédemment, nous allons étudier les différents paramètres sagittaux pour essayer de mettre en évidence ceux qui sont liés entre eux.

Après réalisation des tests, la lordose lombaire maximum dans la population scoliotique est corrélée à la cyphose thoracique maximum ($p < 0,01$). La lordose lombaire définit 11,5% de la cyphose thoracique dans la population scoliotique.

Il existe également un lien entre la lordose et l'incidence pelvienne ($p < 0,01$), la lordose et la pente sacrée. Une partie de la lordose est donc expliquée pour 45% par l'incidence pelvienne et pour 78% par la pente sacrée.

A contrario, nous ne trouvons pas de corrélation entre la lordose et la version pelvienne, entre la cyphose et l'incidence pelvienne, entre la cyphose et la pente sacrée, et entre la cyphose et la version pelvienne ($p > 0,05$)

Nous allons maintenant comparer les différents paramètres sagittaux entre la population saine et les patients AIS en préopératoire.

Les résultats sont décrits dans le tableau 3.

Tableau 3 : Comparaison population saine, population AIS en préopératoire

	Sains	préop	P value
Ip	48,1°	52°	<0,05
Vp	7,8°	8,4°	NS
Ps	40,3°	43,6°	<0,05
LL max	59,4°	59,6°	NS
Tk max	39,3°	29,3°	<0,05
N LL max	7,45	8,37	<0,05
N Tk max	9,96	9,3	<0,05

Il existe une différence significative entre les patients sains et les patients AIS en préopératoire pour :

- La cyphose thoracique maximum.
- L'incidence pelvienne
- La pente sacrée
- La longueur de la lordose
- La longueur de la cyphose

3.3.Résultats post-opératoires immédiats

3.3.1. Descriptif

L'angle de Cobb moyen en post-opératoire immédiat de la population AIS est de 25,2° . L'angle de Cobb minimum est de 4° et le maximum de 57,4° (écart type de 10,4°). Le pourcentage de correction moyen est donc de l'ordre de 60%.

Les montages utilisés sont de type hybride : crochets en attache proximal, liens sous laminaire dans la courbure et vis pédiculaires en distal.

La dernière vertèbre instrumentée au niveau proximal est T1 dans 9 cas (7,8%), T2 dans 55 cas (47,8%), T3 dans 33 cas (28,8%), T4 dans 15 cas (13%) et T5 dans 3 cas (2,6%).

La dernière vertèbre instrumentée au niveau distal est L1 dans 8 cas (7%), L2 dans 47 cas (40,9%), L3 dans 45 cas (39,1%) et L4 dans 15 cas (13%).

Les caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de cette population en post-opératoire immédiat sont détaillées dans le Tableau 4

Tableau 4 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en post-opératoire immédiat

	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Incidence pelvienne	51°	(36,9 ; 55,1) 14,1	18,7°	88,1°
Version pelvienne	10,1°	(0,5 ; 19,7) 9,6	-15°	30,9°
Pente sacrée	41°	(31,1 ; 50,1) 9,9	20,8°	71,7°
LL Max	60,1°	(48,6 ; 71,6) 11,5	30,3°	92,6°
Tk Max	36,6°	(27,2 ; 46) 9,4	7,7°	56,2°
N LL max	8,77	(7,73 ; 9,81) 1,04	6	12
N Tk max	9,3	(7,88 ; 10,72) 1,42	6	12

3.3.2. Études statistiques

Nous allons comparer les différents paramètres sagittaux entre la population saine et les patients AIS en post-opératoire immédiat. Cela nous permettra de voir si la correction dans le plan sagittal, que l'on donne lors de la chirurgie, est différente de manière significative à l'équilibre sagittal d'une personne saine. (Tableau 5)

Tableau 5 : Comparaison population saine, population post-opératoire immédiat

	Sains	Post op immédiat	P value
Ip	48,1°	51°	NS
Vp	7,8°	10,1°	NS
Ps	40,3°	41°	NS
LL max	59,4°	60,1°	NS
Tk max	39,3°	36,6°	NS
N LLmax	7,45	8,77	<0,05
N Tk max	9,96	9,3	<0,05

Il en résulte qu'en post-opératoire immédiat, la longueur de la lordose et de la cyphose ne sont pas comparables à celles de la population saine ($p < 0,05$).

Maintenant, nous allons comparer les différents paramètres sagittaux entre le préopératoire et post-opératoire immédiat. Cela nous permettra de voir quelles sont les corrections significatives que nous infligeons au plan sagittal lors de la chirurgie. (Tableau 6)

Tableau 6 : Comparaison population AIS préopératoire, population AIS post-opératoire immédiat

	préop	Post-op immédiat	P value
Ip	52°	51°	NS
Vp	8,4°	10,1°	P<0,05
Ps	43,6°	41°	P<0,05
LLmax	59,6°	60,1°	NS
Tk max	29,3°	36,6°	P<0,05
N LL max	8,37	8,77	P<0,05
N Tk max	9,3	9,3	NS

En post-opératoire immédiat, il y a une différence significative entre la cyphose thoracique, la version pelvienne, la pente sacrée et la longueur de la lordose (p<0,05).

3.3. Résultats post-opératoires à 2 ans

3.4.1 Descriptif

L'angle de Cobb moyen en post-opératoire à 2 ans de la population AIS est de 29,2°. L'angle de Cobb minimum est de 8,3° et le maximum de 62° (écart type de 10,9°). Le pourcentage de correction moyen à 2 ans post-opératoire est de l'ordre de 54%.

Les caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal de cette population en post-opératoire à 2 ans sont détaillées dans le Tableau 7

Tableau 7 : Caractéristiques radiographiques de l'équilibre sagittal en post-opératoire 2 ans

	Moyenne	Ecart type	Min	Max
Incidence pelvienne	51,6°	(37,7 ; 65,5) 13,9	21,25°	85,31°
Version pelvienne	7,97°	(-1,33 ; 17,27) 9,3	-15°	28,5°
Pente sacrée	43,7°	(33,3 ; 54,1) 10,4	7,1°	67,3°
LL Max	67,7°	(55,1 ; 80,3) 12,6	22,5°	98,6°
Tk Max	47,8°	(36,6 ; 59) 11,2	21,7°	78°
N LL max	8,87	(7,91 ; 9,83) 0,96	5	12
N Tk max	9,34	(8,13 ; 10,55) 1,21	6	13

3.3.2. Études statistiques :

Nous allons maintenant, comparer les différents paramètres sagittaux entre les patients AIS en post-opératoire immédiat et à 2 ans. Cela nous permettra de voir si la correction dans le plan sagittal que l'on donne lors de la chirurgie se modifie au cours du temps. (tableau 8)

Tableau 8 : Comparaison population AIS post-op immédiat, population AIS post-op 2 ans

	Post-op immédiat	Post-op 2 ans	P value
Ip	51°	51,6°	NS
Vp	10,1°	7,97°	<0,05
Ps	41°	43,7°	<0,05
LL max	60,1°	67,7°	<0,05
Tk max	36,6°	47,8°	<0,05
N LLmax	8,77	8,87	NS
N Tk max	9,3	9,34	NS

Grâce à ce test, nous pouvons conclure que la lordose, la cyphose, la version pelvienne et la pente sacrée se sont modifiées en 2 ans post-opératoire. ($p < 0,05$)

Par ailleurs, il est intéressant de savoir si l'équilibre sagittal à 2 ans post-opératoire diffère de la population saine. (Tableau 9)

Tableau 9 : Comparaison population saine, population AIS post-op 2 ans

	sains	Post-op 2 ans	P value
Ip	48,1°	51,6°	NS
Vp	7,8°	7,97°	NS
Ps	40,3°	43,7°	<0,05
LL max	59,4°	67,7°	<0,05
Tk max	39,3°	47,8°	<0,05
N LLmax	7,45	8,87	<0,05
N Tk max	9,96	9,34	<0,05

Nous obtenons alors que la lordose, la cyphose et la pente sacrée ainsi que la longueur de la lordose et de la cyphose sont significativement différentes de la population saine.

Enfin, il est également intéressant de savoir si l'équilibre à 2 ans post-opératoire diffère de celui en préopératoire. (tableau 10)

Tableau 10 : Comparaison population AIS préop, population AIS post-op 2 ans

	préop	Post-op 2 ans	P value
Ip	52°	51,6°	NS
Vp	8,4°	7,97°	NS
Ps	43,6°	43,7°	NS
LL max	59,6°	67,7°	<0,05
Tk max	29,3°	47,8°	<0,05
N LLmax	8,37	8,87	<0,05
N Tk max	9,3	9,34	NS

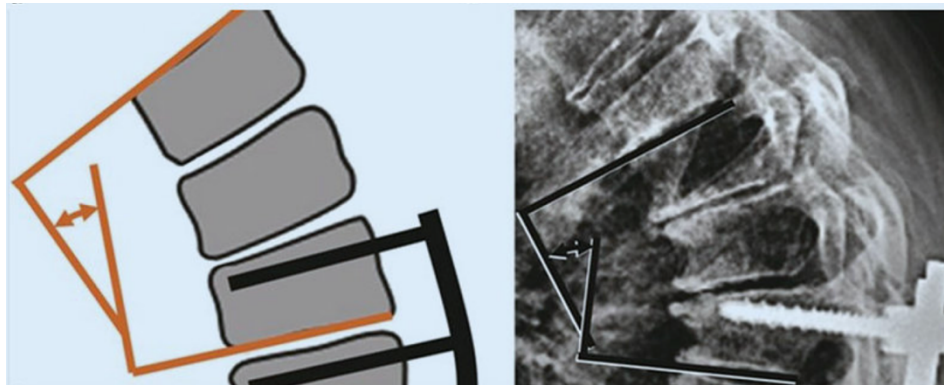
Il existe une différence significative entre la lordose, la cyphose, la longueur de la lordose entre le préopératoire et le post-opératoire à 2 ans.

4. Analyse de la cyphose jonctionnelle proximale

4.1.Définition

Glattes définit la cyphose jonctionnelle au niveau proximal du montage de l'arthrodèse comme l'angle mesuré en post-opératoire entre le plateau inférieur de la première vertèbre instrumentée et le plateau supérieur de la 2^e vertèbre qui se trouve au-dessus du montage. Il y a une cyphose jonctionnelle si cet angle est supérieur à 10° et si la différence entre l'angle post-opératoire et préopératoire est également supérieur à 10°. (Figure 15) (Glattes et al., 2005)

Figure 15 : Mesure de l'angle d'une PJK. Source : Yagi, Akilah, & Boachie-Adjei, 2011



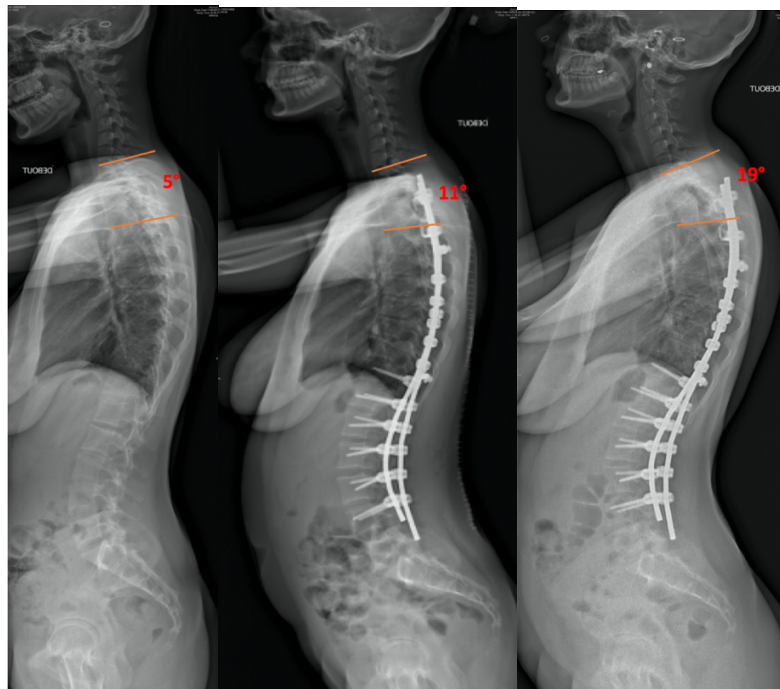
Selon la littérature l'incidence de la cyphose jonctionnelle post-opératoire est de l'ordre de 14% dans la population AIS. C'est donc une complication relativement courante de l'arthrodèse rachidienne. Il est également décrit que 60% de ces complications apparaissent dans les 2 ans post-opératoire. (Yagi et al., 2011)

Plusieurs facteurs de risques ont été définis :

- La fixation proximale par vis pédiculaire plutôt que par crochet
- Une instrumentation uniquement par vis pédiculaire
- Une lordose et une cyphose importante en préopératoire
- Un changement important dans la cyphose et la lordose en post-opératoire
- L'intégrité des ligaments et tissus mous en postérieur du rachis

La PJK est en réalité un mécanisme de compensation dû à une cyphose trop peu importante comparée au reste de l'équilibre sagittal en post-opératoire. L'équilibre sagittal est donc trop postérieur et la finalité est de repositionner la tête au-dessus du pelvis. (Figure 16)

Figure 16 : Exemple d'un patient présentant une PJK à 2 ans post-opératoire. Radiographies respectivement en préopératoire, post-opératoire immédiat et post-opératoire 2 ans



Cette complication post-opératoire entraîne principalement des douleurs, ne nécessitant pas de reprise chirurgicale. Cependant, certaines PJK peuvent aller jusqu'à une défaillance au niveau de la cyphose jonctionnelle (PJF : proximal junctional failure) qui a un retentissement clinique important.

Selon Ferrero et al., 2018, 3% des patients présentant une PJK nécessitent une reprise chirurgicale.

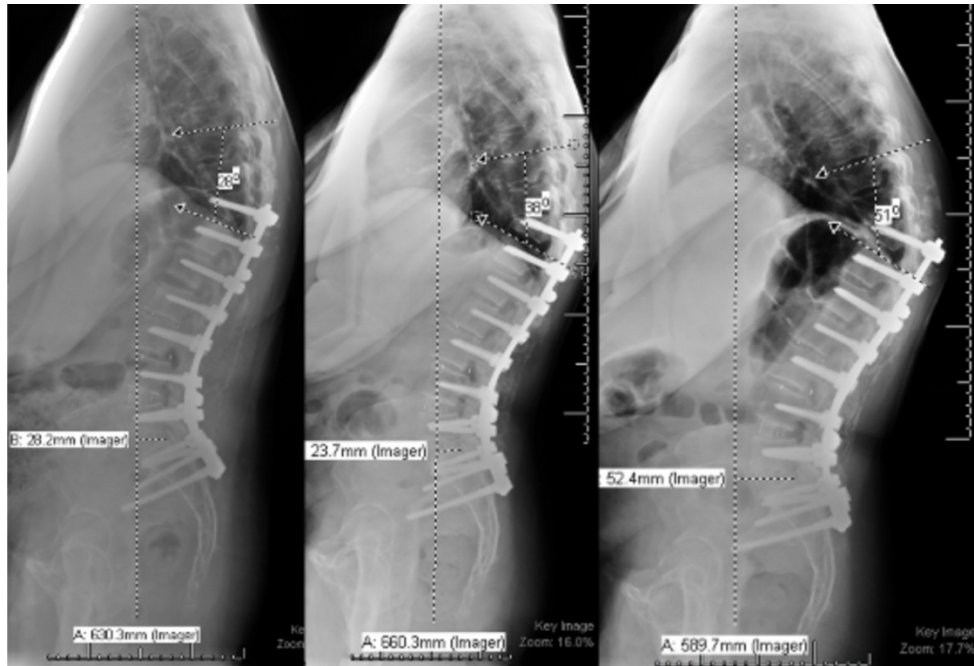
La PJF est définie par (figure 17):

- Une fracture de la première vertèbre non instrumentée (UIV+1) ou de la dernière vertèbre instrumentée, ou
- un échec de fixation proximale, ou
- une cyphose jonctionnelle nécessitant une reprise chirurgicale pour extension de l'arthrodèse dans les 6 mois post-opératoire.

Celle-ci peut se manifester par d'importantes douleurs, des troubles neurologiques, des difficultés lors de la déambulation, des difficultés à maintenir un regard horizontal et un isolement social.

Dans la littérature, il est décrit que 47,4% des patients présentant une PJF nécessitent une reprise chirurgicale. (Raman, Miller, Martin, & Kebaish, 2017), (Spina, Abiola, & Lawrence, 2017)

Figure 17: Evolution radiologique d'une PJK en PJF. Radiographies respectivement à 6 semaines, 3 mois et 18 mois, avec mise en évidence d'une fracture à 18 mois de l'UIV. Source : Spina et al., 2017



4.2. Matériels et méthodes

4.2.1. Définition du ratio

Le principe généralement admis sur l'équilibre sagittal est que, la cyphose et la lordose sont proportionnelles. Il en découle donc que, si on réalise un montage avec une longue lordose, de grande amplitude et que l'on a par ailleurs réalisé une petite cyphose, il y aura alors un risque accru de PJK. Cela sera dû au segment proximal du rachis non instrumenté qui compensera cette petite cyphose.

A partir de cette hypothèse nous allons essayer de définir un ratio, à calculer en post-opératoire immédiat, permettant de prédire la formation d'une PJK prenant en compte :

- **LLmax** = valeur de la lordose maximum
- **N LLmax** = nombre de vertèbres présentes dans la lordose ce qui correspond à la longueur de la lordose
- **Tkmax** = valeur de la cyphose maximum
- **N Tkmax** = nombre de vertèbres présentes dans la cyphose, ce qui correspond à la longueur de la cyphose

$$\text{Ratio LL-TK} = \frac{\text{LLmax} * \text{N LLmax}}{\text{Tkmax} * \text{N Tkmax}}$$

Ce ratio va donc augmenter si le patient présente une longue et ample lordose et une petite cyphose.

4.2.2. Analyses statistiques

Les données sont présentées sous forme de moyenne, de maxima et de minima et d'écart-type. Pour l'étude des corrélations, un test de Pearson est utilisé lorsque la répartition des données suit une loi normale et est de variance constante.

Pour les comparaisons de moyennes, un test-T de Student est utilisé lorsque la répartition des données suit une loi normale. Pour les effectifs non appariés, différents en taille et inférieurs à 30, nous réalisons dans un premier temps un test F de comparaison des variances pour mettre en évidence ou non une différence significative. Si nous avons une différence significative entre les variances, un test de Mann-Whitney est utilisé, sinon, nous utilisons un test de Student. Enfin, pour les effectifs appariés inférieurs à 30 et ayant une distribution normale des écarts, nous utilisons un test de Student.

L'ensemble des tests statistiques est réalisé via le logiciel R version 4.0.2 pour Mac OS (<http://biostatv.sentiweb.fr/>). L'analyse des odds ratio est réalisée au moyen du logiciel Medcalc (https://www.medcalc.org/calc/odds_ratio.php)

Un degré de significativité de 5% est retenu pour le modèle final. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative.

4.3.Résultats

Parmi les 115 patients opérés d'une arthrodèse vertébrale postérieure selon un montage hybride, 8 (7%) ont présenté une cyphose jonctionnelle en proximal du montage en post-opératoire immédiat. Parmi ces 8 patients, 2 ne présentent plus de PJK à 2 ans post-opératoire. Pour les 6 patients restants, la définition de la PJK à 2 ans post-opératoire est encore valable. Lorsque l'on observe l'équilibre sagittal, à 2 ans post-opératoire, 21 (18,3%) patients parmi les 115 présentent une PJK.

Nous allons comparer l'équilibre sagittal en préopératoire entre les patients présentant une PJK à 2 ans post-opératoire et ceux qui n'en présentent pas. Nous retirons les données des 2 patients qui présentent une PJK en post-opératoire immédiat mais plus à 2 ans.

Les résultats sont décrits dans le tableau 11

Tableau 11 : Comparaison de l'équilibre préopératoire entre les patients présentant une PJK et ceux n'en présentant pas à 2 ans post-opératoire

	PJK	No PJK	P
Patients	21	92	
LL max	64°	58,6°	NS
N LL max	8,3	8,4	NS
Tk max	35,3°	28,1°	0,01
N Tk max	9,3	9,2	NS
Ip	50,1°	52,6°	NS
Vp	5,5°	9,3°	NS
Ps	44,6°	43,2°	NS

Nous avons pu identifier une différence significative entre la cyphose préopératoire des patients présentant une PJK à 2 ans post-opératoire et ceux n'en présentant pas.

Dans le **tableau 12**, nous allons présenter les différentes moyennes de LL max, Tk max, N LL max et N Tk max. Nous comparons les moyennes de ces différents paramètres en post-opératoire immédiat entre les patients ayant présenté une PJK à 2 ans post-opératoire et ceux qui n'en présentent pas.

De plus, au moyen de la formule $Tk_{max} = 0,65 * LL_{max}$, que nous avons établie grâce à notre population saine, nous allons définir une cyphose idéale (**Tk idéale**) en fonction de la lordose donnée en post-opératoire immédiat.

Pour que nos résultats ne soient pas faussés, nous retirons de notre population de base les 8 patients ayant présenté une PJK en post-opératoire immédiat. Nous obtenons alors une population de 107 patients, dont 15 (14%) présentant une PJK à 2 ans post-opératoire.

Tableau 12 : Comparatif des paramètres sagittaux et du ratio en post-opératoire immédiat entre les patients présentant une PJK ou non

	PJK	No PJK	P
Patients	15	92	
LL max	67,2°	58,9°	0,007
N LL max	8,9	8,8	NS
Tk max	-38,2°	-35,7°	NS
N Tk max	9,4	9,2	NS
Ip	49,2°	51,8°	NS
Vp	2,47°	11,8°	0,0002
Ps	46,8°	40°	0,02
Tk idéale	-43,7°	-38,3°	
Tk idéale – Tk max	5,5°	2,6°	NS
Ratio	1,94	1,81	NS

Il existe une différence significative entre les LL max, les versions pelviennes et les pentes sacrées.

Cependant, nous n'avons pas pu prouver de différence significative entre les ratios. Ce ratio n'a donc pas pu être validé statistiquement.

De plus, aucune différence significative n'a été mise en évidence pour l'écart de cyphose entre Tk idéal et Tk max.

Pour finir, nous allons étudier la différence entre la cyphose idéale post-opératoire immédiate et la cyphose réelle obtenue en post-opératoire immédiate, dans la population présentant une PJK en post-opératoire à 2 ans. Aucune différence significative n'a été mise en évidence ($p > 0,05$).

4.4.Calculs des odds ratio

Nous partons toujours du principe que de donner une lordose trop importante et une cyphose pas assez importante est responsable d'une PJK. Nous voulons alors prouver que l'augmentation du ratio en post- opératoire immédiat, comparé au préopératoire, entraîne un risque de PJK à 2 ans post-opératoire. Les résultats sont décrits dans le tableau de contingence 13.

Tableau 13 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou diminution du ratio et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Augmentation ratio	8	33
Diminution ratio	7	59

Le risque d'avoir une PJK à 2 ans post-opératoire n'est pas significatif (OR=2,04 ; p = 0,2) lorsque le ratio augmente en post-opératoire immédiat.

Nous allons également étudier le risque de PJK en fonction de la cyphose et de la lordose préopératoire (**Tableau 14 et tableau 15**)

Tableau 14 : Nombre de patients en fonction de la cyphose préopératoire < ou > -40° et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Tk préop < -40°	7	11
Tk préop > -40°	14	81

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire est significatif (OR=3,7 ; p=0,02) lorsque la cyphose est <-40° en préopératoire.

Tableau 15 : Nombre de patients en fonction de la lordose préopératoire < ou > 70° et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
LL préop >70°	8	15
LL préop < 70°	13	77

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire est significatif (OR=3,16 ; p=0,03) lorsque la lordose est >70° en préopératoire.

Maintenant, nous allons voir si la diminution de la cyphose en post-opératoire immédiat est un facteur de risque au moyen du **tableau 16**.

Tableau 16 : Nombre de patients en fonction de la diminution ou non de la cyphose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Diminution Tk	7	19
Augmentation Tk	8	73

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire est significatif (OR=3,36 ; p=0,036) lorsque la cyphose est diminuée en post-opératoire immédiat.

De plus, nous allons étudier les conséquences d'une augmentation de la lordose en post-opératoire immédiat sur le risque de survenue d'une PJK. (**Tableau 17**)

Tableau 17 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou non de la lordose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Augmentation LL	9	49
Diminution LL	6	43

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire est non significatif (OR=1,3 ; p=0,6) lorsque la lordose est augmentée en post-opératoire immédiat.

Enfin, nous allons présenter les conséquences d'une augmentation de la longueur de la lordose et d'une diminution de la longueur de la cyphose en post-opératoire immédiat sur le risque de survenue d'une PJK. Les résultats sont respectivement présentés dans le **tableau 18** et le **tableau 19**.

Tableau 18 : Nombre de patients en fonction de l'augmentation ou non de la longueur de la lordose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Augmentation N LL	9	47
Diminution N LL	6	45

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire lorsque la longueur de la lordose est augmentée en post-opératoire immédiat, comparé à celle en préopératoire, est non significatif (OR= 1,44 ; p=0,52)

Tableau 19 : Nombre de patients en fonction de la diminution ou non de la longueur de la cyphose en post-op immédiat, et la survenue ou non d'une PJK en post-op 2 ans

	PJK	No PJK
Diminution N Tk	8	34
Augmentation N Tk	7	58

Le risque de présenter une PJK à 2 ans post-opératoire est non significatif (OR=1,95 ; p=0,23) lorsque la longueur de la cyphose est diminuée en post-opératoire immédiat.

5. Discussion

5.1. Population saine

Peu d'études analysent l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine pédiatrique. La plupart ont été réalisées sur des populations adultes. L'article de Vialle et al., 2005 retrouve notamment les valeurs moyennes suivantes : LL max 60° ; Tk max 41,2° ; Ps 41° ; VP 13° et IP 55°. Comme dans notre étude, les auteurs mettent en évidence une forte corrélation entre LL max et IP, PS et Tk max. Cependant, Vialle et al. trouvent une corrélation également entre l'IP et Tk max que nous ne retrouvons pas dans notre étude. Cela peut être dû au fait que dans cet article, ils étudient une population d'adultes allant de 20 ans à 70 ans. En effet, Li, Betz, & Labelle, 2004 ainsi que Mac-Thiong, Labelle, & Roussouly, 2011, ont démontré qu'il existe une corrélation significative entre l'âge et la cyphose ainsi qu'entre l'âge et l'incidence pelvienne. L'action de l'âge sur la cyphose et l'incidence pelvienne peut expliquer que nous ne retrouvons pas les mêmes corrélations dans une population adulte.

La plupart des études que nous avons pu trouver sur la population pédiatrique déterminent une différence entre les paramètres sagittaux en fonction de l'âge et non l'existence de corrélations entre eux. (Li, Betz, & Labelle, 2004)

Bien que Anwar, Butler, Yarashi, Rajakulendran, & Molloy, 2015 incluent en partie une population pédiatrique, elle n'y est pas isolée. Les différentes analyses ont été réalisées sur un ensemble d'enfants mais aussi d'adultes.

Les moyennes des différents paramètres sagittaux varient en fonction des études. Cela est dû au fait que selon les auteurs, les définitions de lordoses, cyphoses, et autres paramètres peuvent varier. De plus, les limites des courbes du rachis sont la plupart du temps définies par une personne et peuvent donc varier d'un individu à l'autre. Dans notre étude, ces courbes sont définies par le logiciel KEOPS spine, ce qui est moins arbitraire.

Mac-Thiong, Labelle, Berthonnaud, Betz, & Roussouly, 2007 obtiennent comme moyenne, dans une population pédiatrique : $49,1^{\circ}$; $7,7^{\circ}$; et $41,4^{\circ}$ pour respectivement l'incidence pelvienne, la version pelvienne et la pente sacrée et 48° ; 44° pour la lordose et la cyphose.

Nous retrouvons dans cette étude les mêmes corrélations que nous avons nous même pu identifier au niveau des paramètres sagittaux et pelviens. Dans notre étude, la moyenne de la lordose max est de l'ordre de $59,4$; cela est plus élevé que dans la littérature. Le reste des paramètres semblent comparables.

Il semble logique de trouver que l'IP est fortement corrélée à VP et PS. En effet, il est communément admis que l'incidence pelvienne correspond à la somme de la version pelvienne et de la pente sacrée. (Mac-Thiong et al., 2007)

Nous avons mis en évidence que seulement $6,7\%$ de la cyphose est expliquée par la lordose. Cela semble peu mais prouve bien qu'il y a d'autres paramètres à prendre en compte pour définir une cyphose.

5.2. AIS préopératoire

Plusieurs articles ont analysé l'équilibre sagittal de patients présentant une scoliose idiopathique de l'adolescent. Notamment La Maida, Zottarelli, Mineo, & Misaggi, 2013, en préopératoire, les différents paramètres pelviens sont de l'ordre de $48,89^\circ$ pour l'incidence pelvienne et de $37,42^\circ$ pour la pente sacrée. La lordose moyenne de cette même population est de $49,76^\circ$, et la cyphose de $30,04^\circ$. Cela semble correspondre avec les paramètres de notre population AIS, sauf pour la lordose. En effet, sa valeur est plus élevée ($59,6^\circ$) que celle des autres études. Etant donné que nous avons retrouvé ce même phénomène dans notre population saine, nous pouvons penser que cela est dû aux caractéristiques intrinsèques de la population étudiée.

Nous avons analysé les corrélations qui existent entre les différentes courbures et paramètres pelviens. Nous retrouvons les mêmes que pour la population saine. Il n'y a donc pas de changement de relation entre les paramètres de l'équilibre sagittal chez une personne présentant une scoliose.

Notre comparaison entre les patients AIS et les patients sains a montré qu'il existe une différence non significative au niveau de la lordose. Cependant, une différence significative a été retrouvée pour la cyphose. Ces résultats sont en accord avec la définition d'une déformation scoliotique qui est souvent associée à un trouble de l'équilibre sagittal au niveau thoracique. Hilibrand, Tannenbaum, Graziano, Loder, & Hensinger, 1995 et La Maida et al., 2013 obtiennent les mêmes conclusions.

5.3. AIS post-opératoire immédiat

La Maida et al., 2013 montrent que la chirurgie permet une correction significative au niveau du profil sagittal seulement pour la version pelvienne.

Roussouly, Labelle, Rouissi, & Bodin, 2013 montrent une différence significative pour la pente sacrée, version pelvienne et pour la lordose lombaire entre le pré et le post-opératoire.

Dans notre population étudiée, une correction significative en post-opératoire immédiat a été réalisée pour la cyphose thoracique, version pelvienne, pente sacrée et la longueur de la lordose. Par contre, nous ne trouvons pas de différence significative entre le pré et post-opératoire pour la lordose, l'incidence pelvienne et la longueur de la cyphose.

De plus, nous avons comparé le profil des patients en post-opératoire immédiat à celui des patients sains. Nous n'avons pas pu conclure à une différence significative des paramètres pelviens, de la lordose et de la cyphose. Il serait intéressant de réaliser des études statistiques d'équivalence pour pouvoir admettre que l'on donne, grâce à la chirurgie, un profil équivalent à celui d'une personne saine. Cependant, notre étude manque de puissance, il nous aurait fallu plus de 3 000 patients pour réussir à prouver l'équivalence. Notre population est donc trop petite pour aboutir à une telle conclusion.

La différence entre les incidences pelviennes pré et post-opératoire est non significative. Il semble cohérent de ne pas réussir à prouver de différence pour ce paramètre. En effet, selon la littérature, l'incidence pelvienne est propre à chaque individu et n'est stable qu'à partir de l'adolescence. (Legaye, Duval-Beaupère, Hecquet, & Marty, 1998)

5.4. AIS post-opératoire 2 ans

Nous avons pu montrer que l'équilibre du rachis évolue, malgré l'arthrodèse, au cours du temps. Les seuls paramètres pour lesquels nous n'avons pas pu prouver de différence significative sont l'incidence pelvienne, la longueur de la lordose et de la cyphose. Encore une fois, nous ne pouvons pas prouver leur équivalence par manque de puissance. Cela semble pourtant logique car le nombre de vertèbres impliquées dans la lordose et dans la cyphose est forcément fixe du fait de l'arthrodèse. Les angles de la lordose et de la cyphose se modifient au cours du temps car tout le rachis n'a pas été fixé. Une mobilité persiste car toutes les vertèbres ne sont pas instrumentées.

Du fait de ces modulations au cours du temps, on obtient un équilibre à 2 ans post-opératoire qui n'est plus comparable à celui en post-opératoire immédiat.

De plus notre comparaison de l'équilibre sagittal entre le post-opératoire 2 ans et les patients sains nous permet de conclure que l'équilibre sagittal est significativement différent. Cet équilibre ne se corrige donc pas au cours du temps pour obtenir un profil équivalent à celui d'une personne saine.

Enfin, nous avons mis en évidence des différences significatives entre l'équilibre sagittal en préopératoire et post-opératoire à 2 ans. Cela prouve que le profil rachidien évolue au cours du temps, mais non pas pour revenir à son point de départ.

5.5. Etude de la cyphose jonctionnelle

Notre étude objective 14% de cyphose jonctionnelle au niveau proximal du montage à 2 ans post-opératoire. Ce résultat correspond bien aux données de la littérature, en effet Yagi et al., décrivent une incidence de l'ordre de 14%.

Nous avons pris le parti de retirer de notre étude les patients ayant présenté une PJK en post-opératoire immédiat. En effet, nous ne voulions étudier que les profils rachidiens ne présentant pas en post-opératoire immédiat cette déformation, mais l'obtenant par la suite. Notre but étant de définir un profil post-opératoire immédiat à risque.

Nous avons mis en évidence une différence significative seulement de la cyphose en préopératoire entre les patients présentant une PJK et ceux qui n'ont pas cette complication à 2 ans ($p < 0,05$). Ferrero et al., 2018 eux, ont également identifié une différence significative entre la lordose et l'incidence pelvienne.

Ces données sont cohérentes avec un risque accru de PJK pour une grande cyphose en préopératoire. En effet, dans ce cas en per-opératoire, le risque est de donner une cyphose moins importante, déclenchant alors ce mécanisme de compensation.

Nous sommes arrivés à cette même conclusion au moyen de l'odds ratio en utilisant un cut-off d'une cyphose de plus de 40° en préopératoire.

Nous avons montré qu'une lordose préopératoire supérieure à 70° est à risque de développer une PJK, ce qui coïncide avec les facteurs de risque déjà établis dans la littérature. (Yagi et al., 2011)

En utilisant l'odds ratio, nous n'avons pas pu prouver de manière significative que le fait de donner une lordose plus importante lors de la chirurgie induit un risque de développer une PJK. Par contre, nous avons pu prouver qu'une diminution de la cyphose lors de la chirurgie est, elle, à risque de PJK. Enfin, nous avons noté une différence significative pour la cyphose entre le préopératoire et le post-opératoire, ce qui n'est pas le cas de la lordose.

Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que les chirurgiens de notre étude, lors des opérations, n'ont pas tendance à hyperlordoser leurs tiges mais plus à donner une petite cyphose pour les patients présentant une PJK à 2 ans post-opératoire.

Nous avons comparé dans la population PJK la cyphose idéale et la cyphose réellement obtenue en post-opératoire. Nous avons également comparé les différences obtenues entre T_k idéale et T_k max des populations PJK et non PJK. Nous pensons que ces comparaisons seraient significativement différentes. Il semble logique de se dire que plus la cyphose idéale est grande en comparaison à la cyphose obtenue, plus nous sommes à risque de PJK. Cependant, nous n'avons pas réussi à mettre en évidence de différences significatives entre ces paramètres. Cela peut être dû à notre formule de départ qui définit la cyphose idéale seulement à partir de la lordose. Nous pouvons donc penser que la cyphose idéale ne dépend pas seulement de la lordose que nous allons donner, mais également d'autres paramètres comme par exemple, les paramètres pelviens.

Nous n'avons pas réussi à valider statistiquement notre ratio. Cela peut être dû à la population qui peut être trop petite pour réussir à mettre en évidence une différence significative.

Cela peut aussi être dû, au fait que nous ne prenons pas en compte les autres facteurs de risque de PJK comme par exemple le type de montage, l'influence des autres paramètres pelviens ou encore, l'intégrité des éléments postérieurs du rachis.

En utilisant l'odds ratio, nous n'avons pas pu montrer l'existence d'un risque significatif de présenter une PJK lorsque le ratio augmente en post-opératoire. Il semblerait pourtant logique de se dire qu'un ratio augmentant en post-opératoire signifie que l'équilibre est trop postérieur induisant ainsi une PJK.

Plusieurs études ont essayé de définir une formule pour prédire l'alignement post-opératoire idéal. Notamment Lafage et al., 2011 ont utilisé les paramètres pelviens et sagittaux pour essayer de définir l'équilibre post-opératoire idéal. Cependant, ces études ont été réalisées sur des populations adultes.

Des logiciels ont même été développés pour planifier en préopératoire le cintrage des tiges qui doit être fait pour obtenir un équilibre idéal, comme par exemple : SURGIMAP.

5.6. Forces et limites

Notre étude a plusieurs limites. En effet, il s'agit d'une étude monocentrique. De plus, l'effectif est faible, ne nous permettant pas de conclure à des équivalences et de valider statistiquement notre ratio.

Cette étude est l'une des seules essayant de trouver un ratio pour prédire la survenue d'une PJK.

De plus, il y a peu d'études qui analysent l'équilibre sagittal en préopératoire et post-opératoire d'une scoliose idiopathique de l'adolescent. La Maida, Zottarelli, Mineo, & Misaggi, 2013: ont une population moins importante que la nôtre et Roussouly, Labelle, Rouissi, & Bodin, 2013⁴⁴ ont une population plus importante mais qui inclus des patients adultes.

Enfin, le fait d'utiliser le logiciel KEOPS pour obtenir les mesures de l'équilibre frontal et sagittal permet une mesure objective des résultats.

6. Conclusion

Les différentes mesures réalisées sur l'équilibre des patients sains nous ont permis de montrer qu'il existe une corrélation entre la lordose lombaire, la cyphose, l'incidence pelvienne et également la pente sacrée. Cela est cohérent avec ce qui est retrouvé dans la littérature.

L'étude sur la population de patients présentant une scoliose idiopathique de l'adolescent nous a permis de conclure que les différents paramètres sagittaux restent corrélés de manière comparable à la population saine. Nous avons également mis en évidence une forte discordance des paramètres sagittaux entre ces 2 populations.

Grâce à l'analyse en post-opératoire immédiat, nous avons pu montrer que l'on obtient une correction chirurgicale significative de la cyphose thoracique, de la version pelvienne, de la pente sacrée et la longueur de la lordose.

Enfin, l'étude à 2 ans post-opératoire nous a permis de prouver que l'équilibre sagittal du rachis évolue au cours du temps malgré l'arthrodèse.

Pour finir, nous avons réalisé un travail sur la cyphose jonctionnelle en proximal du montage de l'arthrodèse. Cela nous a permis de confirmer qu'une cyphose et une lordose trop importantes en préopératoire sont à risque de PJK. Donner une plus petite cyphose en post-opératoire constitue un autre facteur de risque.

Nous avons essayé de trouver un ratio, entre la longueur ainsi que l'amplitude de la lordose et la longueur et l'amplitude de la cyphose, permettant de prédire la survenue d'une PJK à 2 ans

post-opératoire. Nous n'avons pas réussi, dans cette étude, à définir ce ratio comme valide statistiquement.

Il n'en reste pas moins intéressant d'essayer de définir ce ratio. En effet, un tel outil pourrait être utile à la réalisation du plan préopératoire d'une arthrodeuse chez des patients à risque de PJK.

Bibliographie

1. Ahl, T., Albertsson-Wikland, K., & Kalém, R. (1988). Twenty-four-hour growth hormone profiles in pubertal girls with idiopathic scoliosis. *Spine*, Vol. 13, pp. 139–142. <https://doi.org/10.1097/00007632-198802000-00001>
2. Andry, N. (1741). *L'Orthopédie ou l'art de prévenir et de corriger dans les enfans, les difformités du corps* (p. 348). p. 348.
3. Anwar, H. A., Butler, J. S., Yarashi, T., Rajakulendran, K., & Molloy, S. (2015). Segmental Pelvic Correlation (SPeC): A novel approach to understanding sagittal plane spinal alignment. *Spine Journal*, 15(12), 2518–2523. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2015.09.021>
4. Berthonnaud, E., Dimnet, J., Roussouly, P., & Labelle, H. (2005). Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *Journal of Spinal Disorders and Techniques*, 18(1), 40–47. <https://doi.org/10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77>
5. Brown, C., & Roussouly, Æ. P. (2008). *Intra- and inter-observer reliability of determining radiographic sagittal parameters of the spine and pelvis using a manual and a computer-assisted methods*. 1373–1379. <https://doi.org/10.1007/s00586-008-0755-1>
6. Cil, A., Yazici, M., Uzumcugil, A., Kandemir, U., Alanay, A., Alanay, Y., ... Surat, A. (2005). The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine*, 30(1), 93–100. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000149074.21550.32>
7. Cottalorda, J., Kohler, R., Dohin, B., & Bourelle, S. (2005). *Histoire de l'appareillage de la scoliose*. 13, 2–3.

8. Danielsson, A. J., & Nachemson, A. L. (2003). Back pain and function 22 years after brace treatment for adolescent idiopathic scoliosis: A case-control study - Part I. *Spine*, 28(18), 2078–2085. <https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000084268.77805.6F>
9. Daubs, M. D. (2016). Sagittal alignment changes and proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Journal*, 16(6), 784–785. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2016.02.019>
10. De George, F. V., & Fisher, R. L. (1967). Idiopathic scoliosis: genetic and environmental aspects. *Journal of Medical Genetics*, 4(4), 251–257. <https://doi.org/10.1136/jmg.4.4.251>
11. Dubousset, J. (1983). *Histoire de l ' instrumentation rachidienne Cotrel-Dubousset (CD)*. (Cd).
12. Duval-Beaupere, G., Dubousset, J., Queneau, P., & Grossiord, A. (1970). A unique theory on the course of scoliosis. *La Presse Medicale*, Vol. 78, pp. 1141-1146 passim.
13. Farcy, J. P. C., & Schwab, F. J. (1997). Management of flatback and related kyphotic decompensation syndromes. *Spine*, Vol. 22, pp. 2452–2457. <https://doi.org/10.1097/00007632-199710150-00025>
14. Ferrero, E., Bocahut, N., Lefevre, Y., Roussouly, P., Pesenti, S., Lakhali, W., ... Ilharreborde, B. (2018). Proximal junctional kyphosis in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: risk factors and compensatory mechanisms in a multicenter national cohort. *European Spine Journal*, 27(9), 2241–2250. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5640-y>
15. Follow-up, M., Kim, Y. J., Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Kim, J., & Cho, S. K. (2005). *Proximal Junctional Kyphosis in Adolescent Idiopathic Scoliosis Following Segmental Posterior Spinal Instrumentation and Fusion*. 30(18), 2045–2050.

16. Gangnet, N., Pomero, V., Mitulescu, A., Skalli, W., & Vital, J. (2006). *Three-Dimensional Spinal and Pelvic Alignment in an Asymptomatic Population*. 31(15), 507–512.
17. Ghailane, S., Pesenti, S., Peltier, E., Choufani, E., Blondel, B., & Jouve, J. L. (2017). Posterior elements disruption with hybrid constructs in AIS patients: is there an impact on proximal junctional kyphosis? *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 137(5), 631–635. <https://doi.org/10.1007/s00402-017-2684-0>
18. Glassman, S., Bridwell, K., Berven, S., Horton, W., & Schwab, F. (2004). P90. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *The Spine Journal*, 4(5), S113–S114. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2004.05.231>
19. Glattes, R. C., Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Kim, Y. J., Rinella, A., & Edwards, C. (2005). Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion: Incidence, outcomes, and risk factor analysis. *Spine*, 30(14), 1643–1649. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000169451.76359.49>
20. Hagglund, G., Karlberg, J., & Willner, S. (1992). Growth in girls with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine*, Vol. 17, pp. 108–111. <https://doi.org/10.1097/00007632-199201000-00016>
21. Hawes, M. C., & Weinstein, S. L. (2003). Health and Function of Patients with Untreated Idiopathic Scoliosis [2] (multiple letters). *Journal of the American Medical Association*, 289(20), 2644–2645. <https://doi.org/10.1001/jama.289.20.2644-a>
22. Hilibrand, A. S., Tannenbaum, D. A., Graziano, G. P., Loder, R. T., & Hensinger, R. N. (1995). The sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, Vol. 15, pp. 627–632. <https://doi.org/10.1097/01241398-199509000-00015>

23. Hippocrate, *Oeuvres complètes d'Hippocrate HippocratesFree Download, Borrow, and Streaming Internet Archive*. (n.d.).
24. Homans, J. F., Kruyt, M. C., Schlösser, T. P. C., Colo, D., Rogers, K., Shah, S. A., ... Pasha, S. (2019). *Changes in the Position of the Junctional Vertebrae After Posterior Spinal Fusion in Adolescent Idiopathic Scoliosis : Implication in Risk Assessment of Proximal Junctional Kyphosis Development*. 00(00), 1–7. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001400>
25. Hwang, S. W., Samdani, A. F., Tantorski, M., Cahill, P., Nydick, J., Fine, A., ... Antonacci, M. D. (2011). Cervical sagittal plane decompensation after surgery for adolescent idiopathic scoliosis: An effect imparted by postoperative thoracic hypokyphosis - Clinical article. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 15(5), 491–496. <https://doi.org/10.3171/2011.6.SPINE1012>
26. Ii, J. R. D., Betz, R. R., & Labelle, H. (2004). *Sagittal Alignment of the Spine and Pelvis During Growth*. 29(15), 1642–1647.
27. Iyer, S., Lenke, L. G., Nemani, V. M., Fu, M., Shifflett, G. D., Albert, T. J., ... Kim, H. J. (2016). Variations in occipitocervical and cervicothoracic alignment parameters based on age: A prospective study of asymptomatic volunteers using full-body radiographs. *Spine*, 41(23), 1837–1844. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001644>
28. Jackson R.P., Peterson M.D., MacManus A.C., Hales C. *Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring.pdf*. (1998). PMID: 9728376 DOI: 10.1097/00007632-199808150-00008
29. Jackson, R. P., & Hales, C. (2000). Congruent spinopelvic alignment on standing lateral radiographs of adult volunteers. *Spine*, 25(21), 2808–2815. <https://doi.org/10.1097/00007632-200011010-00014>

30. Kim, H. J., Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Park, M. S., Song, K. S., Piyaskulkaew, C., & Chuntarapas, T. (2014). Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections. *Spine*, *39*(9), 576–580. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000246>
31. Kim, Y. J., Lenke, L. G., Bridwell, K. H., Kim, J., Cho, S. K., Cheh, G., & Yoon, J. (2007). Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: Incidence and risk factor analysis of 410 cases. *Spine*, *32*(24), 2731–2738. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31815a7ead>
32. La Maida, G. A., Zottarelli, L., Mineo, G. V., & Misaggi, B. (2013). Sagittal balance in adolescent idiopathic scoliosis: Radiographic study of spino-pelvic compensation after surgery. *European Spine Journal*, *22*(SUPPL.6). <https://doi.org/10.1007/s00586-013-3018-8>
33. Labelle, H., Charlebois, M., Huot, M., & Guise, J. A. De. (2003). *Sagittal Plane Analysis of the Spine and Pelvis in Adolescent Idiopathic Scoliosis According to the Coronal Curve Type*. *28*(13), 1404–1409.
34. Labelle, H., Richards, S. B., De Kleuver, M., Grivas, T. B., Luk, K. D. K., Wong, H. K., ... Fong, D. Y. T. (2013). Screening for adolescent idiopathic scoliosis: An information statement by the scoliosis research society international task force. *Scoliosis*, Vol. 8. <https://doi.org/10.1186/1748-7161-8-17>
35. Lafage, R., Steinberger, J., Pesenti, S., Assi, A., Elysee, J. C., Iyer, S., ... Lafage, V. (2020). Understanding Thoracic Spine Morphology, Shape, and Proportionality. *Spine*, *45*(3), 149–157. <https://doi.org/10.1097/BRS.00000000000003227>
36. Lafage, V., Schwab, F., Skalli, W., Hawkinson, N., Gagey, P. M., Ondra, S., & Farcy, J. P. (2008). Standing balance and sagittal plane spinal deformity analysis of

- spinopelvic and gravity line parameters. *Spine*, 33(14), 1572–1578.
<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31817886a2>
37. Lafage, V., Schwab, F., Vira, S., Patel, A., Ungar, B., & Farcy, J. P. (2011). Spinopelvic parameters after surgery can be predicted: A preliminary formula and validation of standing alignment. *Spine*, 36(13), 1037–1045.
<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181eb9469>
38. Laouissat, F., Sebaaly, A., Gehrchen, M., & Roussouly, P. (2018). Classification of normal sagittal spine alignment: refounding the Roussouly classification. *European Spine Journal*, 27(8), 2002–2011. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5111-x>
39. Le Huec, J. C., Aunoble, S., Philippe, L., & Nicolas, P. (2011). Pelvic parameters: origin and significance. *European Spine Journal : Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 20 Suppl 5, 564–571. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1940-1>
40. Lee, J., & Park, Y. S. (2016). Proximal junctional kyphosis: Diagnosis, pathogenesis, and treatment. *Asian Spine Journal*, 10(3), 593–600.
<https://doi.org/10.4184/asj.2016.10.3.593>
41. Legaye, J., Duval-Beaupère, G., Hecquet, J., & Marty, C. (1998). Pelvic incidence: A fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *European Spine Journal*, 7(2), 99–103. <https://doi.org/10.1007/s005860050038>
42. Lenke, L. G., Betz, R. R., Harms, J., Bridwell, K. H., Clements, D. H., Lowe, T. G., & Blanke, K. (2001). Adolescent idiopathic scoliosis. A new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*, Vol. 83, pp. 1169–1181. <https://doi.org/10.2106/00004623-200108000-00006>
43. Levacher de La Feutrie, *traité du rakis*. (n.d.).

44. Lonner, B. S., Ren, Y., Newton, P. O., Shah, S. A., Samdani, A. F., Shufflebarger, H. L., ... Yaszay, B. (2017). Risk Factors of Proximal Junctional Kyphosis in Adolescent Idiopathic Scoliosis—The Pelvis and Other Considerations. *Spine Deformity*, 5(3), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2016.10.003>
45. Lowe, T. G., Burwell, R. G., & Dangerfield, P. H. (2004). Platelet calmodulin levels in adolescent idiopathic scoliosis (AIS): Can they predict curve progression and severity? Summary of an electronic focus group debate of the IBSE. *European Spine Journal*, 13(3), 257–265. <https://doi.org/10.1007/s00586-003-0655-3>
46. Mac-Thiong, J. M., Labelle, H., Berthonnaud, E., Betz, R. R., & Roussouly, P. (2007). Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *European Spine Journal*, 16(2), 227–234. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-0013-8>
47. Mac-Thiong, J. M., Labelle, H., & Roussouly, P. (2011). Pediatric sagittal alignment. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 20 Suppl 5, 586–590. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1925-0>
48. Magny, M. (1780). *Mémoire sur le Rakitis ou Maladie de la Colonne vertébrale*.
49. Matsumoto, T., Okuda, S., Maeno, T., Yamashita, T., Yamasaki, R., Sugiura, T., & Iwasaki, M. (2017). Spinopelvic sagittal imbalance as a risk factor for adjacent-segment disease after single-segment posterior lumbar interbody fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 26(4), 435–440. <https://doi.org/10.3171/2016.9.SPINE16232>
50. McCance, S. E., Denis, F., Lonstein, J. E., & Winter, R. B. (1998). Coronal and Sagittal Balance in Surgically Treated Adolescent Idiopathic Scoliosis With the King II Curve Pattern. *Spine*, Vol. 23, pp. 2063–2073. <https://doi.org/10.1097/00007632-199810010-00005>

51. Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A. G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J. C., ... Zaina, F. (2018). 2016 SOSORT guidelines: Orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. In *Scoliosis and Spinal Disorders* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1186/s13013-017-0145-8>
52. Nolte, M. T., Louie, P. K., Harada, G. K., Khan, J. M., Ferguson, J., Dewald, C. J., & An, H. S. (2019). Sagittal Balance in Adult Idiopathic Scoliosis. *Clinical Spine Surgery*, *18*(3), 182–186. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000940>
53. O’beirne, J., Goldberg, C., Dowling, F. E., & Fogarty, E. E. (1989). Equilibrial dysfunction in scoliosis—cause or effect? *Journal of Spinal Disorders*, Vol. 2, pp. 184–189. <https://doi.org/10.1097/00002517-198909000-00006>
54. Ofiram, E., Garvey, T. A., Schwender, J. D., Wroblewski, J. M., & Winter, R. B. (2009). Cervical degenerative changes in idiopathic scoliosis patients who underwent long fusion to the sacrum as adults: Incidence, severity, and evolution. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, *10*(1), 27–30. <https://doi.org/10.1007/s10195-008-0044-0>
55. Öhlén, G., Aaro, S., & Bylund, P. (1988). The sagittal configuration and mobility of the spine in idiopathic scoliosis. *Spine*, Vol. 13, pp. 413–416. <https://doi.org/10.1097/00007632-198804000-00008>
56. Pesenti, S., Jouve, J. L., Morin, C., Wolff, S., Sales de Gauzy, J., Chalopin, A., ... Chopin, D. (2015). Evolution of adolescent idiopathic scoliosis: Results of a multicenter study at 20 years’ follow-up. *Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research*, *101*(5), 619–622. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.05.004>
57. Pesenti, S., Lafage, R., Stein, D., Elysee, J. C., Lenke, L. G., Schwab, F. J., ... Lafage, V. (2018). The amount of proximal lumbar lordosis is related to pelvic incidence.

Clinical Orthopaedics and Related Research, 476(8), 1603–1611.
<https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000380>

58. Poincar, R., Several, I., Duval, G., & Poincar, R. (1992). *Duval-Beaupere G, Schmidt C and Cosson P: A Barycentremetic Study of the Sagittal Shape of Spine and Pelvis: The Conditions Required for an Economic Standing Position. Annals of Biomedical Engineering, Volume 20, pp 451-462, 1992. 20(23), 451–462.*
59. Propst Proctor, S. L., & Bleck, E. E. (1983). Radiographic determination of lordosis and kyphosis in normal and scoliotic children. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, Vol. 3, pp. 344–346. <https://doi.org/10.1097/01241398-198307000-00013>
60. Rajnics, P., Pomero, V., Templier, A., Lavaste, F., & Illes, T. (2001). Computer-assisted assessment of spinal sagittal plane radiographs. *Journal of Spinal Disorders*, 14(2), 135–142. <https://doi.org/10.1097/00002517-200104000-00008>
61. Raman, T., Miller, E., Martin, C. T., & Kebaish, K. M. (2017). The effect of prophylactic vertebroplasty on the incidence of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure following posterior spinal fusion in adult spinal deformity: a 5-year follow-up study. *Spine Journal*, 17(10), 1489–1498. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.05.017>
62. Richards, B. S., Bernstein, R. M., D’Amato, C. R., & Thompson, G. H. (2005). Standardization of criteria for adolescent idiopathic scoliosis brace studies: SRS Committee on Bracing and Nonoperative Management. *Spine*, 30(18), 2068–2075. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000178819.90239.d0>
63. Rose, P. S., Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Cronen, G. A., Mulconrey, D. S., Buchowski, J. M., & Kim, Y. J. (2009). 00007632-200904150-00007. 34(8), 785–791.
64. Rose, P. S., Bridwell, K. H., Lenke, L. G., Cronen, G. A., Mulconrey, D. S., Buchowski, J. M., & Kim, Y. J. (2009). Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient

- factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine*, Vol. 34, pp. 785–791. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31819d0c86>
65. Roussouly, P., Berthonnaud, E., Roussouly, D., Locard, R. E., Hospitalier, C., Sud, L., ... Sud, L. (2002). *Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine*. 80–87.
66. Roussouly, P., Gollogly, S., Berthonnaud, E., & Dimnet, J. (2005). *Classification of the Normal Variation in the Sagittal Alignment of the Human Lumbar Spine and Pelvis in the Standing Position Pierre Roussouly , MD ,* Sohrab Gollogly , MD ,* Eric Berthonnaud , PhD ,† and. 30(3), 2005.*
67. Roussouly, P., & Guigui, P. (2010). *Sagittal Parameters of Global Spinal Balance Normative Values From a Prospective Cohort of Seven Hundred Nine Caucasian Asymptomatic Adults*. 35(22), 1193–1198.
68. Roussouly, P., Labelle, H., Rouissi, J., & Bodin, A. (2013). Pre- and post-operative sagittal balance in idiopathic scoliosis: A comparison over the ages of two cohorts of 132 adolescents and 52 adults. *European Spine Journal*, 22(SUPPL.2). <https://doi.org/10.1007/s00586-012-2571-x>
69. Sanders, J. O., Herring, J. A., & Browne, R. H. (1995). Posterior arthrodesis and instrumentation in the immature (Risser-grade- 0) spine in idiopathic scoliosis. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*, Vol. 77, pp. 39–45. <https://doi.org/10.2106/00004623-199501000-00006>
70. Sinagra, Z., Cunningham, G., Dillon, D., Woodland, P., & Baddour, E. (2020). Proximal junctional kyphosis and rates of fusion following posterior instrumentation and spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *ANZ Journal of Surgery*, 1–5. <https://doi.org/10.1111/ans.15706>

71. Skogland, L. B., & Miller, J. A. A. (1980). Growth related hormones in idiopathic scoliosis: An endocrine basis for accelerated growth. *Acta Orthopaedica*, 51(1–6), 779–789. <https://doi.org/10.3109/17453678008990874>
72. Souder, C., Newton, P. O., Shah, S. A., Lonner, B. S., Bastrom, T. P., & Yaszay, B. (2017). Factors in Surgical Decision Making for Thoracolumbar/Lumbar AIS. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 37(8), e530–e535. <https://doi.org/10.1097/bpo.0000000000000746>
73. Spina, N. T., Abiola, R., & Lawrence, B. D. (2017). Proximal Junctional Failure in Adult Spinal Deformity Surgery: Incidence, Risk Factors, and Management. *Operative Techniques in Orthopaedics*, 27(4), 251–259. <https://doi.org/10.1053/j.oto.2017.09.009>
74. Stagnara, P., De Mauroy, J. C., Dran, G., Gonon, G. P., Costanzo, G., Dimnet, J., & Pasquet, A. (1982). Reciprocal angulation of vertebral bodies in a sagittal plane: Approach to references for the evaluation of kyphosis and lordosis. *Spine*, Vol. 7, pp. 335–342. <https://doi.org/10.1097/00007632-198207000-00003>
75. Vialle, R., Levassor, N., Rillardon, L., Templier, A., Skalli, W., & Guigui, P. (2005). Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*, 87(2), 260–267. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.02043>
76. Wang, J., Zhao, Y., Shen, B., Wang, C., & Li, M. (2010). Risk factor analysis of proximal junctional kyphosis after posterior fusion in patients with idiopathic scoliosis. *Injury*, 41(4), 415–420. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.01.001>
77. Watanabe, K., Uno, K., Suzuki, T., Kawakami, N., Tsuji, T., Yanagida, H., ... Matsumoto, M. (2016). Risk factors for proximal junctional kyphosis associated with

- dual-rod growing-rod surgery for early-onset scoliosis. *Clinical Spine Surgery*, 29(8), E428–E433. <https://doi.org/10.1097/BSD.000000000000127>
78. Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Wright, J. G., & Dobbs, M. B. (2013). Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. *New England Journal of Medicine*, 369(16), 1512–1521. <https://doi.org/10.1056/NEJMoal307337>
79. Wiener-Vacher, S. R., & Mazda, K. (1998). Asymmetric otolith vestibulo-ocular responses in children with idiopathic scoliosis. *Journal of Pediatrics*, Vol. 132, pp. 1028–1032. [https://doi.org/10.1016/S0022-3476\(98\)70403-2](https://doi.org/10.1016/S0022-3476(98)70403-2)
80. Wong, H. K., Hui, J. H. P., Rajan, U., & Chia, H. P. (2005). Idiopathic scoliosis in Singapore schoolchildren: A prevalence study 15 years into the screening program. *Spine*, 30(10), 1188–1196. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000162280.95076.bb>
81. Xiong, B., Sevastik, J., Hedlund, R., & Sevastik, B. (1994). *Sagittal Configuration*. 0–5.
82. Yagi, M., Akilah, K. B., & Boachie-Adjei, O. (2011). Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: Surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. *Spine*, 36(1). <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181eeae2>
83. Zhong, J., Cao, K., Wang, B., Li, H., Zhou, X., Xu, X., ... Lu, H. (2019). Incidence and Risk Factors for Proximal Junctional Kyphosis in Adolescent Idiopathic Scoliosis After Correction Surgery: A Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, 125, e326–e335. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.072>
84. Zou, L., Liu, J., & Lu, H. (2019). Characteristics and risk factors for proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after correction surgery: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurgical Review*, 42(3), 671–682. <https://doi.org/10.1007/s10143-018-1004-7>

85. Willner, S., & Udén, A. (1982). A prospective prevalence study of scoliosis in southern Sweden. *Acta Orthopaedica*, 53(2), 233–237.
<https://doi.org/10.3109/17453678208992208>

Annexes

Annexe 1

The Lenke classification system for AIS				
Curve type	Proximal Thoracic	Main Thoracic	Thoracolumbar/Lumbar	Description
1	Nonstructural	Structural*	Nonstructural	Main Thoracic
2	Structural*	Structural*	Nonstructural	Double Thoracic
3	Nonstructural	Structural*	Structural*	Double Major
4	Structural*	Structural [§]	Structural [§]	Triple Major
5	Nonstructural	Nonstructural	Structural*	Thoracolumbar/Lumbar (TL/L)
6	Nonstructural	Structural*	Structural*	Thoracolumbar/Lumbar-Main Thoracic (TL/L-MT)

*Major curve: largest Cobb measurement, always structural; *Minor curve: remaining structural curves; [§]Type4 – MT or TL/L can be the major curve

Structural Criteria (Minor curves)

Proximal Thoracic	<ul style="list-style-type: none"> Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ T2-T5 Kyphosis $\geq +20^\circ$
Main Thoracic	<ul style="list-style-type: none"> Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ T10-L2 Kyphosis $\geq +20^\circ$
Thoracolumbar/Lumbar	<ul style="list-style-type: none"> Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ T10-L2 Kyphosis $\geq +20^\circ$

Location of Apex (SRS Definition)

Curve	Apex
Thoracic	T2 to T11-12 Disc
Thoracolumbar	T12-L1
Lumbar	L1-2 Disc to L4

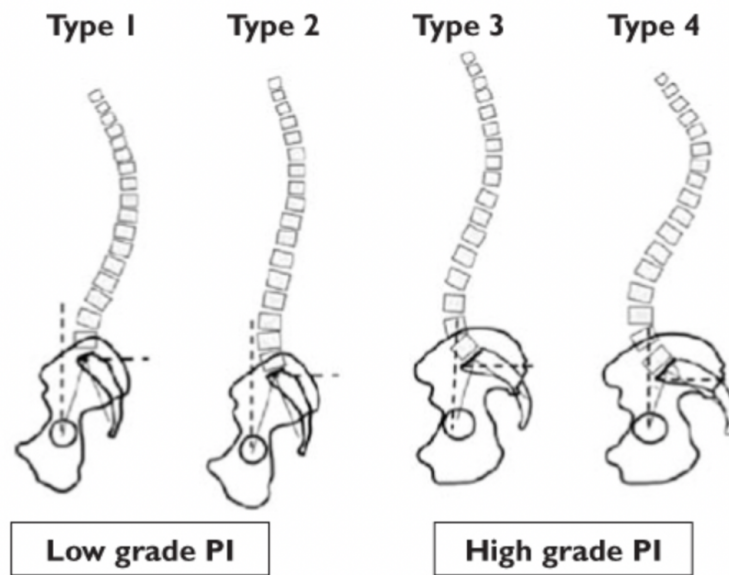
Modifiers

Lumbar Spine Modifier	Center Sacral Vertical Line to Lumbar Apex		Thoracic Sagittal Profile T5-T12	
A	Between pedicles		Modifier	Cobb Angle
B	Touches apical body(ies)		- (Hypo)	< 10°
C	Completely medial		N (Normal)	10° – 40°
			+ (Hyper)	> 40°

Curve Type (1-6) + Lumbar Spine Modifier (A, B, C) + Thoracic Sagittal Modifier (-, N, +) = Curve Classification (e.g. 1B+):



Classification de Roussouly



« Par délibération de son Conseil en date du 10 Novembre 1972, l'Université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ou mémoires. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs ».

VU, le Président de Thèse

VU, le Doyen de l'UFR Santé

VU et permis d'imprimer
en référence à la délibération
du Conseil d'Université
en date du 14 Décembre 1973

Pour le Président
de l'Université de CAEN-NORMANDIE et P.O

Le Doyen

ANNEE DE SOUTENANCE : 2020/2021

NOM ET PRENOM DE L'AUTEUR : KIPPER Benoît

TITRE DE LA THESE :

Etude de l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine et d'une population atteinte d'une scoliose idiopathique de l'adolescent en préopératoire, post-opératoire immédiat et à deux ans post-opératoire

RESUME DE LA THESE EN FRANÇAIS :

Objectif :

L'objectif principal de l'étude était de définir un ratio permettant de prédire la survenue d'une cyphose jonctionnelle en post-opératoire d'une scoliose. Les objectifs secondaires étaient d'analyser l'équilibre sagittal du rachis d'une population saine et d'une population de patients atteints de scoliose idiopathique de l'adolescent.

Méthodes :

C'est une étude descriptive rétrospective uni centrique réalisée au CHU Timone Marseille dans le service de chirurgie pédiatrique orthopédique. Les données ont été analysées au moyen du logiciel KEOPS spine afin de pouvoir obtenir les différents paramètres de l'équilibre frontal et sagittal sur des radiographies du rachis de face et de profil en entier, en charge.

Résultats :

100 patients ont été inclus en population saine, dont 78 filles et 22 garçons d'âge moyen de 15,1 ans. La moyenne des paramètres sagittaux est de 59,4° pour la lordose, 39,3° pour la cyphose et 48,1° pour l'incidence pelvienne.

115 patients ont été inclus dans la population présentant une scoliose idiopathique de l'adolescent, dont 18 garçons (16%) et 97 filles (84%). La moyenne des paramètres sagittaux est en préopératoire de 59,6° pour la lordose, 29,3° pour la cyphose et de 52° pour l'incidence pelvienne. Elles sont respectivement de 60,1° ; 36,6° et de 51° pour la lordose, la cyphose et l'incidence pelvienne en post-opératoire immédiat. A 2 ans post-opératoire, ils passent à 67,7° ; 47,8° et 51,6°.

Le ratio a été défini de la manière suivante : **Ratio LL-TK = (LL max*N LLmax)/(Tk max*N Tkmax)**

Conclusion :

Les analyses réalisées sur la population saine et sur la population présentant une scoliose idiopathique de l'adolescent correspondent aux données de la littérature.

Nous n'avons pas pu prouver la validité de notre ratio d'un point de vue statistique.

MOTS CLES : Scoliose, équilibre sagittal, cyphose jonctionnelle

TITRE DE LA THESE EN ANGLAIS :

Study of the sagittal balance of the spine in a healthy population and in a population with adolescent idiopathic scoliosis preoperatively, immediate postoperative and two years postoperative

RESUME DE LA THESE EN ANGLAIS :

Aim of the study:

The main objective of the study was to define a ratio to predict the onset of junctional kyphosis after a surgery of scoliosis. The secondary objectives were to analyze the sagittal spine balance of a healthy population and a population with adolescent idiopathic scoliosis.

Methods:

This is a uni-centric retrospective descriptive study carried out at CHU Timone Marseille in the pediatric orthopedic surgery department. The data was analyzed using KEOPS spine software in order to obtain the different parameters of frontal and sagittal balance on full frontal and lateral spine radiographs on charge.

Results:

100 patients were included in the healthy population, including 78 girls and 22 boys with a mean age of 15.1 years. The mean sagittal parameters are 59.4 ° for lordosis, 39.3 ° for kyphosis and 48.1 ° for pelvic incidence.

115 patients were included in the population with adolescent idiopathic scoliosis, including 18 boys (16%) and 97 girls (84%). The mean sagittal parameters are 59.6 ° preoperatively for lordosis, 29.3 ° for kyphosis and 52 ° for pelvic incidence. They are respectively 60.1 ° ; 36.6 ° and 51 ° for lordosis, kyphosis and pelvic incidence immediately post-operative. At 2 years postoperative, they are 67.7 ° ; 47.8 ° and 51.6 °.

The ratio was defined as follows: **Ratio LL-TK = (LL max*N LLmax)/(Tk max*N Tkmax)**

Conclusion:

The analyses carried out on the healthy population and on the population with idiopathic adolescent scoliosis mainly correspond to the data in the literature.

We were unable to prove statistically the validity of our ratio.

KEY WORDS: Scoliosis, Sagittal balance, Junctional Kyphosis