



UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2017

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

**Etude de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population
d'adolescents non scoliotiques et description de nouveaux paramètres
sagittaux d'équilibre du rachis cervical**

Présentée et soutenue publiquement le mardi 06 juin 2017 à 18h00
au Pôle Recherche

Par Adèle RAIDRON-HAPPIETTE

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Bernard HERBAUX

Assesseurs :

Madame le Professeur Nathalie BOUTRY

Monsieur le Docteur Damien FRON

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Eric NECTOUX

Avertissement

**La Faculté n'entend donner aucune approbation
aux opinions émises dans les thèses :
celles-ci sont propres à leurs auteurs.**

SOMMAIRE

Liste des abréviations.....	p9
Résumé.....	p10
I - Introduction.....	p11
1) La colonne vertébrale.....	p11
2) Equilibre sagittal global.....	p12
3) Le système d'imagerie EOS.....	p17
4) Attitude scoliotique et rotation vertébrale.....	p18
5) Etude CERVICOSCOL.....	p21
6) Nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical.....	p22
7) Objectifs de l'étude.....	p22
II - Matériel et méthodes.....	p23
1) Population.....	p23
a. Critères d'inclusion.....	p23
b. Critères de non inclusion.....	p23
2) Données relevées.....	p24
a. Analyse de l'équilibre sagittal du rachis.....	p24
b. Description de nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical.....	p27
3) Méthodes statistiques.....	p29
III – Résultats.....	p30
1) Population.....	p30
2) Premier objectif : description de l'équilibre sagittal du rachis avec des paramètres connus et validés.....	p36
a. Paramètres d'équilibre sagittal global.....	p36
b. Paramètres cervicaux.....	p36
c. Paramètres thoraco-lombaires.....	p37
d. Paramètres pelviens.....	p37
3) Second objectif : description de nouveaux paramètres sagittaux d'équilibre du rachis cervical.....	p38
a. Paramètres crâniens.....	p38
b. Paramètres cervicaux.....	p38
c. Paramètres cervico-crâniens.....	p39
d. Paramètres cervico-crâniens selon l'âge.....	p39
e. Paramètres cervico-crâniens selon le Risser.....	p40

f. Paramètres thoraco-lombaires.....	p40
g. Corrélations.....	p41
IV – Discussion.....	p44
1) Analyse des résultats.....	p44
2) Limites de notre étude.....	p46
3) Conclusion et perspectives futures.....	p48
Références bibliographiques.....	p50
Annexes.....	p55
Annexe 1 : Article de Le Huec & al.....	p55
Annexe 2 : Déclaration CNIL.....	p62

LISTE DES ABREVIATIONS

ASC	Angle spino-crânien
ASS	Angle spino-sacré
CJP	Cyphose jonctionnelle proximale
CNIL	Commission nationale de l'informatique et des libertés
IC	Incidence crânienne
ILMI	Inégalité de longueur des membres inférieurs
IP	Incidence pelvienne
OC2	Jonction occipito-cervicale
PC	Pente crânienne
PC7	Pente de C7
PI	Pelvic Incidence
PS	Pente sacrée
PT	Pelvic Tilt
SS	Sacral Slope
SVA	Sagittal Vertical Axis = Axe sagittal vertical
Tilt ST	Tilt de la selle turcique
VC	Version crânienne
VP	Version pelvienne

RESUME

Titre

Etude de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population d'adolescents non scoliotiques et description de nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical.

Introduction

Notre objectif était de décrire d'une part l'équilibre sagittal du rachis cervical chez des adolescents non scoliotiques et par la même occasion de décrire pour la première fois chez l'enfant de nouveaux paramètres d'équilibre.

Matériel et méthodes

Il s'agissait d'une étude rétrospective descriptive et analytique d'une cohorte d'adolescents de 12 à 18 ans ayant réalisé une radiographie du rachis entier selon EOS au CHRU de Lille entre 2011 et 2015. Les patients étaient inclus s'ils n'avaient pas de déformation rachidienne ni d'obliquité pelvienne.

Résultats.

Quatre-vingt-seize patients ont été inclus pour l'étude de l'équilibre sagittal global du rachis, dont 56% de filles. Les valeurs moyennes de la cyphose thoracique étaient de 38,8° et 31,2° pour les courbures T1-T12 et T4-T12 respectivement. Les valeurs moyennes de la lordose lombaire étaient de 42° et 53,7° pour les courbures L1-L5 et L1-S1. L'incidence pelvienne moyenne était de 47°. L'angle spino-sacré moyen était de 130°. Soixante-neuf patients ont été inclus pour l'étude spécifique du rachis cervical. Les courbures cervicales moyennes étaient de 25,5°, 27,7° et -2,81° pour les courbures C1-C7, C1-C2 et C2-C7. L'incidence crânienne moyenne était de 27,8°, la pente de C7 était mesurée à 14,5°. L'incidence crânienne était significativement corrélée à la cyphose thoracique, à la lordose lombaire, à la pente sacrée et à l'incidence pelvienne. La pente de C7 était significativement corrélée aux courbures cervicales.

Conclusion.

Les paramètres d'équilibre sagittal couramment utilisés sont semblables à ceux déjà décrits. Près de la moitié des patients présentaient une cyphose cervicale. L'incidence crânienne et la pente de C7 semblent être des paramètres d'équilibre sagittal déterminants. Ainsi, lors de l'étude du plan sagittal du rachis, ces 2 paramètres devraient être intégrés dans l'analyse globale.

I - Introduction

1) La colonne vertébrale

La colonne vertébrale est une structure souple et incurvée composée de vertèbres, réparties en différents segments et séparées par des disques intervertébraux fibro-cartilagineux. La colonne rachidienne s'étend de la base du crâne jusqu'à la pointe du coccyx. Chez l'être humain, le rachis est constitué d'un segment cervical comprenant 7 vertèbres (C1 à C7), d'un segment thoracique formé de 12 vertèbres (T1 à T12, articulées avec les côtes), d'un segment lombaire composé de 5 vertèbres (L1 à L5), d'un segment sacré comportant 5 vertèbres qui sont soudées entre elles à l'âge adulte (S1 à S5), et d'un dernier segment coccygien, relique de la queue des mammifères, composé de 4 à 5 vertèbres qui sont également fusionnées (Figure 1).

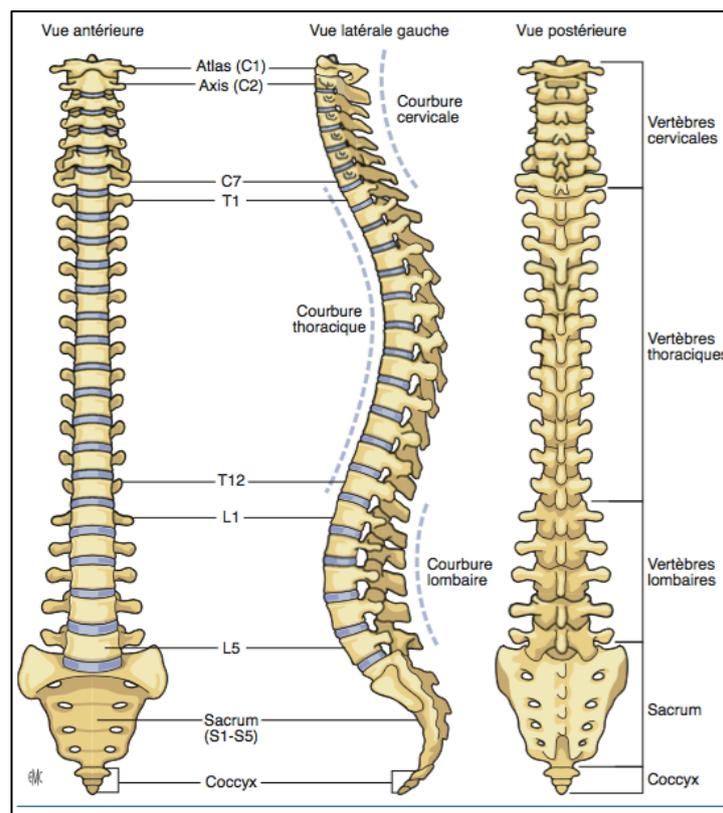


Figure 1. Représentation de la colonne vertébrale (33)

Les différents segments rachidiens sont reliés entre eux par des jonctions : la charnière occipito-cervicale (C0-C1), cervico-thoracique (C7-T1), et enfin la charnière lombo-sacrée (L5-S1). Le rachis a deux fonctions principales : d'une part il supporte le tronc et l'abdomen, et d'autre part il protège la moelle épinière et le canal rachidien.

2) Equilibre sagittal global

L'homme diffère de ses ascendants simiesques quadrupèdes par sa bipédie, c'est d'ailleurs le seul vertébré à avoir acquis cette fonction (figure 2).

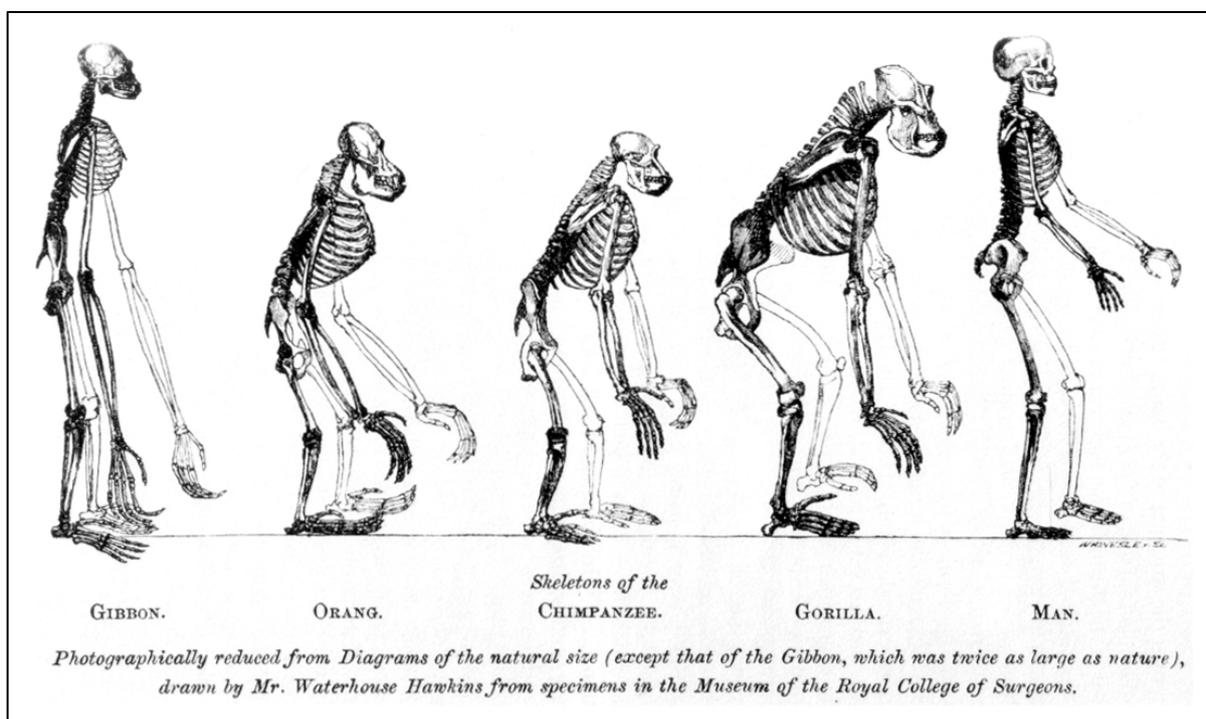


Figure 2.

Suite au passage à la bipédie, la colonne vertébrale a elle aussi évolué, afin d'adopter une posture fonctionnelle (les membres supérieurs sont libres et offrent un plus grand potentiel d'action) et économique d'un point de vue énergétique. L'équilibre sagittal s'en est aussi retrouvé modifié. Chez un adulte sain, les différents segments rachidiens adoptent des courbures dites « physiologiques » : lordose pour le rachis cervical, cyphose thoracique, lordose lombaire, cyphose sacrée fixée. Ces courbures s'opposent et se compensent pour maintenir l'équilibre à la station debout. La lordose lombaire est un des éléments majeurs de l'équilibre, et est également une spécificité de la bipédie. Cependant, ces courbures sagittales et notamment la

lordose lombaire ne sont pas présentes dès la naissance. Les nouveau-nés ont une hypertonie en flexion physiologique, avec une flexion de hanche, une rétroversion du bassin et une cyphose lombaire (1). Avec la croissance de l'enfant et sa verticalisation, les hanches vont se posturer en extension. Avec la croissance, le bassin s'antéverse et le rachis lombaire va s'étendre, entraînant ainsi l'apparition d'une lordose lombaire qui va progressivement s'accroître et se structurer (2).

L'équilibre sagittal du rachis, du moins dans ses portions lombaires et thoraciques, a fait l'objet de nombreuses études. Dès les années 1980, Dubousset a évoqué le concept de « vertèbre pelvienne » qui constituerait un socle fixe au-dessus duquel évoluerait une colonne, mobile quant à elle. Les travaux de Duval-Beaupère (3) sur l'équilibre pelvien ont permis de définir un paramètre d'équilibre fondamental: l'incidence pelvienne, angle formé par la perpendiculaire au plateau sacré en son milieu et par la droite joignant le milieu du plateau sacré et le milieu de l'axe bi-coxo fémoral. L'incidence pelvienne est un paramètre morphologique non postural. Elle est la somme de la version pelvienne et de la pente sacrée (figure 3).

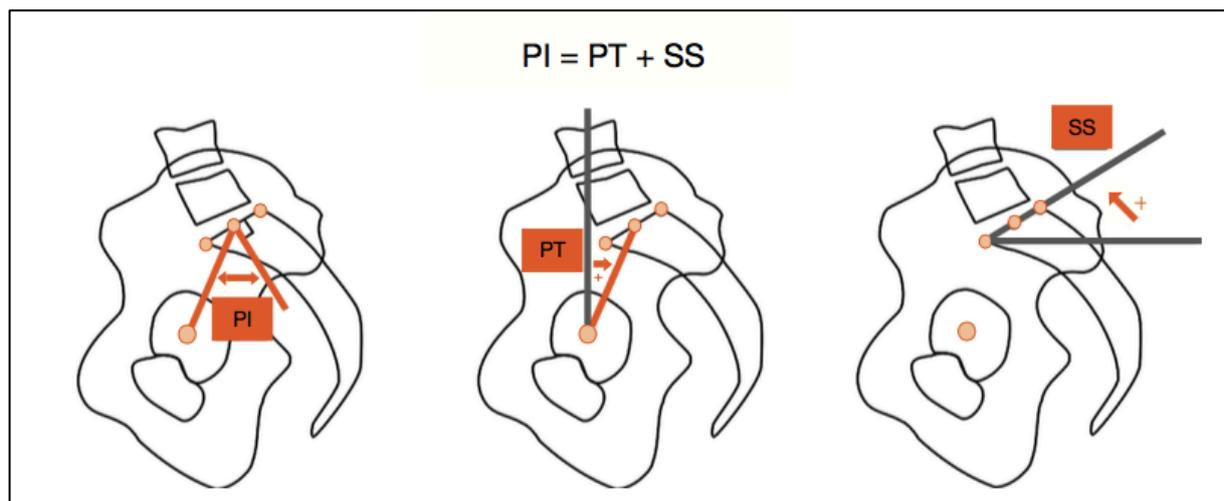


Figure 3. Paramètres pelviens de Duval-Beaupère.

Mac Thiong & al ont étudié 341 enfants et adolescents (4); ils ont retrouvé des valeurs moyennes de 49° pour l'IP, 8° pour la version pelvienne et 41° pour la pente sacrée.

Les paramètres de l'alignement sagittal global ont également été étudiés. Roussouly a par exemple décrit l'angle spino-sacré (5) : angle de la tangente au plateau sacré avec la ligne joignant le centre de C7 et le milieu du plateau sacré (figure 4).

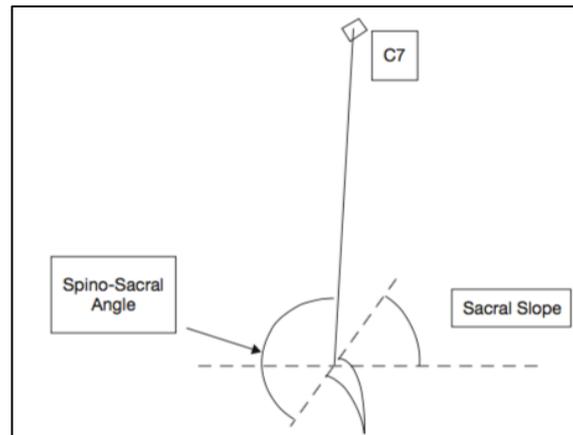


Figure 4. Angle spino-sacré

L'axe sagittal vertical (SVA) est également un élément à prendre en compte lors de l'étude de l'équilibre sagittal (6,7) (figure 5). Il s'agit de l'écart entre l'aplomb de C7 et le coin postéro-supérieur du sacrum.

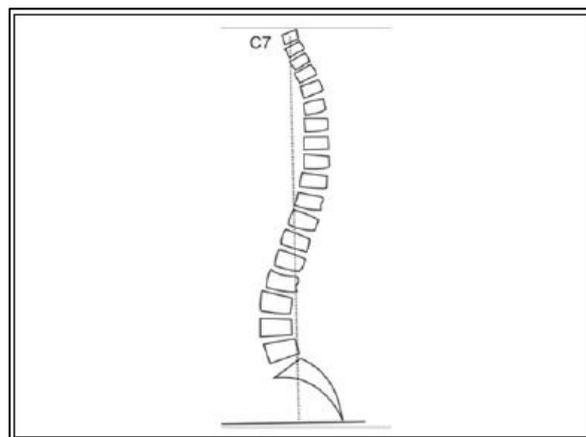


Figure 5. SVA

Suite à l'analyse des paramètres d'équilibre sagittaux, Roussouly a établi 4 modèles de profils en fonction de l'incidence pelvienne (8,9) (figure 6). Il décrit 4 types de dos, le type 3 étant la forme habituelle du dos, et la plus fréquemment retrouvée dans une population asymptomatique. Le type 3 est défini par une incidence pelvienne autour

de 50° et une pente sacrée comprise entre 35 et 45°. Les courbures sagittales sont harmonieuses. Le type 1, ou « cyphose jonctionnelle », est caractérisé par une pente sacrée inférieure à 35°, une incidence pelvienne faible et une lordose lombaire courte. Le dos de type 2 ou « dos plat », a également une pente sacrée et une incidence pelvienne basses, mais la lordose lombaire est plus longue et plus harmonieuse. Dans le type 4, les courbures sagittales sont marquées, avec une incidence pelvienne élevée et une pente sacrée supérieure à 45°. Les types 1, 2 et 4 favorisent la survenue ultérieure de certaines pathologies rachidiennes.

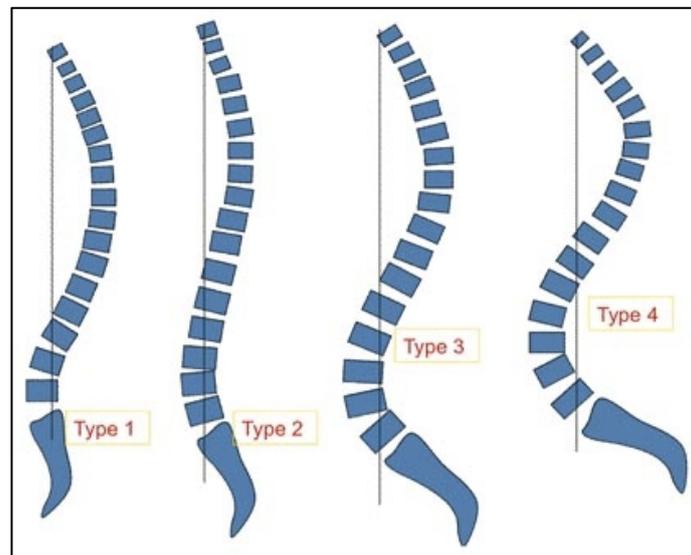


Figure 6. Types de dos selon Roussouly.

Plusieurs études pédiatriques concernant les courbures lombaires et thoraciques ont été réalisées. Voutsinas et Mac Ewen (10) ont mesuré la cyphose thoracique et la lordose lombaire, avec des valeurs moyennes pour la cyphose thoracique de 37°/38°/39° chez les 5-9 ans/10-14 ans/15-20 ans, respectivement. Pour Bernhardt et Bridwell (11), qui ont étudié les mêmes paramètres dans une cohorte de 102 patients sains dont la moyenne d'âge était de 12,8 ans, la cyphose thoracique moyenne était de 36° et la lordose lombaire (entre T12 et L5) de 44°. Dans l'étude de Boseker & al (12), la cyphose thoracique moyenne était de 33°. Les valeurs retrouvées par Cil & al (13) étaient plus élevées concernant la cyphose thoracique. La variabilité des données s'explique notamment par l'hétérogénéité des méthodes de mesure. De manière consensuelle, les données des différentes séries retrouvent une augmentation des courbures sagittales au cours de la croissance, traduisant

l'évolutivité et surtout l'adaptabilité du rachis aux contraintes pondérales et gravitationnelles (4, 10-18).

Concernant l'angle spino-sacré chez les enfants, Mac Thiong & al (19) ont montré une valeur moyenne de 130°/133°/131° chez des patients âgés de 3-10 ans/10-18 ans/plus de 18 ans, respectivement.

L'équilibre du rachis cervical a également été étudié, même si la plupart des séries concernent des populations adultes. Les études concernent aussi bien des patients sains que des patients atteints de déformation rachidienne comme une scoliose. Les résultats sont néanmoins très divergents, tant sur les vertèbres utilisées pour les mesures que sur les méthodes de mesure elles-mêmes, de même que sur les paramètres étudiés, sans qu'aucun paramètre d'équilibre majeur et consensuel ne soit établi. La jonction occipito-cervicale est étudiée par l'angle OC2 (20). Le rachis cervical peut être séparé entre rachis cervical supérieur (C1-C2) et rachis cervical inférieur (C3-C7). La mesure de l'angle entre C1 et C2 est couramment utilisée (20), mais pour le rachis cervical inférieur certains auteurs utilisent C2 comme vertèbre supérieure, d'autres C3. Le choix de la vertèbre inférieure non plus n'est pas consensuel, puisque certains auteurs choisissent C6 et d'autres C7 (20-22). Il est donc difficile d'établir des normes pour ces courbures, car les données de la littérature sont divergentes de par la méthode de calcul de ces courbures. Les données pédiatriques issues d'études sur de gros échantillons de patients sont quasiment inexistantes dans la littérature.

3) Le système d'imagerie EOS

Le système EOS, système de stéréoradiographie inventé par George Charpak, est un nouvel appareil d'imagerie utilisé depuis 2005 en pratique clinique et offrant plusieurs avantages par rapport aux techniques classiques d'imagerie :

- l'effet ionisant est considérablement réduit (de 8 à 10 fois moins de rayons X pour la radiologie bidimensionnelle, de 800 à 1000 fois moins pour la tomodensitométrie tridimensionnelle),
- l'examen du patient peut se faire en position debout ou assise,
- l'acquisition simultanée de deux clichés orthogonaux, de face et de profil, portant sur l'ensemble du squelette depuis le crâne jusqu'aux pieds. Cela permet d'étudier l'appareil locomoteur en position "fonctionnelle" en tenant compte des contraintes liées à la gravité, ainsi que de limiter la distorsion par l'acquisition biplanaire,
- la reconstruction 3D à partir des deux clichés 2D, qui est réalisable dans un court délai de quelques minutes après l'examen, dont la précision est équivalente à celle des examens obtenus par tomodensitométrie (23).

La validité de cet examen et des reconstructions 3D pour l'étude du rachis cervical a été établie dans la littérature, aussi bien pour les rachis non opérés (non déformés et scoliotiques) que les rachis ayant subi une intervention chirurgicale (24-27). L'EOS est également valable pour une mesure télémétrique des membres inférieurs (28,29).

Les clichés en deux dimensions sont ensuite modélisés en trois dimensions grâce au logiciel sterEOS (EOS imaging, Paris France, version 1.6.4.7977), afin d'éliminer les erreurs de mesure liées à une éventuelle rotation du bassin. En effet, les mesures des paramètres d'équilibre au niveau du bassin (et notamment l'incidence pelvienne) doivent se faire avec deux têtes fémorales superposées pour éviter toute erreur de mesure. Le modèle 3D rend possible le calcul automatique de plus de 100 paramètres cliniques utilisés dans le suivi des pathologies ostéo-articulaires et la chirurgie orthopédique (30).

L'EOS est également couramment utilisé en pédiatrie, bien qu'il ne soit pas toujours possible pour les enfants de rester totalement immobiles pendant l'examen (31).

Morvan (32) a établi une position de référence à adopter pendant la réalisation de l'EOS, car il est établi que l'équilibre lombo-pelvien est impacté par la position prise pour réaliser l'examen. Dans la position décrite par Morvan, les patients ont le bout des doigts posés sur les clavicules (« fists on clavicles »), pieds à plat à la même hauteur, légèrement écartés de 20 à 25 cm, regard horizontal. Cette position permet également d'éviter que les humérus ne se superposent au rachis sur le cliché sagittal (figure 7).



Figure 7. Position standard pour l'EOS

Source : www.eos-imaging.com

4) Attitude scoliothique et rotation vertébrale

Le rachis présente des courbures sagittales physiologiques, qui ont été décrites précédemment. Dans le plan coronal, il est cependant en rectitude à l'état normal. On parle de déviation rachidienne quand cette rectitude n'est plus respectée.

On peut distinguer 2 types de déviation rachidienne :

- Quand la déviation intéresse les 3 plans de l'espace, on parle de scoliose, dont le primum movens est nécessairement lié à la colonne rachidienne. La scoliose est une déformation structurale et fixée du rachis (33). On distingue les scolioses idiopathiques et les scolioses d'origine secondaire (neuromusculaire, malformative). Les scolioses idiopathiques représentent 80% des scolioses, et concernent 1 à 3% des adolescents, la plupart d'entre eux étant des filles.
- Quand la déviation de la colonne ne concerne que le plan frontal et n'est pas associée à une rotation vertébrale, on parle d'attitude scoliotique. L'attitude scoliotique se corrige une fois que l'étiologie en a été identifiée et traitée. Les principales étiologies des attitudes scoliotiques sont résumées dans le tableau I, en distinguant les causes extrinsèques au rachis, les plus fréquentes, et les causes intrinsèques (33). Il faut garder à l'esprit que l'inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI) est la cause la plus fréquente d'attitude scoliotique. La déviation disparaît lorsqu'on place une cale compensant l'ILMI sous la jambe la plus courte du patient ou en l'examinant en position assise. Une ILMI n'est pas considérée comme significative jusqu'à 2 cm (34).

<u>Causes extrinsèques</u>
ILMI
Rétraction des adducteurs
Douleurs extérieures au rachis : cou, épaule, cage thoracique, infection pulmonaire ou rénale
Cause ophtalmologique (strabisme, paralyse oculomotrice)
Attitude vicieuse
<u>Causes intrinsèques</u>
Douleur musculaire para-vertébrale
Spondylolyse
Infections rachidiennes (spondylodiscites...)
Tumeurs

Tableau I. Principales étiologies des attitudes scoliotiques.

La rotation vertébrale est dans la majorité des cas associée à une scoliose, mais elle peut également se rencontrer de manière isolée. Dans le cas d'une scoliose, elle est un élément clé dans le pronostic et le projet thérapeutique, dans le sens où elle est considérée comme un indicateur de la progression de la courbure (35-36). Plusieurs auteurs ont travaillé sur la mesure et la quantification de la rotation vertébrale, celle-ci pouvant être évaluée sur des radiographies ou sur des examens tomodensitométriques (37). Cobb (38) a étudié le déplacement du processus épineux des vertèbres, tandis que Nash & Moe se sont intéressés aux pédicules vertébraux (39), leur méthode étant supposée être plus simple et mieux adaptée. Dans cette méthode, le corps vertébral est divisé en 6 secteurs verticaux. La projection du pédicule sur la vertèbre sommet du côté de la convexité dans l'un des secteurs permet d'apprécier l'importance de la rotation selon le niveau du rachis examiné. Suivant la zone où se projette le pédicule, on classe la rotation en croix (figure 8).

Parmi les autres méthodes radiographiques d'évaluation de la rotation vertébrale, on peut citer Perdriolle (35) et Stokes (40). Quant à la rotation vertébrale établie sur des examens tomodensitométriques, les travaux les plus notables sont ceux d'Aaro-Dahlborn (41) et Ho (42).

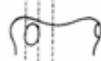
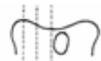
	Classification de la rotation	Rotation en degrés, suivant l'étage		
		D2-D5	D7-D10	L2-L4
	+	5-15°	5-10°	5-15°
	++	20-35°	15-30°	20-35°
	+++	40°	35-40°	40-50°
	++++	> 50°	> 50°	> 50°

Figure 8. Mesure de la rotation vertébrale selon Nash & Moe

5) Etude CERVICOSCOL

L'étude CERVICOSCOL est un projet d'étude portant sur la stabilisation cervico-céphalique dans une population d'adolescents porteurs d'une scoliose idiopathique (SIA) avant et après chirurgie d'arthrodèse. Dans le cas d'un traitement chirurgical pour une scoliose idiopathique, la première cause de révision est la cyphose jonctionnelle proximale (CJP), avec une prévalence comprise entre 20% et 43% (43). La CJP se manifeste comme une hypercyphose des vertèbres situées au-dessus de l'instrumentation, en particulier au niveau de la charnière cervico-thoracique en cas d'arthrodèse postérieure dans le cas d'une scoliose thoracique (43). La cause exacte de ce type de complication n'est pas connue. L'amélioration de sa pathogénie permettrait probablement d'en limiter la survenue. Hillibrand, Ilharreborde et Canavese se sont intéressés à l'évolution de l'équilibre sagittal du rachis cervical chez les adolescents ayant une SIA et ont retrouvé des modifications significatives entre l'équilibre pré opératoire et l'équilibre post-opératoire (44-46). D'autres auteurs ont montré que la SIA s'accompagne d'anomalies du contrôle postural orthostatique (47-50), en particulier une perturbation de la stabilisation cervico-céphalique (51). En utilisant un système d'analyse 3D de la marche, l'équipe d'Assaiante a montré que l'adolescent scoliotique ne stabilise pas systématiquement le segment cervico-céphalique sur l'espace lors de la marche (51). Le but de l'étude CERVICOSCOL est donc de démontrer que, dans la SIA arthrodésée, le type de stabilisation cervico-céphalique en préopératoire influence la survenue d'une CJP en postopératoire. Cette étude prospective prévoit de comparer 2 cohortes, l'une d'adolescents non scoliotiques et l'autre composée d'adolescents porteurs d'une SIA. Du fait du caractère non consensuel des données de la littérature, associé à leur faible nombre dans les populations pédiatriques, il était donc nécessaire et justifié d'obtenir un référentiel de valeurs pour les différents paramètres d'équilibre sagittal dans la cohorte d'adolescents non scoliotiques.

6) Nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical

Dans un article récent (52, cf annexe 1), Le Huec & al ont étudié une cohorte de patients adultes asymptomatiques et non scoliotiques. En plus des paramètres déjà connus et validés, ils ont décrit de nouveaux paramètres mesurant l'équilibre sagittal, construits par analogie avec les paramètres pelviens de Duval-Beaupère : l'incidence crânienne, la version crânienne et la pente crânienne (figure 9).

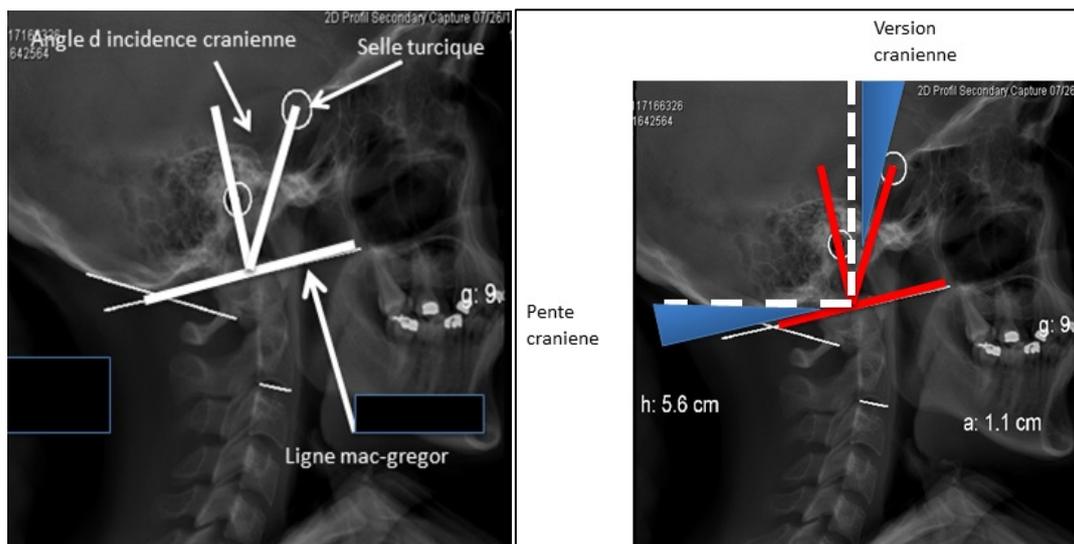


Figure 9. Incidence crânienne

7) Objectifs de l'étude

A partir d'une cohorte de patients sans déformation rachidienne et sans obliquité pelvienne, le premier objectif était d'analyser l'équilibre sagittal du rachis, à partir des paramètres sagittaux déjà décrits dans la littérature. L'ensemble du rachis était analysé, depuis la base du crâne jusqu'au pelvis, en portant une attention particulière au rachis cervical et à ses rapports avec les autres segments rachidiens. Cette première partie permettrait de constituer la cohorte « témoin » de l'étude CERVICOSCOL.

Le second objectif était d'analyser les nouveaux paramètres d'équilibre du rachis cervical décrits par Le Huec & al dans notre population pédiatrique, car ils n'ont encore jamais été décrits dans la littérature chez ces patients.

II - Matériel et Méthodes

Une étude de cohorte rétrospective, descriptive, analytique portant sur toutes les radiographies du rachis entier réalisées avec le système EOS avec reconstruction 3D réalisées en externe au CHRU de Lille a été menée entre le 1^{er} janvier 2011 et le 31 décembre 2015 chez des patients âgés entre 12 et 18 ans.

Pour constituer la cohorte d'adolescents non scoliotiques, les patients adressés par certaines catégories de professionnels de santé (chirurgien pédiatre ou orthopédiste, médecin réadaptateur, neurochirurgien, rhumatologue ou praticien du CHRU de Lille) n'ont pas été inclus. L'hypothèse qui sous-tendait ce choix était que les patients suivis par ces praticiens étaient plus susceptibles de présenter une pathologie scoliotique.

Cette étude a bénéficié d'une déclaration auprès de la CNIL (référence DEC16-102) (**annexe 2**). Les données recueillies ont été stockées sur une clé USB dans un fichier protégé par un mot de passe.

1) Population

a. Critères d'inclusion

Étaient inclus tous les patients âgés de plus de 12 ans et de moins de 18 ans pendant la période choisie. Cette tranche d'âge a été choisie car elle correspond à la phase de croissance pubertaire rapide qui est un tournant dans la croissance rachidienne (**53**). Les patients inclus ne devaient pas avoir de scoliose. Ceux qui avaient une attitude scoliotique étaient inclus si l'angle de Cobb frontal ne dépassait pas les 10°. Les patients avec une ILMI pouvaient être inclus si cette dernière n'était pas significative et ne dépassait pas 10 mm.

b. Critères de non-inclusion

N'ont pas été inclus les patients dont l'âge n'était pas compris dans la tranche d'âge précédemment décrite, ceux qui avaient une scoliose avec un angle de Cobb frontal supérieur à 10°, ceux dont l'ILMI était supérieure à 10 mm, ceux qui avaient fait

l'objet d'une chirurgie rachidienne et ceux souffrant d'une dystrophie de croissance (ou maladie de Scheuermann) ou de toute autre anomalie congénitale du rachis portant atteinte à l'équilibre sagittal ou frontal.

2) Données relevées

a. Analyse de l'équilibre sagittal du rachis

Pour la partie de l'étude de cohorte décrivant des paramètres connus et validés, nous avons recueilli plusieurs types de données.

Les données cliniques recueillies étaient l'âge, le sexe, le motif de réalisation de l'examen.

La position dans laquelle l'examen avait été réalisé a également été relevée.

Le score de Risser, évaluant la maturation osseuse du bassin par l'ossification des crêtes iliaques, a été noté (figure 10). Le cartilage de croissance de la crête iliaque se développe progressivement de l'extérieur à l'intérieur ; lorsqu'il se soude au bassin (Risser 5), la croissance est terminée.

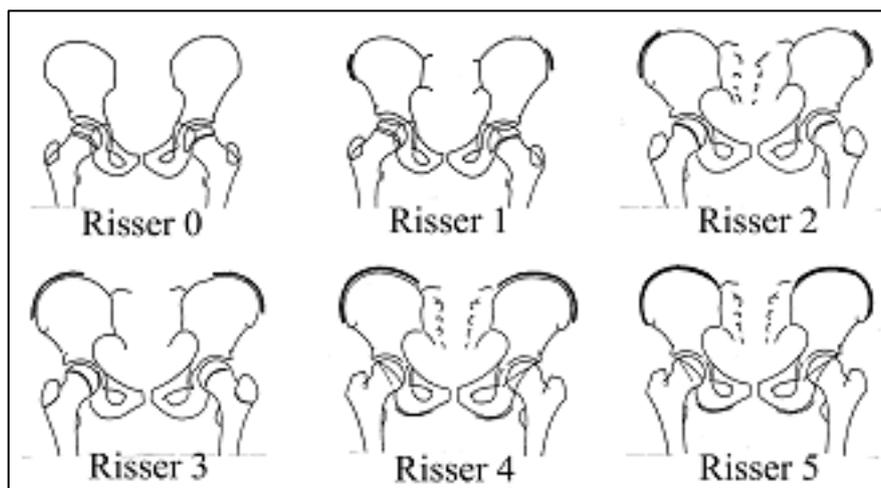


Figure 10. Score de Risser

Pour chaque patient, le type de dos selon Roussouly a été relevé.

En cas d'obliquité pelvienne, le côté le plus long était relevé, ainsi que la valeur de l'inégalité de longueur. Enfin, il était noté si l'ILMI était compensée lors de l'examen.

La présence d'une attitude scoliothique, telle que définie précédemment, était relevée, de même que la valeur de l'angle de Cobb frontal et l'existence ou non d'une rotation vertébrale.

La rotation vertébrale était mesurée selon la méthode de Nash & Moe.

Nous avons également recherché la présence de particularités radiologiques, telles qu'un nombre anormal de paires de côtes, une lyse isthmique, une anomalie de fermeture des arcs antérieur ou postérieur ou une anomalie transitionnelle de la charnière lombo-sacrée.

Nous avons ensuite mesuré un certain nombre d'angles et de paramètres d'équilibre, uniquement dans le plan sagittal.

Dans un premier temps nous nous sommes concentrés sur des paramètres décrits, validés et utilisés couramment dans la littérature. Ces paramètres étaient les suivants :

- la ligne à plomb sagittale passant par C7, ou SVA.

Nous avons choisi d'exprimer cette variable en relevant l'endroit où la ligne à plomb abaissée de C7 coupe le plateau supérieur de S1 : en avant du plateau, en arrière ou neutre si la ligne coupe le plateau.

Nous avons également mesuré l'angle spino-sacré (ASS), formé par la ligne reliant le milieu de C7 et le milieu du plateau supérieur de S1 et la pente sacrée.

- paramètres cervicaux

Les courbures C1-C2, C1-C7 et C2-C7 ont été mesurées selon la technique de Cobb (figure 11).

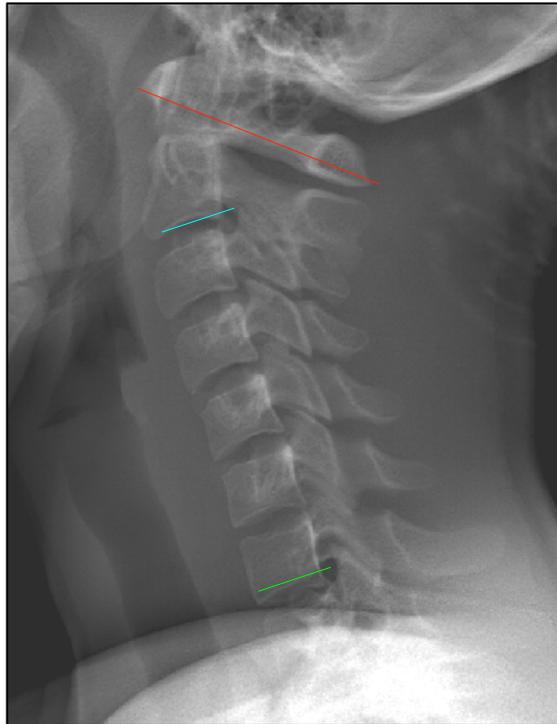


Figure 11. Méthode de mesure des courbures cervicales

Courbure C1-C2 : angle de Cobb calculé entre la ligne reliant le point le plus antérieur du tubercule antérieur au point le plus postérieur du tubercule postérieur de C1 et le plateau inférieur de C2.

Courbure C1-C7 : angle de Cobb entre C1 (tel que sus-décrit) et le plateau inférieur de C7.

Courbure C2-C7 : angle de Cobb entre le plateau inférieur de C2 et le plateau inférieur de C7.

Pour le segment cervical, la lordose était définie par des valeurs positives et la cyphose par des valeurs négatives.

Pour des valeurs inférieures à -5° , nous avons considéré que le rachis cervical était en cyphose, pour des valeurs comprises entre -5° et 5° , le rachis était hypolordotique, au-delà de 5° , le rachis cervical était en lordose.

- paramètres thoraciques

Nous avons mesuré la cyphose T1-T12, correspondant à l'angle de Cobb entre le plateau supérieur de T1 et le plateau inférieur de T12, ainsi que la cyphose T4-T12, soit l'angle de Cobb entre le plateau supérieur de T4 et le plateau inférieur de T12.

- paramètres lombaires

Ont été relevées la lordose L1-L5 et la lordose L1-S1, soit les angles de Cobb respectivement entre le plateau supérieur de L1 et le plateau inférieur de L5, et entre le plateau supérieur de L1 et le plateau supérieur de S1.

- paramètres pelviens

Les paramètres étaient ceux décrits par Mme Duval-Beaupère (3) : pente sacrée (PS), version pelvienne (VP) et incidence pelvienne (IP).

b. Description de nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical

Nous avons recueilli les mêmes paramètres que ceux qui étaient décrits dans l'article de Le Huec & al (52), en prenant la ligne de Mac Gregor comme repère pour la base du crâne.

Incidence crânienne (IC)

Angle entre la perpendiculaire à la ligne de Mc Gregor et la ligne qui unit le milieu de la ligne de Mc Gregor à la selle turcique.

C'est un paramètre morphologique propre à chaque individu, qui ne varie pas selon la posture

L'incidence crânienne est la somme de la pente crânienne et de la version crânienne.

Pente crânienne (PC).

Angle entre l'horizontale et la ligne de Mc Gregor (MG), c'est une variable posturale.

La valeur de cet angle est positive si la ligne de Mc Gregor est orientée en haut et en avant, nulle si la ligne de Mc Gregor est horizontale, négative si la ligne de Mc Gregor est orientée vers le bas et en avant.

Version crânienne (VC)

Angle entre la verticale et la ligne qui unit le centre de la ligne de MG et la selle turcique. C'est également une variable posturale.

Jonction occipito-cervicale (angle occiput-C2, OC2).

Angle situé entre la ligne de MG et le plateau inférieur de C2.

Pente de C7 (PC7)

Angle entre le plateau inférieur de C7 et l'horizontale.

Tilt de C2

Angle entre la verticale passant par le centre de C7 et la ligne passant par le centre du plateau inférieur de C2 et le centre de C7. Cet angle est positif si le milieu de C2 est en avant de la ligne de C7, négatif sinon.

Tilt selle turcique (tilt ST)

Angle entre la verticale passant par le milieu de C7 et la ligne qui rejoint le centre de la selle turcique et le centre de C7.

Angle spino-crânien (ASC)

Angle entre la pente de C7 et la droite reliant le milieu du plateau inférieur de C7 et le milieu de la selle turcique.

L'angle spino-crânien est calculé grâce à la formule : $90^\circ - \text{Pente C7} + \text{tilt ST}$

3) Méthodes statistiques

Les paramètres qualitatifs ont été décrits en termes de fréquence et de pourcentage.

Les paramètres numériques ont été décrits en termes de moyenne et d'écart-type.

La normalité des paramètres numériques a été vérifiée graphiquement et testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk.

Des tests de corrélation de Pearson ont été utilisés pour tester le lien entre les paramètres numériques.

Les statistiques ont été réalisées par l'unité de méthodologie biostatistique et data-management du CHRU de Lille. Le niveau de significativité a été fixé à 5%. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SAS (SAS Institute version 9.4).

III – Résultats

1) Population

Au total, 4001 radiographies du rachis entier selon EOS avec reconstruction 3D ont été réalisées en externe au CHRU de Lille entre le 1^{er} janvier 2011 et le 31 décembre 2015 chez des adolescents âgés d'au moins 12 ans et de moins de 18 ans.

Parmi ces 4001 examens, 3760 ont été exclus d'après la spécialité du praticien qui avait prescrit l'examen (tableau II).

<u>Spécialité</u>	<u>Nombre de patients</u>	<u>%</u>
Praticien du CHRU de Lille	2428	64,6
Médecin réadaptateur	1266	33,7
Chirurgien pédiatre	54	1,4
Rhumatologue	7	0,2
Chirurgien orthopédiste	5	0,1
Total	3760	100

Tableau II. Exclusion d'après le praticien prescripteur

Sur les 241 examens restants, 145 patients n'ont pas été retenus, les raisons en sont expliquées dans le tableau III.

<u>Motif de non-inclusion</u>	<u>Nombre de patients</u>	<u>%</u>
Angle de Cobb frontal > 10°	97	66,9
Plusieurs EOS pour un même patient	17	11,7
Obliquité pelvienne > 10 mm	12	8,3
Maladie de Scheuermann	10	6,9
Pas de cliché sagittal	3	2
Angle de Cobb frontal > 10° <u>et</u> obliquité pelvienne > 10 mm	2	1,4
Patient déjà opéré d'une arthrodèse postérieure	2	1,4
Patient porteur d'un corset	1	0,7
Scoliose malformative	1	0,7
Total	145	100

Tableau III. Exclusion d'après les critères radiographiques.

Nous avons ainsi obtenu une cohorte de 96 patients pour la première partie de notre travail.

Parmi ces 96 patients, nous avons pu étudier les nouveaux paramètres sur 69 d'entre eux. 27 n'ont pu être inclus car les clichés radiographiques ne montraient pas le crâne (figure 12).

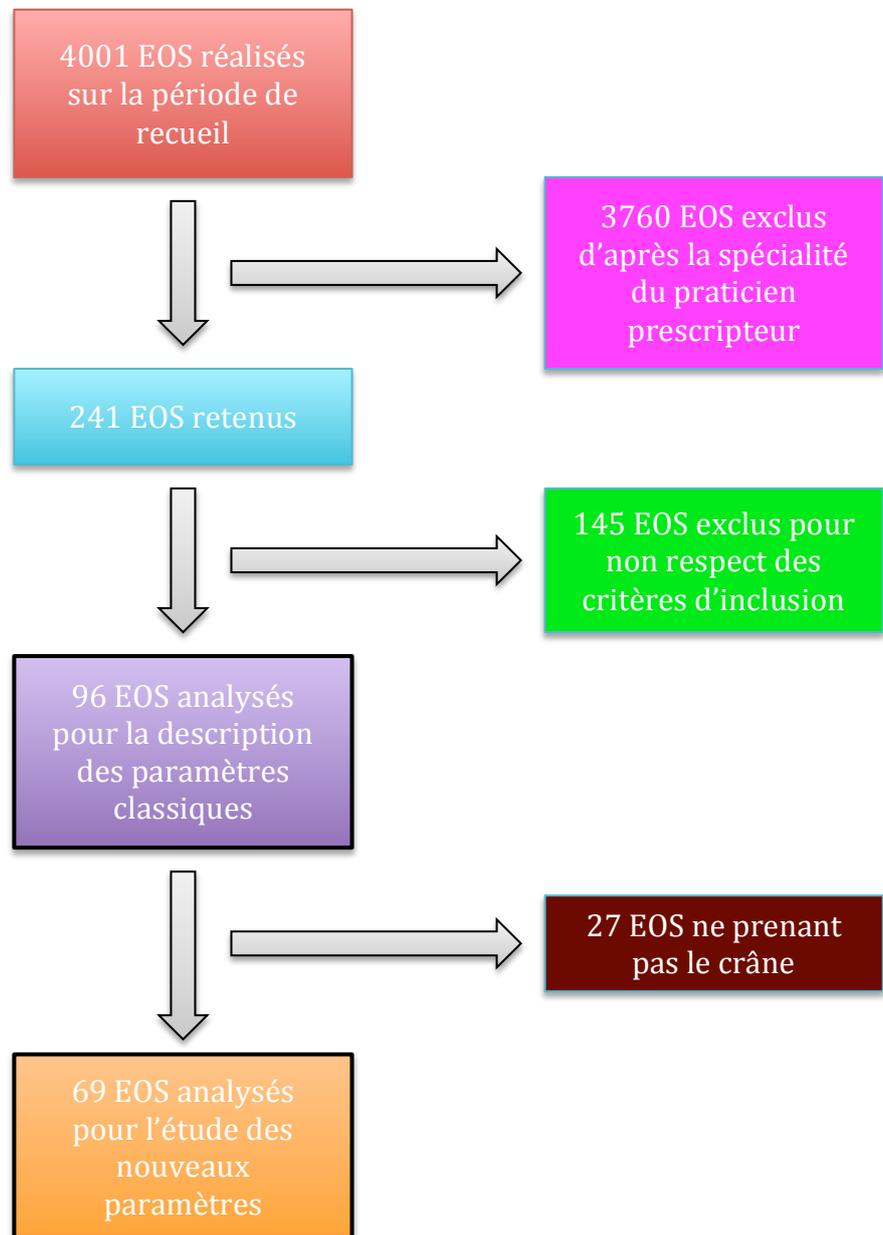
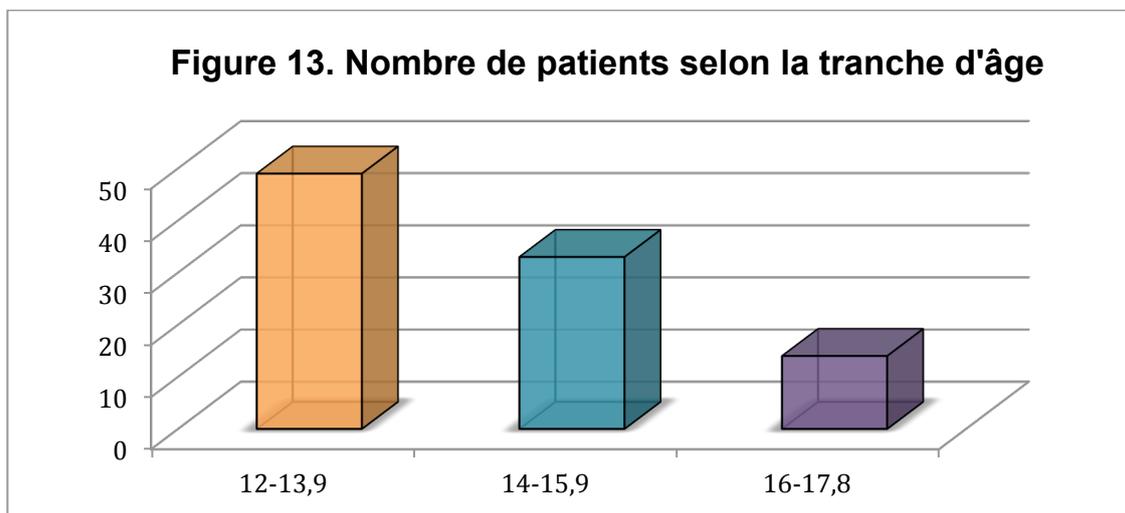


Figure 12. Flow-chart

La cohorte de 96 patients était composée de 42 adolescents de sexe masculin (soit 43,8%) et de 54 adolescentes (56,2%).

L'âge moyen était de 14,1 ans [12 ; 17,8] (figure 13). 51% des patients avaient un âge compris entre 12 et 13,9 ans au moment de l'examen.

Il n'y avait pas de différence significative au sein de l'échantillon, aussi bien concernant le sexe que l'âge selon le sexe.



Pour 28 patients (29,1%), le motif de réalisation de l'examen n'était pas précisé.

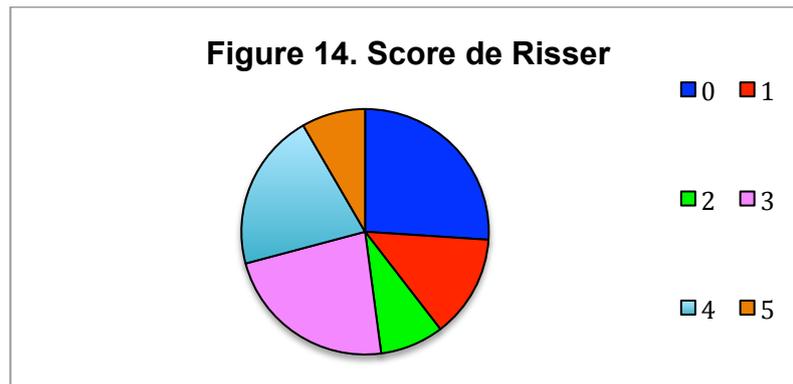
Pour les 68 autres patients, les motifs sont résumés dans le tableau IV.

<u>Motif de réalisation</u>	<u>Nombre de patients</u>	<u>%</u>
Scoliose	26	27,1
Troubles de la statique vertébrale/Déviations cliniques	14	14,5
Attitude scoliotique	12	12,5
Douleur/Traumatisme	10	10,4
Gibbosité	2	2,1
Bilan clinique	2	2,1
Rachitisme	1	1,1
Suivi d'une lyse isthmique	1	1,1
Non précisé	28	29,5
Total	96	100

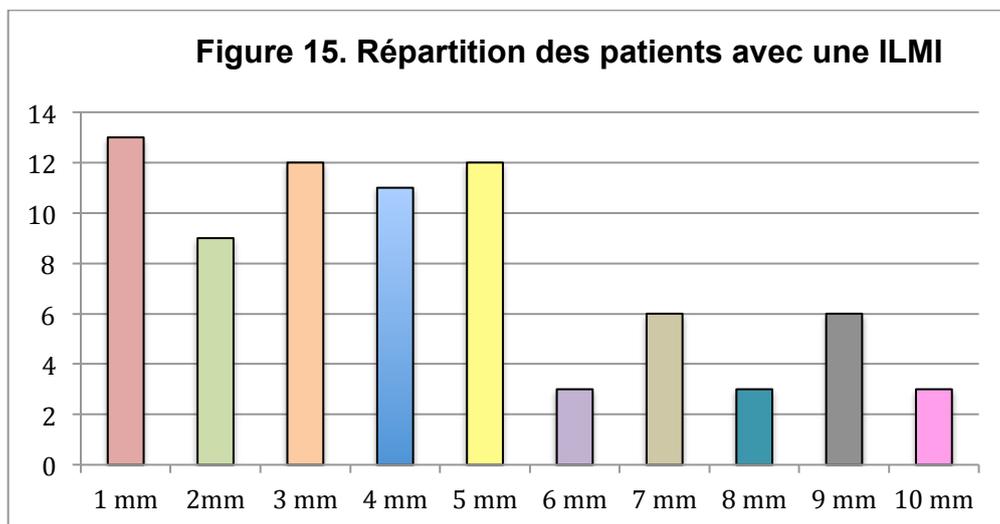
Tableau IV. Motifs de réalisation de l'examen

Quatre-vingt huit patients sur 96 (91,7%) étaient positionnés de la même manière pour l'examen : debout, jambes tendues, les mains en avant à hauteur des épaules. Les 8 autres (8,3 %) avaient la position dite « de référence » décrite par Morvan (**biblio 32**) : debout, jambes tendues, poings à hauteur des clavicules et les doigts posés sur celles-ci.

La répartition du score de Risser selon les patients est exprimée dans la figure 14.

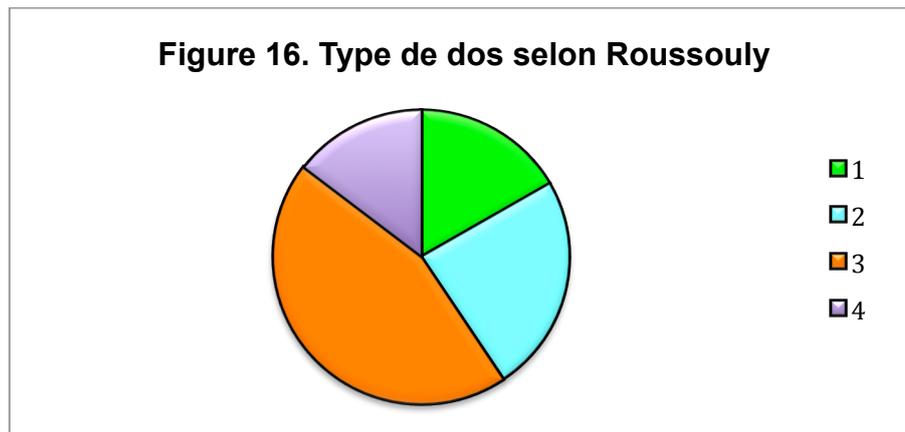


Soixante-dix-huit patients sur 96 (81%) avaient une ILMI, comprise entre 1 et 10 mm (figure 15). La valeur moyenne de l'ILMI était de 3,6 mm, quel que soit le côté. Parmi les patients ayant une ILMI, 47 (60%) avaient le membre inférieur droit plus long.

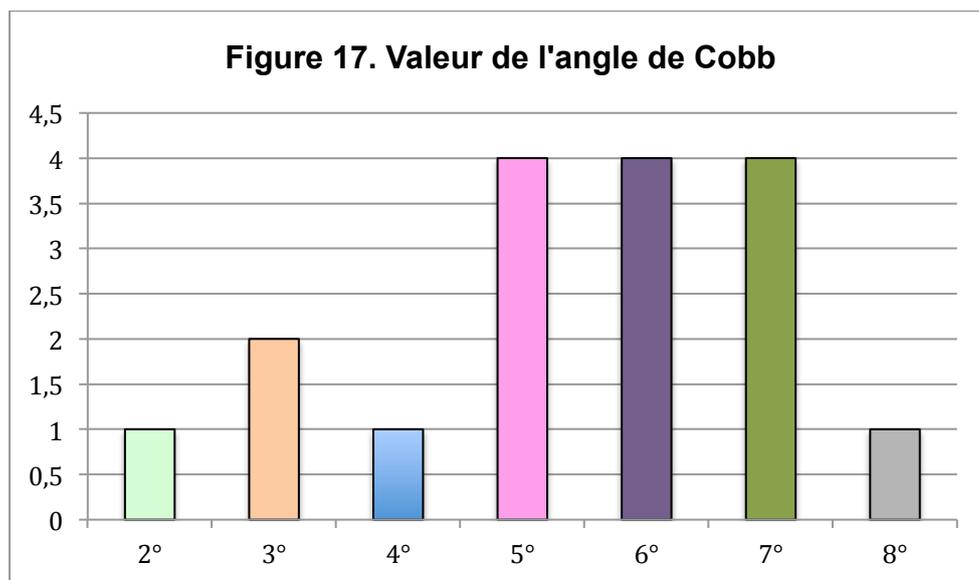


Aucun des patients ayant une ILMI ne portait de compensation lors de la réalisation de l'examen.

La répartition des types de dos selon Roussouly est exprimée dans la figure 16.



Dix-sept patients (18%) présentaient une attitude scoliotique radiographique, avec un angle de Cobb compris entre 2 et 8° (figure 17).



Il est à noter que 9 patients avaient une rotation vertébrale isolée, qui ne retentissait pas sur l'équilibre frontal. 8 de ces patients avaient une rotation de grade 1, et le dernier une rotation de grade 2.

Trente-trois des patients inclus (34%) présentaient des particularités radiologiques, qui ont été répertoriées dans le tableau V. La majorité d'entre elles étaient des anomalies de la charnière lombo-sacrée. Certains patients pouvaient présenter plusieurs particularités.

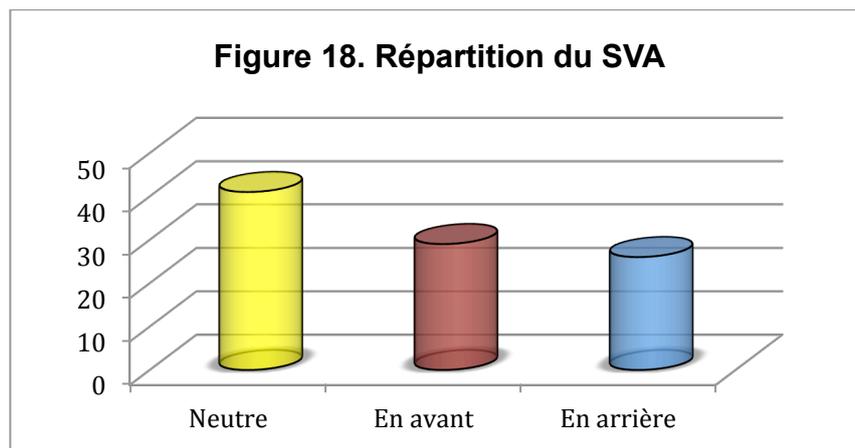
Particularités radiographiques	Nombre de patients
Anomalies de la charnière lombo-sacrée	20
Lombalisation de S1	10
Lyse isthmique de L5	5
Sacralisation de L5	4
Rétrolisthésis L5-S1	1
Anomalies vertébrales	9
Défaut de fermeture de l'arc postérieur de S1	4
Apophysomégalie de C7	2
Variante anatomique des arcs postérieurs de C7, T1 et T2	1
Pincements T8-T9 et T9-T10	1
Pincement L1-L2	1
Anomalies costales	9
Hypoplasie de la 12 ^{ème} paire de côtes	3
Côte cervicale	3
13 paires de côtes	2
Aspect bifide de l'arc antérieur de la 4e côte gauche	1

Tableau V. Particularités radiographiques

2) Premier objectif : description de l'équilibre sagittal du rachis avec des paramètres connus et validés

a. Paramètres d'équilibre sagittal global

Concernant le SVA, pour 41 patients (43%) il était noté neutre, 29 patients (30%) avaient un déséquilibre antérieur et 26 (27%) un déséquilibre postérieur (figure 18).



La valeur moyenne de l'ASS était de $130^{\circ} \pm 10^{\circ}$.

b. Paramètres cervicaux

Les valeurs moyennes des paramètres cervicaux (courbures cervicales) sont exprimées dans le tableau VI.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Etendue
Courbure C1-C7	94	26.6°	26°	14.8°	[0 ; 63]
Courbure C1-C2	94	28.4°	29°	7.3°	[9 ; 46]
Courbure C2-C7	95	-2,32°	-3°	14,3°	[-31 ; 39]

Tableau VI. Courbures cervicales

c. Paramètres thoraco-lombaires

Les valeurs moyennes des paramètres thoraco-lombaires (cyphose thoracique et lordose lombaire) sont exprimées dans le tableau VII de manière générale et dans le tableau VIII selon les différentes tranches d'âge.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Ecart-type	Etendue
Cyphose T1-T12	96	38,8°	10,8°	[16 ; 65]
Cyphose T4-T12	96	31,2°	10,6°	[6 ; 54]
Lordose L1-L5	96	42°	13,1°	[7 ; 73]
Lordose L1-S1	96	53,7°	12,8°	[15 ; 93]

Tableau VII. Courbures thoraciques et lombaires

Angles mesurés	12-13,9 ans	14-15,9 ans	16-17,8 ans
Cyphose T1-T12	39,2°	37,6°	40°
Cyphose T4-T12	31,2°	30,8°	32,1°
Lordose L1-L5	40,1°	42,8°	46,2°
Lordose L1-S1	52,4°	53,9°	58°

Tableau VIII. Courbures thoraciques et lombaires selon l'âge.

d. Paramètres pelviens

Les valeurs moyennes des paramètres pelviens de Duval-Beaupère sont exprimées dans le tableau IX.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Ecart-type	Etendue
Incidence pelvienne	96	47°	12,6°	[21 ; 91]
Version pelvienne	96	7,7°	7,8°	[-14 ; 23]
Pente sacrée	96	39,3°	9,8°	[16 ; 75]

Tableau IX. Paramètres pelviens de Duval-Beaupère

Le tableau X résume la variation de l'IP en fonction de l'âge et du Risser.

	12-13,9 ans	14-15,9 ans	16-17,8 ans	Risser 0 et 1	Risser 2 à 5
Incidence pelvienne	44,3°	48,8°	52,4°	44,6°	48,6°

Tableau X. IP exprimée selon l'âge et le Risser.

3) Second objectif : description de nouveaux paramètres sagittaux d'équilibre du rachis cervical

a. Paramètres crâniens

Les valeurs moyennes des paramètres crâniens (IC, PC, VC) sont exprimées dans le tableau XI.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Ecart-type	Etendue
Incidence crânienne	69	27,8°	4,5°	[17 ; 47]
Pente crânienne	69	-3,7°	6,9°	[-22 ; 11]
Version crânienne	69	31,5°	7°	[16 ; 50]

Tableau XI. Paramètres crâniens

b. Paramètres cervicaux

Les valeurs moyennes des paramètres cervicaux sont exprimées dans le tableau XII. Les courbures C1-C7, C1-C2 et C2-C7 ont été recalculées dans la population où les nouveaux paramètres ont été décrits.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Etendue
Courbure C1-C7	69	25,5°	25°	15,3°	[0 ; 63]
Courbure C1-C2	69	27,7°	28°	7,4°	[9 ; 46]
Courbure C2-C7	69	-2,81°	- 4°	14,65°	[-31 ; 39]

Tableau XII. Paramètres cervicaux

c. Paramètres cervico-crâniens

Les valeurs des paramètres cervico-crâniens (OC2, PC7, Tilt C2 et Tilt ST) sont exprimées dans le tableau XIII.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Ecart-type	Etendue
OC2	69	14,1°	7,6°	[0 ; 32]
Pente de C7	69	14,5°	9,1°	[0 ; 37]
Tilt de C2	69	8,2°	5,7°	[-5 ; 21]
Tilt de la selle turcique	69	14,2°	4,8°	[4 ; 23]
ASC	69	89,7°	11°	[62 ; 110]

Tableau XIII. Paramètres cervico-crâniens

d. Expression des paramètres cervico-crâniens selon l'âge

Le but de notre étude étant de décrire de nouveaux paramètres d'équilibre sagittal chez l'enfant, nous avons rapporté leurs valeurs moyennes en fonction des tranches d'âge des patients (tableau XIV).

Groupes de patients	12 – 13,9 ans	14 – 15,9 ans	16 – 17,8 ans
IC	28,1°	26,5°	29,9°
OC2	12,2°	15°	17,3°
PC7	15,8°	12,4°	15°
Courbure C1-C7	27°	24°	24,3°
Courbure C1-C2	26,2°	28,9°	29,2°
Courbure C2-C7	-0,2 °	- 4,9°	-5,6°
Tilt de C2	9,5°	8,5°	9,7°
Tilt de la selle turcique	14,4°	13,7°	14,8°
ASC	88,5°	91,3°	89,8°
Nombre de patients	33	24	12

Tableau XIV. Paramètres cervico-crâniens selon l'âge

e. Expression des paramètres cervico-crâniens selon le score de Risser

L'âge civil ne reflétant pas toujours précisément la maturation osseuse, nous avons également représenté les moyennes des nouveaux paramètres d'équilibre selon le score de Risser (tableau XV).

Groupes de patients	Risser 0 et 1	Risser 2 à 5
IC	28,3°	27,5°
OC2	11,3°	15,7°
Courbure C1-C7	30,1°	22,7°
Courbure C1-C2	26,4°	28,4°
Courbure C2-C7	3°	-6,3°
PC7	10,1°	13,5°
Tilt de C2	8,3°	9,6°
Tilt de la selle turcique	12,9°	15°
ASC	86,8°	91,5°
Nombre de patients	26	43

Tableau XV. Paramètres cervico-crâniens selon le score de Risser

f. Paramètres thoraco-lombaires

Les valeurs moyennes des courbures de cyphose thoracique et de lordose lombaire ont été recalculées pour les 69 patients inclus dans la deuxième partie de notre travail et sont résumées dans le tableau XVI.

Angles mesurés	Nombre de patients	Moyenne	Ecart-type	Etendue
Cyphose T1-T12	69	38,4°	11,1°	[16 ; 65]
Cyphose T4-T12	69	30,4°	10,6°	[6 ; 54]
Lordose L1-L5	69	42,5°	14,4°	[7 ; 73]
Lordose L1-S1	69	54°	13,8°	[15 ; 93]

Tableau XVI. Paramètres thoraco-lombaires

g. Corrélations

Les cases en vert correspondent à des corrélations significatives ($p < 0,05$), les cases en jaune à des corrélations non significatives.

Les corrélations entre les paramètres cervico-crâniens sont résumées dans le tableau XVII.

	IC	PC	VC	OC2	PC7	Tilt C2	Tilt ST
IC		0,29	0,35	0,01	0,15	-0,06	-0,01
PC			-0,79	0,35	0,47	0,01	-0,68
VC				-0,33	-0,36	-0,03	0,67
OC2					0,06	0,5	0,16
PC7						0,39	-0,16
Tilt C2							0,60
Tilt ST							

Tableau XVII. Corrélations des paramètres cervico-crâniens entre eux

Les corrélations entre les paramètres cervico-crâniens et :

- les paramètres thoraciques sont résumées dans le tableau XVIII,
- la pente sacrée sont indiquées dans le tableau XIX.

	Cyphose T1-T12	Cyphose T4-T12
IC	0,24	0,26
PC	0,24	0,07
VC	-0,08	0,11
OC2	-0,03	-0,07
PC7	0,62	0,46
Tilt de C2	0,29	0,26
Tilt de ST	-0,06	0,08

Tableau XVIII. Corrélations entre cyphose thoracique et paramètres cervico-crâniens

	PS
IC	0,29
PC	0,09
VC	0,09
OC2	0,15
PC7	0,06
Tilt de C2	0,10
Tilt de ST	0,04

Tableau XIX. Corrélations entre pente sacrée et paramètres cervico-crâniens

Les corrélations entre les paramètres lombaires d'une part, les paramètres cervico-crâniens, thoraciques et sacrés d'autre part sont résumées dans le tableau XX.

	Lordose L1-L5	Lordose L1-S1
Cyphose T1-T12	0,48	0,55
Cyphose T4-T12	0,51	0,57
PS	0,77	0,86
IC	0,27	0,31
PC	0,07	0,10
VC	0,11	0,10
OC2	0,17	0,14
PC7	0,03	0,14
Tilt de C2	0,13	0,22
Tilt de ST	0,07	0,09

Tableau XX. Corrélations entre lordose lombaire, cyphose thoracique et paramètres cervico-crâniens

Dans notre cohorte, l'IP était significativement corrélée à l'IC : coefficient de corrélation 0,3, $p < 0,05$. Cette corrélation entre l'IC et l'IP est retrouvée dans le tableau XXI.

	IP entre 27 et 44°	IP entre 45 et 60°	IP entre 60 et 91°
Valeur moyenne de l'IC	27,2°	27,6°	30,6°
Nombre de patients	32	27	10

Tableau XXI. IC exprimée en fonction de l'IP

Nous avons ensuite étudié la corrélation entre la pente de C7, les courbures cervicales et l'ASC (tableau XXII).

	PC7	Courbure C1-C7	Courbure C2-C7	ASC
PC7		0,81	0,79	-0,9
Courbure C1-C7			0,89	-0,9
Courbure C2-C7				-0,9
ASC				

Tableau XXII. Corrélation entre courbures cervicales, PC7 et ASC

Nous avons également corrélé les courbures cervicales et les courbures thoraciques (tableau XXIII).

	Courbure C1-C7	Courbure C2-C7	Cyphose T1-T12	Cyphose T4-T12
Courbure C1-C7			0,53	0,32
Courbure C2-C7			0,51	0,35
Cyphose T1-T12				0,85
Cyphose T4-T12				

Tableau XXIII. Corrélations entre courbures cervicales et thoraciques

IV - Discussion

Nous avons donc pu établir un recueil de données sur l'équilibre sagittal du rachis et plus précisément sur l'équilibre du rachis cervical ; la première partie de notre travail concernait des paramètres déjà décrits et utilisés dans la littérature. La seconde portait sur des paramètres très récents employés uniquement chez l'adulte, et cherchait à les décrire dans une population pédiatrique.

1) Analyse des résultats

Il y avait une légère prédominance féminine dans notre cohorte (56%), qui par ailleurs était jeune, puisque la moitié des patients avait moins de 14 ans.

Une proportion importante de patients avait une ILMI (78%), mais la valeur moyenne de celle-ci est faible, de l'ordre de 3,6 mm. Nous avons déjà vu que dans la littérature une ILMI était considérée comme non significative jusqu'à 2 cm, nous avons fait le choix de limiter l'inclusion des patients ayant une ILMI à 10 mm pour éliminer au maximum les attitudes scoliotiques.

Partant du même principe, pour les patients avec une attitude scoliotique, nous n'avons pas inclus les patients qui avaient un angle de Cobb frontal supérieur à 10°, même s'il n'y avait pas de déformation tridimensionnelle de la colonne.

Les dos de type 3, le plus physiologique selon Roussouly étaient les plus nombreux.

Pour 57% des patient, le SVA était déséquilibré. Cette donnée est tempérée par un article de Mac Thiong, qui montre qu'un SVA déséquilibré n'est pas forcément synonyme de déséquilibre, mais peut prédisposer à une pathologie rachidienne ultérieure (54).

Le SSA avait une valeur moyenne de 130°, ce qui est dans la norme parmi les séries existantes, bien qu'elles concernent des populations adultes (5, 54-55).

La valeur moyenne de la cyphose thoracique était de 38,8° pour la cyphose T1-T12, et de 31,2° pour la cyphose T4-T12. Quant à la lordose lombaire, les valeurs moyennes étaient de 42° pour la lordose L1-L5 et 53,7° pour la lordose L1-S1. Ces résultats sont cohérents avec ceux rencontrés dans la littérature (4 ; 10-18).

Les paramètres pelviens étaient eux aussi similaires à ceux de la littérature (4), avec une incidence pelvienne moyenne de 47° pour l'IP, 7,7° pour la VP et 39,3° pour la PS. L'IP augmente avec l'âge, ce qui a également déjà été démontré (15).

La valeur moyenne de la courbure C2-C7 (-2,32°) se situait dans la fourchette hypolordotique. 46% des patients présentaient une cyphose cervicale, 20% étaient hypolordotiques. Ces résultats sont semblables à ceux d'autres séries (52,56), qui rapportaient aussi une importante proportion de patients présentant une cyphose du rachis cervical.

La proportion élevée de patients hypolordotiques ou cyphotiques au niveau du rachis cervical dans notre série peut aussi s'expliquer par le fait que certains patients ont bénéficié de cet examen d'imagerie parce qu'ils étaient douloureux, hors une étude (57) a montré que les sujets douloureux chroniques sans déformation en cyphose avaient une lordose cervicale beaucoup plus faible que celle des sujets non douloureux. Quant aux patients douloureux de manière aiguë, leur lordose cervicale était intermédiaire. Cela pose la question de l'adaptation du rachis cervical à un phénomène douloureux locorégional ou éloigné.

Il a également été décrit (58,59) que les patients de sexe féminin avaient une lordose cervicale moins marquée, même si tous les auteurs ne s'accordent pas sur ce sujet (60). D'autres études suggèrent que le sexe a une influence sur l'équilibre sagittal global (61).

Les courbures cervicales étaient étroitement corrélées à la cyphose thoracique, elle-même fortement corrélée à la lordose lombaire. Ces données rejoignent celles décrites par d'autres auteurs (62,63).

La moyenne de l'angle OC2 est de 14°, et celle de la courbure C1C2 de 28,4°, ce qui est comparable aux résultats de la littérature (20, 52). Nos résultats diffèrent en revanche de ceux de l'équipe de Le Huec (52) concernant la courbure C1C7, puisque la moyenne de cette courbure dans notre série est de 26,6° alors qu'elle est de 34° dans leur série.

L'incidence crânienne est significativement corrélée à la cyphose thoracique, à la lordose lombaire, à l'incidence pelvienne et à la pente sacrée. Il existe donc un enchaînement de corrélations entre le crâne et les différents segments rachidiens. L'IC augmente quand l'IP augmente. Contrairement à l'IP qui augmente avec l'âge, l'évolution de l'IC est moins nette ici, et il n'existe pas encore de données auxquelles se référer.

La PC7 est bien corrélée à la PC et à la VC, mais pas à l'IC qui est la somme de ces 2 paramètres. Cela est probablement dû à un manque de puissance de notre étude. Nous avons également retrouvé une corrélation entre la PC7 et la cyphose thoracique. Bien que nos résultats divergent un peu de ceux de l'équipe de Le Huec, ils traduisent néanmoins l'importance de cette valeur pour expliquer notamment le positionnement du rachis thoracique.

2) Limites de notre étude

Il s'agissait d'une étude de cohorte rétrospective avec un nombre de patients inclus relativement peu important.

Les données n'ont été recueillies que par un seul observateur.

Certains patients auraient probablement pu être inclus parmi ceux dont l'examen EOS avait été prescrit par un praticien du CHRU de Lille ou par un des autres praticiens spécialistes exclus, ce qui a pu entraîner un biais d'inclusion.

Les patients qui ont été inclus ne présentaient pas de scoliose ou d'autre critère de non inclusion, cependant ils n'étaient pas asymptomatiques, voire même douloureux pour certains. Pour plus d'un quart des patients (29%), le motif de réalisation de

l'EOS n'a pu être recueilli. Il n'a pas non plus été réalisé de score fonctionnel du fait du caractère rétrospectif de l'étude. Il aurait été préférable d'inclure des patients totalement asymptomatiques, cependant d'un point de vue éthique il était difficile d'inclure des patients mineurs pour une étude entraînant une irradiation, même si celle-ci est faible.

Le score de Tanner n'a pas été relevé, car du fait du caractère rétrospectif de l'étude, les patients n'ont pas eu d'examen clinique.

La majorité des patients n'avait pas la position dite « de référence » pour la réalisation de l'EOS, ce qui peut entraîner des modifications de l'équilibre rachidien (64). Néanmoins, pour chacun des patients inclus et n'ayant pas la position de référence, l'élévation des épaules ne dépassait jamais les 30°.

Pour mesurer les courbures cervicales, nous avons employé la méthode de Cobb, qui a fait l'objet de critiques (65). Nous aurions pu utiliser une autre technique, comme la méthode des tangentes postérieures, décrite par Albers et Gore (figure 19) (60,66).



Figure 19. Méthode des tangentes postérieures

Un autre paramètre décrivant l'équilibre sagittal global du rachis, la gîte de T9, aurait également pu être mesuré. Ayant déjà un paramètre pour décrire l'équilibre global (le SVA), nous ne l'avons pas relevé.

Nous avons ciblé une population pédiatrique mais du fait de l'évolution du rachis au fil de la croissance, il est possible que la population soit hétérogène même avec une tranche d'âge peu étendue. C'est pourquoi nous avons pondéré les résultats selon l'âge et/ou la maturation osseuse dans l'analyse descriptive, mais cette pondération n'a pas été prise en compte lors des corrélations.

Les patients ayant une lyse isthmique ont été inclus car nous avons considéré que leur équilibre sagittal ne serait pas perturbé. Il est reconnu dans la littérature que les paramètres pelviens (incidence pelvienne et pente sacrée notamment) sont augmentés dans les lyses isthmiques et les spondylolisthésis (67). Cependant, un certain nombre d'études suggèrent qu'en cas de lyse sans listhésis ou de listhésis de bas grade, l'équilibre spino-pelvien est conservé (68-69).

Lorsque nous avons exprimé certains résultats selon l'âge ou la maturation osseuse, nous avons fait le choix de ne pas comparer statistiquement les différents sous-groupes, du fait encore une fois du caractère rétrospectif de l'étude et d'autre part à cause du faible nombre de patients dans chaque sous-groupe.

3) Conclusion et perspectives futures

Les données de la littérature étudiant le rachis cervical spécifiquement chez l'enfant sont peu nombreuses. Notre série est aussi la première du genre à décrire chez l'enfant les nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical décrits par Le Huec & al (52).

La conclusion de ces premiers résultats est que le bassin et le crâne constituent des socles fixes, et qu'entre les 2 le rachis s'adapte pour adopter la meilleure posture possible, à la fois fonctionnelle et économique, et maintenir la tête horizontale.

L'IC et la PC7 sont des paramètres essentiels pour expliquer l'équilibre sagittal du rachis, au même titre que les courbures cervicales habituellement utilisées.

Ainsi, lors de l'étude du plan sagittal du rachis, ces 2 paramètres sont à intégrer dans l'analyse globale.

Même si les résultats de cette première série pédiatrique sont encourageants, ils doivent être complétés par des études ultérieures prospectives. Les questions à se poser sont l'évolution des paramètres cranio-cervicaux selon l'âge et les différences pouvant exister entre les adolescents scoliotiques et les adolescents non scoliotiques. Ces derniers devraient être idéalement asymptomatiques pour éviter toute adaptation posturale qui pourrait modifier l'équilibre rachidien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) **Vialle**, L'équilibre sagittal du rachis, des concepts à la pratique clinique en orthopédie pédiatrique, cours DESC chirurgie pédiatrique, 2011
- 2) **Mac Thiong & al**, Sagittal alignment of the spine and pelvis during growth, Spine (Phila Pa 1976), 2004 Aug 1; 29(15): 1642-7
- 3) **Duval-Beaupère & al**, A barycentimetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position, Ann Biomed Eng, 1992; 20(4): 451-62
- 4) **Mac Thiong & al**, Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents; Eur Spine J (2007) 16: 227–234
- 5) **Barrey & al**, Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases, Eur Spine J (2007) 16:1459–1467
- 6) **Roussouly**, Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management, Eur Spine J (2010) 19:1824–1836
- 7) **Roussouly & al**, The vertical projection of the sum of the ground reactive forces of a standing patient is not the same as the C7 plumb line: a radiographic study of the sagittal alignment of 153 asymptomatic volunteers, Spine (Phila Pa 1976) 2006; 31(11): E320–E325
- 8) **Roussouly**, Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position, Spine (Phila Pa 1976) 2005; 1; 30(3): 346-53
- 9) **Roussouly**, Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach, Eur Spine J (2011) 20 (Suppl 5): S578–S585
- 10) **Voutsinas**, Sagittal profiles of the spine. Clin Orthop Relat Res 1986; (210): 235–42
- 11) **Bernhardt**, Segmental analysis of the sagittal plane alignment of the normal thoracic and lumbar spines and thoracolumbar junction, Spine (Phila Pa 1976) 1989; 14(7): 717-21
- 12) **Boseker & al**, Determination of “normal” thoracic kyphosis: a roentgenographic study of 121 “normal” children, J Pediatr Orthop 2000; 20(6): 796-8
- 13) **Cil & al**, The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood, Spine (Phila Pa 1976) 2005; 1; 30(1): 93-100
- 14) **Vedentam & al**, Comparison of standing sagittal spinal alignment in asymptomatic adolescents and adults, Spine (Phila Pa 1976) 1998; 15; 23(2): 211-5

- 15) Schlosser & al**, Natural sagittal spino-pelvic alignment in boys and girls before, at and after the adolescent growth spurt, *Eur Spine J* 2015 ; 24(6) :1158-67
- 16) Descamps & al**, Modifications des angles pelviens, dont l'incidence, au cours de la croissance humaine. *Biom Hum Anthropol* 1999; 1-2(9) 17:59–63
- 17) Mangione & al**, Study of the course of the incidence angle during growth, *Eur Spine J* 1997, 6:163-7
- 18) Di Méglio**, Le rachis en croissance, Anatomie de la colonne vertébrale - Nouveaux concepts, 2016
- 19) Mac Thiong & al**, Global sagittal spinal balance: normative values from a prospective cohort of 715 asymptomatic adults and 646 asymptomatic children, *Scoliosis Research Society* 2010, Paper 76
- 20) Kuntz & al**, Spinal deformity: a new classification derived from neutral upright spinal alignment measurements in asymptomatic juvenile, adolescent, adult, and geriatric individuals, *Neurosurgery* 2008; 63: 25-39.
- 21) Berthonnaud & al**, Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters, *J Spinal Disord Tech* 2005; 18: 40–7
- 22) Hilibrand & al**, The sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis, *J Pediatr Orthop* 1995, 15:627-632
- 23) Dubousset**, Le Système EOS Nouvelle Imagerie Ostéo-Articulaire basse dose en position debout; e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 2005, 4 (4): 22-27
- 24) Ilharreborde & al**, Angle measurement reproducibility using EOS three-dimensional reconstructions in adolescent idiopathic scoliosis treated by posterior instrumentation, *Spine (Phila Pa 1976)* 2011, 36:E1306–E1313
- 25) Rousseau & al**, Reproducibility of measuring the shape and three-dimensional position of cervical vertebrae in upright position using the EOS stereoradiography system. *Spine*, 2007, Vol 32,32, 2569-2572.
- 26) Gille & al**, Reliability of 3D reconstruction of the spine of mild scoliotic patients. *Spine*, 2007, Vol 32, 5, 568-573.
- 27) Nectoux**, Analyse de la position 3D par le système EOS du rachis cervical après arthrodeèse postérieure dans la scoliose idiopathique de l'adolescent, 2010, ENSAM.
- 28) Gheno & al**, Three-dimensional measurements of the lower extremity in children and adolescents using a low-dose biplanar X-ray device, *Eur Radiol.* 2012 Apr; 22(4):765-71

- 29) Guenoun & al**, Reliability of a new method for lower-extremity measurements based on stereoradiographic three-dimensional reconstruction, *Orthop Traumatol Surg Res.* 2012 Sep; 98(5): 506-13
- 30) EOS imaging**, www.eos-imaging.com
- 31) Vialle**, L'imagerie par le système EOS en orthopédie pédiatrique; réalités pédiatriques # 183, Janvier 2014, 50-53
- 32) Morvan & al**, Standardized way for imaging of the sagittal spinal balance, *Eur Spine J* (2011) 20 (Suppl 5): S602–S608
- 33) Bin & al**, Scoliose et attitude scoliothique, *EMC podologie*, volume 12, n° 2, avril 2016
- 34) Hamel & al**, Inégalité de longueur des membres inférieurs chez l'enfant, *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*, volume 7, numéro 1, janvier-février 2004
- 35) Perdriolle & al**, Thoracic idiopathic scoliosis curve evolution and prognosis, *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985 Nov; 10(9):785-91
- 36) Skalli & al**, Quantification of three-dimensional vertebral rotations in scoliosis: what are the true values? *Spine (Phila Pa 1976)*1995, 20(5):546-553.
- 37) Lam & al**, Vertebral rotation measurement: a summary and comparison of common radiographic and CT methods, *Scoliosis*. 2008 Nov 2; 3:16
- 38) Cobb JR**, Outline for the study of scoliosis, *Instructional Course Lectures. American Academy of Orthopaedic Surgeons* 1948, 5:261-275.
- 39) Nash C, Moe JH**: A study of vertebral rotation. *Journal of Bone and Joint Surgery* 1969, 51:223-229.
- 40) Stokes & al**, Measurement of axial rotation of vertebrae in scoliosis, *Spine (Phila Pa 1976)* 1986 Apr; 11(3): 213-8
- 41) Aaro & al**, Estimation of vertebral rotation in structural scoliosis by computer tomography. *Acta Radiologica Diagnosis* 1978, 19:990-992.
- 42) Ho & al**, New methods of measuring vertebral rotation from computed tomographic scans, *Spine (Phila Pa 1976)* 1993, 18:1173-1177
- 43) Cammarata**, Facteurs biomécaniques de risques de la cyphose jonctionnelle proximale, 2013
- 44) Hilibrand & al**, The sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 1995, 15:627-632

- 45) Ilharreborde & al**, Sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis treated by posteromedial translation, *Eur Spine J.* 2013 Feb; 22(2): 330-7.
- 46) Canavese & al**, Cervical spine sagittal alignment variations following posterior spinal fusion and instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis, *Eur Spine J.* 2011 Jul; 20(7): 1141-8.
- 47) Haumont & al**, Postural instability in early-stage idiopathic scoliosis in adolescent girls, *Spine (Phila Pa 1976)* 2011 Jun; 36(13): E847-54.
- 48) Simoneau & al**, Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis. *BMC Neurosci.* 2006 Oct 19; 7:68.
- 49) Eijgelaar & al**, Altered head orientation patterns in children with idiopathic scoliosis in conditions with sensory conflict. *Eur Spine J.* 2014; 23(12): 2626-34.
- 50) Guyot MA, Catanzariti JF & al**, Cephalic stabilization and idiopathic scoliosis, *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2012; 55:e279.
- 51) Mallau & al**, Locomotor skills and balance strategies in adolescents idiopathic scoliosis, *Spine (Phila Pa 1976)* 2007 Jan 1; 32(1): E14-22.
- 52) Le Huec & al**, L'équilibre sagittal du rachis cervical sur une population asymptomatique : Nouveaux paramètres et valeurs standards, e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 2013, 12 (2) : 018-024
- 53) Duval-Beaupère**, Les repères de maturation dans la surveillance des scolioses, *Rev Chir Orthop* 1970; 56: 59-76
- 54) Mac Thiong & al**, Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine Caucasian asymptomatic adults, *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 Oct 15; 35(22):E1193-8
- 55) Le Huec & al**, Importance de l'analyse de l'équilibre sagittal dans les lombalgies. Rôle de la balance spino-pelvienne dans les indications chirurgicales, *Revue du rhumatisme* 78 (2011), S92-100
- 56) Serkan & al**, The influence of sagittal cervical profile, gender and age on the thoracic kyphosis, *Acta Orthop. Belg.*, 2010, 76, 675-680
- 57) Harrison DD & al**, Modeling of the sagittal cervical spine as a method to discriminate hypolordosis : results of elliptical and circular modeling in 72 asymptomatic subjects, 52 acute neck pain subjects, and 70 chronic neck pain subjects. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004 ; 29 : 2485- 2492
- 58) Hardacker & al**, Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms *Spine (Phila Pa 1976)* 1997; 22: 1472-1480.
- 59) Helliwell & al**, The straight cervical spine: does it indicate muscle spasm? *J Bone Joint Surg* 1994; 76-B : 103-106.

- 60) Gore & al**, Roentgenographic findings of the cervical spine in asymptomatic people. *Spine (Phila Pa 1976)* 1986 ; 11 : 521-524
- 61) Dolphens & al**, Gender differences in sagittal standing alignment before pubertal peak growth: the importance of subclassification and implications for spinopelvic loading, *J Anat.* 2013 Dec; 223(6): 629-40.
- 62) Berthonnaud & al**, Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. *J Spinal Disord Tech* 2005; 18: 40–7.
- 63) Hellsing & al**, Cervical and lumbar lordosis and thoracic kyphosis in 8, 11 and 15-year-old children. *Eur J Orthod* 1987; 9: 129-38.
- 64) Legaye, Duval Beaupère**, Influence of a variation in the position of the arms on the sagittal connection of the gravity line with the spinal structures, *Eur Spine J.* 2017 Jan 31.
- 65) Harrison DE & al**, Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000 ; 25 : 2072-2078
- 66) Albers D & al**, Study on the function of the cervical vertebral column in dorsal and ventral flexion. *Fortschr Geb Röntgenstr* 1954; 81: 606–615
- 67) Roussouly & al**, Sagittal alignment of the spine and pelvis in the presence of L5-s1 isthmic lysis and low-grade spondylolisthesis, *Spine (Phila Pa 1976)* 2006 Oct 1; 31(21):2484-90.
- 68) Mac Thiong & al**, Postural model of sagittal spino-pelvic alignment and its relevance for lumbosacral developmental spondylolisthesis, *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008 Oct 1;33(21):2316-25.
- 69) Marty & al**, The sagittal anatomy of the sacrum among young adults, infants, and spondylolisthesis patients, *Eur Spine J* (2002) 11: 119–125

Annexe 2: Déclaration CNIL



Centre Hospitalier Régional
Universitaire de Lille

DIRECTION GENERALE

DEPARTEMENT DES RESSOURCES NUMERIQUES

N/Réf : DEC16-102

Attestation de déclaration d'un traitement informatique

Alexis GRZES
Directeur du système
d'information hospitalier

Guillaume DERAEDT
Responsable Sécurité du
Système d'Information

Secrétariat
Tél. 03.20.44.44.26
Fax : 03.20.44.58.59

Je soussigné, Monsieur Guillaume DERAEDT, en qualité de Correspondant Informatique et Libertés du Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille atteste que le fichier de traitement ayant pour finalité « **Etude de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population d'adolescents non scoliotiques et description de nouveaux paramètres sagittaux d'équilibre du rachis cervical.** », mis en œuvre en 2016, a bien été déclaré par NECTOUX Eric.

La déclaration est intégrée dans le registre de déclaration normale auprès du Correspondant Informatique et Liberté du CHRU de Lille.

Attestation réalisée pour valoir ce que de droit.

Déclaration enregistrée le : 02/03/2017

Sous la référence : DEC16-102

Fait à LILLE, le jeudi 2 mars 2017

	Guillaume Deraedt CHRU de Lille Responsable de la sécurité du Système d'Information Correspondant Informatique et Liberté Tel: 03 20 44 41 40
--	--

Toute correspondance devra être adressée à :
CHRU de Lille
Département Ressources Numériques
ex Clinique Fontan - 2^{ème} étage - rue du Professeur Laguesse
59037 LILLE Cedex

AUTEUR : Nom : RAIDRON-HAPPIETTE

Prénom : Adèle

Date de Soutenance : 06 juin 2017

Titre de la Thèse : Etude de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population d'adolescents non scoliotiques et description de nouveaux paramètres sagittaux d'équilibre du rachis cervical

Thèse - Médecine - Lille 2017

Cadre de classement : DES Chirurgie générale

Mots-clés : rachis, cervical, alignement, équilibre, sagittal, pédiatrique

RESUME

Titre

Etude de l'équilibre sagittal du rachis cervical dans une population d'adolescents non scoliotiques et description de nouveaux paramètres d'équilibre sagittal du rachis cervical.

Introduction

Notre objectif était de décrire d'une part l'équilibre sagittal du rachis cervical chez des adolescents non scoliotiques et par la même occasion de décrire pour la première fois chez l'enfant de nouveaux paramètres d'équilibre.

Matériel et méthodes

Il s'agissait d'une étude rétrospective descriptive et analytique d'une cohorte d'adolescents de 12 à 18 ans ayant réalisé une radiographie du rachis entier selon EOS au CHRU de Lille entre 2011 et 2015. Les patients étaient inclus s'ils n'avaient pas de déformation rachidienne ni d'obliquité pelvienne.

Résultats.

Quatre-vingt-seize patients ont été inclus pour l'étude de l'équilibre sagittal global du rachis, dont 56% de filles. Les valeurs moyennes de la cyphose thoracique étaient de 38,8° et 31,2° pour les courbures T1-T12 et T4-T12 respectivement. Les valeurs moyennes de la lordose lombaire étaient de 42° et 53,7° pour les courbures L1-L5 et L1-S1. L'incidence pelvienne moyenne était de 47°. L'angle spino-sacré moyen était de 130°. Soixante-neuf patients ont été inclus pour l'étude spécifique du rachis cervical. Les courbures cervicales moyennes étaient de 25,5°, 27,7° et -2,81° pour les courbures C1-C7, C1-C2 et C2-C7. L'incidence crânienne moyenne était de 27,8°, la pente de C7 était mesurée à 14,5°. L'incidence crânienne était significativement corrélée à la cyphose thoracique, à la lordose lombaire, à la pente sacrée et à l'incidence pelvienne. La pente de C7 était significativement corrélée aux courbures cervicales.

Conclusion.

Les paramètres d'équilibre sagittal couramment utilisés sont semblables à ceux déjà décrits. Près de la moitié des patients présentaient une cyphose cervicale. L'incidence crânienne et la pente de C7 semblent être des paramètres d'équilibre sagittal déterminants. Ainsi, lors de l'étude du plan sagittal du rachis, ces 2 paramètres devraient être intégrés dans l'analyse globale.