

UNIVERSITÉ DE NANTES

FACULTÉ DE MÉDECINE

Année : 2021

N° 2021-143

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE
DES de CHIRURGIE GÉNÉRALE

par

Emilie ANDRE

Née le 12 juin 1991 à Châteauroux

Présentée et soutenue publiquement le 30 Septembre 2021

**Effet de la traction préopératoire par halo crânien dans la
scoliose idiopathique de l'enfant.
Etude dans le plan frontal et sagittal**

Président : Monsieur le Professeur Antoine HAMEL

Remerciements

A Monsieur le Professeur Antoine HAMEL, pour me faire l'honneur de présider cette thèse.

Merci pour tout ce que vous m'avez enseigné. C'était un honneur de travailler à vos côtés. Soyez assuré de ma gratitude et de mon profond respect.

A Monsieur le Professeur Philippe VIOLAS, pour avoir accepté d'être membre du jury.

Merci de m'accorder votre confiance.

A Monsieur le Docteur Antoine CHALOPIN, pour avoir accepté d'être membre du jury.

Sans ton soutien, je n'aurais pas choisi la chirurgie pédiatrique - cette si belle spécialité. Merci Antoine.

A Monsieur le Docteur Cyrille DECANTE, pour avoir accepté d'être membre du jury.

Merci de m'avoir épaulé et toujours soutenu. Merci de m'avoir laissé envahir ton bureau sans cesse. Tu es un exemple de réussite.

A l'ensemble des praticiens du service de chirurgie infantile de Nantes : Pr Marc David LECLAIR, Pr Antoine HAMEL, Dr Emmanuelle MAYRARGUE, Dr Antoine CHALOPIN, Dr Stéphan DE NAPOLI COCCI, Dr Caroline CAMBY, Dr Audrey GUINOT, Dr Sébastien FARAJ, Dr Solène JOSEPH, Dr Cyrille DECANTE, Dr Thomas LOUBERSAC. Merci pour tout ce que vous m'avez appris.

A l'ensemble des praticiens du service d'orthopédie adulte de Nantes, en particulier à mes chefs : Dr BOISSARD, Dr GADBLED, Dr DELECRIN. Même si je vous ai quitté, vous ferez toujours parti de ma famille. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté pendant ces deux semestres.

A l'ensemble des praticiens du service d'orthopédie adulte de Saint Nazaire et de la Roche sur Yon en particulier au Dr VENET, Dr TESSON, Dr FRAQUET, Dr COUSIN, Dr SOUBIGOU, Dr GIRARD, Dr SIMON, Dr HEMERY. Merci pour votre accueil. Ces 6 mois furent merveilleux.

A l'ensemble des praticiens du service de chirurgie plastique de Nantes en particulier au Pr DUTEILLE, Pr PERROT, Dr GACHIE, Dr RIDEL. Merci de m'avoir fait une petite place dans votre univers.

A Monia El Kinani, sans laquelle ce semestre d'été 2020 aurait eu une tout autre fin. Merci pour tout, j'ai su apprécier ta rigueur, ton investissement et ta détermination. Travailler à tes côtés fut un réel plaisir ; je le souhaite à toute personne. A deux, nous nous sommes rendues plus forte. Je te souhaite de réussir tous tes projets ; tu le mérites.

A Cecilia Bouteille et Elodie Tiry, mes fidèles copines depuis le début de cette aventure nantaise. Merci de m'avoir supporté jusqu'ici. Malgré la distance, nous passerons encore de merveilleux moments ensemble.

A mes co internes de chirurgie infantile : Hortense Alliot, David Gaudet, Nathaly Gavira qui eux seuls peuvent comprendre ce choix.

A Chloé Molteni, ma fidèle compatriote depuis la première année de médecine - qui vagabonde actuellement au pied du piton de la fournaise. Nos escapades et interminables conversations m'ont toujours remonté le moral.

Ce service de chirurgie infantile m'aura permis humainement de faire de belles rencontres : Estelle Ben Brahim, Coralie Defert, Dr Auger Marie.

A tout mes autres co internes : Dr Leteve Marie, Dr Paret Fanny, Julien Oillic, Lucas Broudeur, Lucie Regennass, My Van Nguyen, François Xavier Lambert, Aurore Blancheton, Gaston Tabourel, Alexis Combal, Ismael Moussadikine, Cyprien Martin, Jimmy Pecheur, Florent Métairie, Aurélien Graveleau, Samia Laraquih, Thomas Poirier, Antonin Voisin, Anoujat Kanlagna, François Ruiz, François Thuau, Ophélie Simon, Louis Paul Maugard, Rayane Benhenneda et tous les autres pour tous ces moments passés ensembles.

A Cesar Lafont et Camille Ricolleau, mes petits externes devenus grands internes de chirurgie.

A mes parents, pour m'avoir permis de réaliser mes projets depuis toujours ; du sport étude jusqu'à la fac de médecine. Merci d'avoir toujours cru en moi. Vous avez fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Ce travail est le fruit de ma reconnaissance.

A mon frère, ce filou. Je sais que tu sera toujours là pour me soutenir.

A Mylla, ma nièce tant aimée.

Table des matières

I. La scoliose.....	11
A. Déformation de la vertèbre scoliotique.....	11
B. Classification.....	12
1. En fonction de l'âge de découverte	12
2. En fonction de la topographie.....	14
3. Classification de Lenke	15
II. Analyse radiologique	18
A. Paramètres frontaux	18
B. Paramètres sagittaux	19
C. Paramètres pelviens	21
D. Balance sagittale	24
III. Traitement.....	31
A. Histoire du traitement de la scoliose.....	31
B. Traitement orthopédique	34
C. Traitement chirurgical	38
1. Halo crânien.....	38
2. Distraction sans arthrodèse.....	41
3. Instrumentation par voie postérieure	43
4. Instrumentation par voie antérieure.....	45
IV. Problématique de l'étude	46
V. Matériel et méthodes	47
A. Population	47
B. Protocole de traction par halo crânien	50
C. Arthrodèse vertébrale postérieure	50
D. Objectif de l'étude	51
E. Description de la série	51
1. Données relatives à la population.....	51

2. Données relatives à la scoliose	52
3. Données relatives à la traction.....	52
4. Données relatives à l'arthrodèse vertébrale postérieure	53
5. Données radiographiques	53
F. Principe de l'analyse.....	60
G. Méthodologie statistique.....	60
VI. Résultats	61
A. Résultats descriptifs	61
1. Inclusion	61
2. Caractéristiques générales de la population.....	61
3. Caractéristiques de la traction par halo crânien.....	62
4. Caractéristiques de l'arthrodèse vertébrale postérieure.....	63
5. Caractéristiques radiographiques.....	64
B. Résultats analytiques.....	71
1. Objectif et critère principal de l'étude.....	71
2. Objectif et critère secondaire.....	85
VII. Discussion	86
A. Matériels et méthodes	86
1. Population.....	86
2. Paramètres analysés.....	88
3. Protocole de traction.....	89
4. Méthodologie statistique.....	91
B. Résultats.....	91
1. Résultats descriptifs.....	91
2. Résultats analytiques	92
3. Complications.....	96
VIII. Conclusion	101
IX. Références bibliographiques	102

Liste des abréviations

AC : Angle claviculaire

AVP : Arthrodèse vertébrale postérieure

CAEN : Corset à appui électif nocturne

CJP: Cyphose jonctionnelle proximale

CT : Cyphose thoracique

CTM : Chêneau Toulouse Munster

C7PL : C7 plumbligne

EDF : Elongation - dérotation - flexion

IP : Incidence pelvienne

LL : Lordose lombaire

LLR : Lordose lombaire résiduelle

LLT : Lordose lombaire théorique

PDC : Poids du corps

PS : Pente sacrée

SI : Scoliose idiopathique

SIA : Scoliose idiopathique de l'adolescent

TF : Têtes fémorales

VP : Version pelvienne

VPI : Vertèbre proximale instrumentée

Introduction

Le terme de scoliose introduit par Hippocrate au 4^e siècle avant JC se rapportait initialement à une courbure anormale du rachis. Actuellement, il est admis que la scoliose est une déformation tridimensionnelle entraînant une modification de l'équilibre global du rachis.

Le terme de scoliose idiopathique (SI) a été apporté par Kleinberg [1] et appliqué pour tous les patients où il n'était pas retrouvé d'étiologie spécifique à la déformation rachidienne. Cela survient chez des enfants apparemment en bonne santé et peut progresser pendant la croissance. Ainsi, par définition, la scoliose idiopathique est d'origine inconnue et probablement liée à de multiples causes.

Selon la Scoliosis Research Society, le diagnostic de scoliose est confirmé quand l'angle de Cobb est supérieur ou égal à 10° associé à une rotation vertébrale. En l'absence de prise en charge adaptée, la déformation du rachis peut aboutir à une limitation des capacités et fonctions de la cage thoracique impactant la qualité de vie des patients.

Quatre-vingt pour cent des scolioses sont considérées comme idiopathiques. Les études épidémiologiques estiment la prévalence dans la population générale entre 2 et 3% [2] ; celle-ci est variable selon la latitude [3].

Il s'agit d'un motif fréquent de consultation en chirurgie orthopédique pédiatrique.

Environ 10% des scolioses idiopathiques nécessiteront un traitement orthopédique et 0,1 à 0,3% des patients auront besoin d'une correction chirurgicale de cette déformation scoliotique [2]. La valeur seuil de l'indication chirurgicale a été établie sur l'hypothèse selon laquelle un angle de Cobb de 30 à 50° en fin de croissance [4], engendrera à l'âge adulte une diminution de la qualité de vie, une déformation esthétique, une incapacité, des douleurs et des limitations fonctionnelles progressives [5,6].

La scoliose étant une déformation dans les trois plans de l'espace, aucune de ces déformations ne devra être négligée lors du traitement. En cas de manque de correction, il y aura alors un risque d'effet néfaste avec accentuation des courbures.

Chez le patient scoliotique, afin de rétablir un équilibre frontal et sagittal compatible avec une vie normale à l'âge adulte ; il existe différentes stratégies chirurgicales pouvant être mise en oeuvre.

La traction par halo crânien n'est pas récente puisqu'introduite dès 1958 par VERNON Nickel dans la chirurgie rachidienne [7].

Dans la littérature, il y a de nombreux articles montrant l'efficacité du halo crânien sur la correction de la déformation dans le plan frontal [8,9,10].

La traction préopératoire par halo crânien a pour notre équipe une place à part entière dans la prise en charge de la scoliose idiopathique.

L'objectif principal de ce travail était de décrire l'effet de la traction préopératoire par halo crânien sur l'équilibre frontal et sagittal dans une population d'enfants ayant une scoliose idiopathique.

Première partie : pré requis

I. La scoliose

A. Déformation de la vertèbre scoliotique

Dans la scoliose, on retrouve une déformation vertébrale. La vertèbre sommet est la vertèbre la plus déformée ; les lésions anatomopathologiques sont donc plus prononcées au niveau de celle-ci. La déformation intéresse les trois plans de l'espace.

Dans le plan frontal, les plateaux vertébraux perdent progressivement leur parallélisme aboutissant à une cunéiformisation du corps vertébral. Dans le plan sagittal, la hauteur du corps vertébral est plus grande en antérieur qu'en postérieur.

On retrouve également des déformations au niveau de l'arc postérieur avec un pédicule plus court et plus petit du côté de la concavité. Les processus articulaires concaves s'épaississent et se densifient alors que du côté convexe, ils s'amincissent et augmentent de hauteur. Le processus transverse du côté convexe s'oriente vers l'arrière, l'apophyse épineuse se déforme vers la convexité. Le canal médullaire est plus large du côté de la convexité par rapport à la concavité. Le disque intervertébral s'ouvre vers l'avant et le nucleus se déporte du côté de la convexité (figure 1) [11].

Cette déformation de la vertèbre apicale va s'auto entretenir selon la loi de Hueter-Volkman. En effet, l'asymétrie des contraintes au niveau du corps vertébral influence la croissance vertébrale. L'hyperpression au niveau de la concavité freine la croissance alors qu'au niveau de la convexité la présence de contraintes moindres la stimule - participant à la déformation cunéiforme du corps vertébral [12].

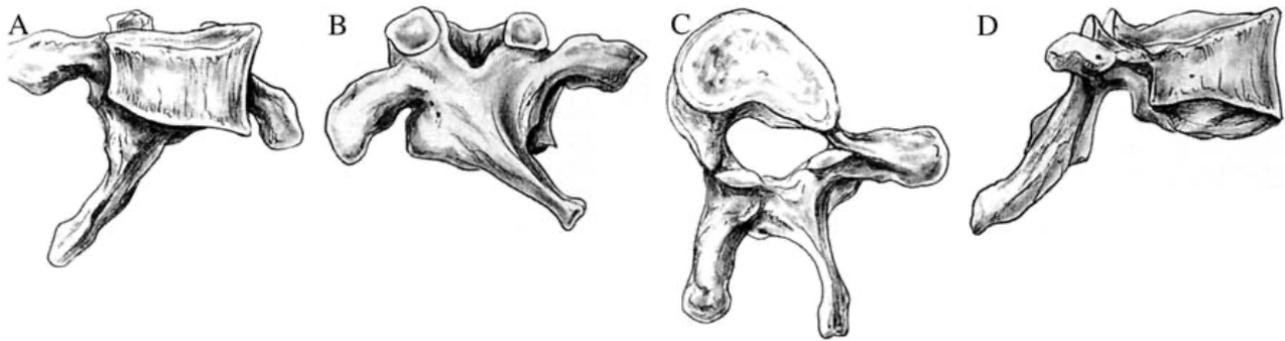


Fig.1 Déformation d'une vertèbre thoracique

a : vue antérieure

b : vue postérieure

c : vue craniale

d : vue latérale

B. Classification

Il existe dans la littérature d'innombrables classifications de la scoliose idiopathique.

1. En fonction de l'âge de découverte

On distingue ainsi la scoliose infantile, juvénile et de l'adolescent (figure 2) [13].

L'intérêt de cette classification réside dans sa valeur pronostique.

Cotrel et Stagnara ont montré que l'histoire naturelle de la scoliose idiopathique est en lien avec l'âge de découverte [14,15].

Le terme de scoliose infantile a été introduit par Harrenstein en 1936 mais la première description a été rapporté par James [16,17]. Il s'agit d'une scoliose qui apparait avant l'âge de 3 ans.

La caractéristique principale de ces scolioses est la possibilité pour certaines d'évoluer spontanément vers la guérison et pour d'autres de s'aggraver de façon considérable.

En effet, certaines formes auront un risque évolutif important - sans traitement mais parfois même avec un traitement bien conduit. Ces scolioses peuvent évoluer vers des scolioses majeures pouvant dépasser les 100° faisant discuter soit une arthrodèse précoce dès le stade pubertaire soit une distraction sans arthrodèse. La scoliose infantile est plus fréquente chez le garçon.

La prévision de l'évolution peut être appréciée par la mesure des angles costovertébraux décrits par Mehta [18].

La scoliose juvénile apparaît entre 3 ans et la puberté. Il y a une prédominance de fille avec le plus souvent des courbures thoraciques droite ou doubles thoracique droite et lombaire gauche.

Dans la moitié des cas, il y aura une amélioration spontanée avant la période pubertaire « âge heureux » mais cela n'empêchera pas une reprise évolutive lors du pic pubertaire.

Cotrel a proposé une subdivision de cette catégorie en juvénile 1 entre 3 et 6 ans, juvénile 2 entre 6 et 11 ans et juvénile 3 entre 11 ans et les premières règles [15].

La scoliose de l'adolescent apparaît à partir des premiers signes de puberté.

Ce type de scoliose a une capacité moindre à la régression spontanée même si cela peut se voir pour des petites déformations.

Ces scolioses peuvent devenir rapidement progressives avec une déformation pouvant dépasser les 50° mais sans atteindre les déformations majeures des scolioses infantiles et juvéniles.

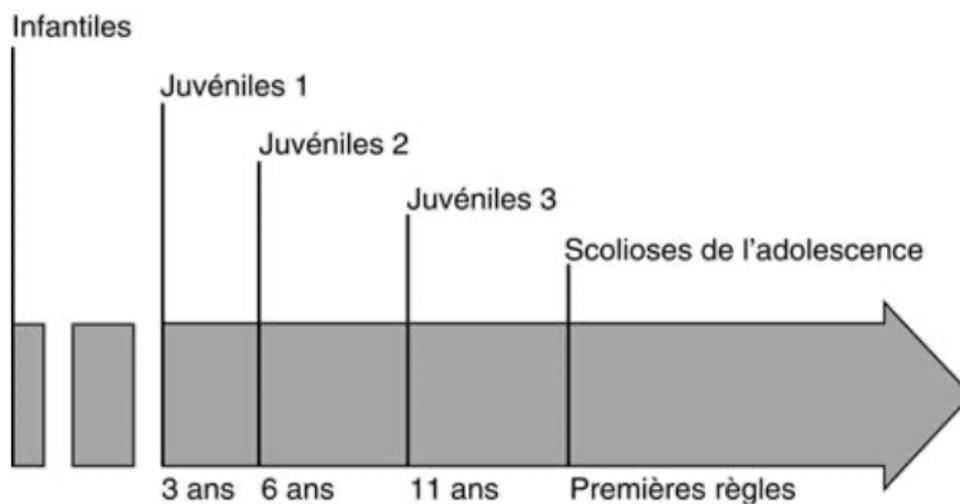


Fig. 2 Classification des scolioses en fonction de l'âge

2. En fonction de la topographie

Cette classification a été proposée par Ponseti en 1950. Bien qu'ancienne, elle est toujours très utilisée. Ponseti a distingué 5 types de courbures [19] :

Les courbures uniques

- La scoliose thoracique représentant 25% des scolioses idiopathiques.

La vertèbre sommet est située entre T2 et T11. Il s'agit le plus souvent de scolioses à convexité droite. La déformation des côtes liée à la rotation vertébrale est à l'origine d'une gibbosité plus marquée qu'au niveau lombaire.

- La scoliose thoraco-lombaire représentant 20% des scolioses idiopathiques.

La vertèbre sommet est située en T12 ou L1. La vertèbre limite supérieure est T7 ou T8. La vertèbre limite inférieure est L2 ou L3. La convexité est droite le plus fréquemment. Cliniquement, il y a une translation du tronc du côté de la convexité. En général, ces scolioses sont longtemps réductibles et ont un retentissement respiratoire moindre. Le déséquilibre latéral s'aggrave durant la croissance grevant ainsi le pronostic.

- La scoliose lombaire représentant 25% des scolioses idiopathiques.

La vertèbre sommet est entre L2 et L4, la vertèbre limite inférieure est L4 ou L5 et supérieure T11 ou T12. Il s'agit de convexité gauche dans la plupart des cas. Il y a une chute latérale du tronc du côté de la convexité. Le pronostic de ces scolioses est sévère à l'âge adulte en raison du risque évolutif tardif. Il faut étudier la déformation vers le bassin et le sacrum car la rotation vertébrale peut intéresser ces deux éléments.

- La scoliose cervico-thoracique représentant moins de 1% des scolioses idiopathiques.

La vertèbre sommet est en C7 ou T1, les vertèbres limites supérieures sont C6 ou C7 et T6 ou T7 en inférieur. La réductibilité est faible. Le déséquilibre dans le plan frontal survient précocement. En cas de scoliose cervico-thoracique, il ne faudra pas méconnaître une étiologie secondaire notamment neuro musculaire étant donné la faible incidence de ce type de scoliose dans le groupe idiopathique.

Les courbures doubles représentant 30% des scolioses idiopathiques.

La scoliose double majeure associe par définition deux courbures structurales opposées d'angulation égale à 10% près et de rotation proche.

On rencontre plus fréquemment des scolioses doubles majeures de type thoracique droite et lombaire gauche. Lors de l'étude de la réductibilité, le secteur lombaire est toujours plus souple que le secteur thoracique.

Il existe également des scolioses doubles thoraciques, plus rares.

3. Classification de Lenke

Lenke en 2001 a été le premier à proposer une classification afin de caractériser les anomalies sagittales rencontrées dans la SI [20].

Elle permet de distinguer les déformations rachidiennes chez les patients ayant une scoliose idiopathique. Initialement, elle a été décrite afin d'aider dans la décision thérapeutique avec l'idée de n'instrumenter que les courbures structurales. Néanmoins, celle-ci n'est que peu utilisée dans cette optique, mais plutôt pour différencier les formes topographiques de scolioses.

Dans cette classification, le plan sagittal occupe une place accessoire sous forme d'un modificateur alors que nous savons que le profil est constamment atteint dans la SI [21].

La classification de Lenke est basée sur trois critères :

- La localisation de la courbure principale

Une courbure est dite « structurale » lorsque l'angle de Cobb est supérieur à 25° sur les clichés en inclinaison latérale. Ainsi, on distingue :

Les courbures uniques

- Thoraciques (vertèbre sommet entre T2 et T11) : Type 1
- Thoraco-lombaires/Lombaires (vertèbre sommet entre T12 et L4) : Type 5

Les courbures doubles

- 2 courbures thoraciques : Type 2
- 1 courbure thoracique et 1 courbure lombaire

Thoracique prédominante : Type 3

Thoraco-lombaire/Lombaire prédominante : Type 6

Les courbures triples

- 2 thoraciques et 1 lombaire : Type 4

- La structuralisation de la courbure lombaire

3 types en fonction de l'endroit où la Central Sacral Vertical Line (CSVL) coupe la vertèbre sommet de la courbure lombaire

- A : CSVL passe au milieu des pédicules de la vertèbre sommet de la courbure lombaire
- B : CSVL passe par le pédicule concave de la vertèbre sommet de la courbure lombaire
- C : CSVL passe en dehors du pédicule concave de la vertèbre sommet de la courbure lombaire

- La déformation sagittale du rachis thoracique (Thoracic Sagittal Modifier)

3 types en fonction de la valeur de l'angle T5-T12 sur le cliché de profil

- - (-) : $T5-T12 < 10^\circ$
- - N : T5-T12 entre 10 et 40°
- - (+) : $T5-T12 > 40^\circ$

Curve type

Type	Proximal thoracic	Main thoracic	Thoracolumbar/lumbar	Curve type
1	Non-structural	Structural (major*)	Non-structural	Main thoracic (MT)
2	Structural	Structural (major*)	Non-structural	Double thoracic (DT)
3	Non-structural	Structural (major*)	Structural	Double major (DM)
4	Structural	Structural (major*)	Structural	Triple major (TM)
5	Non-structural	Non-structural	Structural (major*)	Thoracolumbar/lumbar (TL/L)
6	Non-structural	Structural	Non-structural (major*)	Thoracolumbar/lumbar-main thoracic (TL/L-MT)

*Major=largest Cobb measurement, always structural; minor=all other curves with structural criteria applied.

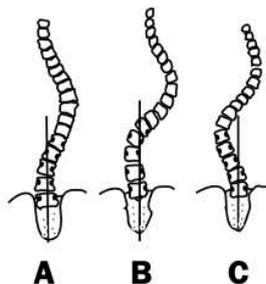
Location of apex (SRS definition)

Curve	Apex
Thoracic	T2-T11-12 disc
Thoracolumbar	T12-L1 L1-2 disc-L4

Modifiers

Lumbar spine modifier	CSVL to lumbar apex
A	CSVL between pedicles
B	CSVL touches apical body(ies)
C	CSVL completely medial

Modifiers



Thoracic sagittal profile T5-T12

- (Hypo)	<10°C
N (Normal)	10°-40°
+ (Hyper)	>40°

Curve type (1-6) + lumbar spine modifier (A, B or C) + thoracic sagittal modifier (-, N or +)

Fig. 3 Classification de Lenke

II. Analyse radiologique

A. Paramètres frontaux

L'incidence radiographique de face permet de déterminer plusieurs paramètres.

L'angle de Cobb est défini par l'angle formé entre la tangente au plateau supérieur de la vertèbre limite supérieure et la tangente au plateau inférieur de la vertèbre limite inférieure [22]. Il s'agit de la mesure la plus utilisée bien qu'imparfaite. La variabilité inter et intra observateur peut aller jusqu'à 5° [23].

La gite frontale est déterminée par la distance entre la verticale passant par le milieu du sacrum et la verticale passant par l'épineuse de C7. Cette mesure permet d'évaluer l'équilibre frontal du rachis. La gite frontale est dite « positive » si celle-ci est portée vers la droite et négative vers la gauche [24]. Ainsi, un écart de cette ligne définit un déséquilibre droit ou gauche.

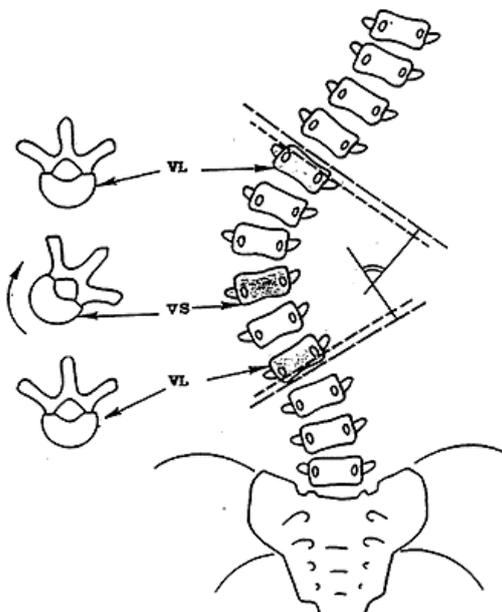


Fig. 4 Mesure de l'angle de Cobb

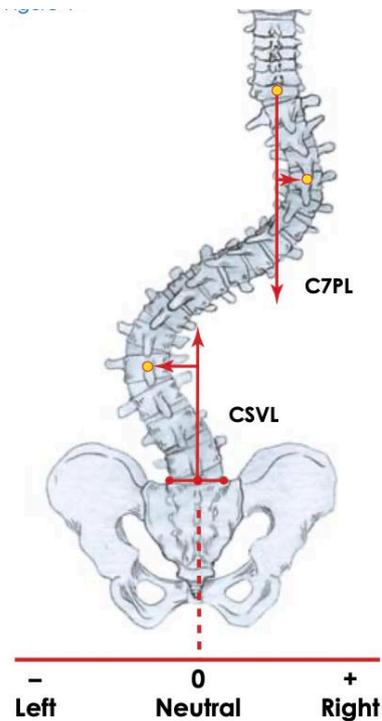


Fig. 5 Mesure de la gite frontale

B. Paramètres sagittaux

D'un point de vue anatomique, le rachis est segmenté en différentes courbures : lordose cervicale C1-C7, cyphose thoracique T1-T12 (CT), lordose lombaire L1-L5 (LL).

La cyphose thoracique est définie par l'angle formé par la tangente au plateau vertébral inférieur de T12 et la tangente au plateau supérieur de la première vertèbre dorsale visible ; en général T3 ou T4. Sa valeur moyenne est de $40 \pm 10^\circ$.

La lordose lombaire est mesurée par l'angle formé par la tangente au plateau vertébral supérieur de L1 et la tangente au plateau inférieur de L5. Sa valeur moyenne est de $41 \pm 11^\circ$.

La contribution de chaque vertèbre lombaire augmente progressivement de L1 au sacrum. En effet, deux tiers de la lordose lombaire se situe dans la partie basse de la courbure lombaire L4-S1 [25].

La limite distale de la LL a longtemps été considéré comme étant le plateau inférieur de L5. Cette segmentation purement anatomique a été contesté par Roussouly et al. [26]. En se plaçant du point de vue fonctionnel, ils en ont déduit une nouvelle segmentation où les limites des courbures sont définies par les points d'inflexion de ces courbures.

Berthonnaud et al. [27] ont défini le point exact où l'orientation de la courbure sagittale change en utilisant des reconstructions informatiques des courbures sagittales du rachis. Le virage était défini comme le point d'inflexion. La LL correspond alors au segment entre le plateau sacré et le point d'inflexion distal. La CT est définie par le segment entre le point d'inflexion proximal et le point d'inflexion distal (figure 6) [26,27].

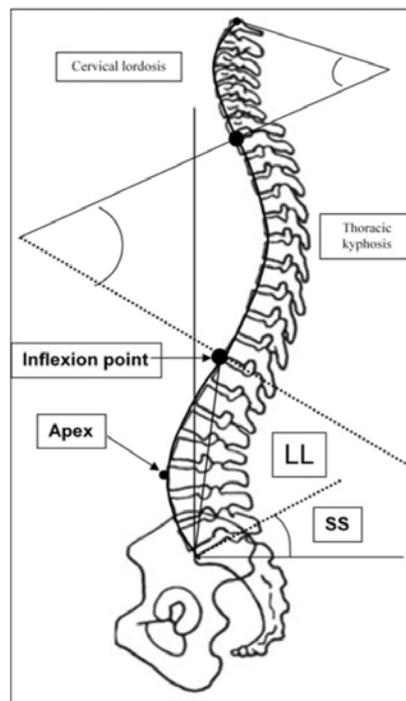


Fig. 6 Subdivisions des courbures rachidiennes dans le plan sagittal.

La C7 plumbligne (C7PL) est le plus commun des index utilisés pour définir la balance globale du rachis dans le plan sagittal. Historiquement, elle a été quantifiée en mesurant la distance entre le centre de C7 et le coin postéro-supérieur de S1. Il s'agit d'un index fiable pour l'évaluation de l'équilibre sagittal [28].

L'équilibre sagittal est dit positif quand la C7PL passe 2 cm en avant du coin postéro-supérieur de S1 et négatif quand cette droite passe 2 cm en arrière de ce point (figure 7) [28].

Le rachis est considéré en position idéale d'équilibre quand la C7PL est localisée derrière S1. Quand la C7PL est localisée ailleurs, l'équilibre rachidien est perturbé.

Néanmoins, ce paramètre ne peut pas être utilisé pour comparer toutes les radiographies car certaines radiographies sont réalisées sans calibration.

Barrey et al. ont alors proposé un ratio afin de parer à cette problématique [25].

Le ratio de Barrey (figure 8) correspond au rapport suivant : $C7D/SFD$. SFD est la distance entre le centre des têtes fémorales (TF) - coin postéro-supérieur de S1 et C7D la distance entre la C7 plumbligne et le coin postéro-supérieur de S1. Ce ratio est égal à zéro si la C7PL passe exactement sur le coin postéro-supérieur de S1. Ce rapport est égal à 1 si la C7PL se projette exactement sur la ligne verticale passant par le centre des têtes fémorales. Enfin, il est négatif lorsque la C7PL se projette postérieurement par rapport au sacrum et supérieur à 1 lorsqu'elle se projette en avant du centre des têtes fémorales.

Dans la population normale, la valeur de ce ratio est de -0.9 ± 1 . Le rachis est considéré comme équilibré lorsque ce ratio est négatif.

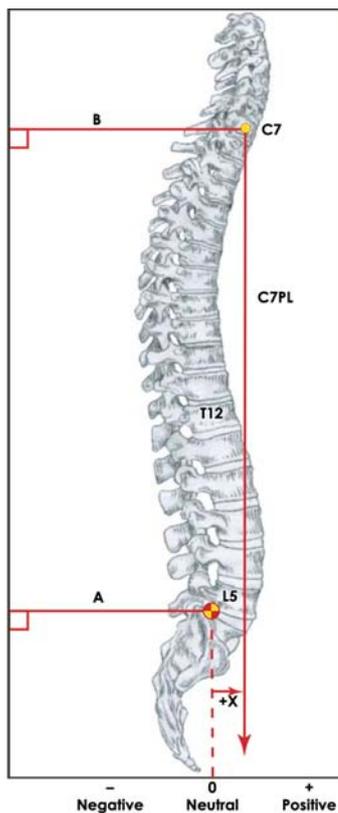


Fig. 7 Mesure de la C7 plumbligne

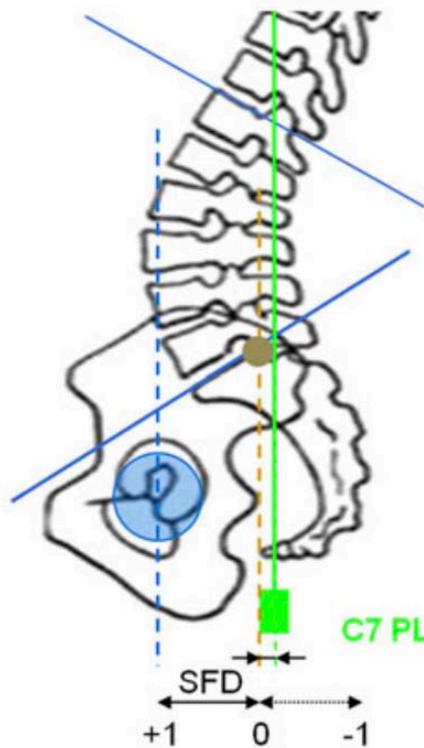


Fig. 8 Mesure du ratio de Barrey

C. Paramètres pelviens

Legaye, Duval-Beaupère et al. ont défini en 1998 l'incidence pelvienne [29] - paramètre constant pour chaque individu. Ils ont également déterminé des paramètres de position : la version pelvienne et la pente sacrée.

L'incidence pelvienne (IP) est l'angle formé par la droite passant par le centre des têtes fémorales jusqu'au milieu du plateau sacré avec la perpendiculaire au milieu du plateau sacré.

L'IP est un paramètre purement anatomique ; cette valeur est fixe pour un individu donné. Elle détermine l'orientation du pelvis et est étroitement corrélée au degré de lordose lombaire.

L'IP moyenne est de 50° avec des valeurs variant de 35° à 85° . Il n'y a pas d'influence du sexe pour les valeurs de l'IP [30].

La version pelvienne (VP) correspond à l'angle formé par la droite allant du centre des TF au milieu du plateau sacré avec la verticale passant par le centre des TF.

La pente sacrée (PS) correspond à l'angle formé entre le plateau supérieur de S1 et l'horizontale.

La PS définit l'orientation du plateau sacré.

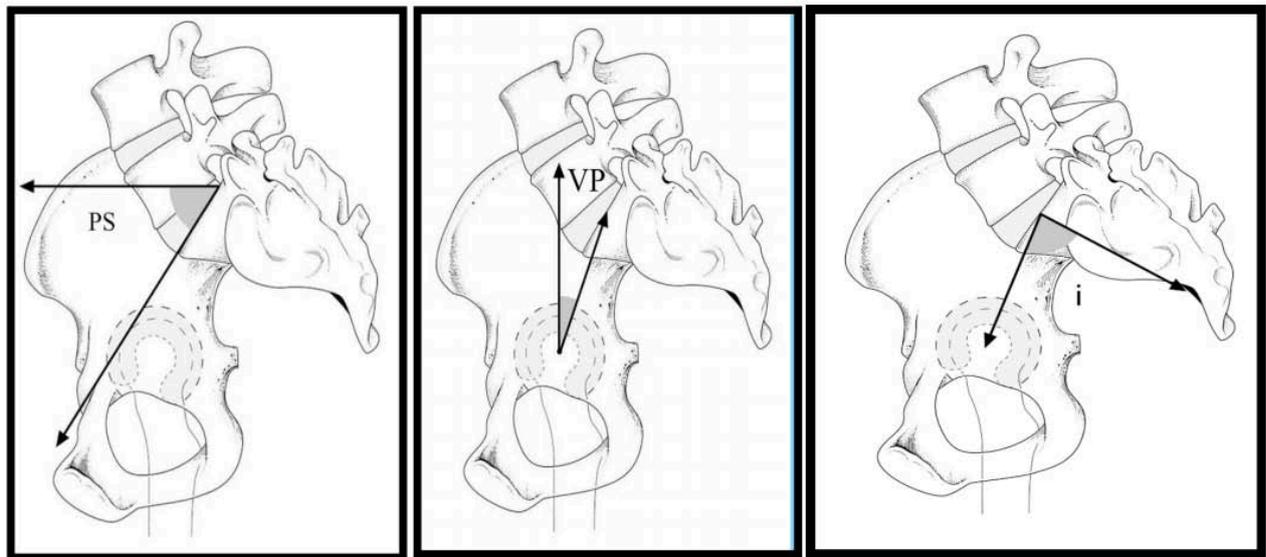


Fig. 9 Mesure des paramètres pelviens

Les valeurs normales moyennes des paramètres pelviens sont les suivantes :

- VP : $13 \pm 6^\circ$

- PS : $4 \pm 8^\circ$

L'IP, la PS et la VP sont liées par une relation géométrique [29].

$$IP = VS + PS$$

L'IP est égale à la somme des deux paramètres positionnels.

Cela implique qu'en cas de rétroversion du bassin, le plateau sacré s'horizontalise autrement dit si la VP augmente, la PS diminue. Ce système d'adaptation est un moyen de régulation de l'équilibre sagittal chez l'être humain.

Corrélation entre paramètres pelviens et sagittaux

La position du rachis lombaire qui est relié au plateau sacré est ainsi affectée par la position du pelvis. En conséquence, les paramètres pelviens influencent l'équilibre sagittal du rachis [30].

Plus important que les valeurs normales des paramètres, il faut connaître la relation étroite entre ces paramètres lors de l'évaluation de l'équilibre sagittal.

Une faible valeur d'incidence pelvienne implique de faibles valeurs de paramètres pelviens, un faible degré de lordose lombaire et inversement.

La corrélation clinique la plus pertinente implique l'IP et la LL, avec un coefficient de corrélation de 0,98 [30]. L'IP peut être utilisée comme un guide pour estimer la LL attendue en peropératoire.

La lordose lombaire peut être estimée par la formule suivante : $LL = 0,5919 \times IP + 29,461$.

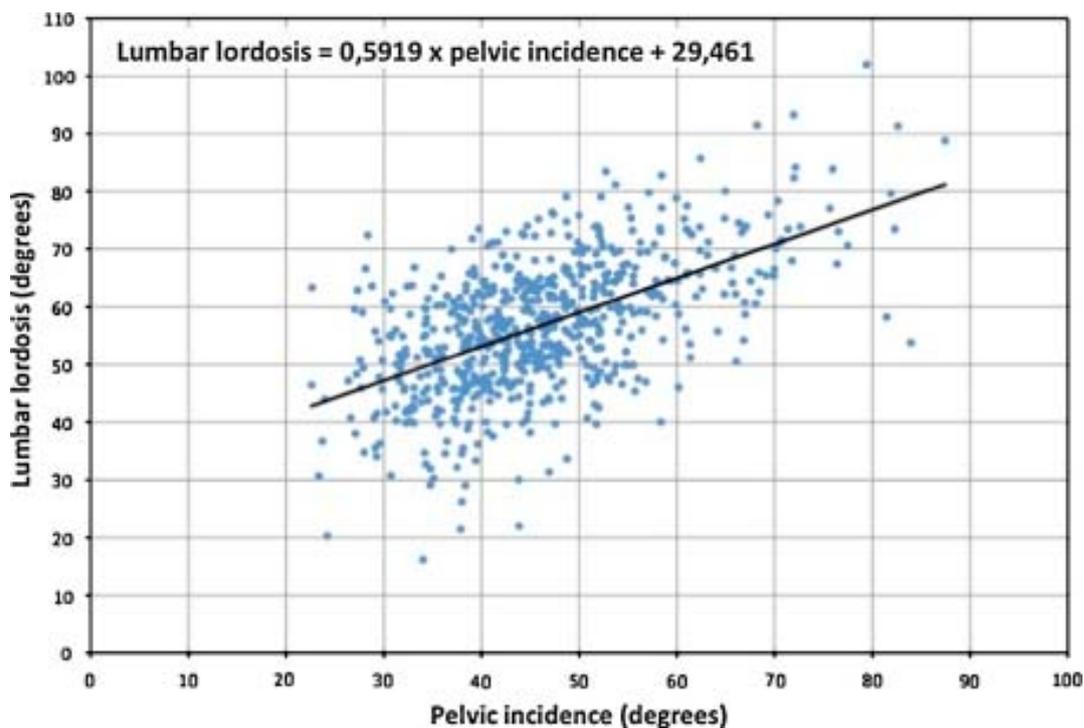


Fig.10 Corrélation entre IP et lordose lombaire

D. Balance sagittale

Dans la SI, l'alignement sagittal peut être différent de celui d'un sujet normal résultant de la déformation structurale du rachis.

Mac Thiong et al. ont montré que l'équilibre sagittal dépend de la localisation de l'apex de la courbure [30].

Le déséquilibre sagittal rencontré dans la SI est la principale conséquence d'une hyperextension segmentaire. Deux paramètres sagittaux peuvent être modifiés par la déformation selon le type de scoliose : la cyphose thoracique et l'arc supérieur de la LL. Une scoliose thoracique peut entraîner une diminution de la cyphose thoracique par mise en extension intervertébrale alors que les scolioses lombaires ou thoraco lombaire ont une cyphose thoracique adaptée et une LL tendant vers l'augmentation.

Le segment cervical a longtemps été oublié dans l'analyse de l'équilibre sagittal. Ce segment a une place importante dans la compréhension de l'équilibre sagittal afin d'avoir une stratégie de correction optimale [21]. En effet, dans la SI, il y a une forte incidence de cyphose cervicale [21].

Il peut y avoir deux explications à cette cyphose cervicale : soit une réponse à l'horizontalisation du plateau due à l'hypocyphose thoracique ou l'inclusion du rachis cervical dans le segment hypocyphotique au dessus du rachis lombaire en raison du déplacement vers le haut du point d'inflexion entre LL et CT [31].

Particularités de la balance sagittale pédiatrique

Il a été mis en évidence une corrélation positive entre l'IP et l'âge durant l'enfance et l'adolescence [30]. Lors de la croissance l'IP augmente avec l'âge alors que la pente sacrée reste stable. La CT et la LL augmentent également avec l'âge jusqu'à maturité [32]. La C7PL a tendance à se déplacer postérieurement de l'enfance à l'adolescence [33].

Mécanismes de compensation d'un déséquilibre sagittal

Face à un déséquilibre sagittal, il va y avoir des phénomènes de compensation avec des manoeuvres de compensation rachidienne mais aussi du bassin et des membres inférieurs afin de maintenir une posture avec un regard horizontal. Ces compensations sont possibles grâce à l'appareil musculo tendineux qui sera à la fois source de compensation et de douleurs en cas de compensation

inadaptée. La première étape consiste à utiliser la musculature paravertébrale et abdominale afin de récupérer une lordose lombaire.

Clement et al. ont confirmé la place de la réciprocité sur l'arc supérieur de la LL en montrant que les modifications de l'équilibre sagittal peuvent être le résultat chacun de la déformation scoliose ou une compensation de la cyphose thoracique [34]. Les différents segments s'adaptent en donnant des courbures sagittales non physiologiques afin de maintenir un équilibre global. Un changement dans un des segments induit un changement du segment réciproque. Si la CT augmente, la LL augmente afin de maintenir C7 en bonne position. A l'inverse, quand la LL diminue, la CT diminue donnant un dos plat. Les modulations de ces courbures se font de manière progressive. En cas de situation pathologique telle que dans la scoliose, ces processus de compensations sont modifiés. En effet, par exemple une augmentation de la CT induit souvent des douleurs compensatrices en exerçant des contraintes sur le segment vertébral adjacent en extension, en augmentant la LL. Lorsque ce phénomène est insuffisant, il va se développer une rétroversion du bassin afin de recentrer le centre de gravité, en le reculant via la verticalisation du bassin. Cette rétroversion induit une diminution de la PS.

Les capacités d'adaptation du bassin seront différentes selon l'IP. La réserve de rétroversion est en lien avec l'IP. Les patients ayant une IP élevée auront une compensation plus importante avec une capacité plus élevée de diminution de la PS et de rétroversion comparativement aux patients ayant une faible IP [35]. A l'inverse, un patient ayant une faible IP aura une faible marge de rééquilibrage face à un déséquilibre sagittal.

Néanmoins, la rétroversion du bassin sera limitée par le degré d'extension de hanche.

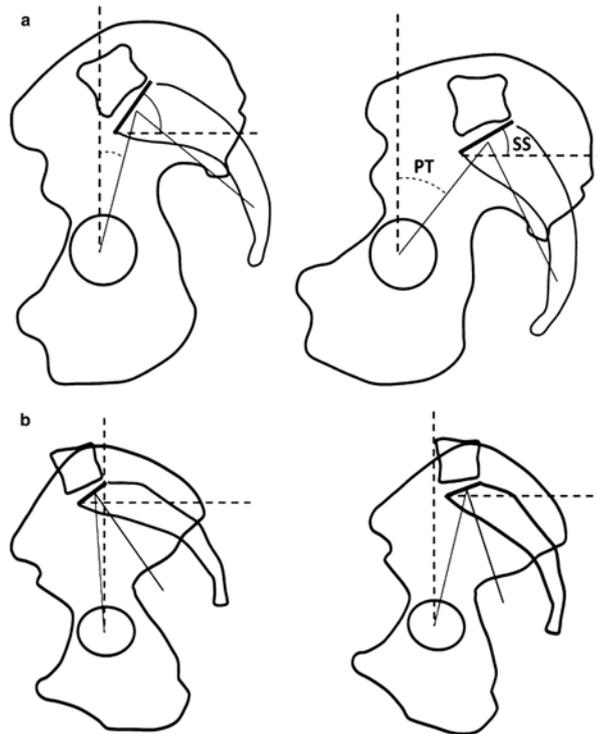


Fig. 11 Mécanismes d'adaptation du bassin selon l'IP

a : IP élevée

b : IP faible

Lorsque la compensation rachidienne atteint son maximum, d'autres phénomènes compensatoires vont se mettre en place au niveau des membres inférieurs à travers la flexion des genoux et l'extension des hanches. On considère qu'un patient a atteint ses capacités de compensations maximales dès lors que l'extension maximale de hanche est atteinte. Ainsi, une symptomatologie douloureuse va apparaître au niveau des quadriceps aggravée par la position statique debout prolongée. Plus la balance sagittale est perturbée, plus l'effort demandé au patient pour maintenir un équilibre sera important [35].

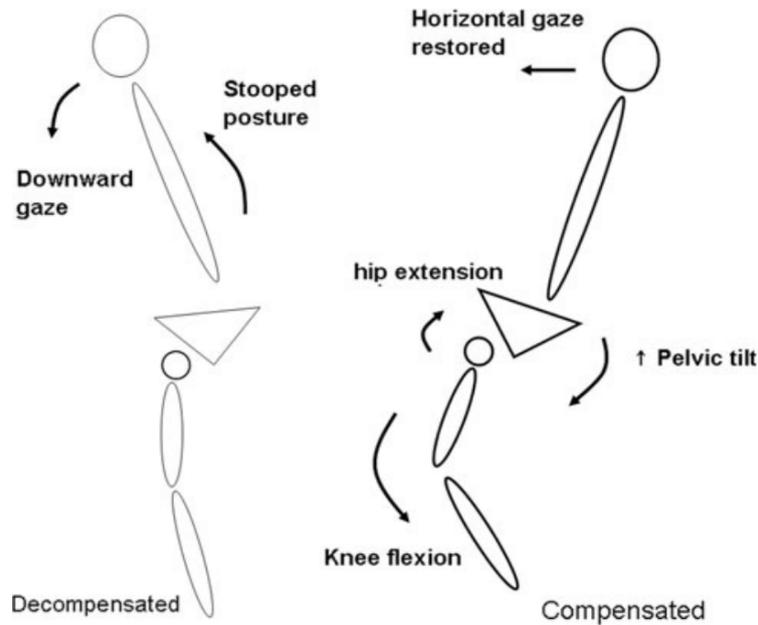


Fig. 12 Mécanismes de compensation d'un déséquilibre sagittal

Ainsi, les patients seront répartis en 3 catégories :

- Équilibrés
- En déséquilibre dit compensé : les patients restent équilibrés grâce à des mécanismes rachidiens de compensation
- Déséquilibrés : malgré les phénomènes rachidiens de compensation, les patients restent déséquilibrés. Lorsqu'il est mis en jeu des phénomènes de compensation sagittaux extra rachidiens, le patient a un déséquilibre sagittal majeur.

Impact de la balance sagittale sur la prise en charge chirurgicale

De nombreuses études ont montré l'impact positif de la conservation, la restauration d'un équilibre sagittal global sur la qualité de vie des patients ayant une déformation du rachis [36].

Comme nous l'avons vu, la corrélation clinique la plus importante est celle entre la LL et l'IP. Ainsi, une relation normale entre IP et LL doit être restaurée ou préservée lors de l'instrumentation du rachis lombaire. En connaissant l'IP, l'acte chirurgical doit être adapté et doit respecter la LL adéquate à chaque individu [30].

Néanmoins, la réflexion chirurgicale doit également prendre en considération le type de profil sagittal du patient comme décrit par Abelin afin d'adapter la prise en charge chirurgicale sur la correction des paramètres sagittaux [21].

En 2018, Abelin et al. ont élaboré une nouvelle classification intégrant les modifications sagittales structurales induites par la SI et les compensations mise en place afin d'obtenir une situation d'équilibre sagittal et d'économie d'énergie [21].

Cette classification décrit 4 pattern de profil sagittal (figure 13) :

Le type 1 correspond a un profil sagittal normal défini par un angle T10-L2 $> -10^\circ$ et T4 T10 $\geq 20^\circ$.

Le type 2 est représenté par une hypocyphose thoracique avec une cyphose cervicale ; il s'agit du pattern le plus retrouvé dans la SIA. Tous les patients avec un angle T10 L2 $> 10^\circ$ correspondent a un type 2.

Le type 2a est caractérisé par une hypocyphose thoracique avec une cyphose cervicale, T4-T10 $< 20^\circ$ et T10 L2 entre -10° et 10° Le type 2b est quant à lui caractérisé par une hypocyphose thoracique et une cyphose thoraco lombaire, T4 T10 $< 20^\circ$ et T10 L2 $> 10^\circ$

Le type 3 est définit par une cyphose cervico thoracique associée à une longue lordose thoraco lombaire, angle T10-L2 $\leq -10^\circ$; il s'agit du pattern le moins fréquent [21].

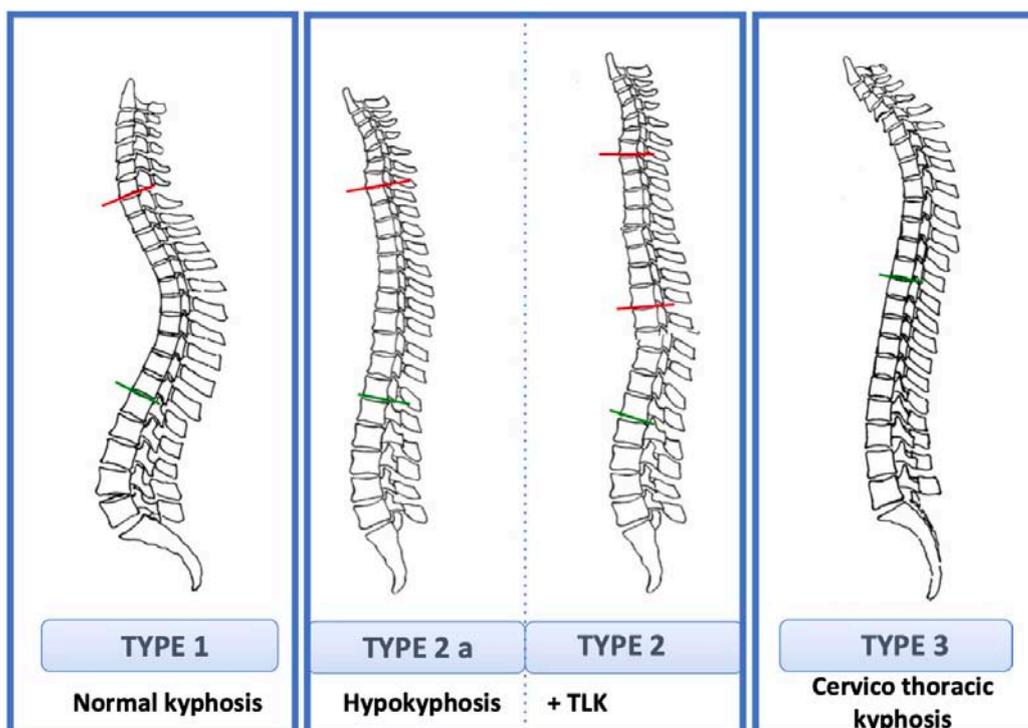


Fig. 13 Classification sagittale proposée par Abelin.

Les recommandations thérapeutiques qui en découlent sont différentes (figure 14).

Dans le type 1, il faut préserver l'équilibre sagittal en gardant la jonction thoracolombaire droite tout en corrigeant la déformation frontale.

Dans le type 2, il faut restaurer une cyphose thoracique en déplaçant l'apex de la courbure vers l'arrière.

Dans le type 3, il faut rétablir une cyphose thoracique inférieure et repositionner le point d'inflexion entre T12 et L1 en redressant la courbure thoraco lombaire.

Au total, lors de la prise en charge chirurgicale, il faudra chercher à rétablir un équilibre sagittal harmonieux lorsque celui-ci est perturbé.

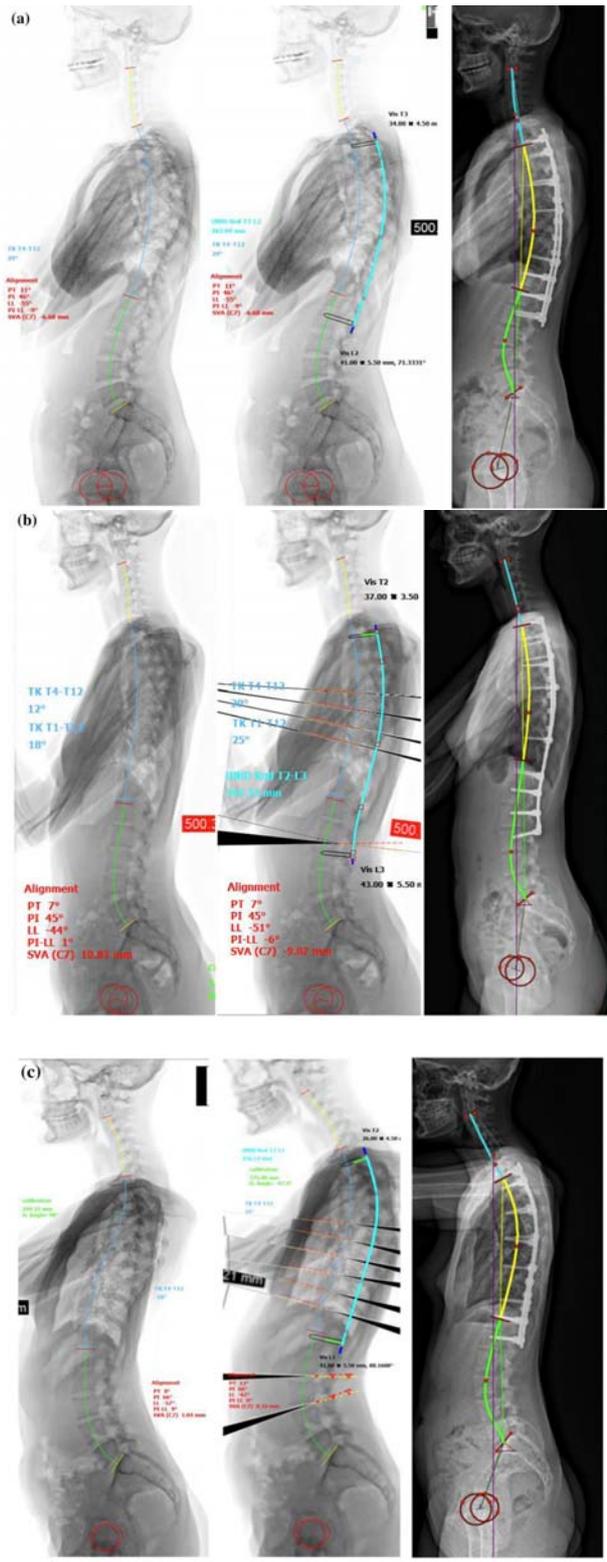


Fig. 14 Recommandations thérapeutiques selon le type de profil sagittal

- a : type 1
- b : type 2
- c : type 3

III. Traitement

Les modalités de prise en charge d'une SI dépendent de son potentiel évolutif corrélé au potentiel de croissance résiduel.

La Société Française d'Orthopédie Pédiatrique recommande de traiter les scolioses évolutives supérieures à 20° avec un potentiel de croissance résiduel [37].

Les scolioses évolutives si elles ne sont pas traitées continuent d'évoluer après maturité osseuse [4] avec une aggravation de l'angle de Cobb de 0,5 à 1° par an. L'aggravation concerne les courbures dans les trois plans de l'espace précédant la structuralisation et l'enraidissement [38]. A l'âge adulte, la déformation scoliotique va entraîner des contraintes excessives passant principalement par la concavité des courbures et les secteurs lordotiques. Les contraintes sont d'autant plus importantes que la courbure se situe en lombaire ou thoracolombaire engendrant des phénomènes arthrosiques prédominant dans la concavité. Au niveau des zones jonctionnelles, des contraintes en inclinaison/rotation entraînent des dislocations rotatoires et au niveau lombaire, une perte de lordose entraîne un déséquilibre vers l'avant [38].

A. Histoire du traitement de la scoliose

Pendant de nombreux siècles, le traitement de la scoliose n'était pas au cœur des préoccupations.

Hippocrate est le premier à mentionner la méthode visant à corriger les déformations du rachis. Il utilise l'élongation et la pression latérale ; l'élongation était réalisée sur un cadre de traction en position ventrale avec une compression exercée par un levier transversal. Cela est illustré par Vidus Vidius en 1544, Le Lit Scamnum (figure 15).

Ambroise Paré vers 1550 fut un des premiers à parler de la scoliose de l'adolescent. Il développera le corcelet de fer - ancêtre des orthèses (figure 16).



Fig. 15 Le Lit Scamnum
d'Hippocrate

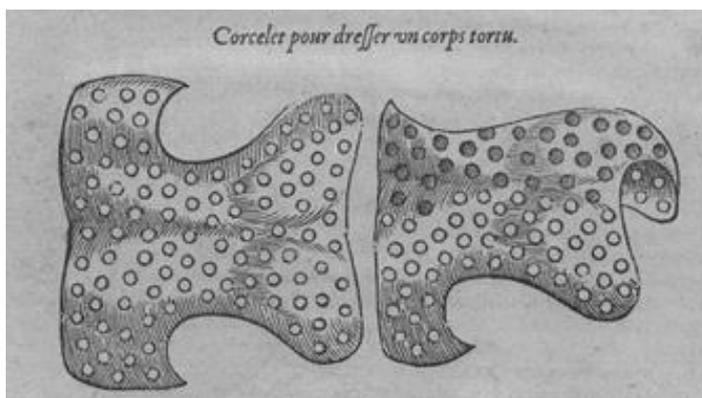


Fig. 16 : Corcelet de fer d'Ambroise Paré

Au XVIIe siècle, la pathologie du rachis en croissance est prise en considération sous le terme de « raktis ».

En France, Magny publie en 1777, un Mémoire sur le raktis dans lequel il reconnaît l'importance de la rotation vertébrale.

David Van Gesscher d'Amsterdam développe en 1792, le premier corset avec appuis latéraux.

Le XIXe siècle est marquée par une avancée considérable de l'anatomie pathologique dans tous les domaines y compris dans celui de la scoliose.

Le protocole habituel était à cette époque, gymnastique et corset le jour, traction de nuit sur lit orthopédique. Ce protocole était instauré dans les nombreux établissements qui fleurissaient à cette période.

Le XIXe - XXe siècle constitue un véritable tournant dans le traitement orthopédique. Abbott décrit en 1911, un cadre introduisant la notion de dérotation afin de corriger la gibbosité (figure 17).

En ajoutant une composante d'élongation au cadre d'Abbott, cela donnera naissance au cadre EDF (élongation, dérotation, flexion), développé à l'institut Calot de Berck en 1960.

Le corset de Milwaukee, appareil à appui mandibulo - occipital est développé par Blount en 1945.

L'évolution des matériaux des corsets va être considérable, du cuir moulé et armé, au plexidur armé avec valves réglables. Le polyéthylène remplacera ensuite le plexidur.

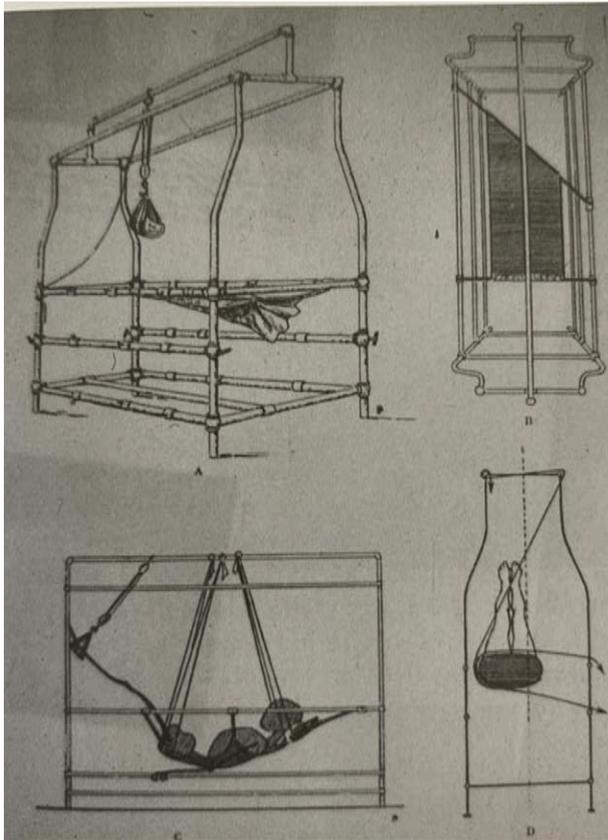


Fig. 17 Cadre d'Abbott.

A la fin du XIXe siècle, il sera réalisé les premières interventions chirurgicales par Wilkins (1888) puis Hadra (1901) par des ligatures intervertébrales par fil métallique.

Le XXe siècle, dans la période d'après guerre correspond à l'essor chirurgical des greffes, la révolution du Harrington.

Paul Harrington développe sur des enfants atteints de poliomyélite un matériel d'ostéosynthèse postérieure par tiges et crochets (en compression convexe et distraction concave) associée à une greffe osseuse. Cela deviendra la technique classique des années 60 ; elle est introduite en France dès 1962 par Michel à Lyon.

Au début des années 80, Yves Cotrel et Jean Dubousset développent la fixation multisegmentaire permettant une réduction plus importante.

Les vis pédiculaires ont été utilisées en 1959 par Boucher mais elles ont été popularisées par Roy-Camille. Elles sont utilisées dans la scoliose au niveau lombaire dans les années 1980 et dans les années 1990 au niveau thoracique.

La voie antérieure a été développée à Sydney par Alan Dwyer en 1969. Il s'agissait initialement d'une fixation dans le corps vertébral à l'aide de vis reliées entre elles par un câble.

La plaque de Poulouen apparaît en 1974 permettant une correction et une dérotation par vissage progressif des vertèbres sur la plaque. En 1975, Zielke a apporté une modification au système de Dwyer avec une tige rigide de 4 mm qui assurait alors une dérotation et une stabilisation plus importante. Les instrumentations antérieures ont évolué avec l'utilisation de système modulaire.

Au fil des années, l'arsenal thérapeutique disponible pour la prise en charge des scolioses s'est considérablement développé.

B. Traitement orthopédique

L'objectif de tout traitement orthopédique sera de limiter l'aggravation des courbures en contraignant les courbures par des actions mécaniques afin de stabiliser l'évolution pendant la croissance et d'aboutir à une déviation résiduelle compatible avec une vie normale à l'âge adulte.

Il existe d'innombrables types de corset. Néanmoins, chaque corset doit répondre à certaines contraintes afin d'apporter une efficacité :

- Préserver et/ou restaurer l'équilibre sagittal et frontal
- Diminuer les gibbosités induites par la rotation vertébrale
- Ne pas diminuer significativement les capacités respiratoires
- Respecter l'intégrité cutanée et le fonctionnement digestif.

Lorsque le corset est introduit à un âge précoce, celui-ci devra respecter la croissance du thorax et le développement pulmonaire.

On retrouve dans la littérature de nombreuses études montrant que le corset modifie l'évolution naturelle de la scoliose [37, 38].

La majorité des corsets ont le même objectif : corriger la translation de la vertèbre apicale dans le plan frontal selon le principe d'appui-contre appui sans induire de déséquilibre sagittal ni frontal. Certains corsets ont été conçus sans se préoccuper de la correction dans les trois plans de l'espace et sont fondés uniquement sur la correction de l'angle de Cobb.

Chaque type de corset se différencie par le concept de correction, la topographie de l'effet réducteur et par le mode de fabrication.

Le principe de correction du corset est basé sur des mécanismes actifs ou passifs :

- Appui-contre appui
- Élongation axiale

Le principe d'appui/contre appui est à la base de la conception nombreux de corsets.

La force de correction F est perpendiculaire à l'axe vertical et s'applique au niveau de la vertèbre sommet. Afin d'assurer un système équilibré, il y a deux forces de contre appui, supérieure et inférieure situées au niveau des vertèbres limites, orientées en sens inverse à F , avec une valeur de $F/2$.

White et Panjabi ont montré que l'action réductrice de ce type de corset à 3 points est égale à $F/2 \times d$, d = distance entre le point d'application de la force F et celui d'une force $F/2$.

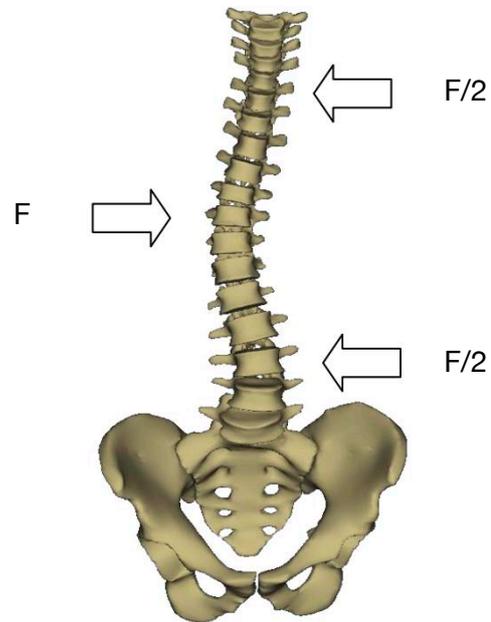


Fig. 18 Forces de correction d'un corset 3 points, principe d'appui - contre appui

Ainsi, les corsets 3 points sont d'autant plus efficace sur les petites courbures car d diminue lorsque l'angle de Cobb augmente [39].

La conception du corset est primordial afin de contribuer à la détorsion pour cela le point d'application de la force F est généralement postérolatéral au niveau des arcs postérieurs des côtes en thoracique, des processus transverses en lombaire. La force F ne doit pas être trop postérieure en thoracique sinon cela induit un effet lordosant qui sera délétère sur l'équilibre sagittal.

Les corsets 3 points sont utilisés dans les courbures uniques ; en cas de double courbure, il faudra utiliser un corset 4 points.

Dans le corset CTM (figure 19), des pressions sont exercées au sommet de la courbure afin d'induire une migration des pressions dans le sens convexe-concave. Ce corset comporte des chambres d'expansion afin de recevoir les volumes mobilisés par les pressions. Ces zones d'appui

et les chambres d'expansion sont réparties en fonction de l'analyse de la scoliose du patient. En face de chaque zone d'appui est mis en place une chambre d'expansion. L'objectif étant de rétablir un équilibre dans tous les plans. Il s'agit du corset le plus utilisé en France.

Le corset hypercorrecteur (CAEN) repose sur le maintien nocturne du rachis en hypercorrection (figure 20). L'objectif est d'assouplir la concavité. Le principe réside dans l'hypercorrection de la courbure en plaçant le rachis en inclinaison latérale homolatérale à la convexité. Lors de la conception, seule la réduction dans le plan frontal est prise en compte. Il facilite la compliance au traitement étant donné l'absence de port du corset le jour. Ce type de corset est utilisé pour les courbures uniques de faible amplitude.



Fig. 19 Corset CTM



Fig. 20 Corset hypercorrecteur (CAEN)

L'élongation axiale correspond à une force de traction orientée selon une direction verticale bassin-tête compensée par une force de contre traction opposée.

Le mécanisme actif d'auto-grandissement est soumis à la contribution du patient ; il peut en théorie augmenter le principe correcteur de l'orthèse. Ce mécanisme est utilisé dans le corset de Milwaukee.

Ce corset à l'avantage de ne pas comporter d'appui au niveau du thorax. L'anneau occipito-mentonnier ne joue pas le rôle d'élongation mais incite le patient à s'auto grandir afin d'échapper

aux contraintes occipitale et hyoïdienne. Des mains d'appuis peuvent être rajoutées afin d'associer un effet 3 points.

Le plâtre EDF a été mis au point par Cotrel et Dubousset reposant sur le principe d'élongation dérotation et flexion latérale afin de permettre la correction de la courbure.

Certains préconisent de débiter tout traitement orthopédique par un corset plâtré type EDF.

Indications

C'est le caractère évolutif de la scoliose et le potentiel de croissance résiduel qui permettra de retenir l'indication d'un traitement orthopédique [37].

On admet communément que le traitement orthopédique par corset pourra être proposé lorsqu'on a une scoliose avec un angle de Cobb supérieur à 20° avec un potentiel de croissance résiduel.

Nous devons également opter pour le corset dans la scoliose juvénile à début précoce afin de retarder au maximum le traitement chirurgical et de permettre la croissance du rachis et du thorax.

Le choix du type de corset se fait en fonction de l'âge du patient, de la topographie de la courbure, de l'angulation et de la réductibilité de la courbure.

Le corset de Milwaukee est largement utilisé dans les scolioses juvéniles.

Chez un enfant jeune, de moins de 10 ans, il est préférable d'opter pour un corset de Milwaukee malgré le fait que celui-ci soit d'acceptation difficile. Actuellement les corsets reposants sur le principe d'appui-contre appui sont suffisamment développés pour permettre une croissance du rachis et du thorax optimale.

En cas de courbure thoracique haute au dessus de T6, les corsets standards ne sont pas efficaces. Il faudra choisir un corset de Milwaukee ou équivalent.

Enfin, en cas de scoliose très raide, il peut être intéressant d'effectuer des séquences de réduction par plâtre EDF avant la mise en place d'un corset plus classique.

C. Traitement chirurgical

Le traitement chirurgical aura pour objectif d'arrêter la progression de la déformation, d'obtenir une réduction durable, un résultat esthétique satisfaisant, d'améliorer le pronostic fonctionnel et de limiter le risque de progression dégénérative à l'âge adulte. La stratégie chirurgicale sera différente selon l'âge de l'enfant.

Le traitement chirurgical est indiqué lorsque le traitement orthopédique est dépassé ou n'a pas sa place.

1. Halo crânien

Le halo crânien a été inventé par le Docteur BLOOM dans les années 1955-1956, chirurgien maxillo-facial au Texas. Il l'utilisait dans le traitement des accidentés de la face et les fractures du massif facial.

Le halo crânien a été adapté à la chirurgie rachidienne par le Docteur VERNON Nickel en 1958, chirurgien du Rancho Los Amigos Hospital à Downey en Californie [7]. Il avait découvert le halo crânien au Texas. Avec Jacqueline PERRY, ils ont adapté le halo crânien pour le traitement du rachis paralytique en particulier poliomyélique.

Cotrel a introduit le concept de traction dynamique en 1960 pour traiter les SIA et assouplir les courbures raides avant chirurgie [40]. En 1969, Pierre STAGNARA et Jean DUBOUSSET ont popularisé en France, la technique du « halo gravité » pour le traitement des scolioses sévères [41].

Le but de cette préparation avant la chirurgie est d'améliorer le gain de correction de la déformation, d'assouplir les courbures raides et ainsi obtenir de meilleurs résultats par rapport à une chirurgie seule. De plus, la traction lente et progressive prépare la moelle épinière et permet de réduire le risque d'étirement et de spasme médullaire.

Cette traction par halo crânien est indiquée en cas de scoliose sévère avec un angle de Cobb de la courbure principale supérieur à 80°, de raideur et de déséquilibre sagittal sévère [42,43,44].

En association avec une arthrodèse, le halo crânien permet d'obtenir une correction importante de la déformation scoliotique en deux temps. Le premier temps est assuré par le halo crânien réalisant une correction progressive de la déformation sur plusieurs semaines. La correction obtenue sera ensuite si possible complétée lors de l'arthrodèse vertébrale.

Une traction préopératoire par halo crânien nécessite une structure de soins habituée à ce protocole. Il n'est en aucun cas envisageable d'effectuer une telle procédure en ambulatoire.

Technique de pose du halo crânien

Le halo crânien est mis en place sous anesthésie générale ou sédation.

La halo est fixé à la table externe de la voute crânienne à l'aide de pointeaux. Le nombre de pointeaux est variable selon les équipes mais doit être d'un minimum de 4.

Les pointeaux doivent être positionnés selon les recommandations [45]. Les pointeaux antérieurs sont placés au moins 1 cm au dessus de la partie latérale du sourcil. L'idéal est de les placer sur une zone d'implantation des cheveux afin de minimiser les cicatrices. Un positionnement plus médial risquerait d'entraîner une lésion du nerf supra orbitaire et du nerf supra trochléaire. Un positionnement plus latéral pourrait empiéter sur les muscles de la mastication engendrant ainsi une gêne et des douleurs chez les patients. Les pointeaux postérieurs sont positionnés de façon opposée aux pointeaux antérieurs afin d'assurer une bonne stabilité du montage.

Pour être bien positionné, le halo doit être légèrement oblique vers l'avant et le haut, 1 cm au dessus du pavillon de l'oreille, 1 cm au dessus de la ligne des sourcils. Il faut prendre garde à ne pas engendrer de point d'appui cutané pouvant être à l'origine d'escarre ; ainsi, il doit être positionné à 2 cm de la peau. La traction est effectuée à l'aide d'un étrier.

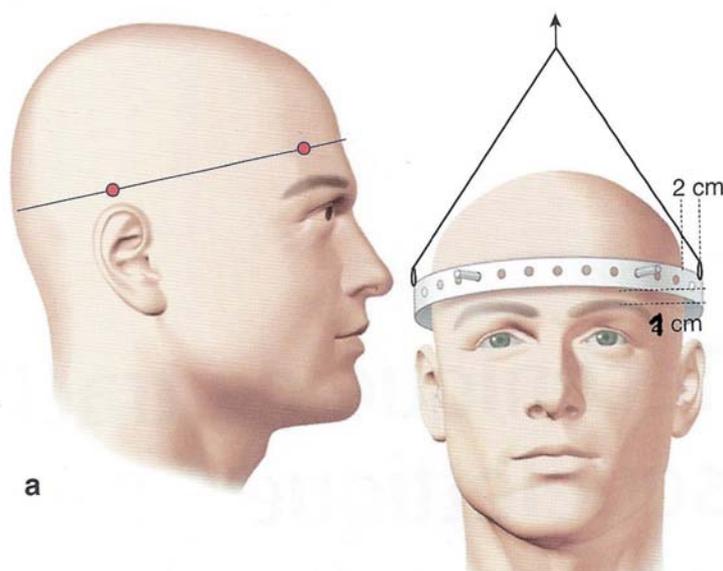


Fig. 21 Positionnement du halo crânien

Protocole de traction par halo crânien

La durée de traction est variable mais atteint 6 semaines dans la plupart des études [46]. Pendant les trois premières semaines, il est réalisé une augmentation progressive des poids de 500 grammes à 1 kilos par jour selon la tolérance afin d'obtenir un poids final de 30 % du poids du corps dans la majorité des cas (soit 12 à 15 kilos selon les patients). Les trois semaines suivantes permettent d'atteindre la correction optimale grâce au facteur temps. Il a été démontré à travers plusieurs études qu'il n'est pas pertinent de poursuivre la traction au delà de 6 semaines car la correction obtenue étant maximale en 6 semaines. Une prolongation de la durée de traction n'aurait pour effet que d'augmenter le risque de survenue de complications [8].

Pendant toute la phase de traction, il est réalisé une surveillance quotidienne à la recherche de complications neurologiques, infectieuses, locales. En cas de survenue de complications neurologiques graves, le protocole de traction doit être interrompu. La prise en charge en structure adaptée permet au patient d'être installé en position debout, assise et allongée tout en maintenant l'effet de la traction.

Après une période de traction par halo crânien, nous pouvons espérer une correction de la déformation de 30 à 50% dans le plan frontal [46].

Lors de l'AVP, le poids de la traction devra être réduit d'au moins 25%. Du fait du relâchement musculaire lié à l'anesthésie générale et de l'abord chirurgical avec libération des muscles paravertébraux ; il y a un risque d'étirement excessif de la moelle épinière pouvant conduire à une paraplégie.

Biomécanique du halo crânien

Le halo crânien repose sur le principe d'élongation axiale ; la force de contre traction est représentée par le poids du corps du patient (halo-fauteuil et autre dispositif de verticalisation).

Lorsqu'une traction continue est appliquée, les tissus subissent une déformation par fluage c'est à dire une déformation lente liée à l'application constante et dans le temps de la traction aboutissant à une correction graduelle de la déformation du rachis.

Les travaux de White et Panjabi ont constitué une avancée en terme de compréhension de la biomécanique. Ils ont montré que les forces de correction transversales seront d'autant plus efficaces que la courbure est inférieure à 50° alors que les forces de traction axiale seront d'autant plus efficaces que la courbure est supérieure à 50° [39].

En effet, l'effet de correction par traction axiale est égal à $F \times r$,
 F = force de traction, r = flèche de l'apex de la courbure par rapport à la ligne verticale médiane (figure 22).

Ainsi ce mécanisme d'élongation, est d'autant plus efficace que l'angle de Cobb de la courbure est élevée - en lien avec une augmentation de la flèche ; expliquant l'utilisation de la traction par halo pour des courbures élevées.

Néanmoins, il y a un inconvénient à cet effet d'élongation axiale ; l'effet sur l'équilibre sagittal est délétère entraînant un effacement des courbures de profil.

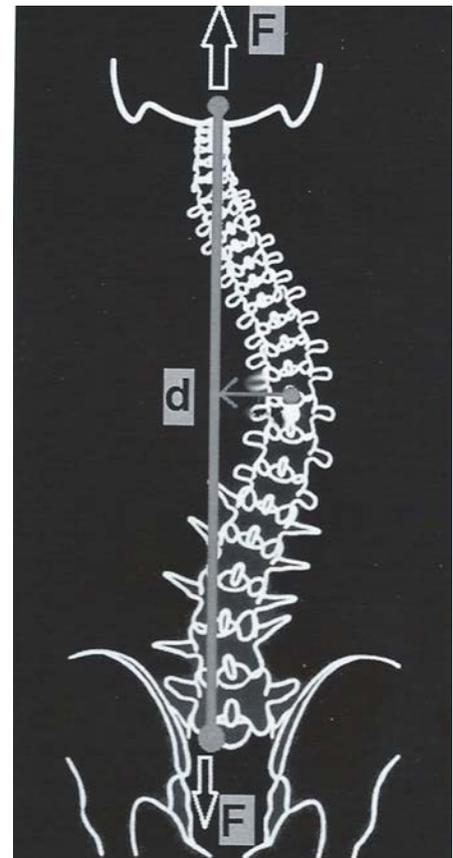


Fig. 22 Force élongation axiale exercée par le halo crânien

2. Distraction sans arthrodèse

Les techniques de distraction sont utilisées dans les déformations scoliotiques de l'enfant jeune où l'arthrodèse n'est pas envisageable étant donné le degré de maturité.

Le concept de distraction a été introduit en 1962 par Harrington [47]. La méthode initiale utilisant les tiges de croissance a été décrite par Moe avec une tige de Harrington [48].

Les tiges de croissance

La méthode consiste à se fixer aux deux extrémités de la courbure sans aborder le rachis entre les deux points de fixation afin de ne pas engendrer de fusion de celui-ci ; cela empêcherait toute croissance entre les allongements.

Les tiges exercent des forces de distraction au niveau de la concavité de la courbure.

Toutes les techniques de tige de croissance ont pour objectif de corriger et de prévenir l'aggravation de la courbure scoliotique principale tout en permettant la croissance du rachis et des poumons. Il

est réalisé un premier allongement du dispositif au moment de la pose assurant l'essentiel de la correction de la déformation. Actuellement, l'ancrage de l'instrumentation est vertébral en proximal et vertébral ou pelvien en distal. Après la chirurgie initiale, il est réalisé un allongement progressif et répété afin de contrôler la déformation, de limiter son aggravation et de permettre la croissance du rachis.

On distingue deux types de tiges de croissance :

- Les tiges de croissance standards
- Les tiges de croissance électromagnétiques

Les tiges de croissance standards allongées par abord chirurgical, nécessite une nouvelle intervention chirurgicale lors de chaque allongement afin de suivre la croissance du rachis. Depuis l'émergence de la technologie électromagnétique, il est possible de ne plus effectuer des chirurgies multiples et répétées.

- Tiges de croissance électromagnétiques

Dans ce dispositif, la distraction est réalisée à l'aide d'un aimant présent dans la tige.

Les tiges MAGEC® sont en titane, le diamètre est variable (4,5 mm, 5,5 mm ou 6,35 mm). Le dispositif électromagnétique permet l'allongement progressif de la tige et donc la distraction. Les allongements successifs sont réalisés en consultation. L'allongement maximal théorique est de 48 mm, une procédure d'allongement dure en moyenne 30 minutes.

L'avènement des nouveaux matériaux a permis de diminuer la morbidité de ce type de procédure. Néanmoins, ces tiges électromagnétiques ne règlent pas le problème de la faillite mécanique du montage (rupture de tige, démontage aux points d'ancrage) liée à la méthode elle-même constituant la principale complication de cette technique.

De plus, entre chaque allongement, le rachis étant immobilisé celui ci s'enraidit progressivement. Au fur et à mesure des années, les forces nécessaires pour effectuer l'allongement augmentent et le dispositif finit par être dépassé [49, 50].

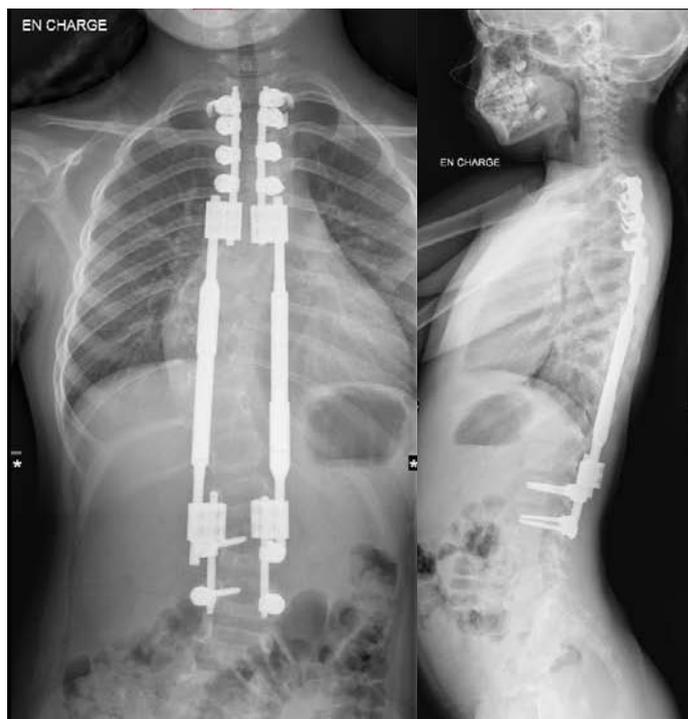


Fig. 23 Tiges de croissance
électromagnétiques
MAGEC®

3. Instrumentation par voie postérieure

Il s'agit d'une correction de la déformation et d'une fusion des vertèbres entre elles. Le dispositif chirurgical (vis, crochets, tiges) permet la correction et la greffe permettra la fusion. Le choix du niveau à instrumenter est primordial. On essaiera autant que possible de fusionner le moins de vertèbres afin de garder un certain degré de mobilité du rachis d'autant plus pour le secteur lombaire ; tout en restaurant un équilibre frontal et sagittal correct.

L'analyse segmentaire de la déformation permet d'établir la stratégie de correction et de positionnement des implants. Les clichés en inclinaison latérale permettent d'apprécier la raideur de chaque secteur de la déformation. La vertèbre limite supérieure est choisie en évitant d'être en zone jonctionnelle sur l'incidence de profil, en prenant de Cobb à Cobb. Le choix de la vertèbre limite inférieure est basée sur la zone « stable » d'Harrington. Le premier disque non instrumenté doit être sur le bending concave inclut dans la zone de stabilité et doit s'ouvrir de manière symétrique sur chaque bending.

L'AVP n'est réalisée que chez l'enfant en fin croissance afin de ne pas compromettre le développement du thorax.

Le principe repose sur l'application de forces de correction sur le rachis par l'intermédiaire d'implants rachidiens solidarisés par une tige. La force de correction peut être obtenue par différentes techniques : rotation de la tige pré cintrée, cintrage in situ, translation.

La technique initiale de correction mise au point par Cotrel et Dubousset reposait sur la rotation de la tige pré cintrée [51]. Au fil des années d'autres méthodes de correction se sont développées.

- Cintrage in situ [52]

Le principe est de solidariser la tige au rachis dans sa position et de corriger la déformation rachidienne à chaque niveau de façon progressive et successive dans le plan frontal et sagittal.

Ce type de correction est possible du fait des propriétés des matériaux. En effet, cela est rendu réalisable grâce au titane qui a une grande plasticité et une faible élasticité. Ainsi, la tige conserve la plus grande part de la déformation lorsqu'on la cintré. La tige est amenée au niveau de chaque implant, les implants sont fermés mais non verrouillés. La correction se fait dans la concavité en thoracique et dans la convexité en lombaire. Lorsque les tiges sont en place au niveau de tous les implants, il faut créer un point fixe. La tige est alors progressivement déformée à l'aide des fers à cintrer de proche en proche [11, 37].

La déformation est corrigée de manière très progressive à chaque niveau, plan par plan en maîtrisant les contraintes appliquées sur chaque vertèbre instrumentée.

- Correction par translation ST2R [53]

Il est réalisé un cintrage préalable de la tige selon la correction souhaitée dans le plan sagittal. Cette technique repose sur la translation simultanée sur deux tiges. A l'aide de connecteurs, le rachis est progressivement rapproché de la tige. Ce type de correction nécessite des ancrages stables et un système de liaison ancrage tige. Chaque vis pédiculaire ou pince pédiculo - transversaire aura un connecteur assurant la liaison ancrage - tige. La polyaxialité des implants permet de positionner facilement la tige dans le plan sagittal avant toute manœuvre de réduction.

4. Instrumentation par voie antérieure

La voie antérieure dans la prise en charge des scolioses est controversée et non pratiquée par tous. Néanmoins, elle a un intérêt dans les courbures uniques, lombaire ou thoraco lombaire.

Aucune différence n'a été mise en évidence concernant la correction dans le plan frontal entre l'instrumentation par voie postérieure et celle par voie antérieure [54,55]. Il y a néanmoins plusieurs arguments en faveur de la voie antérieure : effet cyphosant sur l'hypocyphose thoracique, préservation de la musculature postérieure, prévention de l'effet viltbrequin, meilleure dérotation. La correction dans le plan frontal est importante à condition de respecter certaines adages. Il ne doit pas être réalisé d'instrumentation par voie antérieure en cas de courbure thoracique supérieure, de cyphose jonctionnelle thoracolombaire, d'hypolordose lombaire.

Au total, nous retenons l'indication d'instrumentation par voie antérieure pour les courbures thoraciques basses, thoraco-lombaire ou lombaire, courbure unique et souple avec un angle de Cobb inférieur à 80°.

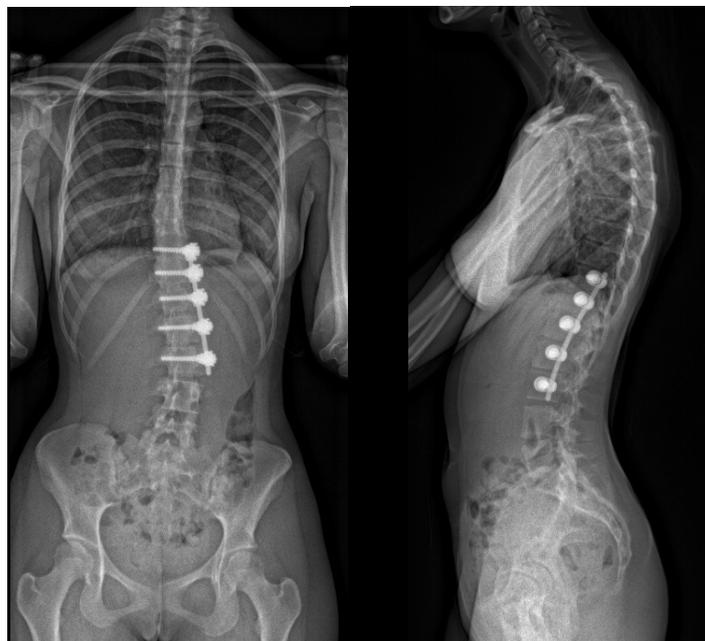


Fig.24 Instrumentation par voie antérieure

Deuxième partie : étude

IV. Problématique de l'étude

La traction est une des plus vieilles méthodes de correction des déformations du rachis mais est toujours d'actualité. Elle est utilisée par de nombreuses équipes comme préparation avant la chirurgie avec pour objectif d'assouplir le rachis et d'améliorer la correction angulaire en postopératoire. Par ailleurs, la période de traction permet d'améliorer la capacité respiratoire et de préparer la moelle épinière afin de limiter le risque d'étirement, de spasme médullaire lors de l'intervention [44]. Il y a plusieurs méthodes de traction possible. Nous réalisons dans notre service une traction préopératoire à l'aide d'un halo crânien. La durée, les méthodes et les indications de traction peuvent différer d'une équipe à l'autre. La raideur de la courbure principale est une indication universelle par contre la valeur seuil de l'angle de Cobb pour laquelle la traction devient nécessaire est très discutable [44].

Toutes les études portant sur la traction préopératoire par halo crânien chez l'enfant ayant une scoliose idiopathique se sont cantonnées à évaluer le plan frontal avec mesure de l'angle de Cobb [56,57]. Récemment, Lamont et al. dans une étude publiée dans la revue Spine portant sur 107 patients ont retrouvé une correction de l'angle de Cobb frontal majeur après traction de 29,5% [9]. Iyer et al. ont eux mis en évidence sur 30 patients, série dominée par des scolioses idiopathiques, une correction de 29,5% du Cobb frontal après traction [8].

Aucune étude n'a porté sur l'évaluation de l'équilibre sagittal dans le cadre du traitement par halo crânien. A contrario, il y a de nombreuses études évaluant l'effet de la correction chirurgicale par AVP sur les paramètres pelviens et sagittaux dans la SI [58].

Au sein du CHU de Nantes, pour certains patients ayant une SI, le programme thérapeutique comprendra une période de traction par halo crânien pendant 4 à 6 semaines.

L'indication de traction par halo est homogénéisée au sein du service. Nous mettons en place un protocole de traction préopératoire en cas de raideur de la courbure principale, sur la valeur de l'angle de Cobb avec un seuil retenu de 80°, en présence d'une cavité syringomyélique.

Nous avons donc étudié l'effet et la sécurité de la traction préopératoire par halo crânien dans la prise en charge de la SI de l'enfant à travers l'étude de l'équilibre sagittal et frontal.

En étudiant une population de SI de l'enfant, nous avons comparé un groupe de patients tractés à un groupe de patients non tractés. La comparaison portait sur le résultat postopératoire et au dernier recul. Nous avons cherché à savoir si les résultats étaient significativement modifiés par la traction.

V. Matériel et méthodes

Il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique concernant les enfants ayant une scoliose idiopathique pris en charge par deux opérateurs selon les mêmes indications et mêmes techniques opératoires, par traction préopératoire à l'aide d'un halo crânien entre 2002 et 2020.

Nous avons réalisé une étude d'imagerie reposant sur l'analyse des clichés de rachis entier de face et de profil. Toutes les radiographies ont été analysées numériquement sur le logiciel ORTHOVIEW, non spécifique à l'étude du rachis pédiatrique.

A. Population

Les critères d'inclusion étaient les suivants (tous les critères étaient nécessaires pour l'inclusion) :

- Scoliose idiopathique
- De topographie thoracique, lombaire, thoracolombaire ou double
- Opérée entre 2002 et 2020
- Réalisation en préopératoire d'une traction par halo crânien, uniquement pour le groupe « traction ».

Les critères d'exclusion étaient :

- Absence de données radiologiques (données manquantes)
- Mauvaise qualité des radiographies notamment du profil rendant l'interprétation non valide
- Scoliose non idiopathique.

Pour constituer le groupe « traction », les données ont été récupérées via un logiciel informatique en utilisant la classification CCAM des actes chirurgicaux (LHEB001).

Seules les scolioses idiopathiques ont été conservées, les autres étiologies ont été exclues.

Afin de pouvoir comparer les données du groupe « traction », il a été constitué un groupe contrôle appelé « sans traction ».

Pour le groupe « sans traction », les données ont été récupérées via un logiciel informatique en utilisant la classification CCAM des actes chirurgicaux (LHFA028, LHFA029).

Ce groupe a été constitué afin d'être le plus homogène possible au groupe « traction », nous avons inclus de manière rétrospective et consécutive tous les enfants ayant des types de scolioses idiopathiques similaires avec des angles de Cobb se rapprochant le plus possible du groupe « traction ». Dès que le nombre de patients nécessaire était atteint ($n = 21$), l'inclusion a été arrêté. Il n'y a pas eu de randomisation.

Après recueil des données, les patients étaient donc séparés en 2 groupes :

- Le groupe « traction » était constitué de patients ayant eu une traction par halo crânien en préopératoire.
- Le groupe « sans traction » était constitué de patients n'ayant pas eu de traction par halo crânien en préopératoire.

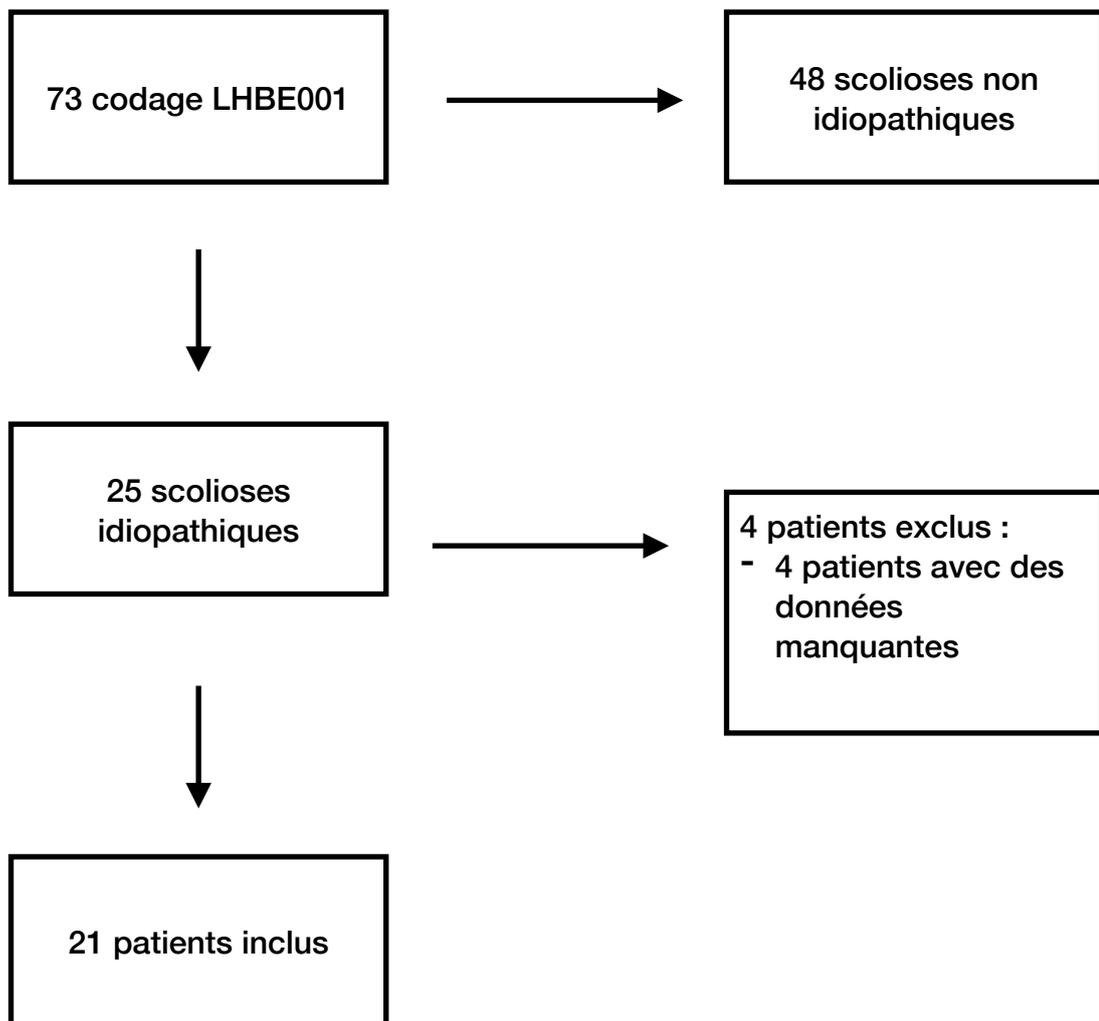


Fig. 25 Diagramme des flux du groupe « traction ».

Au sein du groupe « traction », nous avons créé deux sous-groupes en fonction des résultats de l'IRM préopératoire obtenant ainsi un groupe « traction avec cavité syringomyélique » et un groupe « traction sans cavité syringomyélique ».

Le groupe « traction » a également été subdivisé en fonction de la valeur de l'angle de Cobb frontal distinguant deux sous-groupes : « Cobb supérieur à 80° », « Cobb inférieur à 80° ».

B. Protocole de traction par halo crânien

Tous les patients ont eu une mise en place de halo crânien sous anesthésie générale ou sédation, selon la technique habituelle précédemment décrite à l'aide 4 pointeaux (cf paragraphe III.C.1).

Dans le sous groupe « sans cavité syringomyélique », la traction était débutée à 1.5 kilos puis augmentée de manière progressive de 250 grammes matin et soir. Dans le sous groupe « cavité syringomyélique », la traction était débutée à 1 kilo. L'augmentation était réalisée de manière plus lente - à raison de 150 grammes matin et soir.

L'objectif final de traction était de 30 à 50% du poids corporel soit en général 12 à 15 kilos selon les patients.

Le protocole de traction était réalisé dans un centre de rééducation : l'ESEAN (Etablissement de Santé pour Enfants et Adolescents de la région Nantaise).

Pour la plupart des enfants, le transfert dans ce centre était réalisé dès le lendemain. La durée totale de traction était de 4 à 6 semaines.

Lors de la prise en charge en centre de rééducation, les patients pouvaient se déplacer à l'aide d'un déambulateur, d'un fauteuil roulant tout en maintenant une traction efficace. Une surveillance clinique quotidienne était réalisée afin de dépister d'éventuelles complications neurologiques (paresthésie, déficit moteur), infectieuses, ou faillite du système de traction. La traction était interrompue en cas d'apparition de complications neurologiques graves. Un resserrage des pointeaux était réalisé toutes les 48 heures afin d'éviter le débricolage du halo.

A la fin de la période de traction, il était réalisé un bilan radiographique (rachis entier de face) afin d'évaluer la correction obtenue au terme du protocole de traction.

C. Arthrodèse vertébrale postérieure

La traction précédait immédiatement l'arthrodèse vertébrale postérieure. La correction chirurgicale par voie postérieure était réalisée sous traction. Lors de l'installation en début d'intervention, la traction était réduite d'environ 25% afin de limiter le risque d'étirement excessif de la moelle épinière. Le halo crânien était retiré en fin d'intervention.

L'arthrodèse vertébrale postérieure utilisait l'instrumentation PASS LP (Medicrea©). Les techniques de réduction des scolioses pouvaient être selon les cas soit le cintrage in situ ou la

réduction translation (ST2R). L'ensemble des instrumentations ont été réalisées sous contrôle continu des potentiels évoqués moteurs. Deux opérateurs ont réalisé les interventions.

D. Objectif de l'étude

L'objectif principal de notre étude était d'évaluer l'effet de la traction par halo crânien chez les enfants ayant une scoliose idiopathique en préopératoire de la chirurgie vertébrale de correction dans le plan frontal et sagittal.

Nos critères de jugement principaux étaient :

- Le pourcentage de correction de l'angle de Cobb

- L'angle claviculaire

- La lordose lombaire résiduelle

- Le rapport de Barrey

L'objectif secondaire était d'évaluer la sécurité de la traction par halo crânien. Le critère de jugement était le taux de complications en lien avec la traction.

E. Description de la série

Après l'analyse des dossiers cliniques papiers et informatiques grâce aux logiciels Millenium © et Clinicom © de chaque patient, plusieurs types de données cliniques et para cliniques ont été recueillies :

1. Données relatives à la population

- Le poids

- La taille préopératoire et postopératoire définissant le gain de taille

- La date de naissance et l'âge lors de l'intervention
- La date de l'intervention
- Le sexe

2. Données relatives à la scoliose

- L'étiologie
- La date de début du suivi
- L'historique du traitement
- L'IRM préopératoire

3. Données relatives à la traction

- La durée
- Le poids
- Le pourcentage du poids du corps
- Le motif de traction
- Le nombre de pointeaux
- Les complications

4. Données relatives à l'arthrodèse vertébrale postérieure

- Le nombre de vertèbres instrumentées
- La vertèbre instrumentée supérieure et inférieure
- Le nombre d'implants
- Le type de matériel
- La méthode de réduction
- Les complications

5. Données radiographiques

Tous les patients ont eu une radiographie de rachis entier en charge de face et de profil selon les recommandations. La position standard debout était définie par un regard horizontal, les bras élevés vers le ciel ou les mains sur les clavicules afin d'éviter la projection de la superposition des bras sur le rachis. Ce bilan radiographique devait être de moins de 3 mois avant l'arthrodèse vertébrale postérieure. En postopératoire, les radiographies étaient réalisées dès que la verticalisation était possible. Enfin, les radiographies étaient renouvelées lors de chaque consultation de contrôle selon le schéma suivant : 3 mois, 1 an, 2 ans, 5 ans puis tous les 3 ans.

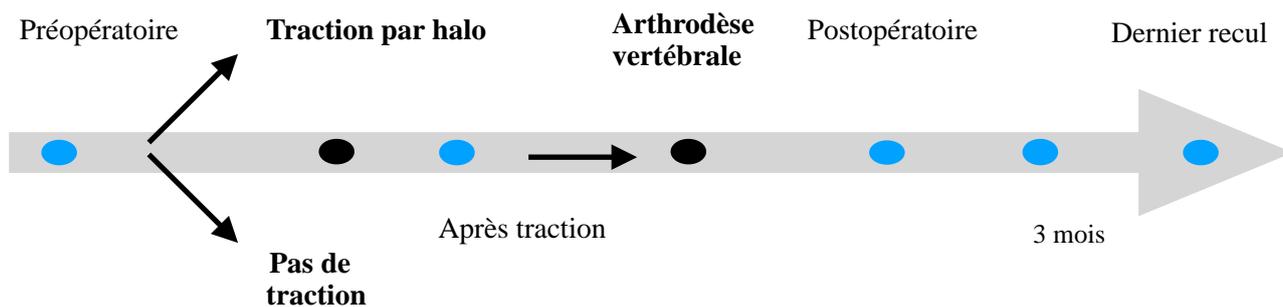


Fig. 26 Schéma d'inclusion des données radiographiques

● : moment où les données radiographiques ont été recueillies dans notre étude.

● : moment important de l'étude

Les radiographies utilisées étaient toutes réalisées à partir du système de radiologie standard. Le CHU de Nantes ne disposant pas du système de radiologie numérisée EOS ; il s'agissait de radiographies non calibrées, ayant rendu le nombre de paramètres interprétables limité.

Les mesures radiographiques ont été réalisées en exploitant les clichés numérisés des télérachis de face en charge, de profil en charge et en « bending » à l'aide du logiciel ORTHOVIEW. L'analyse radiographique comprenait les radiographies avant traction, après traction, après AVP, au dernier recul pour le groupe « traction » - avant AVP, après AVP et au dernier recul pour le groupe « sans traction ».

La totalité des radiographies des patients inclus étaient analysables, en faisant varier au besoin le contraste ou la luminosité afin d'identifier au mieux les repères osseux.

Le dernier recul a été établi pour chaque enfant comme étant la date pour laquelle nous avons les derniers clichés radiographiques.

Chaque radiographie nous a permis de recueillir des données générales et des données plus spécifiques à la scoliose :

- Le stade de Risser

- La fusion ou non du cartilage triradié
- Le type de courbure
- La classification de Lenke
- La réductibilité de la courbure
- La vertèbre limite supérieure, inférieure, neutre, stable, l'apex de la courbure
- Le nombre de vertèbre inclus dans chaque courbure
- La cyphose thoracique, la lordose lombaire
- Les paramètres pelviens

Afin d'étudier l'effet de la traction par halo crânien dans le plan frontal et sagittal, nous avons mesuré d'autres paramètres :

- **Dans le plan frontal**

- L'angle de Cobb de la courbure principale et de la contre courbure
- L'angle claviculaire

Dans le groupe « traction », le pourcentage de correction de l'angle de Cobb après traction a été calculé en utilisant la formule suivante :

(Angle Cobb avant halo - Angle Cobb après halo)

$$\frac{\text{Angle Cobb avant halo} - \text{Angle Cobb après halo}}{\text{Angle Cobb avant halo}} \times 100$$

Cette formule a été utilisée pour la courbure principale et secondaire.

Au recul, nous avons déterminé le pourcentage de correction finale de chaque courbure pour chaque patient selon la formule suivante :

$$\frac{(\text{Angle Cobb préopératoire} - \text{Angle Cobb au recul})}{\text{Angle Cobb préopératoire}} \times 100$$

Nous avons entrepris d'utiliser l'angle claviculaire afin d'analyser l'équilibre des épaules. Nous aurions pu nous contenter de l'aspect global de l'équilibre des épaules mais nous avons préféré utiliser un paramètre afin d'avoir des résultats objectifs. Nous ne pouvions pas utiliser la mesure de la différence de hauteur des coracoides sur les radiographies puisque celles-ci n'étaient pas calibrées. De plus, la différence de hauteur clinique des épaules préopératoire et postopératoire n'était pas renseignée dans les dossiers.

Certains auteurs ont étudié la performance de l'étude de l'angle claviculaire afin d'évaluer l'équilibre des épaules [59] définissant ainsi qu'un angle claviculaire supérieur à 2,5° correspond à une différence de hauteur clinique des épaules supérieure à 10 mm.

Nous savons que 10 mm de différence clinique de hauteur des épaules est le « cut off » afin de distinguer les patients équilibrés et déséquilibrés.

Nous avons pris en compte ces différents seuils afin de distinguer deux groupes de patients :

- Les patients ayant un équilibre des épaules satisfaisant : angle claviculaire inférieur à 2,5° soit une différence de hauteur clinique des épaules < 10 mm.
- Les patients ayant un déséquilibre des épaules : angle claviculaire supérieur à 2,5° soit une différence de hauteur clinique des épaules supérieure à 10 mm.

Nos résultats sont présentés en proportion et nombre de patients ayant un équilibre ou déséquilibre des épaules pour chaque groupe.

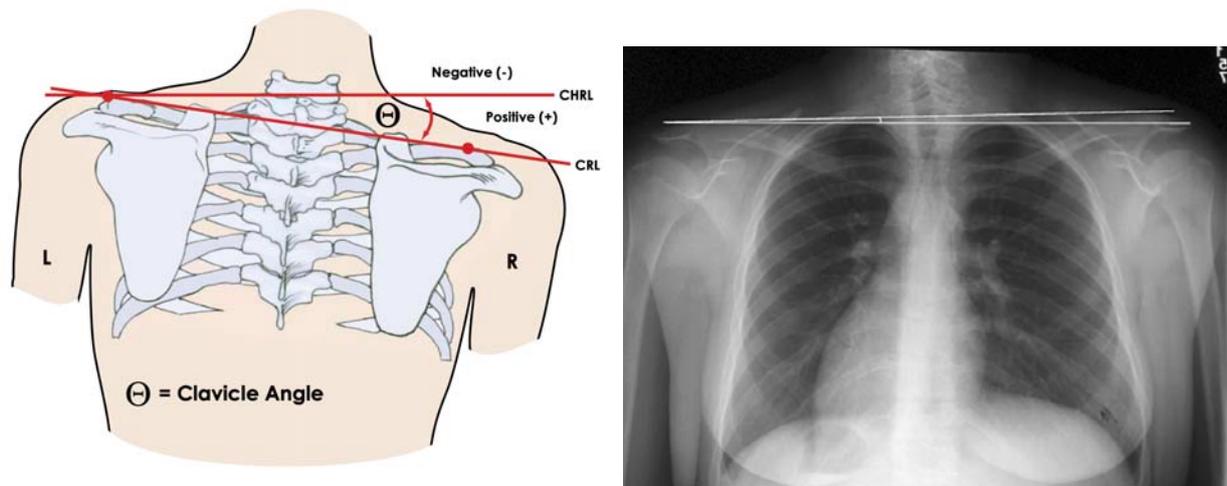


Fig. 27, 28 Mesure de l'angle claviculaire

Nous avons également étudié le résultat de l'AVP en évaluant la présence ou non d'un Adding On en mesurant :

- L'angle du premier disque sous l'instrumentation

L'Adding On était défini par une détérioration postopératoire de la courbure sous l'instrumentation :

- Augmentation de l'angle de Cobb de la courbure lombaire
- Et/ou augmentation du nombre de vertèbres inclus dans la courbure
- Augmentation de l'angle du premier disque intervertébral non instrumenté $> 5^\circ$

- **Dans le plan sagittal**

- L'Angle de Cobb
- La lordose lombaire résiduelle
- Le rapport de Barrey

L'angle de Cobb sagittal n'a pas pu être mesuré après traction en raison de l'absence de radiographies de profil pour une proportion importante de patients. Nous avons ainsi choisi de garder uniquement le Cobb sagittal avant traction, avant AVP, après AVP et au dernier recul.

Pour rappel, la mesure de la C7PL n'était pas réalisable dans notre étude du fait de l'absence de radiographies calibrées. Nous avons donc dû analyser des paramètres pouvant être comparés entre les différentes modalités radiographiques.

Après étude de littérature, nous avons choisi d'évaluer l'équilibre sagittal à travers la lordose lombaire résiduelle et le rapport de Barrey.

La lordose lombaire résiduelle (LLR) correspond à la différence, en degré et en valeur absolue, entre la lordose lombaire mesurée et la lordose lombaire théorique (LLT). La LLT correspond à la LL idéale afin d'obtenir un bon équilibre global du rachis dans le plan sagittal. Elle peut être calculée selon la formule de corrélation suivante utilisant l'IP [32] :

$$(0,5919 \times IP) + 29,461$$

Nous avons calculé pour chaque patient la LLT et la LLR en pré et postopératoire. Un bon équilibre sagittal était défini par une LLR inférieure à 10°. Cette LLR a été interprétée sous le terme d' « équilibre S1 ». Ainsi, nous avons distingué les patients de façon binaire en équilibrés ou déséquilibrés selon la LLR.

Le rapport de Barrey est un ratio entre la distance reliant la ligne verticale passant par le coin postéro-supérieur de S1 à la C7PL (SVA) et la distance reliant la ligne verticale passant par le coin postéro-supérieur de S1 au centre des têtes fémorales (SFD) (cf paragraphe II.B paramètres sagittaux, figure 29).

Ce rapport de Barrey nous a permis d'évaluer l'alignement sagittal du rachis sur le bassin.

Nous avons interprété le rapport de Barrey de la façon suivante :

- entre 0 et -1 : rachis équilibré
- entre 0 et 1 : rachis légèrement déséquilibré ou en déséquilibre dit « compensé »
- supérieur à 1 : rachis sévèrement déséquilibré.

Nos résultats sont présentés en proportion et nombre de patients équilibrés et déséquilibrés selon la LLR et le rapport de Barrey.

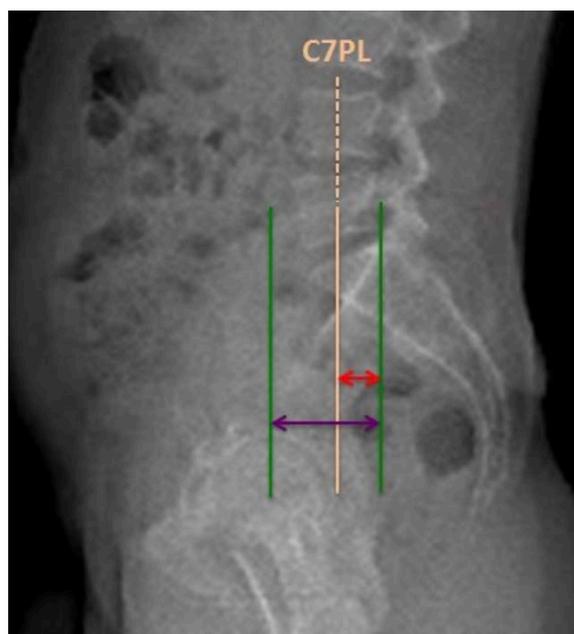


Fig. 29 Rapport de Barrey
SVA / SFD

Nous avons évalué le résultat de l'AVP en mesurant l'angle jonctionnel proximal. La dégradation des niveaux adjacents aux extrémités des montages constitue une des complications de la chirurgie des déformations rachidiennes. Nous avons recherché la présence ou non d'une cyphose jonctionnelle proximale (CJP). La CJP était définie par un angle jonctionnel proximal supérieur ou égal à 10° associé à une majoration d'au moins 10° par rapport à la valeur préopératoire (figure 30).

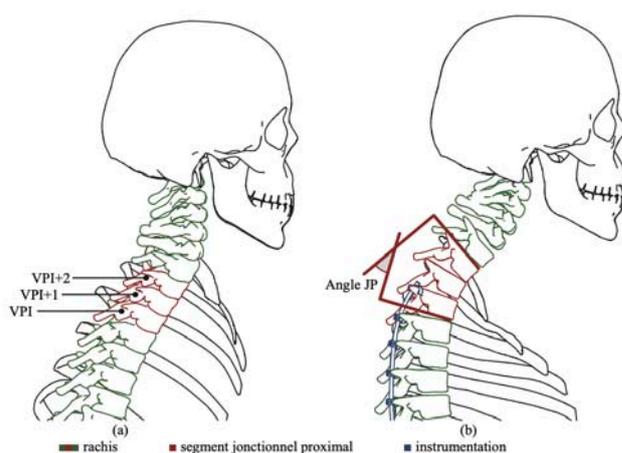


Fig. 30 Mesure de l'angle jonctionnel proximal

F. Principe de l'analyse

Dans un premier temps, nous avons comparé de façon globale les deux groupes « traction » et « sans traction » aux différents temps (préopératoire, après traction, après AVP et au dernier recul) pour chacun des paramètres cités ci-dessus. Au sein de chaque groupe, une analyse longitudinale permettait de suivre l'évolution des paramètres aux différents temps.

La présence d'une cavité syringomyélique constitue dans notre unité une indication à une traction préopératoire par halo crânien. Nous avons donc cherché à savoir si la présence de cette cavité modifiait les résultats obtenus.

La subdivision du groupe « traction » selon l'angle de Cobb avait pour objectif de vérifier le principe biomécanique de la traction par halo crânien.

Enfin, nous avons voulu analyser l'influence du type d'instrumentation sur l'équilibre sagittal (montage unique par vis pédiculaires ou montage hybride associant vis pédiculaires et crochets pédiculotransversaires). Nous avons ainsi cherché à savoir si la restauration de la cyphose thoracique physiologique était différente selon le type d'implants. Ainsi, nous avons analysé pour chaque patient le nombre et le type d'implants utilisés pour l'AVP et étudié la correction de la cyphose thoracique en postopératoire.

G. Méthodologie statistique

Les paramètres qualitatifs ont été décrits par la fréquence et le pourcentage. Les paramètres quantitatifs ont été exprimés en terme de moyenne et de déviation standard.

Pour comparer un paramètre quantitatif entre les deux groupes, le test de Mann Whitney a été utilisé. Pour comparer un paramètre quantitatif à deux moments différents au sein d'un même groupe, il a été réalisé un test des rangs signés de Wilcoxon.

Il a été utilisé un test exact de Fisher afin de comparer des données qualitatives nominales au sein d'un même groupe.

Le niveau de significativité a été fixé à 5 %. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel StatPlus (StatPlus version 7).

VI. Résultats

A. Résultats descriptifs

1. Inclusion

Un total de 73 patients ont été identifiés comme ayant eu une traction par halo crânien pour prise en charge d'une scoliose. Quarante huit ont été exclus en raison d'une scoliose non idiopathique. Après exclusion des dossiers incomplets (4 patients), nous avons inclus 42 patients dans cette étude : 21 patients constituant le groupe « traction » et 21 patients constituant le groupe « sans traction ».

2. Caractéristiques générales de la population

Les caractéristiques générales de la population sont détaillées dans la figure 31.

		Groupe traction	Groupe sans traction	N = 42	Valeur p
Âge lors de la chirurgie	N Moyenne ± EIQ	21 16,7±1,5	21 15,4±1,2	42 15 ±1,43	0,175
Sexe	N Filles Garçons	21 15 (71%) 6 (29%)	21 17 (81%) 4 (19%)	42 32 (76%) 10 (24%)	0,178
Poids (kg)	N Moyenne ± EIQ	21 47,8±13,6	21 53,9±8,3	42 50,9±11,6	0,055
Taille préop (cm)	N Moyenne ± EIQ	21 157,5±10,2	21 163,6±5,2	42 160,5±8,6	0,027
Taille postop (cm)	N Moyenne ± EIQ	21 161,5±8,9	21 161,2±21,6	42 163,7±7,8	0,127
Gain de taille (cm)	N Moyenne ± EIQ	21 4±3,2	21 2,40±1,3	42 3,2 ±2,6	0,189

Fig.31 Données démographiques générales

La durée de suivi moyenne des patients dans notre étude était de 30 mois, avec un suivi plus long pour les patients du groupe « traction » (30 mois) en comparaison aux patients du groupe « sans traction » (18,4 mois).

3. Caractéristiques de la traction par halo crânien

Les caractéristiques de la traction par halo crânien sont détaillées dans la figure 32.

N = 21	Age lors de la pose (années)	Durée moyenne (jours)	Poids (Kg)	% PDC	Complications
Moyenne ± EIQ Valeurs extrêmes	14,7 ±1,5 [12 - 18]	42±9,7 [31 - 66]	14,3±2,8 [10 - 18]	30,6 [16,4 - 42,5]	3 (14%)

Fig.32 Données de la traction par halo crânien

Nous rapportons des complications en lien avec le halo crânien pour 3 patients (14 %), il s'agissait :

- D'un débricolage du halo lié à la faillite des pointeaux et à leurs désamarrage de la table externe
- De paresthésies des épaules
- De céphalées importantes et invalidantes.

Les paresthésies ont été résolutive après diminution du poids de 500 grammes jusqu'à disparition de la symptomatologie puis réaugmentation plus progressive. Il en fut de même pour la patiente avec les céphalées.

L'enfant ayant eu un débricolage du halo a du avoir une repose du halo crânien au bloc opératoire.

Aucun enfant n'a eu de complications neurologiques. Aucun protocole de traction n'a été interrompu.

Les indications de traction préopératoire par halo crânien étaient diverses :

- Présence d'une cavité syringomyélique (7 patients)
- Pour ne pas déséquilibrer le rachis dans le plan frontal (2 patients)
- Courbure sévère définie par un angle de Cobb principal supérieur à 80° (10 patients)
- Courbure courte et raide (3 patients).

Chez certains patients, il pouvait y avoir plusieurs caractéristiques justifiant la mise en place d'un halo crânien.

4. Caractéristiques de l'arthrodèse vertébrale postérieure

Les caractéristiques de l'arthrodèse vertébrale postérieure sont détaillées dans la figure 33.

			Groupe traction	Groupe sans traction
Nombre vertèbres instrumentées		Moyenne ± EIQ	14,3 ±1,2	13,9±1,5
Nombre implants	Vis	Moyenne ± EIQ	13,1±5,1	20,5±4,2
	Pinces pédiculo transversaires	Moyenne ± EIQ	6,8±2,7	3,2±2,2
Type de réduction	ST2R	N	18 (86%)	20 (95%)
	Cintrage in situ	N	3 (14%)	1 (5%)
Matériaux	Chrome Cobalt	N	5 (24%)	20 (95%)
	Alliage de titane	N	16 (76%)	1 (5%)
Complications		N	3 (14%)	0

Fig. 33 Caractéristiques de l'arthrodèse vertébrale postérieure

Dans le groupe « traction », trois patients soit 14 % ont eu des complications en lien avec l'arthrodèse vertébrale postérieure. En effet, un patient a eu une rupture du matériel d'ostéosynthèse avec une fracture de tige au niveau de T8 à 2 ans de la chirurgie. Il n'a pas été réalisé de reprise chirurgicale. Le deuxième patient a eu un sepsis sur matériel à 3 ans de l'AVP. Il a été réalisé une reprise chirurgicale avec changement de la totalité des implants et introduction d'une antibiothérapie. Malgré la reprise chirurgicale, il n'y a pas eu de perte de correction.

Enfin, chez un enfant, il a été mis en évidence une pince aorto mésentérique prise en charge médicalement avec mise en place d'une sonde naso gastrique.

Dans le groupe « sans traction », il n'a été retrouvé aucune complication en lien avec l'AVP.

Dans les deux groupes, nous ne rapportons aucune cyphose jonctionnelle proximale ni adding-on au dernier recul.

5. Caractéristiques radiographiques

Le stade de Risser moyen était de 3,2 [0 - 5] dans le groupe « traction » et 3,7 [2 - 5] dans le groupe « sans traction ». Tous les patients sauf un avait des cartilages triradiés fusionnés, le seul patient ayant des cartilages en Y ouvert était dans le groupe « traction ».

Tous les patients avaient réalisé une IRM préopératoire.

Les groupes étaient comparables ($p = 1$) pour la répartition des types de scoliose en fonction de la topographie des courbures. Les deux groupes étaient constitués d'une majorité de scoliose double majeure - 14 dans le groupe « traction », 13 dans le groupe « sans traction ».

La répartition des types de scoliose est représentée dans la figure 34.

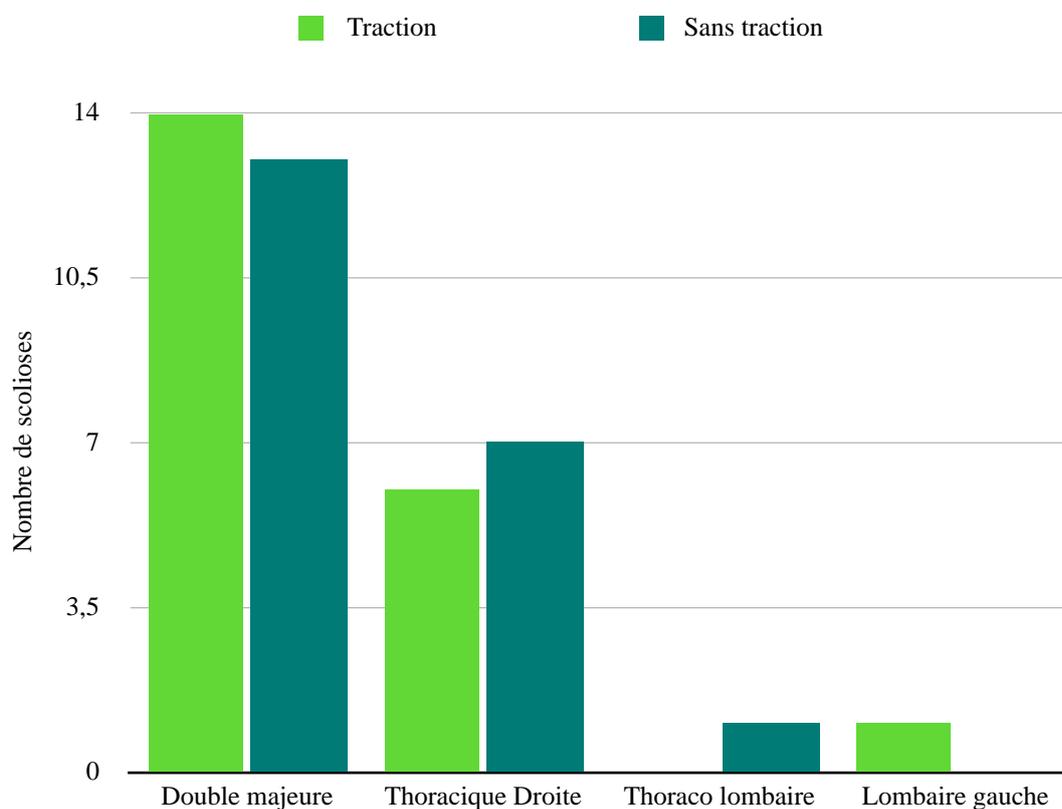


Fig. 34 Répartition des types de scoliose selon les groupes

Les paramètres pelviens étaient comparables pour chaque groupe ; plus particulièrement entre l'IP préopératoire et l'IP postopératoire ($p = 0,373$ et $0,581$).

(a) Angle de Cobb

La moyenne de l'angle de Cobb majeur en préopératoire était de $81,6 \pm 19,6^\circ$ dans le groupe « traction » contre $58,5 \pm 9^\circ$ dans le groupe « sans traction ».

En préopératoire, l'angle de Cobb sagittal moyen était de $25,2 \pm 18,3^\circ$ dans le groupe « traction » et de $25,5 \pm 19,3^\circ$ dans le groupe « sans traction ».

Au recul, l'angle de Cobb majeur était de $39,9 \pm 8,7^\circ$ dans le groupe « traction » et à $21,3 \pm 7^\circ$ dans le groupe « sans traction ».

La figure 35 représente l'évolution de l'angle de Cobb frontal majeur au sein de chaque groupe.

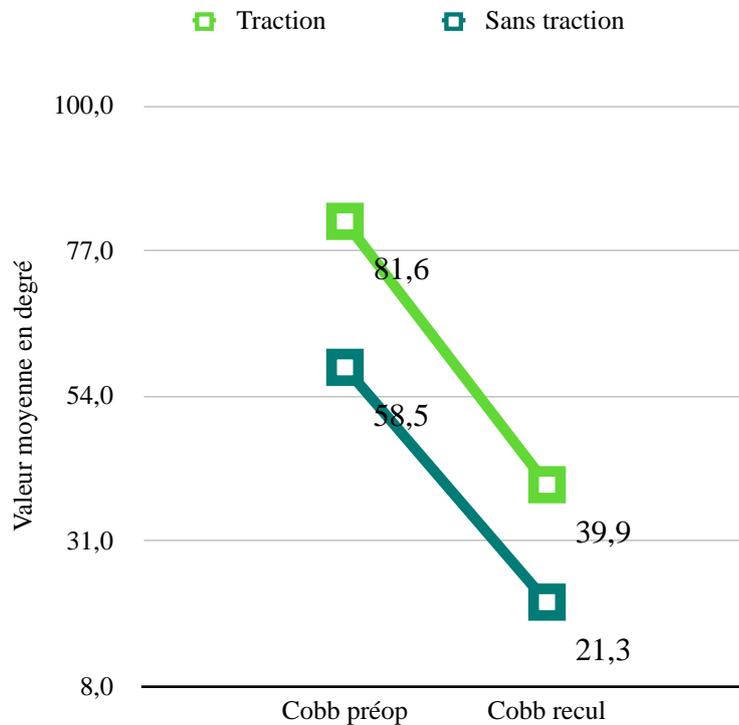


Fig. 35 Evolution de l'angle de Cobb frontal majeur au sein de chaque groupe

Après traction, l'angle de Cobb majeur était amélioré à $53,2 \pm 15,8^\circ$ et à $26,5 \pm 8^\circ$ pour l'angle de Cobb mineur.

- Influence de la présence d'une cavité syringomyélique

Sous groupe « traction avec cavité syringomyélique »

Dix patients avaient une cavité syringomyélique objectivée lors de l'IRM préopératoire : 8 filles et 2 garçons.

Ce groupe était constitué de 6 scolioses doubles majeures, 3 courbures thoraciques droite et une scoliose lombaire gauche.

La durée moyenne de traction était de 44 ± 9 jours. Le poids moyen de la traction était de 13 kilos 850 grammes soit $27,5 \pm 6,9\%$ du poids du corps.

Le gain de taille moyen était de $2,1 \pm 2,2$ cm.

L'angle de Cobb majeur moyen préopératoire était de $70,1 \pm 13,3^\circ$, $45,8 \pm 11,4^\circ$ pour l'angle de Cobb mineur.

Après traction, l'amélioration de l'angle de Cobb majeur était à $48 \pm 13,6^\circ$ et $28,1 \pm 8,6^\circ$ pour l'angle de Cobb mineur.

Au recul, l'angle de Cobb majeur était amélioré à $38,1 \pm 7,3^\circ$ et pour le Cobb mineur $20,6 \pm 7,1^\circ$.

Sous groupe « traction sans cavité syringomyélique »

Ce groupe était constitué de 11 patients : 4 garçons et 7 filles.

Les 11 patients ont eu une IRM préopératoire ne mettant pas en évidence d'anomalies.

Parmi ce groupe, il y avait 8 scolioses doubles majeures et 3 scolioses thoraciques droite.

La durée moyenne de traction était de 39 ± 9 jours. Le poids moyen de la traction était de 14 kilos 800 grammes soit $33,6 \pm 8,2\%$ du poids du corps.

Le gain de taille moyen était de $5,7 \pm 3,2$ cm.

L'angle de Cobb majeur moyen préopératoire était de $92,1 \pm 18,8^\circ$, $44,5 \pm 10^\circ$ pour l'angle de Cobb mineur.

Après le protocole de traction, l'amélioration de l'angle de Cobb majeur était à $58,3 \pm 16,9^\circ$ et $25 \pm 7,6^\circ$ pour l'angle de Cobb mineur .

Au recul, l'angle de Cobb majeur était amélioré à $41,6 \pm 9,9^\circ$ et pour le Cobb mineur $20,2 \pm 9,1^\circ$.

(b) Angle claviculaire

L'angle claviculaire préopératoire était comparable entre les deux groupes ($p = 0,75$).

Dans le groupe « traction », l'angle claviculaire moyen en préopératoire était de $3,4 \pm 2,5^\circ$, celui-ci restait globalement stable à $3,3 \pm 2,7^\circ$ au recul.

Dans le groupe « sans traction », l'angle claviculaire moyen en préopératoire était de $3,8 \pm 2,1^\circ$, celui-ci diminuait à $2 \pm 1,4^\circ$ au recul.

Au recul, l'angle claviculaire moyen était plus bas dans le groupe « sans traction ».

L'évolution de l'angle claviculaire est représentée sur la figure 36.



Fig. 36 Evolution de l'angle claviculaire au sein de chaque groupe

(c) LLR

Un rachis équilibré était défini par une LLR inférieure à 10°.

Dans notre étude, la LLR diminuait dans les deux groupes (figure 37). Pour les deux groupes en préopératoire, le rachis était globalement déséquilibré avec une LLR supérieure à 10°. Au recul, au sein des deux groupes, la LLR moyenne était inférieure à 10°.

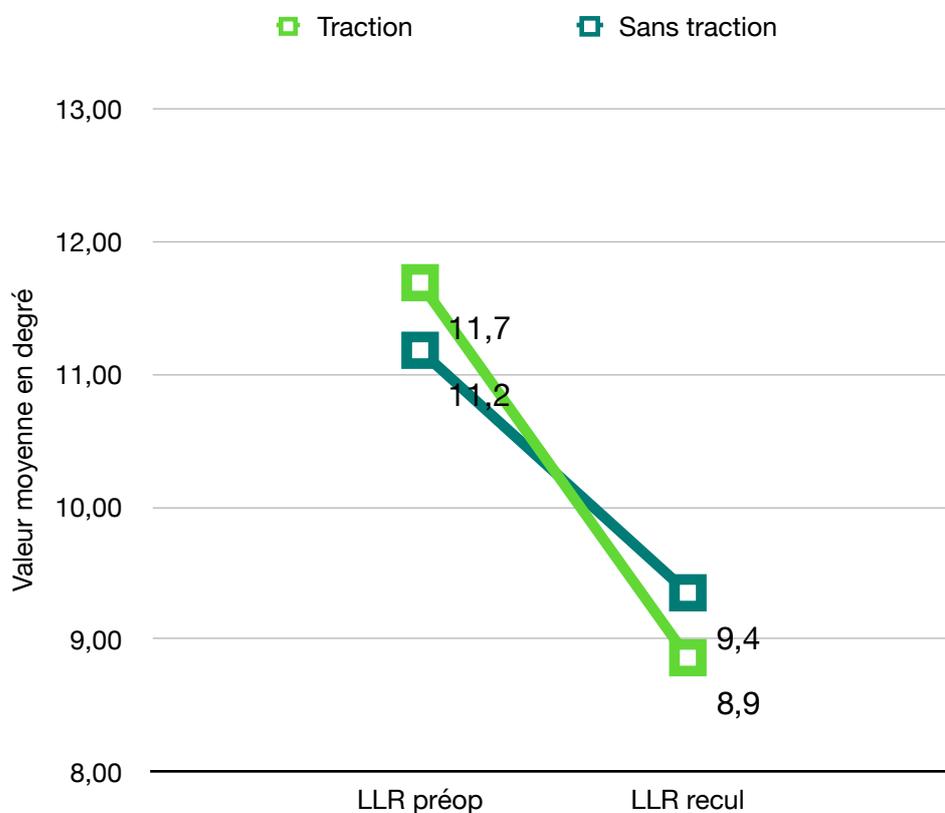


Fig. 37 Evolution de la LLR au sein de chaque groupe

(d) Ratio SVA/SFD

Le rachis était considéré comme équilibré lorsque que ce rapport était négatif.

Groupe « traction »

En préopératoire, 8 patients (38%) avaient un déséquilibre sévère défini par un ratio SVA/SFD > 1. 6 patients (29%) étaient légèrement déséquilibrés et 7 (33%) étaient équilibrés. Après chirurgie, le nombre de patients équilibrés tendait à augmenter de 33 % à 62% (figure 38).

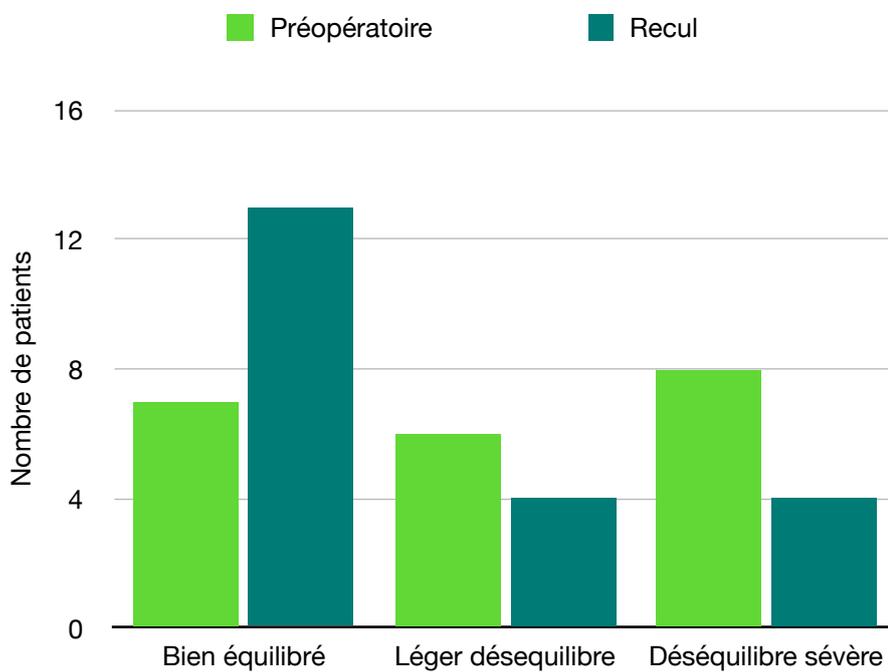


Fig. 38 Représentation de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD avant et après chirurgie dans le groupe « traction »

Groupe « sans traction »

En préopératoire, 10 patients (48%) étaient sévèrement déséquilibrés dans le plan sagittal. Cinq patients (24%) étaient légèrement déséquilibrés et 6 (28%) étaient équilibrés. Après chirurgie, le nombre de patients équilibrés doublait à 12 soit 57% (figure 39).

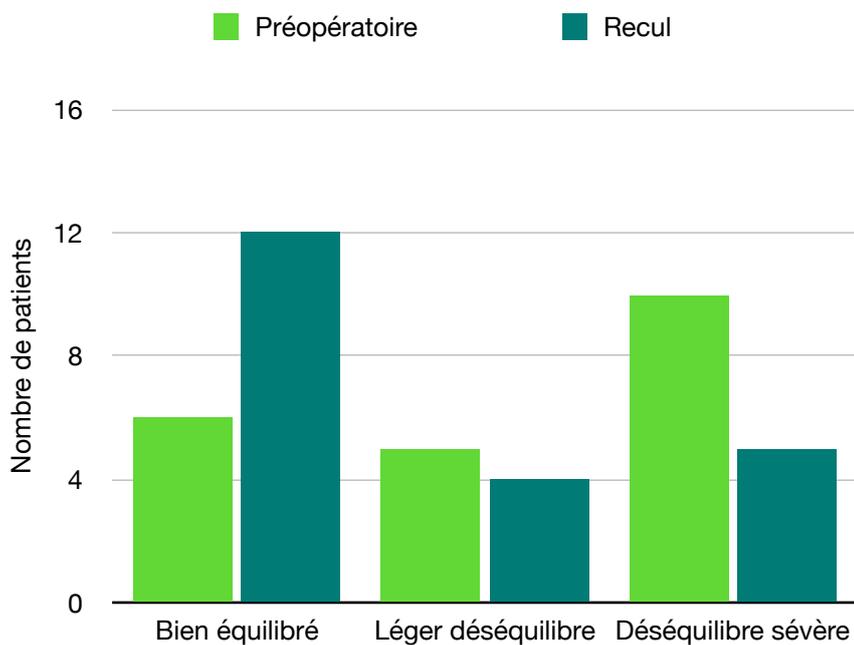


Fig. 39 Représentation de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction »

B. Résultats analytiques

1. Objectif et critère principal de l'étude

(a) Angle de Cobb

L'angle de Cobb de la courbure principale était amélioré au dernier recul par rapport au préopératoire de $50 \pm 8\%$ dans le groupe « traction » contre $63 \pm 11,1\%$ dans le groupe « sans traction ».

Au recul, l'amélioration de l'angle de Cobb sagittal était respectivement dans le groupe « traction » et « sans traction » de $0,71 \pm 1,84\%$ et $1,51\% \pm 4,16\%$.

Les données préopératoires et au recul concernant les angles de Cobb sont représentées dans la figure 40 pour les deux groupes.

	Préopératoire		Recul		% correction	
	Cobb majeur	Cobb mineur	Cobb majeur	Cobb mineur	Cobb majeur	Cobb mineur
Traction (n=21)	$81,6 \pm 19,6^\circ$	$45,1 \pm 10,4^\circ$	$39,9 \pm 8,7^\circ$	$20,4 \pm 8^\circ$	50 ± 8	$53,8 \pm 17,3$
Sans traction (n=21)	$58,5 \pm 9^\circ$	$39,4 \pm 11,7^\circ$	$21,3 \pm 7^\circ$	$18 \pm 8^\circ$	$63 \pm 11,1$	54 ± 14
Valeur p			< 0,001	0,326	< 0,001	1

Fig. 40 Evolution de l'angle de Cobb dans les deux groupes

- Réponse à la traction par halo crânien

Après traction, l'angle de Cobb majeur était amélioré de $33,9 \pm 14,7$ % et $38,4 \pm 19,5$ % pour l'angle de Cobb mineur. En comparaison avec l'angle de Cobb préopératoire, l'angle de Cobb après traction et au recul était significativement amélioré que celui-ci soit majeur ou mineur.

La figure 41 représente la correction de l'angle de Cobb majeur et mineur dans le groupe « traction ».

		Versus avant traction		Versus après traction	
		% correction	Valeur p	% correction	Valeur p
Angle Cobb majeur					
Avant traction	$81,6 \pm 19,6^\circ$				
Après traction	$53,2 \pm 15,8^\circ$	$33,9 \pm 14,7$	< 0,001		
Au recul	$39,9 \pm 8,7^\circ$	50 ± 8	< 0,001	$22,3 \pm 15,2$	< 0,001
Angle Cobb mineur					
Avant traction	$45,1 \pm 10,4^\circ$				
Après traction	$26,5 \pm 8^\circ$	$38,4 \pm 19,5$	< 0,001		
Au recul	$20,4 \pm 8^\circ$	$53,8 \pm 17,3$	< 0,001	$24,7 \pm 22,3$	< 0,001

Fig. 41 Variations de l'amplitude de la courbure dans le groupe « traction ».

Lorsque l'on comparait le groupe « traction » et « sans traction », nous retrouvons une différence statistiquement significative entre les deux groupes pour l'angle de Cobb majeur au recul ($p < 0,001$). Par contre, il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes pour l'angle de Cobb mineur ($p = 0,326$) ni pour l'angle de Cobb sagittal ($p = 0,488$).

Ces résultats sont résumés dans la figure 42.

		Traction (n = 21)	Sans traction (n = 21)	Valeur p
Préopératoire	Cobb majeur	81,6 ±19,6°	58,5 ±9°	
	Cobb mineur	45,1 ±10,4°	39,4 ±11,7°	
	Cobb sagittal	25,2 ±18,3°	25,5 ±19,3°	
Post traction	Cobb majeur	53,2 ±15,8°	-	
	Cobb mineur	26,5 ±8°	-	
	Cobb sagittal	-	-	
Recul	Cobb majeur	39,9 ±8,7°	21,3 ±7°	< 0,001
	Cobb mineur	20,4 ±8°	18 ±8°	0,326
	Cobb sagittal	25,7 ±13,5°	24,3 ±7,7°	0,488
% correction	Cobb majeur	50 ± 8	63 ±11,1	< 0,001
	Cobb mineur	53,8 ±17,3	54 ±14	1
	Cobb sagittal	0,71 ±1,8	1,51 ±4,1	0,746

Fig. 42 Résumé des résultats pour la correction de l'angle de Cobb

- Influence de la présence d'une cavité syringomyélique

Dans le sous groupe « traction avec cavité syringomyélique », après traction, l'angle de Cobb majeur était amélioré de $30,9 \pm 16,9\%$ et $36,8 \pm 12,2\%$ dans le sous groupe « traction sans cavité syringomyélique ».

La comparaison des deux sous groupes montrait qu'en préopératoire, l'angle de Cobb majeur était significativement plus bas dans le groupe « traction avec cavité syringomyélique ».

L'évolution de l'angle de Cobb au cours du temps dans les deux sous groupes est résumée dans la figure 43.

Le pourcentage de correction de l'angle de Cobb majeur était similaire dans les deux sous groupes 31 % contre 36,8 % après traction ($p = 0,435$).

Au recul, le pourcentage de correction de l'angle de Cobb majeur était significativement plus important dans le sous groupe « sans cavité syringomyélique » ($p = 0,028$).

	Préopératoire		Après traction			Recul		% correction (versus préop)	
	Cobb majeur	Cobb mineur	Cobb majeur	Cobb mineur	% correction (Vs préop) Cobb majeur	Cobb majeur	Cobb mineur	Cobb majeur	Cobb mineur
Avec cavité syringomyélique (n=10)	$70,1 \pm 13,3^\circ$	$45,8 \pm 11,4^\circ$	$48 \pm 13,6^\circ$	$28,1 \pm 8,6^\circ$	$31 \pm 16,9$	$38,1 \pm 7,3^\circ$	$20,6 \pm 7,1^\circ$	$45,5 \pm 4,1$	$53,3 \pm 18,1$
Sans cavité syringomyélique (n=11)	$92,1 \pm 18,8^\circ$	$44,5 \pm 10^\circ$	$58,3 \pm 16,9^\circ$	$25 \pm 7,6^\circ$	$36,8 \pm 12,2$	$41,5 \pm 9,9^\circ$	$20,2 \pm 9,1^\circ$	$54,1 \pm 9,2$	$54,3 \pm 17,5$
Valeur p	0,007	0,742	0,240	0,383	0,435	0,417	0,751	0,028	0,972

Fig. 43 Evolution des paramètres frontaux dans le groupe « traction » en fonction des sous groupes.

- Influence du seuil de l'angle de Cobb

Dans le sous groupe « Cobb supérieur à 80° », la correction du Cobb majeur atteignait après traction une moyenne de 37,6% ($\pm 12,7$) contre 30,1 % (16,1) dans le sous groupe « Cobb inférieur à 80° ».

La correction après traction était plus importante dans le sous groupe « Cobb supérieur à 80° » mais cette différence n'était pas statistiquement significative ($p = 0,247$).

Au recul, la réduction de l'angle de Cobb frontal majeur était de 54,6% ($\pm 8,6$) dans le sous groupe « Cobb supérieur à 80° » contre 44,9% ($\pm 4,1$) dans l'autre sous groupe.

En résumé, l'angle de Cobb était significativement amélioré au recul dans chacun des groupes par comparaison au préopératoire ($p < 0,001$). Néanmoins, nous avons retrouvé une différence statistiquement significative entre les deux groupes uniquement pour l'angle de Cobb majeur au recul avec une amélioration plus importante dans le groupe « sans traction ».

Dans le groupe « traction », l'angle de Cobb majeur était amélioré de $50 \pm 8\%$, $53,8 \pm 17,3 \%$ pour l'angle de Cobb mineur et $0,71 \pm 1,84\%$ pour l'angle de Cobb sagittal.

Dans le groupe « sans traction », l'angle de Cobb majeur était amélioré de $63 \pm 11,1 \%$, $54 \pm 14\%$ pour l'angle de Cobb mineur, $1,51 \pm 4,16\%$ pour l'angle de Cobb sagittal.

Après traction, il n'y avait aucune différence significative de correction du Cobb majeur entre les sous groupes. Cependant, la correction de l'angle de Cobb majeur était significativement plus importante dans le sous groupe « traction sans cavité syringomyélique » au recul.

(b) Angle claviculaire et équilibre des épaules

Il n'y avait pas de différence significative entre l'angle claviculaire avant et après chirurgie dans le groupe « traction » ($p = 0,793$).

La diminution de l'angle claviculaire était statistiquement significative ($p < 0,001$) entre le préopératoire et le recul dans le groupe « sans traction ».

Néanmoins, il n'y avait pas de différence significative concernant l'angle claviculaire au recul entre les deux groupes ($p = 0,149$).

Evaluation de l'équilibre des épaules

Dans le groupe « traction », en préopératoire 14 patients (67%) étaient déséquilibrés, 7 (33%) équilibrés. Après chirurgie, nous avons 48% de patients équilibrés soit 10 patients.

Malgré un angle claviculaire moyen similaire entre le préopératoire et le recul, nous retrouvons une discrète augmentation des patients équilibrés passant de 33 à 48%. Cette augmentation était statistiquement non significative ($p = 0,530$).

L'équilibre des épaules dans le groupe « traction » est représenté sur la figure 44.

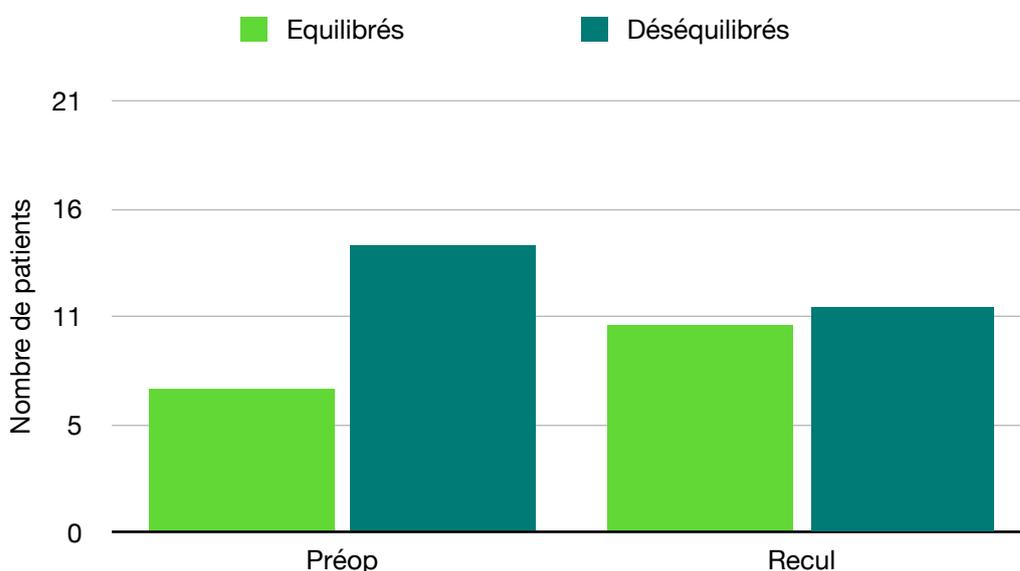


Fig. 44 Représentation de l'équilibre des épaules avant et après chirurgie dans le groupe « traction »

Dans le groupe « sans traction », en préopératoire nous avons 14 patients (67 %) déséquilibrés et 7 (33%) équilibrés. Au recul, nous constatons une amélioration passant de 33 à 76% de patients ayant un équilibre des épaules satisfaisant. Cette augmentation était statistiquement significative ($p = 0,012$).

L'équilibre des épaules dans le groupe « sans traction » est représenté sur la figure 45.

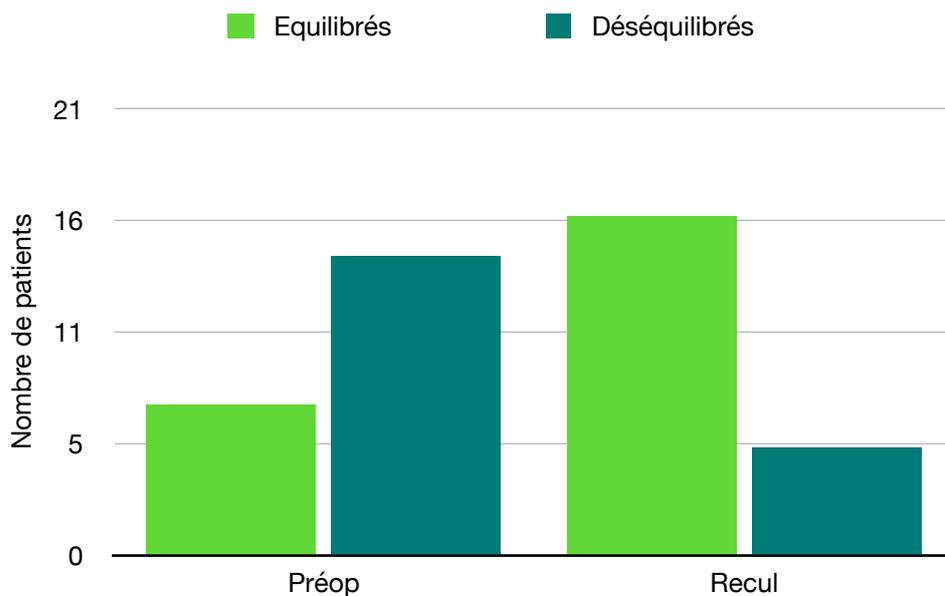


Fig. 45 Représentation de l'équilibre des épaules avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction » $p = 0,012$

Au recul, il y avait une proportion significativement plus élevée de patients équilibrés dans le groupe « sans traction » par rapport au groupe « traction » ($p = 0,004$).

En résumé, l'angle claviculaire n'était pas amélioré dans le groupe « traction ». En effet, l'angle claviculaire était amélioré de façon significative au recul uniquement dans le groupe « sans traction » ($p < 0,001$). Dans le groupe « sans traction », il y avait une amélioration significative ($p = 0,012$) de la proportion de patients ayant un équilibre des épaules au recul ce qui diffère du groupe « traction ».

Il y avait une différence significative au recul entre les deux groupes ($p = 0,004$) avec un meilleur équilibre dans le groupe « sans traction ».

(c) LLR

L'équilibre sagittal selon l'étude de la LLR était modifié après AVP pour les 2 groupes mais pas de manière statistiquement significative. Il n'y avait pas de différence statistique entre les deux groupes, avant ($p = 0,765$) ou après chirurgie ($p = 0,784$).

L'amélioration de la LLR moyenne était plus importante dans le groupe « traction » au recul avec une amélioration de 24% contre 16% dans le groupe « sans traction ».

Groupe « traction »

En préopératoire, 12 patients soit 57% des patients étaient déséquilibrés. Au recul, le nombre de patients ayant un déséquilibre diminuait passant de 57% à 19% (4 patients). La variable LLR était influencée par la chirurgie de manière statistiquement significative ($p = 0,024$).

Plus précisément, 7 patients (33%) restaient équilibrés, 1 patient (5%) restait déséquilibré, 11 (52%) se rééquilibraient et 2 (10%) se déséquilibraient.

La répartition des patients selon l'équilibre sagittal S1 est représentée sur la figure 46.

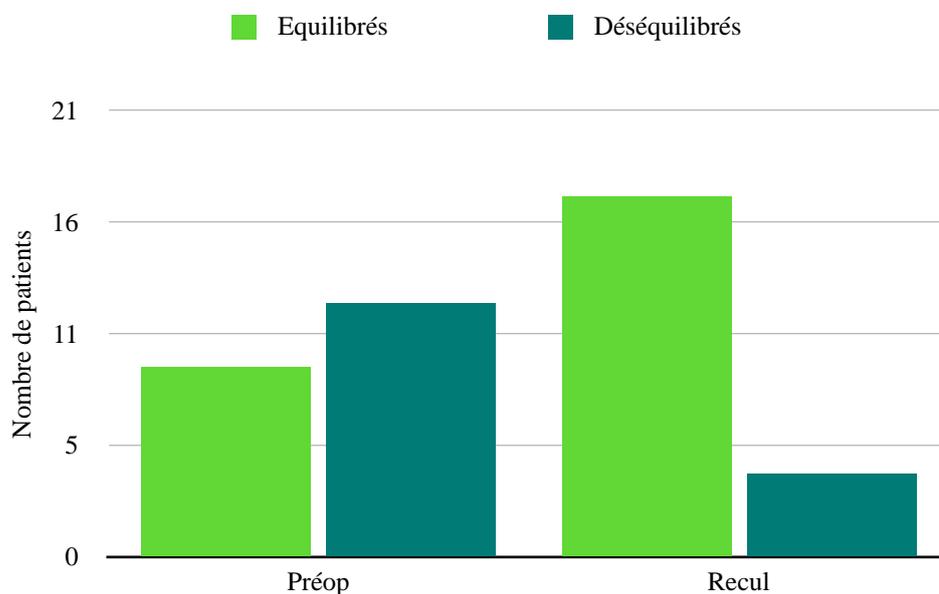


Fig. 46 Représentation de l'équilibre sagittal S1 avant et après chirurgie dans le groupe « traction » $p = 0,024$

Groupe « sans traction »

Soixante deux pour cent des patients étaient équilibrés avant et après chirurgie. La variable LLR ne semblait donc pas influencée par la chirurgie (figure 47).

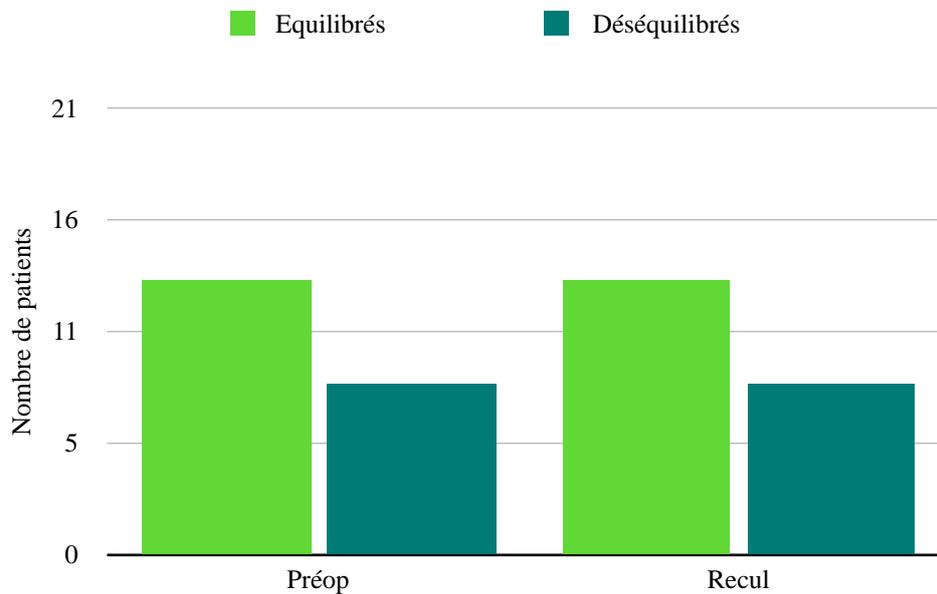


Fig.47 Représentation de l'équilibre sagittal S1 avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction »

De manière plus précise, 11 patients (52%) restaient équilibrés, 6 (28%) restaient déséquilibrés, 2 (10%) se rééquilibraient, 2 (10%) se déséquilibraient.

(d) Ratio SVA/SFD

Dans le groupe « traction », au recul, l'augmentation de patients équilibrés était statistiquement non significative ($p = 0,121$).

Parmi les 7 patients équilibrés en préopératoire, 4 sont restés équilibrés après chirurgie (19%). Parmi les 14 patients déséquilibrés, 9 (43%) se rééquilibraient, 3 patients (14%) se déséquilibraient et 5 restaient déséquilibrés (24%) (figure 48).

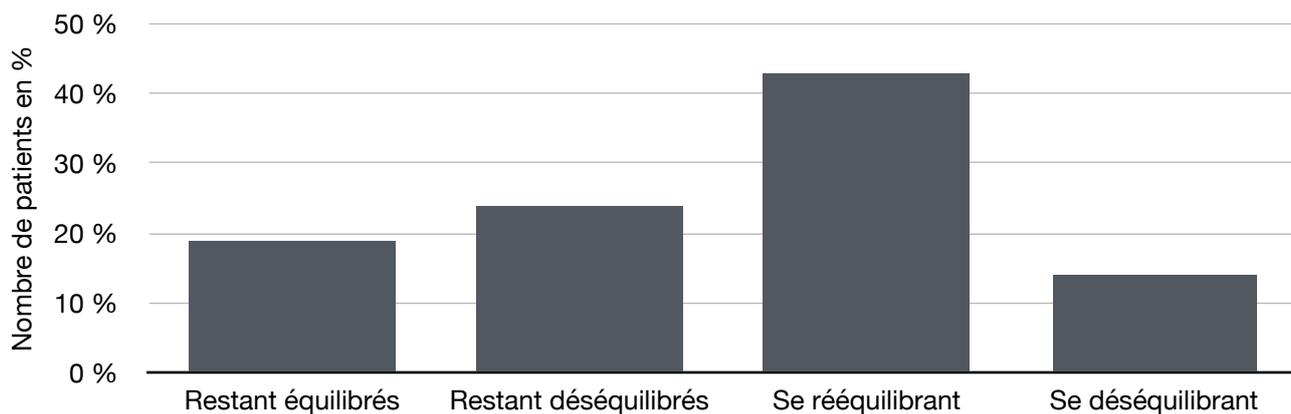


Fig.48 Modification de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD après arthrodesè dans le groupe « traction »

Dans le groupe « sans traction », l'augmentation du nombre de patients équilibrés au recul était statistiquement non significative ($p = 0,118$).

Ainsi, 8 patients se rééquilibraient (38%), 4 restaient équilibrés (19%), 7 restaient déséquilibrés (33%) et 2 se déséquilibraient (10%).

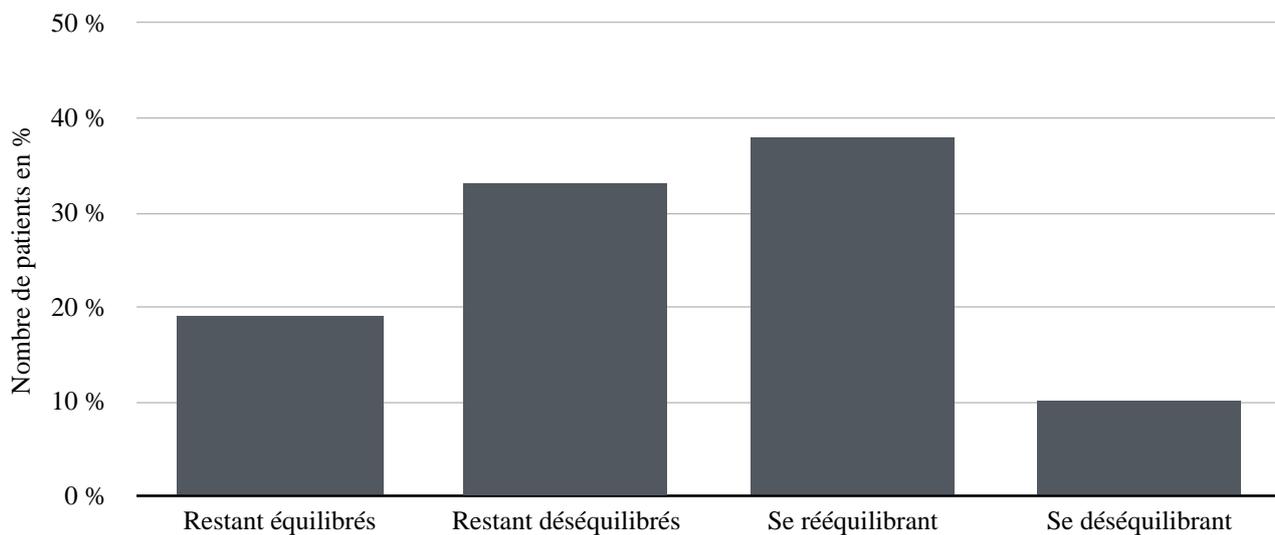


Fig. 49 Modification de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD après arthrodesè dans le groupe « sans traction »

La proportion de patients restant déséquilibrés dans le plan sagittal est plus importante dans le groupe « sans traction » 33% versus 24 %. Cette différence n'est pas statistiquement significative.

La proportion de patients équilibrés doublait dans les deux groupes au recul mais de façon non statistiquement significative.

Enfin, la proportion de patients se rééquilibrant était similaire même si la différence est minime 10% contre 14% ; ce qui donne une différence de 1 patient sur un faible effectif.

Au recul, il n'y avait aucune différence significative en proportion de patients équilibrés entre les 2 groupes.

En résumé, dans le groupe « traction », l'équilibre sagittal au recul était significativement amélioré lors de l'évaluation du paramètre LLR et amélioré de manière non significative après étude du rapport de Barrey.

Dans le groupe « sans traction », au recul, il n'y avait pas d'amélioration de l'équilibre sagittal selon la LLR et une amélioration non significative selon le rapport de Barrey.

Dans le groupe « traction », au recul, 43 à 52% des patients se rééquilibraient, 19 à 33% des patients restaient équilibrés, 5 à 24% restaient déséquilibrés, et 10 à 14% des patients se déséquilibraient.

Dans le groupe « sans traction » au recul, 10 à 38% des patients se rééquilibraient, 19 à 52% restaient équilibrés, 28 à 33% restaient déséquilibrés et 10% se déséquilibraient.

Analyse des échecs de rééquilibration du plan sagittal

Nous avons analysé les paramètres sagittaux des patients en déséquilibre en postopératoire selon le rapport de Barrey pour les deux groupes.

Sur les 42 patients de notre série, 8 sont en déséquilibre antérieur (rapport Barrey > 0) dans le groupe « traction » et 9 dans le groupe « sans traction » en postopératoire.

Nous avons choisi d'analyser ces patients en les considérant comme des échecs de correction dans le plan sagittal.

Les 17 patients déséquilibrés en postopératoire se répartissaient de la façon suivante (figure 50) :

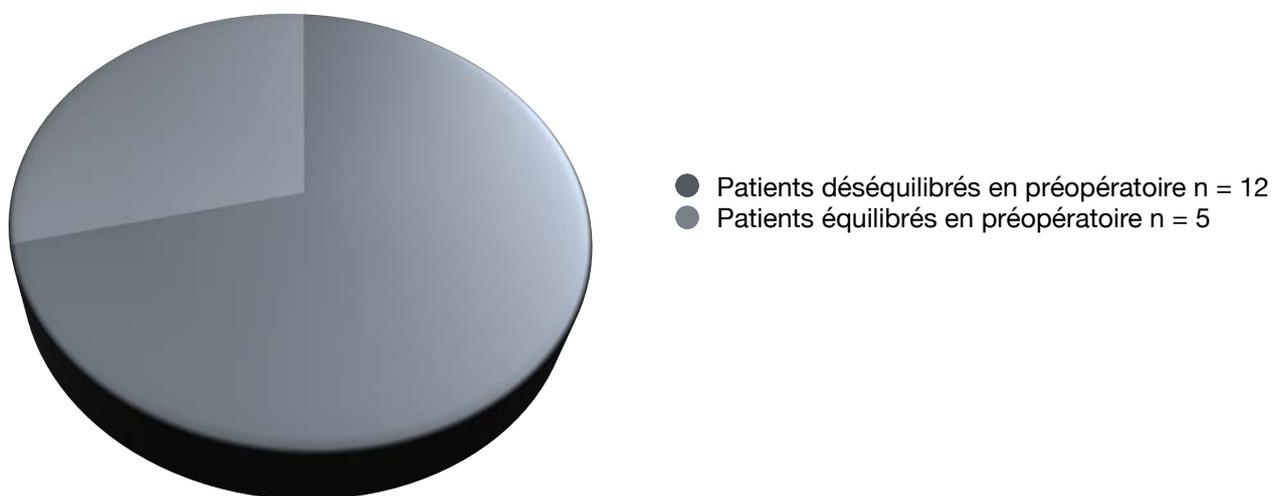


Fig. 50 Patients en déséquilibre antérieur postopératoire. Représentation de l'équilibre préopératoire.

Les 12 patients en déséquilibre antérieur postopératoire étaient tous en situation de déséquilibre antérieur en préopératoire. Pour ces patients, la prise en charge chirurgicale a permis de corriger le plan frontal mais n'a pas permis de restaurer un équilibre global satisfaisant.

Nous avons analysé en détail les 5 patients qui ont été déséquilibrés par la chirurgie (figures 51, 52).

N = 5	IP (°)		VP (°)		PS (°)		CT (°)		LL (°)	
	Préop	Postop								
1	75	75	20	35,5	35	39,5	54	44,5	76	70
2	46	46	9,5	13	36,5	32,5	34,5	37,5	57	54,5
3	50,5	49,5	2	1	42	47,5	32,5	33,5	71,5	44,5
4	68	68,5	14	18,5	54	49,5	16	20,5	66	66,5
5	41	40,5	11,5	19,5	29,5	21	63,5	24,5	60,5	45
Moyenne (°)	56,1	55,9	11,4	17,5	39,4	38	40,1	32,1	66,2	56,1

Fig. 51 Patients déséquilibrés par la prise en charge chirurgicale. Evolution des paramètres sagittaux en préopératoire et en postopératoire.

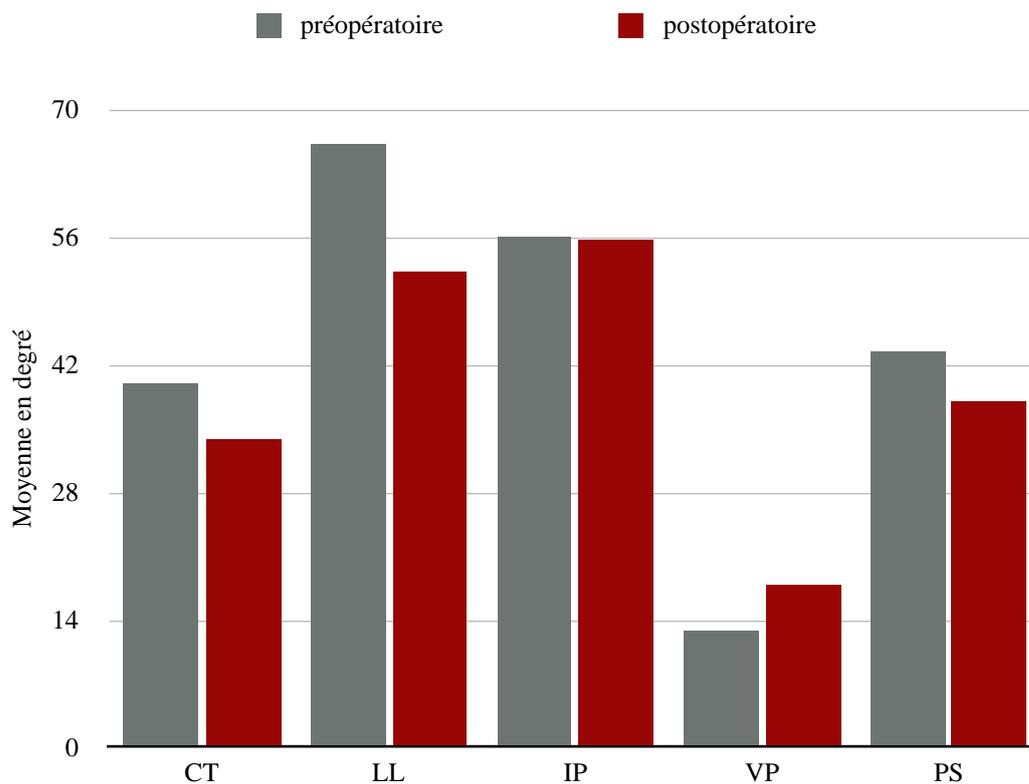


Fig. 52 Patients déséquilibrés par la prise en charge chirurgicale Evolution des paramètres sagittaux (moyenne).

Plusieurs particularités préopératoires de ces patients sont notables : une incidence pelvienne moyenne normale (moyenne $56,1^\circ$), une lordose lombaire élevée ($66,2^\circ$) et une cyphose thoracique normale ($40,1^\circ$).

En postopératoire, il existe une diminution de la CT globale, une diminution de la LL. Concernant les paramètres pelviens, nous retrouvons une augmentation de la version pelvienne engendrant une diminution de l'antéversion du bassin.

Pour les 5 patients, la LL mesurée en postopératoire et au recul est inférieure à la LLT. La cyphose thoracique est restaurée. Ces patients sont déséquilibrés vers l'avant en postopératoire en raison de la restauration d'une CT physiologique imposée par le montage sans correction adaptative de la LL.

Influence du montage sur la correction de la cyphose thoracique

Les montages hybrides associant des vis pédiculaires lombaires et des crochets thoraciques sont réputés pour permettre une correction frontale tout en restaurant la CT physiologique.

Nous avons cherché à savoir si le type de montage avait influencé la correction de la CT.

Dans le groupe « sans traction », nous avons une prédominance d'instrumentation par vis avec une moyenne de 20 vis et de 3 pinces pédiculo transversaire par instrumentation.

Dans le groupe « traction », la proportion de pince pédiculo transversaire était plus importante avec une moyenne de 6 pinces et 13 vis par instrumentation.

Dans le groupe « sans traction », en préopératoire 6 patients avaient une CT normale. En postopératoire, 8 patients avaient une restauration d'une CT physiologique augmentant le nombre de patients ayant une CT normale à 14 patients.

Dans le groupe « traction », en préopératoire 7 patients avaient une CT normale. En postopératoire, 5 patients avaient une restauration d'une CT physiologique.

Nous avons analysé le nombre moyen d'implants et le type d'implants en distinguant les patients selon deux groupes (CT normale et CT anormale).

Dans le groupe de patients n'ayant pas une restauration de la CT physiologique, l'instrumentation était en moyenne constituée de 15 vis et 5 pinces pédiculo transversaires.

Dans le groupe de patients ayant une restauration de la CT physiologique, l'instrumentation était composée de 18 vis et 5 pinces pédiculo transversaires.

Il n'y avait pas de différence significative en terme d'instrumentation pour ces deux groupes ; il s'agissait dans les deux cas de montages hybrides.

2. Objectif et critère secondaire

(a) Sécurité du halo crânien

Le taux faible de complications (14%) dans notre étude en lien avec la pose de halo crânien est un élément important permettant de conclure à une sécurité du protocole lorsque toutes les recommandations sont respectées.

De plus, aucun patient n'a eu de complications neurologiques graves. Nous n'avons rencontré aucun cas où la traction a du être arrêtée de façon prématurée.

Nous ne rapportons également aucun cas d'infection en lien avec le halo.

VII. Discussion

La prise en charge des scolioses idiopathiques sévères de l'enfant constitue un enjeu majeur.

Nos résultats montrent que la traction par halo crânien a sa place dans la prise en charge préopératoire des SI de l'enfant. Le protocole de traction permet une correction angulaire significative et une amélioration de l'équilibre sagittal.

A. Matériels et méthodes

Il s'agit d'une étude rétrospective (niveau de preuve IV) apportant un faible niveau de preuve scientifique et comportant des biais inhérents à toute étude rétrospective.

1. Population

La perte d'information médicale était importante notamment dans les dossiers les plus anciens rendant l'effectif de la population étudiée faible. En effet, pour plusieurs patients nous ne disposions pas de la totalité des clichés radiographiques conduisant à leurs exclusion.

Notre faible effectif dans le groupe « traction » est également liée à la prise en charge plus précoce des scolioses ainsi il y a de moins en moins de patients ayant des critères de traction par halo crânien notamment concernant l'angle de Cobb et la raideur. Il s'agit d'éléments s'aggravant avec l'évolution de la scoliose. Dans la majorité des cas, il s'agit de scolioses non prise en charge ou avec un défaut, rupture de suivi ou de scolioses infantiles ayant échappé au traitement orthopédique.

Notre série n'était pas constituée que de SIA. Nous avons fait le choix d'inclure toutes les scolioses idiopathiques de l'enfant. En effet, 4 patients avaient une scoliose infantile ayant évolué défavorablement avec nécessité de prise en charge chirurgicale lors de l'adolescence. Nous pouvons alors imaginer que cela ait pu influencer nos résultats.

Nous avons fait le choix de conserver les patients même si l'antériorité des traitements pouvait être différente. En effet, certains ont pu avoir un traitement orthopédique par corset ou une chirurgie d'emblée selon le moment de découverte et de prise en charge de la scoliose. Il est donc légitime de se demander si ces traitements ont pu influencer nos résultats.

La constitution d'un groupe contrôle « sans traction », nous a permis d'essayer d'évaluer l'effet du halo crânien.

Afin de pouvoir comparer de façon rigoureuse deux groupes, il aurait été opportun de comparer le groupe « traction » a des patients dont la prise en charge aurait nécessité une traction par halo crânien mais pour lesquels les parents auraient refusé cette prise en charge. Ainsi, la différence entre les deux groupes aurait pu être attribuée exclusivement à la traction par halo crânien.

Malgré les données manquantes, le recueil était homogène.

Le choix de subdiviser le groupe « traction » selon les résultats de l'IRM, selon la valeur de l'angle de Cobb était justifié par plusieurs critères. Dans notre centre, le seuil de 80° est celui retenu par les praticiens parmi les indications de traction préopératoire. Il s'agit d'un seuil subjectif ; nous pouvons retrouver dans la littérature des valeurs différentes avec un seuil de 60° fréquemment retenu [44]. Iyer retenait l'indication de traction pour une courbure supérieure à 70° [8].

Il aurait été intéressant de chercher à savoir si le seuil de 80° était effectivement un seuil au delà duquel il est pertinent de réaliser une traction préopératoire. Néanmoins, comme dans notre centre, nous réalisons une traction préopératoire lorsque l'angle de Cobb est supérieur à 80°, nous n'aurions pas pu réaliser de sous groupe « Cobb supérieur à 80° » dans le groupe « sans traction ». Le seuil de 60° retrouvé parfois dans la littérature nous semble bas. En effet, il nous paraît envisageable d'obtenir une correction satisfaisante de la courbure avec une instrumentation postérieure isolée lorsque la courbure principale est initialement entre 60 et 80° sauf raideur importante. Dans le groupe « sans traction », nous avons neuf patients avec une courbure principale comprise entre 60 et 80° avec de bon résultats au recul. De plus, la traction par halo crânien est contraignante ; il nous paraît donc déraisonnable de la mettre en place pour ce seuil de 60°. Cela constituerait une proportion importante de nos patients au quotidien.

Le recul était différent entre les deux groupes, 30 mois dans le groupe « traction » contre 18,4 mois dans le groupe « sans traction ». Au sein du groupe « sans traction », le recul était plutôt homogène cela diffère du groupe « traction ». En effet, dans ce dernier, le recul le plus court était de 3 mois mais atteignait jusqu'à 72 mois pour le premier patient pris en charge et inclus dans l'étude. L'écart type dans ce groupe était élevé (20,5).

2. Paramètres analysés

La réalisation de radiographies non calibrées au sein de notre centre a limité le nombre de mesures pouvant être réalisées. En effet, avec une calibration nous aurions pu effectuer des mesures plus simples et prenant en compte moins de facteurs comportant moins de risque d'erreurs.

L'ensemble des radiographies ont été réalisées selon une position standardisée afin de permettre la comparaison entre chaque patient. Néanmoins, nous n'avons pas pu éliminer le biais lié au changement de position entre les incidences - biais dont nous nous serions affranchi avec le système EOS réalisant les incidences simultanément.

En pratique, l'obtention de clichés avec une superposition parfaite des têtes fémorales est rare. Ainsi, la difficulté de perception des têtes fémorales a parfois rendu l'interprétation des clichés de profil difficile modifiant ainsi la mesure de l'IP et donc le calcul de la LLT. Néanmoins, nous avons réalisé pour chaque patient la même méthode en excluant les clichés sur lesquels on estimait que la superposition des TF était inférieure à la moitié de la surface en considérant que la mesure des paramètres pelviens en découlant n'était plus fiable. Lorsque la superposition des têtes fémorales n'était pas parfaite, nous avons utilisé le milieu du segment qui relie le centre des deux têtes fémorales comme repère. Il s'agit d'un artifice communément utilisé [60].

La valeur seuil de la LLR retenue dans notre étude était de 10° . Boulay et al. ont défini que le potentiel d'adaptation du rachis est dépassé dès lors que la LLM est supérieure à la LLT $\pm 1,7$ [61]. En prenant en considération une variabilité inter observateur estimée à 5° [6] ; le seuil arbitraire de 10° a ainsi été retenu dans cette étude. Ce choix de valeur seuil est tout à fait critiquable.

Les paramètres pelviens ont été mesurés en postopératoire afin de vérifier l'absence de variabilité de l'incidence pelvienne après AVP comme démontré par La Maida et al. [58]. Nous n'avons pas retrouvé de différence statistiquement significative entre l'IP pré et postopératoire pour les deux groupes. Nous en déduisons donc que la valeur de la LLT était inchangée et que le calcul de la lordose lombaire résiduelle était fiable d'un point de vue statistique.

A travers de nombreuses études, le paramètre radiologique semblant avoir la meilleure corrélation afin de décrire l'équilibre des épaules est l'angle claviculaire [59]. Notre analyse de l'équilibre des épaules à l'aide de cet angle est tout à fait pertinente.

Nous avons choisi $2,5^\circ$ comme valeur seuil afin de distinguer les patients ayant un équilibre ou déséquilibre des épaules. Ce choix est en accord avec les données retrouvées dans la littérature [59]. Dans leur étude, Gotfryd et al. avaient un angle claviculaire moyen de $1,9^\circ$ et $2,7^\circ$ respectivement pour les patients ayant en postopératoire un équilibre et déséquilibre des épaules [62].

Nous avons fait le choix de déduire un équilibre à partir d'une valeur numérique. Il peut s'agir d'un biais car certains patients peuvent avoir une valeur d'angle claviculaire limite mais il s'en dégage néanmoins une tendance permettant une interprétation.

L'utilisation du rapport de Barrey est peu retrouvée dans la littérature au sein de la population pédiatrique. Ce rapport a été beaucoup utilisé dans l'interprétation de l'équilibre sagittal chez l'adulte [25]. Nous savons que les paramètres pelviens évoluent au cours de la croissance jusqu'à la fin de l'adolescence [32]. L'utilisation de ce rapport dans notre étude était rendu possible car la quasi totalité des enfants avaient un cartilage triradié fermé témoin d'une maturation osseuse avancée et de la faible probabilité d'évolution des paramètres pelviens.

L'évaluation de l'équilibre sagittal selon la C7PL ne prend pas en compte le rachis cervical et constitue donc une évaluation incomplète de cet équilibre. Or, nous savons que le segment cervical a une place importante dans la compréhension de l'équilibre sagittal [21].

De plus, il a été démontré que la C7PL n'est pas significativement corrélée à la ligne verticale passant par le centre de gravité [63]. Ainsi, nous pouvons nous demander si l'absence de prise en compte du segment cervical n'a pas influencé nos résultats. Il aurait été plus fiable de prendre comme repère radiologique dans le plan sagittal ; le milieu de la ligne réunissant les conduits auditifs externes. Cependant, la majorité de nos clichés radiographiques ne les visualisaient pas.

3. Protocole de traction

La traction par halo crânien est sûre d'un point de vue neurologique. En effet, nous ne rapportons aucune complications neurologiques graves ; il s'agit là d'un point positif important. La prise en charge en centre de rééducation permettait une surveillance neurologique quotidienne rendant le protocole sécurisé.

Les complications étaient peu fréquentes et bénignes ; avec un taux de 14% (3 patients). Aucune complication n'était liée à une infection. Cela est bien inférieure à la série de Iyer et al. avec 30% de complications exclusivement représentées par des infections [8]. Notre absence de complications infectieuses peut s'expliquer par le respect de la durée de traction préconisée, la prise en charge par une équipe médicale et paramédicale aguerrit à ce protocole permettant une surveillance adéquate. Le seul enfant ayant eu un débricolage du halo crânien était sans doute lié à l'absence de resserrage régulier des pointeaux engendrant des micro mouvements aboutissant à la désadaptation du halo de la table externe de la voute crânienne.

Notre durée moyenne de traction était de 42 ± 9 jours [31-66]. Ce résultat est en accord avec les constatations faites. Il a été démontré qu'à partir de 6 semaines de traction, il y a un effet plateau de la correction de la courbure et qu'une prolongation de la durée de traction n'a pour effet que d'augmenter le risque de complications locales [10].

Cependant, 5 patients ont eu une durée de traction supérieure à 6 semaines mais aucun d'eux n'a développé de complications.

Dans notre unité, la présence d'une cavité syringomyélique, d'une courbure raide, d'un angle de Cobb frontal supérieur à 80° , pour ne pas déséquilibrer le rachis dans le plan frontal constitue des indications de traction préopératoire par halo crânien. Nos indications sont en accord avec les données de la littérature dans la plupart des cas [45]. Davies et al. retenaient l'indication de traction préopératoire pour un angle de Cobb supérieur à 80° ou une cyphose sagittale supérieure à 60° [64]. Les indications les plus communément retrouvées dans la littérature sont un angle de Cobb supérieur à 80° , une courbure raide, un déséquilibre sagittal sévère [45, 64, 65]. La présence d'une cavité syringomyélique est peu citée au sein de la littérature. Néanmoins, nous savons que la traction peut diminuer le risque de complications neurologiques lors de la réduction de la scoliose. Ainsi, cette traction nous paraît être d'indication pertinente en cas de cavité syringomyélique afin de préparer la moelle épinière et de réduire le risque de spasme médullaire lors de la réduction peropératoire de la scoliose.

Comme dans toutes les études, la totalité de nos enfants pouvaient se verticaliser à l'aide de dispositifs tels que les déambulateurs, les fauteuils roulants tout en maintenant une traction efficace [45, 66, 67]. Il s'agit d'un élément important car la majorité de nos patients sont des adolescents autonomes qui n'accepteraient pas ce protocole de traction si la verticalisation n'était pas réalisable.

Dans la plupart des études, la traction représentait entre 30 et 50 % du poids du corps [41, 67]. Dans notre étude, le poids de la traction était de 30,6 % du poids corporel avec une maximale à 42,5 % ; cela n'a pas pour autant affecté la qualité de nos résultats. Ainsi, un objectif de 30% du PDC semble peut être plus raisonnable et mieux toléré par les enfants. Bien évidemment, dans certaines situations, par exemple en cas d'objectif théorique de correction non obtenu le poids de la traction peut être augmenté de façon plus importante jusqu'à 50%.

Notre protocole de traction repose sur 4 pointeaux. Dans de nombreuses études il est mis en place un minimum de 6 pointeaux [45, 57, 68]. Avec un seul cas de débricolage, nous pouvons ainsi en déduire que la mise en place d'un halo crânien à 4 pointeaux est une méthode fiable. Il est important de constituer un système d'ancrage à la table externe qui n'entraîne pas de micro mouvements diminuant ainsi le risque de complications. Cela passe notamment par l'orientation en sens inverse des pointeaux antérieurs et postérieurs.

De plus, notre nombre inférieur de pointeaux peut expliquer notre absence d'infections du site opératoire. En effet, plus nous mettons de pointeaux, plus le risque infectieux local est élevé.

4. Méthodologie statistique

L'analyse statistique a été réalisé sur un nombre suffisant de patients pour être fiable. Chaque test a été choisi afin de répondre aux questions posées de la façon la plus adaptée possible.

Bien évidemment, une étude avec un effectif plus important aurait permis d'obtenir une puissance statistique plus élevée. Il serait donc pertinent de réaliser une étude prospective afin de pouvoir évaluer de manière plus précise les paramètres étudiés.

B. Résultats

1. Résultats descriptifs

Un des points forts de notre étude réside dans le fait que les données démographiques générales (âge, sexe, poids, taille) étaient comparables pour les 2 groupes.

Nos données sont en concordance avec la littérature avec une prédominance de filles [6].

Néanmoins, les groupes n'étaient pas comparables sur tous les points. En effet, dans le groupe « traction », l'angle de Cobb moyen était supérieur et le degré de raideur plus important que dans le groupe « sans traction ».

Dans le sous groupe « traction sans cavité syringomyélique », le gain de taille est plus important que dans le sous groupe « traction avec cavité syringomyélique » 5,7 cm contre 2,1 cm. Cette différence peut s'expliquer par la présence d'une traction plus importante dans le sous groupe sans cavité avec une moyenne de 33,6 % du poids du corps contre 27,5 % du PDC. De plus, l'augmentation de la traction est plus progressive en cas de cavité syringomyélique permettant d'atteindre à peine 30% du poids du corps en fin de protocole. Par contre, la durée moyenne de traction était similaire ainsi la présence d'une cavité syringomyélique ne justifie pas une augmentation de la durée de traction. En effet, même avec un peu moins de 30% du PDC, nous avons obtenu une correction moyenne à la fin du protocole de 30,9 % du Cobb majeur correspondant aux résultats attendus. Se rapprocher de 50% du PDC en cas de cavité syringomyélique risquerait d'augmenter de façon importante les complications neurologiques.

2. Résultats analytiques

Il est retrouvé dans la littérature un objectif de correction de la courbure principale grâce au halo crânien pouvant atteindre 30 à 50% [9, 66]. Nos résultats sont en accord avec une correction du Cobb frontal après traction de $33,9 \pm 14,7\%$ et de $50 \pm 8\%$ au recul. Iyer et al. avaient des résultats similaires avec une amélioration de 36% de la courbure principale après traction ; il en était de même pour Garabekyan et al. avec un taux de correction de 32% [8, 10]. Par contre, au recul nous avons une correction plus importante atteignant jusqu'à 50%. Cette différence de correction peut possiblement s'expliquer par la présence dans leur série de scolioses plus raides [8]. En effet, nous avons uniquement deux enfants ayant une faible réductibilité de leur courbure principale.

Les résultats d'Iyer et al. montrent qu'il serait erreur de penser que plus le poids de la traction est important et la durée prolongée, plus la correction finale sera importante. En effet, ils avaient une durée de traction nettement supérieure à la notre (de 4 à 29 semaines) avec un poids atteignant 50% du PDC mais une correction du Cobb frontal après traction équivalente ($29,5 \pm 10,6\%$ contre $33,9 \pm 14,7\%$ dans notre étude) [8].

Nous avons retrouvé à travers nos deux sous groupes différenciés sur l'angle de Cobb que la correction de cet angle était plus importante dans le sous groupe « Cobb supérieur à 80° ». Ce résultat était attendu et s'explique par les propriétés biomécaniques du halo crânien mise en évidence par White et Panjabi [39].

La correction angulaire de la courbure principale était plus importante dans le groupe « sans traction » 63% contre 50%. Bien que l'angle de Cobb moyen préopératoire était plus élevé dans le groupe « traction » ; nous aurions pu nous attendre à une correction plus importante dans ce groupe. Néanmoins, il faut prendre en compte le paramètre « raideur » qui était plus important dans le groupe « traction » ; paramètre qui conduisait d'ailleurs à instaurer une traction préopératoire pour certains patients.

Même si le taux moyen de correction est plus bas que dans le groupe « traction », la traction a permis d'assouplir le rachis pour certains patients, de préparer la moelle épinière pour d'autres et ainsi d'obtenir une correction plus importante pour ce groupe par rapport à une AVP seule et de diminuer le risque de complications neurologiques.

L'absence de différence significative de correction du Cobb frontal entre les groupes cavité syringomyélique/pas de cavité syringomyélique, après le protocole de traction permet d'en déduire que la présence de celle-ci n'avait pas d'influence sur la correction du Cobb frontal. Néanmoins, il y avait une différence significative entre les sous groupes au recul ($p = 0,028$) témoignant d'une meilleure réduction peropératoire dans le sous groupe « sans cavité syringomyélique ». Ainsi, cette cavité syringomyélique n'influçait pas la réduction sous traction mais par contre influçait la réduction peropératoire. Ce résultat est cohérent ; même après une préparation de la moelle épinière à l'aide de la traction, il est réalisé en cas de cavité syringomyélique, une AVP sans ou avec une faible correction supplémentaire par rapport à celle obtenue à la fin du protocole de traction. Cela est bien différent pour un patient n'ayant pas de cavité syringomyélique où en peropératoire il sera réalisé autant que possible une correction supplémentaire de la correction obtenue par la traction. Bien évidemment, cette différence de stratégie peropératoire s'explique par le risque de complications neurologiques majorées en présence de cette cavité.

Aucune étude n'a évalué les paramètres frontaux en étudiant de façon plus précise les patients ayant une cavité syringomyélique.

L'équilibre des épaules est un des indicateurs majeurs de succès après chirurgie dans la SI. Un choix inapproprié du niveau de fusion peut être iatrogène pour cet équilibre.

De nombreux facteurs contribuent à la satisfaction des patients après chirurgie. Le déséquilibre des épaules constitue une cause importante d'insatisfaction des patients. En effet, il s'agit d'un paramètre esthétique non négligeable dans cette population de patients adolescents. De nombreuses études ont étudié ce paramètre après AVP mais pas avec réalisation d'une traction préopératoire [8].

Il y avait une diminution significative de l'angle claviculaire au recul dans le groupe « sans traction » ($p < 0,001$) ce qui n'était pas le cas pour le groupe « traction ».

Cette amélioration dans le groupe « sans traction » est en accord avec les données trouvées dans la littérature [69]. En effet, Gotfryd et al. avaient une amélioration significative de l'angle claviculaire en postopératoire dans une population de SIA [62].

Il en était de même concernant l'équilibre des épaules avec une amélioration significative dans le groupe « sans traction » passant de 33 à 76% de patients ayant un équilibre satisfaisant des épaules au recul. Nous pouvons donc nous demander légitimement si la traction par halo crânien n'a pas eu un effet néfaste sur l'équilibre des épaules. En effet, la proportion de patients équilibrés est moins importante dans le groupe « traction » (48% contre 76%) avec pourtant une proportion préopératoire semblable. Ainsi, nous pouvons en déduire que la traction par halo crânien ne doit pas être retenue comme indication pour corriger un déséquilibre frontal car celle-ci ne permet pas d'améliorer cet équilibre. A contrario, la traction ne semble pas induire de déséquilibre des épaules même si elle ne l'améliore pas c'est pourquoi, nous retenons parfois dans notre équipe l'indication de traction afin de ne pas déséquilibrer le rachis dans le plan frontal.

L'amélioration de la LLR après chirurgie était un résultat attendu. L'amélioration significative de la LLR au recul uniquement dans le groupe « traction », nous laisse penser que la traction a eu un effet bénéfique sur l'équilibre sagittal. Nous avons également une diminution significative du nombre de patients déséquilibrés uniquement dans le groupe « traction ».

Ces résultats sont plutôt inattendus car nous savons que le halo crânien est réputé pour avoir un effet néfaste sur les courbures sagittales. De plus, le peu d'étude ayant étudié cet équilibre ne montrait pas d'effet de la traction sur l'équilibre sagittal.

Le rapport de Barrey était amélioré dans les deux groupes au recul ; il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes. L'amélioration de ce rapport était plus importante dans le groupe « traction » mais nous ne pouvons pas en déduire si ce résultat est en lien ou non avec la traction. Il peut y avoir une amélioration de l'équilibre sagittal sans lien avec la traction ou au contraire un véritable effet de la traction sur l'équilibre sagittal mais avec un manque de puissance de notre étude.

Nous avons une proportion discrètement plus importante de patients restant déséquilibrés dans le groupe « sans traction » 33% contre 24 % dans le groupe « traction ». A contrario, il y avait une proportion de patients se déséquilibrant plus importante dans le groupe « traction » (14% versus

10%). Il s'agit de faibles pourcentages liés au faible effectif de notre population. Ainsi, il nous est difficile de conclure à une influence négative ou positive du halo crânien sur l'équilibre sagittal concernant l'étude de ce paramètre.

Les 17 patients ayant un déséquilibre sagittal selon le rapport de Barrey en postopératoire ont eu une correction insuffisante de la contre courbure lombaire et de l'hypocyphose thoracique. Cette constatation est en accord avec les résultats de La Maida et al. [58] retrouvant une augmentation de la LL moyenne après chirurgie mais cette valeur était toujours plus basse que la valeur idéale. En effet, la restauration d'une CT suffisante et d'une LL normale sont une condition nécessaire pour maintenir dans le temps un alignement sagittal correct et prévenir la dégénérescence des disques lombaires.

Les 5 patients ayant été déséquilibré par la chirurgie avaient une incidence pelvienne dans la moyenne. Nous aurions pu nous attendre à une faible IP car nous savons que ces patients ont une plus faible capacité de compensation au niveau du bassin notamment de rétroversion. Ces patients sont déséquilibrés vers l'avant en postopératoire en raison d'une correction insuffisante de la LL. En effet, pour les 5 patients nous avons une restauration de la CT physiologique imposée par le montage mais sans adaptation de la LL. La LLM était nettement inférieure à la LLT pour ces 5 patients.

De plus, chez ces 5 patients nous avons une augmentation de la version pelvienne après chirurgie témoin de l'activation de mécanisme de compensation pour essayer de restaurer un équilibre rachidien satisfaisant.

Nous n'avons pas retrouvé de différence en terme de répartition des implants en fonction des patients ayant eu une restauration de la CT physiologique ou non. Cette absence de différence s'explique par le fait que la totalité de nos patients ont eu des montages hybrides associant vis pédiculaires lombaires et crochets thoraciques. Nous savons que les montages hybrides permettent une correction frontale comparable aux autres techniques tout en restaurant la CT physiologique aboutissant à un équilibre sagittal global satisfaisant [70]. Nous aurions sans doute retrouvé une différence en comparant un groupe de patients ayant un montage hybride et un groupe de patients n'ayant pas ce type de montage.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative concernant le nombre de vertèbres instrumentées entre les deux groupes. La traction n'a donc pas influencé le nombre de vertèbres instrumentées.

Au recul, nous avons obtenu une proportion importante de patients équilibrés dans le plan sagittal. Néanmoins, nous ne savons pas si ces patients qui ont un équilibre sagittal satisfaisant vont cliniquement bien.

Il aurait été judicieux de pouvoir corréler nos résultats radiographiques à la qualité de vie des patients. Or, nous n'avons pas évalué l'évolution de la qualité de vie pré et postopératoire. Il y a plusieurs échelles évaluant la qualité de vie mais la Scoliosis Research Society (SRS) a mis au point le seul questionnaire SRS-22 approprié pour les patients ayant une scoliose idiopathique [71]. Ainsi, une évaluation à l'aide de ce questionnaire aurait pu être pertinente.

3. Complications

Les complications de l'AVP étaient plus nombreuses dans le groupe « traction ». Néanmoins, l'effectif de chaque groupe étant faible, ne reflétant pas forcément la réalité statistique.

La cyphose jonctionnelle proximale constitue une des complications de l'instrumentation postérieure pouvant nécessiter une révision chirurgicale. La prévalence de la CJP dans la SIA est très variable selon les études [72].

De nombreux facteurs de risque de CJP ont été identifiés : la dissection proximale des tissus mous postérieurs, la raideur, le type d'implant, le nombre de vertèbres instrumentées, l'équilibre sagittal pré et postopératoire, la thoracoplastie et la qualité osseuse.

La CJP survient dans 82% des cas dans les deux ans postopératoire et continue de se dégrader dans les années suivantes [72].

L'absence de CJP dans notre étude est en accord avec l'étude de Clément et al. retrouvant également aucun cas de CJP [73].

La majorité des patients ayant un recul supérieur à 6 mois, nous pouvons en déduire que le risque neurologique lié au premier type de CJP est écarté. Néanmoins, l'ensemble des patients devront avoir un suivi régulier afin de ne pas méconnaître une CJP de type 2.

Nous pouvons donner plusieurs explications à l'absence de CJP dans notre étude :

- L'utilisation de crochets sur la vertèbre proximale instrumentée (VPI). Il a été démontré que l'instrumentation par vis pédiculaire de la VPI augmente significativement le risque de CJP [72].

En terme de biomécanique, cela s'explique par le fait que les crochets permettent une transition progressive de la raideur entre le segment instrumenté et le segment non instrumenté engendrant des contraintes mécaniques moindres sur le niveau sus jacent à l'instrumentation [74]. La raideur en torsion du couple crochet - VPI est inférieure à celle du couple vis pédiculaire - VPI. Dans notre étude, la totalité des patients ont eu une instrumentation par crochets au niveau de la VPI.

- La mise en place du halo crânien a permis de diminuer les forces de correction appliquées sur les vertèbres lors de l'instrumentation en permettant une correction partielle avant arthrodèse. Watanabe, Maruo et al. ont montré que plus les forces de correction appliquées sur les vertèbres lors de l'instrumentation étaient importantes, plus le risque de CJP augmentait [75, 76].

- La préservation des structures ostéoligamentaires au dessus de l'instrumentation notamment le respect du système ligamentaire interépineux entre la VPI et la vertèbre sus jacente. Pour la totalité de nos patients, l'abord chirurgical s'est arrêté en regard de la VPI. En cas de dissection proximale étendue, il y a une diminution de la force proximale antéro postérieure exerçant un moment d'extension sur le rachis proximal qui contribue à maintenir un équilibre postural.

La diminution de cette force engendre un moment de flexion sagittal augmentant ainsi l'angle jonctionnel proximal et le risque de CJP [77].

La quasi totalité de nos patients avaient une instrumentation avec des tiges en chrome-cobalt ; matériau associé à une moindre perte de correction frontale et sagittale [78]. A contrario, le titane pur a une plasticité importante augmentant le risque de CJP.

La survenue d'une complication infectieuse au décours d'une AVP dans la SI est rare. L'incidence d'une infection du site opératoire dans la SIA se situe entre 0,5 et 6,7% [79, 80].

Dans notre étude, la faible incidence d'infection du site opératoire (2%) montre que les mesures préventives sont bien mise en oeuvre. Nos principales mesures de prévention se situent en peropératoire. En sus de l'antibioprophylaxie, du contrôle de l'environnement (flux laminaire, limitation des entrées et sorties), nous réalisons avant la fermeture du site opératoire, un lavage chirurgical par jet pulsé afin de diminuer le risque de complications infectieuses [81].

Revue de la littérature

L'ensemble de nos résultats concernant la traction : le pourcentage du PDC, la durée de traction et le taux de correction du Cobb majeur sont en accord avec les données de la littérature. Il y a peu de séries composées uniquement de scolioses idiopathiques. La plupart des séries sont constituées de scolioses secondaires [82,83].

A notre connaissance, l'analyse de la littérature ne retrouve pas de publication à propos de l'influence de la traction préopératoire par halo crânien sur l'équilibre sagittal dans la SI de l'enfant. Dans le plan frontal, aucune des études citées ci-dessous, n'a étudié l'angle claviculaire ou l'équilibre des épaules.

	Année	N	Etiologies	Poids traction % PDC	Durée traction (jours)	% correction Cobb frontal	
						Après traction	Au recul
Sink et al. [66]	2001	19	SI, SNM, SC	50		35	46
Rinella et al. [82]	2005	33	SI, SNM, SC	50	84	–	43
Sponseller et al. [83]	2008	53	SI, SNM, SC	50	35	–	62
Watanabe et al. [88]	2010	15	SI, SNM, SC	50	67	27,5	51,3
Bouchoucha et al. [84]	2011	15	SI, SNM, SC	50	64	30	–
Koller et al. [85]	2012	45	SI, SNM, SC	33	30	22	33
Koptan et al. [86]	2012	21	SI	50	14	45	59
Bogunovic et al. [87]	2013	33	SI, SNM, SC	38,5	70	35,3	63
Park et al. [57]	2013	20	SI, SNM, SC	46,5	30	66	–
Garabekyan et al. [10]	2014	21	SI, SNM, SC	50	77	–	43
Nemani et al. [67]	2015	29	SI, SNM, SC	50	107	31	56
Mehrpour et al. [65]	2017	23	SI	40	28	25	50,5
Iyer et al. [8]	2019	30	SI, SC	50	79	29,5	35,9
Welborn et al. [56]	2019	12	SI, SNM, SC	40	–	34	50
Lamont et al. [9]	2019	101	SI, SNM, SC	49,5	82	27	51
Davies et al. [64]	2020	29	SI, SNM, SC	50	42	26	–
Rohozynski et al. [68]	2020	30	SI	50	84	–	57
Notre étude		21	SI	30,6±8	42 ±9,7	33,9 ±14,7	50 ±8

Fig. 53 Revue de la littérature : études portant sur l'effet du halo crânien dans la scoliose de l'enfant

SI : scoliose idiopathique, SNM : scoliose neuro musculaire, SC : scoliose congénitale

Perspectives

Il serait intéressant de réaliser une étude prospective de plus grande ampleur chez les enfants scoliotiques afin d'étudier plus précisément l'effet de la traction par halo crânien. En effet, notre étude suggère un possible effet de la traction sur l'équilibre sagittal ; ces données demandent à être confirmées.

De plus, il serait opportun de pouvoir effectuer les mesures radiographiques en exploitant les données d'un système EOS ; cela nous permettrait d'obtenir des radiographies standardisées, calibrées et ainsi d'analyser un plus grand nombre de paramètres.

Une analyse de la qualité de vie des enfants après AVP semble de plus en plus indispensable.

VIII. Conclusion

Nous avons étudié une population de 42 patients ayant une SI de l'enfant avec réalisation d'une arthrodèse vertébrale postérieure. Nous avons comparé dans cet effectif un groupe ayant eu une traction préopératoire par halo crânien à un groupe n'en ayant pas eu. L'objectif de notre étude était d'analyser l'effet de la traction préopératoire par halo crânien et de savoir si celle-ci avait influencé la correction de la courbure, modifié l'équilibre frontal et sagittal.

Malgré le faible effectif et les biais liés au caractère rétrospectif de cette étude, nous pouvons retenir que :

- La traction préopératoire par halo crânien est une méthode fiable et efficace
- La traction permet une correction de la courbure principale avant chirurgie d'au moins 30%
- La traction permet de réduire le risque de complications neurologiques par préparation de la moelle épinière
- La traction permet d'obtenir une meilleure correction pour un groupe de patients cibles
- Qu'il n'y a pas d'influence significative de la présence d'une cavité syringomyélique sur la réduction obtenue par la traction préopératoire.

De façon inattendue, nous avons retrouvé une amélioration de l'équilibre sagittal dans le groupe ayant eu une traction par halo crânien.

La traction joue un rôle majeur dans la correction de la déformation dans le plan frontal ; la correction du plan sagittal sera principalement réalisée lors de la réduction de la déformation scoliothique en peropératoire de l'AVP.

Au total, il semble donc que la traction par halo crânien permette une amélioration angulaire de la courbure principale, de préparer l'AVP en cas de raideur ou de cavité syringomyélique.

La traction préopératoire par halo crânien fait partie de l'arsenal thérapeutique dans la prise en charge des SI de l'enfant. Ce protocole doit être mis en place dans de bonnes indications et dans une structure adaptée.

IX. Références bibliographiques

- [1] Kleinberg. The operative treatment of scoliosis. Arch Surg. 1922;5(3):631–45. 1922.
- [2] Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, Czaprowski D, Schreiber S, de Mauroy JC, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. Scoliosis Spinal Disord. 2018;13:33.
- [3] Grivas TB, Vasiliadis E, Savvidou O, Mouzakis V, Koufopoulos G. Geographic latitude and prevalence of adolescent idiopathic scoliosis. Stud Health Technol Inform. 2006;123:84–9.
- [4] Weinstein SL, Dolan LA, Spratt KF, Peterson KK, Spoonamore MJ, Ponseti IV. Health and function of patients with untreated idiopathic scoliosis: a 50-year natural history study. JAMA. 5 févr 2003;289(5):559–67.
- [5] Lonstein JE. Scoliosis: surgical versus nonsurgical treatment. Clin Orthop Relat Res. févr 2006;443:248–59.
- [6] Negrini S, Grivas TB, Kotwicki T, Maruyama T, Rigo M, Weiss HR, et al. Why do we treat adolescent idiopathic scoliosis? What we want to obtain and to avoid for our patients. SOSORT 2005 Consensus paper. Scoliosis.
- [7] Nickel VL, Perry J, Garrett A, Heppenstall M. The halo. A spinal skeletal traction fixation device. J Bone Joint Surg Am. oct 1968;50(7):1400–9.
- [8] Iyer S, Duah HO, Wulff I, Osei Tutu H, Mahmud R, Yankey KP, et al. The Use of Halo Gravity Traction in the Treatment of Severe Early Onset Spinal Deformity. Spine. 15 juill 2019;44(14):E841–5.
- [9] LaMont LE, Jo C, Molinari S, Tran D, Caine H, Brown K, et al. Radiographic, Pulmonary, and Clinical Outcomes With Halo Gravity Traction. Spine Deform. 2019;7(1):40–6.
- [10] Garabekyan T, Hosseinzadeh P, Iwinski HJ, Muchow RD, Talwalkar VR, Walker J, et al. The results of preoperative halo-gravity traction in children with severe spinal deformity. J Pediatr Orthop B. janv 2014;23(1):1–5.
- [11] N. Khouri R. Vialle P. Mary C. Marty. Scoliose idiopathique. Stratégie diagnostique, physiopathologie et analyse de la déformation Encyclopédie Médico-Chirurgicale 15-873 (2004).
- [12] Stokes IAF, Burwell RG, Dangerfield PH, IBSE. Biomechanical spinal growth modulation and progressive adolescent scoliosis--a test of the « vicious cycle » pathogenetic hypothesis: summary of an electronic focus group debate of the IBSE. Scoliosis. 18 oct 2006;1:16.
- [13] James J. Classification and prognosis on scoliosis. In : Proceedings of the 1st symposium. Brompton Hospital : Zorab Ped ; 1965.p.11-7.

- [14] Stagnara P, Queneau P. Scolioses évolutives en période de croissance. Rev Chir Orthop 1953 ; 39 : 378-449.
- [15] Cotrel. Traitement des scolioses essentielles. Rev Chir Orthop 1957; 43 : 331-43.
- [16] Harrenstein RJ. Sur la scoliose des nourrissons et jeunes enfants. Revue Orthop., 43 289, (1936).
- [17] James JIP. Two curve patterns in idiopathic structural scoliosis. J Bone Joint Surg Br. août 1951;33-B(3):399-406.
- [18] Mehta MH. The rib-vertebra angle in the early diagnosis between resolving and progressive infantile scoliosis. J Bone Joint Surg Br. mai 1972;54(2):230-43.
- [19] Ponseti IV, Friedman B. Prognosis in idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg Am. avr 1950;32A(2):381-95.
- [20] Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, et al. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. J Bone Joint Surg Am. août 2001;83(8):1169-81.
- [21] Abelin-Genevois K, Sassi D, Verdun S, Roussouly P. Sagittal classification in adolescent idiopathic scoliosis: original description and therapeutic implications. Eur Spine J. 2018;27(9):2192-202.
- [22] Cobb JR. Study of scoliosis. An American Academy of Orthopedic Surgeons instructional course. Lectures 1948 ; 5 : 261-75.
- [23] Carman DL, Browne RH, Birch JG. Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver variation. J Bone Joint Surg Am. mars 1990;72(3):328-33.
- [24] Malfair D, Flemming AK, Dvorak MF, Munk PL, Vertinsky AT, Heran MK, et al. Radiographic evaluation of scoliosis: review. AJR Am J Roentgenol. mars 2010;194(3 Suppl):S8-22.
- [25] Barrey C, Jund J, Nosedo O, Roussouly P. Sagittal balance of the pelvis-spine complex and lumbar degenerative diseases. A comparative study about 85 cases. Eur Spine J. sept 2007;16(9):1459-67.
- [26] Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. Eur Spine J. sept 2011;20 Suppl 5:578-85.
- [27] Berthonnaud E, Dimnet J, Roussouly P, Labelle H. Analysis of the sagittal balance of the spine and pelvis using shape and orientation parameters. J Spinal Disord Tech. févr 2005;18(1):40-7.
- [28] Kuntz C, Levin LS, Ondra SL, Shaffrey CI, Morgan CJ. Neutral upright sagittal spinal

alignment from the occiput to the pelvis in asymptomatic adults: a review and resynthesis of the literature. *J Neurosurg Spine*. févr 2007;6(2):104–12.

[29] Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *E Spine J*. 1 mai 1998;7(2):99–103.

[30] Mac-Thiong J-M, Labelle H, Berthonnaud E, Betz RR, Roussouly P. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. févr 2007;16(2):227–34.

[31] Yu M, Silvestre C, Mouton T, Rachkidi R, Zeng L, Roussouly P. Analysis of the cervical spine sagittal alignment in young idiopathic scoliosis: a morphological classification of 120 cases. *Eur Spine J*. nov 2013;22(11):2372–81.

[32] Mac-Thiong J-M, Labelle H, Roussouly P. Pediatric sagittal alignment. *Eur Spine J*. sept 2011;20 Suppl 5:586–90.

[33] Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, Kandemir U, Alanay A, Alanay Y, et al. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1 janv 2005;30(1):93–100.

[34] Clément J-L, Geoffray A, Yagoubi F, Chau E, Solla F, Oborocianu I, et al. Relationship between thoracic hypokyphosis, lumbar lordosis and sagittal pelvic parameters in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. nov 2013;22(11):2414–20.

[35] Roussouly P, Pinheiro-Franco JL. Biomechanical analysis of the spino-pelvic organization and adaptation in pathology. *Eur Spine J*. sept 2011;20 Suppl 5:609–18.

[36] Fortin C, Grunstein E, Labelle H, Parent S, Ehrmann Feldman D. Trunk imbalance in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine J*. juin 2016;16(6):687–93.

[37] SoFOP : Scoliose idiopathique sous la direction de Accabed F. Sales De Gauzy J édition Sauramps médical. 2016.

[38] Guillaumat M. Evolution à l'âge adulte des scolioses idiopathiques traitées ou non pendant la période de croissance. La scoliose idiopathique de l'enfant et de l'adulte. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. Paris: Elsevier Masson SAS; 2009. pp. 87– 99. In 2009. p 87-99.

[39] White A, Panjabi. Eds. *Clinical Biomechanics of the Spine*. Lippincott, Philadelphia, 1990. 1990.

[40] Cotrel Y, Morel G. [THE ELONGATION-DEROTATION-FLEXION TECHNIC IN THE CORRECTION OF SCOLIOSIS]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. févr 1964;50:59–75.

- [41] Stagnara P. Cranial traction using the « Halo » of Rancho Los Amigos. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* juin 1971;57(4):287–300.
- [42] Pfeiffer U, Hähnel H. [Use of the halo-gravitation-extension in preoperative preparation in severe scoliosis]. *Beitr Orthop Traumatol.* juill 1990;37(7):382–91.
- [43] James JI. Idiopathic scoliosis; the prognosis, diagnosis, and operative indications related to curve patterns and the age at onset. *J Bone Joint Surg Br.* févr 1954;36-B(1):36–49.
- [44] R. Vialle, P. Mary, C. Glorion. *Traitement chirurgical des scolioses idiopathiques.* EMC Techniques Chirurgicales Orthopédie Traumatologie Paris, France: Elsevier Masson SAS; 2006 p 44–194. 2006
- [45] D’Astous JL, Sanders JO. Casting and traction treatment methods for scoliosis. *Orthop Clin North Am.* oct 2007;38(4):477–84, v.
- [46] Yang C, Wang H, Zheng Z, Zhang Z, Wang J, Liu H, et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2017;26(7):1810–6
- [47] Harrington PR. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am.* juin 1962;44-A:591–610.
- [48] Moe JH, Kharrat K, Winter RB, Cummine JL. Harrington instrumentation without fusion plus external orthotic support for the treatment of difficult curvature problems in young children. *Clin Orthop Relat Res.* mai 1984;(185):35–45.
- [49] Sankar WN, Skaggs DL, Yazici M, Johnston CE, Shah SA, Javidan P, et al. Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns. *Spine (Phila Pa 1976).* 1 mai 2011;36(10):806–9.
- [50] Noordeen HM, Shah SA, Elsebaie HB, Garrido E, Farooq N, Al-Mukhtar M, et al. In vivo distraction force and length measurements of growing rods: which factors influence the ability to lengthen? *Spine (Phila Pa 1976).* 15 déc 2011;36(26):2299–303.
- [51] Cotrel Y, Dubousset J, Guillaumat M. New universal instrumentation in spinal surgery. *Clin Orthop Relat Res.* févr 1988;227:10–23.
- [52] Steib J-P, Dumas R, Mitton D, Skalli W. Surgical correction of scoliosis by in situ contouring: a detorsion analysis. *Spine (Phila Pa 1976).* 15 janv 2004;29(2):193–9.
- [53] Clement J-L, Chau E, Kimkpe C, Vallade M-J. Restoration of thoracic kyphosis by posterior instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis: comparative radiographic analysis of two methods of reduction. *Spine (Phila Pa 1976).* 15 juin 2008;33(14):1579–87.

- [54] Tao F, Wang Z, Li M, Pan F, Shi Z, Zhang Y, et al. A comparison of anterior and posterior instrumentation for restoring and retaining sagittal balance in patients with idiopathic adolescent scoliosis. *J Spinal Disord Tech.* août 2012;25(6):303–8.
- [55] Hee H-T, Yu Z-R, Wong H-K. Comparison of segmental pedicle screw instrumentation versus anterior instrumentation in adolescent idiopathic thoracolumbar and lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 15 juin 2007;32(14):1533–42.
- [56] Welborn MC, Krajbich JI, D’Amato C. Use of Magnetic Spinal Growth Rods (MCGR) With and Without Preoperative Halo-gravity Traction (HGT) for the Treatment of Severe Early-onset Scoliosis (EOS). *J Pediatr Orthop.* avr 2019;39(4):e293–7.
- [57] Park DK, Braaksma B, Hammerberg KW, Sturm P. The efficacy of preoperative halo-gravity traction in pediatric spinal deformity the effect of traction duration. *J Spinal Disord Tech.* mai 2013;26(3):146–54.
- [58] La Maida GA, Zottarelli L, Mineo GV, Misaggi B. Sagittal balance in adolescent idiopathic scoliosis: radiographic study of spino-pelvic compensation after surgery. *Eur Spine J.* nov 2013;22 Suppl 6:S859-867.
- [59] Akel I, Pekmezci M, Hayran M, Genc Y, Kocak O, Derman O, et al. Evaluation of shoulder balance in the normal adolescent population and its correlation with radiological parameters. *Eur Spine J.* mars 2008;17(3):348–54.
- [60] Blondel B, Jouve J-L, Panuel M, Adalian P, Solari C, Tropiano P, et al. Étude de la fiabilité des mesures de l’incidence pelvienne dans l’analyse de l’équilibre sagittal du bassin. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l’Appareil Moteur.* 1 juin 2008;94(4):321–6.
- [61] Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J.* avr 2006;15(4):415–22.
- [62] Gotfryd AO, Silber Caffaro MF, Meves R, Avanzi O. Predictors for Postoperative Shoulder Balance in Lenke 1 Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Prospective Cohort Study. *Spine Deform.* janv 2017;5(1):66–71.
- [63] El Fegoun AB, Schwab F, Gamez L, Champain N, Skalli W, Farcy J-P. Center of gravity and radiographic posture analysis: a preliminary review of adult volunteers and adult patients affected by scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1 juill 2005;30(13):1535–40.
- [64] Davies NR, Vasquez Rodriguez V, Remondino RG, Galaretto E, Piantoni L, Rodriguez S, et al.

- Inpatient versus outpatient halo-gravity traction in children with severe spinal deformity. *Spine Deform.* août 2020;8(4):711–5.
- [65] Mehrpour S, Sorbi R, Rezaei R, Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* avr 2017;137(4):457–63.
- [66] Sink EL, Karol LA, Sanders J, Birch JG, Johnston CE, Herring JA. Efficacy of perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis in children. *J Pediatr Orthop.* août 2001;21(4):519–24.
- [67] Nemani VM, Kim HJ, Bjerke-Kroll BT, Yagi M, Sacramento-Dominguez C, Akoto H, et al. Preoperative halo-gravity traction for severe spinal deformities at an SRS-GOP site in West Africa: protocols, complications, and results. *Spine.* 1 févr 2015;40(3):153–61.
- [68] Rohozynskiy VA, Levytskyi AF, Dolianytskyi MM, Benzar IM, Valentyn A, Rohozynskiy, Anatolii F, Levytskyi, Mykola M, Dolianytskyi, Irina M, Benzar. Treatment of severe spinal deformations in children with idiopathic scoliosis using halo Gravity traction. *Wiad Lek.* 2020;73(10):2144–9.
- [69] Matsumoto M, Watanabe K, Kawakami N, Tsuji T, Uno K, Suzuki T, et al. Postoperative shoulder imbalance in Lenke Type 1A adolescent idiopathic scoliosis and related factors. *BMC Musculoskelet Disord.* 5 nov 2014;15:366.
- [70] Ilharreborde B, Vidal C, Skalli W, Mazda K. Sagittal alignment of the cervical spine in adolescent idiopathic scoliosis treated by posteromedial translation. *Eur Spine J.* févr 2013;22(2):330–7.
- [71] Asher MA, Lai SM, Glattes RC, Burton DC, Alanay A, Bago J. Refinement of the SRS-22 Health-Related Quality of Life questionnaire Function domain. *Spine (Phila Pa 1976).* 1 mars 2006;31(5):593–7.
- [72] Kim HJ, Bridwell KH, Lenke LG, Park MS, Song KS, Piyaskulkaew C, et al. Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections. *Spine (Phila Pa 1976).* 20 avr 2014;39(9):E576-580.
- [73] Clément J-L, Chau E, Vallade M-J, Geoffray A. Simultaneous translation on two rods is an effective method for correction of hypokyphosis in AIS: radiographic results of 24 hypokyphotic thoracic scoliosis with 2 years minimum follow-up. *Eur Spine J.* juill 2011;20(7):1149–56.
- [74] Hassanzadeh H, Gupta S, Jain A, El Dafrawy MH, Skolasky RL, Kebaish KM. Type of Anchor at the Proximal Fusion Level Has a Significant Effect on the Incidence of Proximal Junctional

Kyphosis and Outcome in Adults After Long Posterior Spinal Fusion. *Spine Deform.* juill 2013;1(4):299–305.

[75] Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, Kim YJ, Koester L, Hensley M. Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features. *Spine (Phila Pa 1976)*. 15 janv 2010;35(2):138–45.

[76] Maruo K, Ha Y, Inoue S, Samuel S, Okada E, Hu SS, et al. Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1 nov 2013;38(23):E1469-1476.

[77] Cammarata M, Aubin C-É, Wang X, Mac-Thiong J-M. Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables. *Spine (Phila Pa 1976)*. 15 avr 2014;39(8):E500-507.

[78] Khader W, Ahmed E, Trivedi J. Strategies for correcting thoracic hypokyphosis in pedicle screw constructs for scoliosis – A frank review of techniques and current practice. *J Bone Joint Surg Br* (2012) (94B), supp. X153

[79] Bachy M, Bouyer B, Vialle R. Infections after spinal correction and fusion for spinal deformities in childhood and adolescence. *Int Orthop*. févr 2012;36(2):465–9.

[80] Li Y, Glotzbecker M, Hedequist D. Surgical site infection after pediatric spinal deformity surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 9 févr 2012.

[81] Myung KS, Glassman DM, Tolo VT, Skaggs DL. Simple steps to minimize spine infections in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop*. janv 2014;34(1):29–33.

[82] Rinella A, Lenke L, Whitaker C, Kim Y, Park S, Peelle M, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine*. 15 févr 2005;30(4):475–82.

[83] Sponseller PD, Takenaga RK, Newton P, Boachie O, Flynn J, Letko L, et al. The use of traction in the treatment of severe spinal deformity. *Spine*. 1 oct 2008;33(21):2305–9.

[84] Bouchoucha S, Khelifi A, Saied W, Ammar C, Nessib MN, Ben Ghachem M. Progressive correction of severe spinal deformities with halo-gravity traction. *Acta Orthop Belg*. août 2011;77(4):529–34.

[85] Koller H, Zenner J, Gajic V, Meier O, Ferraris L, Hitzl W. The impact of halo-gravity traction on curve rigidity and pulmonary function in the treatment of severe and rigid scoliosis and kyphoscoliosis: a clinical study and narrative review of the literature. *Eur Spine J*. mars 2012;21(3):514–29.

[86] Koptan W, ElMiligui Y. Three-staged correction of severe rigid idiopathic scoliosis using limited halo-gravity traction. *Eur Spine J.* juin 2012;21(6):1091–8.

[87] Bogunovic L, Lenke LG, Bridwell KH, Luhmann SJ. Preoperative Halo-Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: Complications, Radiographic Correction and Changes in Pulmonary Function. *Spine Deform.* janv 2013;1(1):33–9.

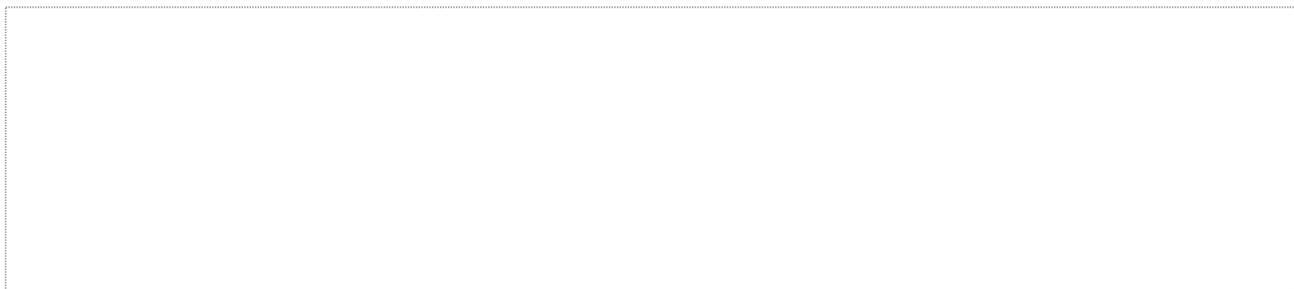
[88] Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, Kim YJ, Hensley M, Koester L. Efficacy of perioperative halo-gravity traction for treatment of severe scoliosis ($\geq 100^\circ$). *J Orthop Sci.* nov 2010;15(6):720–30

Liste des figures

- Fig. 1 Déformation d'une vertèbre thoracique (a) vue antérieure, (b) vue postérieure, (c) vue craniale, (d) vue latérale [45]
- Fig. 2 Classification des scolioses en fonction de l'âge de découverte
- Fig. 3 Classification de Lenke [20]
- Fig. 4 Mesure de l'angle de Cobb [22]
- Fig. 5 Mesure de la gîte frontale
- Fig. 6 Subdivisions des courbures rachidiennes dans le plan sagittal [27]
- Fig. 7,8 Mesure de la C7 plumbliné
- Fig. 8 Ratio de Barrey [25]
- Fig. 9 Mesure des paramètres pelviens
- Fig. 10 Corrélation entre IP et lordose lombaire [30]
- Fig. 11 Mécanismes d'adaptation du bassin selon l'IP
- Fig. 12 Mécanismes de compensation d'un déséquilibre sagittal
- Fig. 13 Classification sagittale selon Abelin [21]
- Fig. 14 Recommandations thérapeutiques selon le pattern de profil sagittal [21]
- Fig. 15 Le Lit Scamnum d'Hippocrate - illustration de Vidus Vidius
- Fig. 16 Le Corcelet de fer d'Ambroise Paré (Les œuvres d'Ambroise Paré. Vingt-troisième livre, chapitre VIII)
- Fig. 17 Cadre d'Abbott
- Fig. 18 Forces de correction induites par un corset 3 points
- Fig. 19. Corset de Cheneau Toulouse Munster
- Fig. 20 Corset hypercorrecteur (CAEN)
- Fig. 21 Positionnement du halo crânien
- Fig. 22 Force d'élongation axiale exercée par le halo crânien
- Fig. 23 Radiographies avec tiges MAGEC®
- Fig. 24 Instrumentation par voie antérieure
- Fig. 25 Diagramme des flux du groupe « traction »
- Fig. 26 Schéma d'inclusion des données radiographiques
- Fig. 27, 28 Mesure de l'angle claviculaire

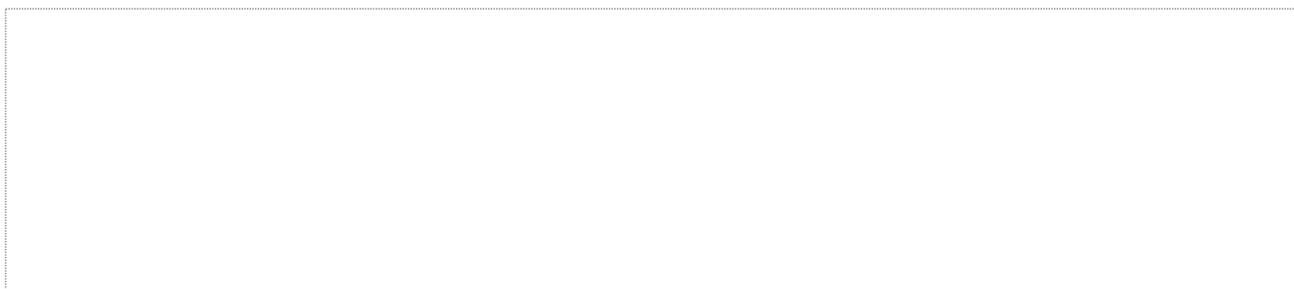
- Fig. 29 Rapport de Barrey
- Fig. 30 Mesure de la cyphose jonctionnelle proximale
- Fig. 31 Données démographiques générales
- Fig. 32 Caractéristiques de la traction par halo crânien
- Fig. 33 Caractéristiques de l'arthrodèse vertébrale postérieure
- Fig. 34 Répartition des types de scolioses selon les groupes
- Fig. 35 Evolution de l'angle de Cobb frontal majeur au sein de chaque groupe
- Fig. 36 Evolution de l'angle claviculaire au sein de chaque groupe
- Fig. 37 Évolution de la LLR au sein de chaque groupe
- Fig. 38 Représentation de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD avant et après chirurgie dans le groupe « traction »
- Fig. 39 Représentation de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction »
- Fig. 40 Evolution des paramètres frontaux dans les deux groupes
- Fig. 41 Variation de l'amplitude des courbures dans le groupe « traction »
- Fig. 42 Résumé des résultats pour la correction de l'angle de Cobb
- Fig. 43 Évolution des paramètres frontaux dans le groupe « traction » en fonction des sous groupes
- Fig. 44 Représentation de l'équilibre des épaules avant et après chirurgie dans le groupe « traction »
- Fig. 45 Représentation de l'équilibre des épaules avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction »
- Fig. 46 Représentation de l'équilibre sagittal S1 avant et après chirurgie dans le groupe « traction »
- Fig. 47 Représentation de l'équilibre sagittal S1 avant et après chirurgie dans le groupe « sans traction »
- Fig. 48 Modifications de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD après arthrodèse dans le groupe « traction »
- Fig. 49 Modifications de l'équilibre sagittal selon le rapport SVA/SFD après arthrodèse dans le groupe « sans traction »
- Fig. 50 Patients en déséquilibre antérieur en postopératoire
- Fig. 51 Patients déséquilibrés par la prise en charge chirurgicale. Évolution des paramètres sagittaux (préopératoire, au recul)
- Fig. 52 Patients déséquilibrés par la prise en charge chirurgicale. Évolution des paramètres sagittaux (moyenne)
- Fig. 53 Revue de la littérature : études portant sur l'effet du halo crânien dans la scoliose de l'enfant

Vu, le Président du Jury,
(tampon et signature)



Titre Prénom NOM

Vu, le Directeur de Thèse,
(tampon et signature)



Titre Prénom NOM

Vu, le Doyen de la Faculté,



Professeur Pascale JOLLIET

NOM : ANDRE

PRENOM : Emilie

Titre de Thèse : Effet de la traction préopératoire par halo crânien dans la scoliose idiopathique de l'enfant. Etude dans le plan frontal et sagittal.

RESUME

Introduction

La traction par halo crânien a été introduite il y a de nombreuses années dans la prise en charge de la scoliose idiopathique de l'enfant. Son efficacité a été démontré sur la correction de la déformation dans le plan frontal ; le plan sagittal a été peu étudié. L'objectif de ce travail était de décrire les modifications dans le plan frontal et sagittal chez l'enfant ayant une scoliose idiopathique pris en charge en préopératoire à l'aide d'une traction par halo crânien.

Matériels et Méthodes

Il s'agit d'une étude rétrospective monocentrique. Au total, 42 enfants ont été inclus : 21 dans le groupe « traction » et 21 dans le groupe « sans traction ». Il s'agissait d'une étude radiographique analysant les paramètres frontaux et sagittaux. L'analyse radiographique a été réalisé à l'aide du logiciel ORTHOVIEW. Dans le plan frontal, nous avons étudié l'angle de Cobb, l'angle claviculaire et l'équilibre des épaules. Dans le plan sagittal, nous avons étudié la cyphose thoracique, la lordose lombaire, les paramètres pelviens, la lordose lombaire résiduelle et le rapport de Barrey.

Résultats

La durée moyenne de traction était de 42 ± 9 jours. Le poids moyen représentait 30,6 % du poids du corps. Dans le groupe « traction », nous rapportons une correction du Cobb frontal majeur après traction de $33,9 \pm 14,7\%$. La présence d'une cavité syringomyélique n'avait pas d'influence significative sur la correction de la déformation après traction. L'équilibre des épaules n'a pas été amélioré par la traction. Il y avait une amélioration significative de la LLR au recul dans le groupe « traction ». Nous avons une amélioration de l'équilibre sagittal selon le rapport de Barrey dans le groupe « traction » mais cette différence n'était pas significative.

Discussion

Cette étude permet d'évaluer l'effet de la traction préopératoire par halo crânien dans la scoliose idiopathique de l'enfant. La traction permet une correction de la déformation angulaire dans le plan frontal tout en diminuant le risque de complications neurologiques. Elle n'améliore pas l'équilibre des épaules. La traction est une méthode thérapeutique fiable et sûre.

MOTS-CLES

Scoliose idiopathique, enfant, traction, halo crânien.