

# **Altération des référentiels posturaux et de l'intégration multisensorielle chez l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.**

## **Revue de littérature.**

A Françoise,

« Je n'ai pas échoué.

J'ai simplement trouvé 10 000 solutions qui ne fonctionnent pas. »

Thomas Edison

# Sommaire

1. Introduction.....	5
2. Méthode.....	7
2.1 Origine des données et recherches.....	7
2.2 Sélection .....	8
2.2.1 Critères d'inclusion.....	8
2.2.2 Critères d'exclusion.....	8
3. Résultats.....	10
3.1 L'entrée vestibulaire en relation avec les autres entrées posturales.....	10
3.2 L'entrée visuelle.....	13
3.3 L'entrée proprioceptive.....	14
3.3.1 Au sujet de la proprioception.....	16
3.3.2 A propos de la VPS.....	17
3.4 L'intégration multisensorielle.....	17
4. Discussion.....	18
4.1 Synthèse des résultats.....	18
4.2 Limitations.....	19
4.3 Ouverture.....	19
4.3.1 Des circonstances favorisantes à l'adolescence.....	17
4.3.2 Des déséquilibres conduisant à la scoliose.....	21
4.3.2.1 De la relation posturologie - chaînes musculaires.....	21
4.3.2.2 De l'asymétrie du corps.....	22
5. Conclusion.....	24

## 1. Introduction

La haute autorité de santé ( HAS ) définit la scoliose idiopathique ( SI ) comme une « déformation structurée du rachis dans les trois plans de l'espace ». La SI associe les mouvements d'inclinaison, d'extension et de rotation. Elle est reconnue depuis 2008 comme une affection de longue durée ( ALD ) lorsque l'angle de Cobb est supérieur ou égal à 25°. Sa reconnaissance en ALD témoigne de son caractère durable voire chronique avec les dépenses de santé qu'elle engendrera tout au long de la vie du patient.

Sa prévalence est de 1 à 3 % chez les 10 - 16 ans, touche plus les filles ( ratio de 3,6 pour 1 ). La SI représente 88% des scolioses et représente la déformation rachidienne la plus fréquente ( Weinstein SL et coll., 2008 ). Ainsi, la scoliose idiopathique de l'adolescent ( SIA ) présente un enjeu majeur de santé publique.

Scoliose vient du grec skolios: tortueux. Comme son nom l'indique, l'étiologie de la SI reste inconnue. Pourtant, des déclencheurs sont évoqués et seraient multiples : altération du contrôle des fonctions hormonales et métaboliques, neuro-sensoriels, biomécaniques ou tissulaires ( Lowe T.G. et coll., 2000 ).

Précisons maintenant les critères d'appréciation des SI. Tout d'abord, on évalue la scoliose grâce à l'angle de Cobb. Celui-ci est formé par les deux vertèbres les plus inclinées aux extrémités de la courbure scoliothique. Deux parallèles sont tracées à partir du plateau de ces vertèbres, l'angle formé par ces droites est l'angle de Cobb

Pour apprécier la maturité osseuse, on utilise l'indice de Risser :

- Risser 0 : absence de cartilage ⇒ immaturité.
- Risser I : cartilage apparu au 1/3 externe.
- Risser II : cartilage apparu au 2/3 externes.
- Risser III : cartilage apparu sur toute la crête iliaque.
- Risser IV : cartilage accolé à la partie interne de la crête iliaque.
- Risser V ( fusion ) : cartilage complètement accolé à la crête iliaque ⇒ maturité = adulte.



Figure 1: Appréciation de la maturité osseuse selon le test de Risser

D'autre part, les stades de Tanner peuvent être utilisés afin d'apprécier la maturation pubertaire.

Stade	Organes génitaux externe de l'homme	Pilosité faciale de l'homme	Pilosité pubienne de l'homme	Pilosité axillaire	Pilosité pubienne de la femme	Développement mammaire	
1		0					Enfance
2		+					Puberté
3		++					
4		+++					Âge adulte
		++++					

Figure 2 : appréciation de la maturité pubertaire selon les stades de Tanner.

De plus, en ce qui concerne l'évolution de la SIA, elle débute avant la puberté. Il existe une aggravation rapide après le début de la puberté : pic de croissance. Plus la scoliose débute tôt, plus l'évolution risque d'être péjorative:

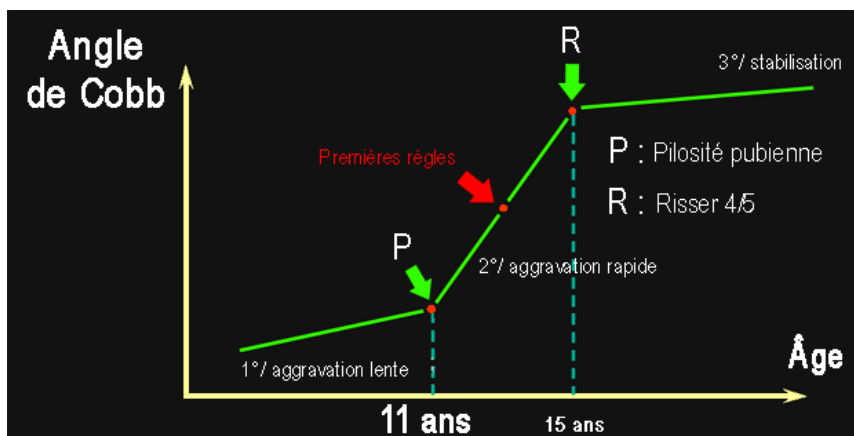


Figure 3 : Loi de Duval-Beaupère (Duval-Beaupère G. et coll, 1988)

Pour finir avec les généralités sur la SI, il existe depuis 2015, une nouvelle classification qui répartit les scolioses indépendamment de l'étiologie et uniquement d'après l'âge, en «early onset» (diagnostic avant l'âge de 10 ans) et «late onset».

Comme il a été dit auparavant, la scoliose est une déformation du rachis dans les 3 plans de l'espace. Le choix du sujet de ce mémoire s'est porté sur le lien entre la scoliose idiopathique, les troubles des référentiels posturaux et de son intégration au niveau du système nerveux central ( SNC ) car la colonne semble être un marqueur de la verticalité, donc d'une régulation de celle-ci. Il est ainsi évident que la SIA présente un modèle postural digne d'intérêt tant en terme d'entrées que de centres de traitement de ces informations posturales. La question posée dans ces pages est de savoir s'il existe véritablement une atteinte des organes de l'équilibre, à savoir le vestibule, la vision et la

proprioception et des structures au niveau du SNC responsables de la bonne intégration multisensorielle.

Un article intéressant pourra servir de trame à ce mémoire. Ainsi, à l'interrogation sur un lien entre la SIA et les désordres d'origine vestibulaire, J-F Catanzariti ( Catanzariti et coll., 2014 ) émettait un doute entre la SIA et les déficiences vestibulaires isolées. Il suggérait d'entrevoir la SIA avec une vision physiopathologique plus globale et une prise en compte des perturbations de l'intégration multisensorielle des entrées vestibulaires, visuelle et somesthésiques.

D'autre part, dans sa discussion, l'auteur introduit la notion de modèle interne pour la SIA. Il compare ainsi les désordres de modèle interne à ceux présent chez le patient en phase de post accident vasculaire cérébral ( AVC ). En citant d'autres auteurs, il relate que la représentation de la verticalité dans la SIA est déficiente en raison des troubles de l'interaction multisensorielle chez ces patients. Il suggère alors que ce seraient les mêmes régions du SNC impliquées chez le patient en phase de post AVC, à savoir le noyau ventro-postéro-latéral du thalamus, la région insulaire et le cortex pariétal. Ceci a été vérifié à l'imagerie avec une diminution d'épaisseur à ces différents niveaux ( Wang et coll., 2012 ).

Enfin, gardons en esprit qu'il est difficile, comme en médecine en règle générale, de dissocier ce qui dépend du vestibule, de la vision, de la proprioception et de l'intégration centrale. Toutes ces entités semblent être étroitement intriquées et il paraît illusoire de concevoir la physiologie d'un organe indépendamment de celle des autres. Cependant, dans un souci didactique, nous avons choisi de séparer le vestibule à proprement parlé, la vision ou plutôt les conséquences visuelles d'origine labyrinthique et la proprioception.

## 2. Méthode

### 2.1 Origine des données et recherches

Nous avons réalisé un croisement de 8 équations de recherche sur le moteur Pubmed : « idiopathic scoliosis » AND vestibul\*, « idiopathic scoliosis » AND vision OR « oculo-motricity », « idiopathic scoliosis » AND propriocepti\*, "idiopathic scoliosis" AND "sensorimotor integration » et pour finir « idiopathic scoliosis » AND « sensory integration ». Cette dernière équation n'ayant donné aucun résultat nouveau, nous avons donc du recourir à d'autres équations pour contourner ce manque: « idiopathic scoliosis » AND SVV et « idiopathic scoliosis » AND SPV ( SVV : subjective visual vertical et SPV: subjective postural vertical ). Il s'agit pour ces deux dernières équations de thèmes bien spécifiques mais qui répondent à notre hypothèse de départ puisque ces deux perceptions de la verticale font intervenir respectivement le système vestibulaire et la proprioception avec la notion d'intégration multisensorielle.

Ensuite, nous avons appliqué un filtre de 10 ans, de 2019 à 2009 afin de réduire le nombre d'occurrences.

Nous avons ainsi obtenu 81 occurrences au total ( avec respectivement 29, 10, et 26 pour les 3 référentiels sus-mentionnés, 5 et 7 pour l'intégration multisensorielle et 1 et 3 pour les verticales subjectives ).

Au total, 15 ont été sélectionnées et 66 exclues.

## 2.2 Sélection

### 2.2.1 Critères d'inclusion

Nous avons recherché des articles en rapport avec les 3 référentiels posturaux ou l'intégration multisensorielle et traitant de l'équilibre et de la posture.

Nous avons sélectionné les études cas-témoins prospectives ou non et les études transversales.

Enfin, nous nous sommes intéressés aux études concernant la posturologie. Pour cela, nous avons tout d'abord lu le titre et exclu certains articles puis nous avons lu le résumé et enfin l'article entier.

### 2.2.2 Critères d'exclusion

Nous avons rejeté les articles suivants: études sans relation avec la posturologie , études concernant les différents traitements de la SI qu'ils soient chirurgicaux, orthopédiques ( par corset ) , par masso-kinésithérapie ( physiotherapy ) ou par podologie, les articles ne concernant pas la bonne population ( expérimentations animales, ne concernant pas la scoliose idiopathique ou l'adolescence, et enfin les formats non valides ( revues systématiques et/ou les méta-analyses).

Deux articles ont été retirés de notre sélection après lecture approfondie de l'étude. Il s'agit de celle de Guyot ( Guyot et coll., 2016 ) car une sélection de groupe a été effectuée en fonction des résultats obtenus. Le biais de constitution des groupes est trop important et influence indéniablement le résultat final. La deuxième étude est celle de Beaulieu ( Beaulieu M. et coll., 2009 ) car les paramètres stabilométriques comparés ne sont pas valides.



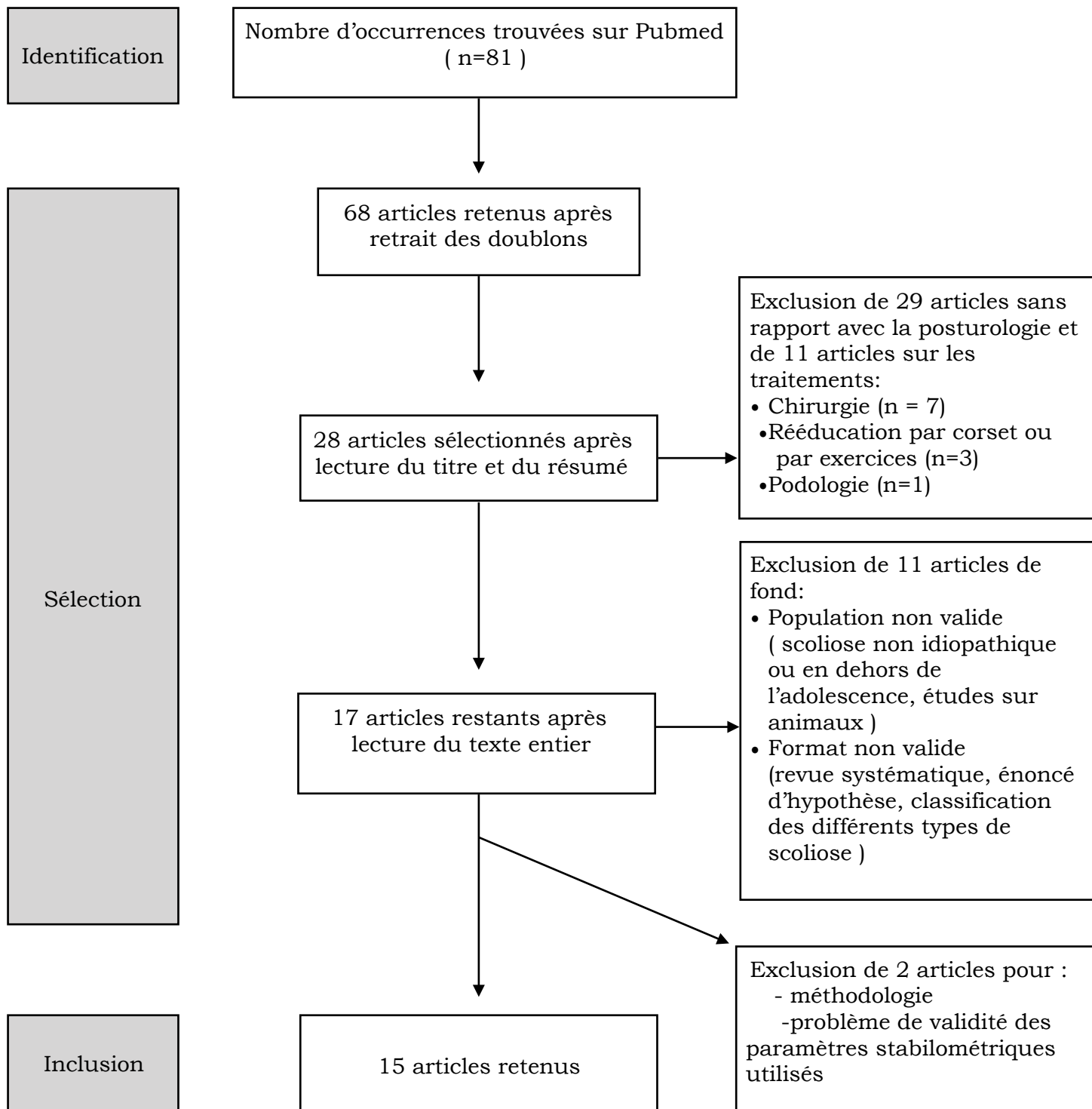


Figure 4: Arbre méthodologique de sélection des articles.

### 3. Résultats.

#### 3.1 L'entrée vestibulaire en relation avec les autres entrées posturales.

Tableau I : études sur le vestibule en lien avec la SIA:

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Sim et coll. 2018 Etude cas-témoin	Analyse quantitative de la stabilité posturale debout des adolescents atteints de scoliose idiopathique par rapport aux systèmes visuel, vestibulaire et somesthésique.	Nsia= 32 Nc = 25 ( Nc= groupe contrôle )	Analyse du signal du centre de pression (Cop) dans le plan antéro-postérieur (AP) à l'aide d'une transformée en ondelettes discrètes (DWT) entre les patients et les témoins.	Le taux d'énergie du signal CoP est significativement plus élevé dans le groupe SIA que dans le groupe témoin aux niveaux correspondant aux systèmes vestibulaire et somesthésique (p < 0,01).  +	-Analyse uniquement dans le plan AP or le vestibule générerait plutôt des déséquilibres latéraux ( et la proprioception des déséquilibres antéro-postérieurs. -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.
Pialasse et coll., oct 2015 Etude cas-témoins	Altération de la capacité des patients atteints de scoliose idiopathique à repondérer l'information sensorielle vestibulaire et proprioceptive.	Nc=16 Nsia légère=20 Nsia sévère=16	Enregistrement du mouvement du haut du corps dans le plan frontal au niveau de C7 suite à une stimulation galvanique lors de la 1ère s avant puis de la 2ème pendant puis 1s après la stimulation	Oscillations 3 fois plus importantes chez les patients scoliotiques. Plus de poids est donné au vestibule dans ce groupe(p=0.02). Le mécanisme de repondération sensorielle est altéré de façon identique quelle que soit la sévérité de la scoliose.  +	-Différence de population dans les 2 groupes scoliotiques.
Hitier et coll. 2015 Etude prospective cas-témoins	Présence d'anomalies morphologiques du vestibule (CSC latéral) responsables de la SIA.	nsia=18 nc=9 Filles et garçons de 10-18 ans  Angle de Cobb entre 10 et 50°	-Mesures par IRM de l'orientation du canal semi-circulaire (CSC ) latéral et de la position relative de chaque CSC par rapport à la ligne médio-corporelle - vestibulonystagmographie du CSC lat après un test calorimétrique	Le CSC latéral est plus vertical et plus éloigné de la ligne médiane chez les adolescents porteurs d'une SI (p=0.01). Ces résultats ne sont pas corrélés avec des anomalies fonctionnelles (p>0.05).  -	-Les deux groupes ne sont pas identiques en nombre. -Interrogation sur le lien entre CSC et régulation posturale

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Pialasse et coll., nov 2015  Etude cas-témoins	Le contrôle pro-actif vestibulomoteur et les mécanismes de repondération sensorielle sont altérés chez les adolescents atteints de scoliose.	Nsia légère = 20 (angle de Cobb moyen: 20.4±3.6°)  Nsia sévère = 16 (angle de Cobb moyen: 37.3±7.3° )  Nc = 16	Comparaison entre les 3 différents groupes des réponses posturales évoquées suite à une stimulation galvanique par stabilométrie type sabots des forces latérales sous chaque pied et du déplacement latéral du haut du corps.	Les adolescents atteints de scoliose idiopathique présentent une plus grande instabilité posturale dans les 2 variables mesurées que les témoins pendant et immédiatement après la stimulation vestibulaire (p < 0.05 )  +	On ne sait pas de quels paramètre stabilométrique dans cette étude ( effet d'intervalles? ).
Simoneau et coll., 2009  Etude cas-témoins	Il existe chez les patients scoliotiques une altération de leur capacité à intégrer l'information vestibulaire au traitement cognitif de la perception spatiale.	Nsia=10 (9 filles)  âge moyen=17,4 ans  Nc=13 (11 filles)  âge moyen=16,4 ans	Etude des saccades oculaires lors de rotations (siège rotatoires) d'amplitudes et de directions variables et mesure de la précision du sujet à produire des trajectoires vers des cibles mémorisées.	Par rapport aux témoins, les patients atteints de scoliose idiopathique ont sous-estimé l'amplitude de leurs rotations (p<0.05). La mémorisation de cibles par la reproduction de saccades oculaires est identique à celles du groupe témoin (p>0.05 ). Les patients scoliotiques présentent une altération de l'intégration cognitive des signaux vestibulaires.  +	-Petite population et groupes non identiques -Pas d'auto-critique vis à vis des imitations de l'étude.

Il est difficile de comparer ces articles dont la méthodologie diffère et manque de standardisation.

Un corrélat existe tout de même entre ces études car elles associent souvent le vestibule à la proprioception et répondent ainsi à la nécessité d'intégration multisensorielle évoquée par Catanzariti dans sa revue systématique.

D'ailleurs, l'étude d'Hitier sur le vestibule isolément conduit au manque de corrélation entre variabilité anatomique des CSC latéraux et anomalies fonctionnelles. Dans ce sens, une étude plus ancienne et fréquemment citée de Wiener-Vacher ( Wiener-Vacher et coll., 1998 ) expliquait que la déformation scoliotique pouvait être induite par un déséquilibre vestibulaire otolithique central, s'opposant ainsi à la théorie canalaire et qui entraînerait une asymétrie de l'activité tonique des muscles spinaux.

Néanmoins, il apparaîtrait que ce ne soit pas le vestibule qui dysfonctionne mais bien son couplage avec la proprioception, ce qui semblerait provoquer une surcharge attentionnelle et donc un problème d'intégration multisensorielle comme il est décrit dans les études de Sim et les deux de Pialasse. Ces auteurs ont comme point commun d'évaluer la stabilité posturale par stabilométrie ou par système électromagnétique et

d'introduire une perturbation sensorielle ou conflit ( stimulation galvanique ou mouvement sinusoïdale de la plateforme ). En évaluant la stabilité posturale, on étudie une fonction dépassant un seul organe de l'équilibre et par là on suppose que la notion d'intégration multisensorielle ferait intervenir des afférences, des centres de traitement et des efférences. En revanche, on ne sait pas précisément quelle(s) entité(s) posturale(s) est étudiée et par là même peut se révéler déficiente.

Dans son étude, Sim se base sur la transformée en ondelettes pour objectiver la réponse des entrées vestibulaire, visuelle ou proprioceptive ( somesthésique : 0,5-1,0 Hz ; vestibulaire : 0,1-0,5 Hz ; visuel : < 0,1 Hz ) et en conclut que le groupe SIA montre une dépendance plus importante aux informations vestibulaire et somesthésique, pour maintenir leur stabilité posturale.

Pialasse quant à lui propose deux études sensiblement identiques. Le but de ces deux études est de comparer la capacité de repondération sensorielle après stimulation galvanique. Le protocole change: dans l'une des études, il utilise un système électromagnétique pour mesurer dans le plan frontal les mouvements du corps et dans l'autre, la mesure est réalisée par sabot stabilométrique. La population est la même ainsi que la conclusion: le mécanisme de repondération sensorielle est altéré quelle que soit la gravité de la déformation. Dans l'étude avec mesure des oscillations dans le plan frontal, il n'évoque qu'une seule dépendance au système vestibulaire alors que dans son étude par stabilométrie, il englobe plus largement les altérations vestibulaires et proprioceptives dans la difficulté des patients scoliotiques à repondérer les informations sensorielles. Cette étude stabilométrique rejoint donc celle de Sim quatre ans plus tard.

L'étude de Simoneau quant à elle atteste qu'il n'y a pas d'anomalie du vestibule car les sujets scoliotiques reproduisent à l'identique les trajectoires mémorisées quand ils sont immobiles. De plus, leur ROV ( réflexes vestibulo-oculaires ) sont physiologiques. Cependant, l'auteur relève une altération de leur capacité de traitement des signaux vestibulaires. Pour lui, cette étude permet de clarifier bon nombres d'études contradictoires à propos de l'entrée vestibulaire: le vestibule en tant que tel n'est pas déficient mais ce serait plutôt le traitement cortical ou cérébelleux des informations vestibulaires qui serait en cause.

### 3.2 L'entrée visuelle

Tableau II: études sur la vision en lien avec la SIA:

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Antoniadou et coll. 2018 Etude cas-témoins	Variation de l'estimation de la verticale gravitaire entre les deux groupes comme signe de déficit vestibulaire.	Nsia=10 filles Nc=10 mélange des 2 sexes Âge: 10-16 ans Angle de Cobb>15°	Alignement de la verticale gravitaire visuelle YO et YF dans 3 conditions: capteurs sur la tête, le tronc et la main	Plus d'erreurs sur l'estimation de la verticale avec la tête YF ( $p = 0.028$ ) De plus, tournent plus la tête avec la baguette fixée sur leur tête pour l'estimation de la verticale gravitaire ( $p = 0.043$ )  +	-Petite population. -Angulation scoliotique floue et peu importante. -Uniquement des filles dans groupe SIA mélange dans groupe témoin. -Parti pris important. -Le capteur manuel correspond plus à une verticale haptique donc mélange de VHS et de VVS. -retard de traitement de 40 ms dans la présentation de la ligne visuelle du paradigme.
Chang et coll. 2017 Etude cas-témoins multicentrique	Relation entre la verticale visuelle subjective ( VVS ) et la stabilité posturale.	Nsia=13 Nc= 13 âge: 12-18 ans.	Accomplissement d'une tâche baguette et cadre ( rod and frame ) dite tâche VVS dans 3 postures (pieds écartés d'une largeur d'épaule, pieds serrés et position tandem) avec EEG.	Différence significative de temps de réaction de la tâche concernant la VVS lorsque les demandes posturales augmentent ( $p < 0.01$ ) .  +	-Faible population. -Caractéristiques pathologiques très homogènes de la colonne vertébrale des sujets du groupe SIA.
Lion et coll., 2013 Etude transversale	Déterminer si la SIA au début de la maladie est associée à un dysfonctionnement oculomoteur et si ces anomalies sont corrélées à l'amplitude de la déformation scoliotique.	Nsia1=29 angle Cobb de 5° à 14° Nsia2=24 angle Cobb de 15° à 25°. (âge moyen : 11,6 ± 2,1 ans)	Etude des fonctions visuo-oculomotrices et vestibulo-oculaires par vidéo-oculographie, incluant les saccades, la poursuite oculaire, le test calorique et la rotation pendulaire, avec des séquences de réflexe vestibulo-oculaire.	Les patients avec un angle de Cobb de 15° ou plus présentent des réponses vestibulo-oculaires normales mais des fonctions visuo-oculomotrices altérées, surtout pour la latence et la vitesse saccadique( $P = 0.029$ ) (anomalies des motoneurones des muscles oculomoteurs, cervelet?) .  +	-Biais important sans comparaison avec un groupe témoin sain. -Ecart d'âge important allant de 9,5 ans à 13,7 ans ( ce qui un âge avancé ) . -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.
Cakrt et coll. 2011 Etude cas-témoin	Déterminer si la verticale visuelle subjective chez les adolescents atteints de SI est différente des témoins sains.	Nsia=23 (âge 14,5 ± 2,5, moyenne ± écart-type) Nc=23 (âge 14,0 ± 2,9)	Bucket method. De plus, des mesures binoculaires ont été effectuées chez les deux groupes	Différence significativement sur l'écart de la VVS entre les 2 groupes ( $p < 0,01$ ). Différence significative dans l'incertitude de la VVS ( $p < 0,001$ ).  +	-Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.

Tout d'abord, il est important de préciser qu'aucun article n'évalue véritablement les pathologies de l'oeil ( nous n'avons pas d'étude sur la relation vergence-SIA, excepté la première partie de l'étude de Lion ) mais plutôt comme un couplage avec le labyrinthe, comme on le retrouve avec des tests portant sur le nystagmus, le réflexe vestibulo-oculaire ( RVO ), le réflexe optocinétique ou bien encore la saccade oculaire suite à des mouvements rotatoires ( étude de Lion ). Il en est de même pour les tests de verticale visuelle subjective ( VVS ): étude d'Antoniadou, de Chang, de Cakrt où il est bien question d'entrée vestibulaire.

Les études d'Antoniadou, Chang et Cakrt se rejoignent sur l'altération de la perception de la VVS, Cakrt précise même que l'incertitude est plus forte dans le groupe SIA. Antoniadou ajoute, grâce à des capteurs situés sur la tête, que le groupe SIA compense son déficit de perception en inclinant la tête, ce qui stimule les voies vestibulo-nucales et apporte ainsi une information supplémentaire quant à l'appréciation de la VVS. Chang apporte quant à lui un caractère chronométrique en précisant que l'estimation la VVS est plus lente lorsque la tâche posturale augmente.

Toutes ces études convergent donc vers une altération de l'appréciation de la VVS. En revanche, Lion n'établit pas de relation entre l'importance de la déformation scoliotique et les altérations oculo-vestibulaires tout en rappelant que son étude n'a pas pour thème d'évaluer une différence par rapport à un groupe témoin.

### 3.3 L'entrée proprioceptive

Tableau III : études sur la proprioception en lien avec la SIA:

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Le Berre et coll. 2019 Etude cas-témoin multicentrique	Il existe une discordance dans la perception de la verticale gravitaire. En découlerait une mauvaise orientation de l'axe longitudinal du corps dans la SIA.	Nsia= 30 scoliose thoracique droite (âge 14,23 ± 1,75 ans ; angle de Cobb 31,97° ± 12,83°). Nc= 30 Groupes appariés pour l'âge (13,93 ± 1,85 ans), l'indice de masse corporelle, le stade Tanner et la mobilité des mains.	Comparaison de la VVS dans des conditions statiques et dynamiques (stimulation optocinétique) et de la verticale posturale subjective (VPS).	Aucune différence entre les deux groupes pour la VVS (p=0,59). Différence significative pour la VPS entre les deux groupes (p = 0,00023). La VPS est décalée à droite dans groupe SIA ( 2,13°+_ 2,22°) comparé au groupe contrôle (-0,08°+-1,40°).  +	-Scoliose thoracique droite uniquement -Utilisation d'un moteur pour le paradigme de la roue dont le bruit peut renseigner le sujet sur l'amplitude du mouvement. -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Le Berre et coll., 2017  Etude cas-témoins multicentrique	Déterminer si des tests d'équilibre de routine peuvent être utilisés pour démontrer une altération élective de la proprioception dynamique dans la SIA.	Nsia=114 avec scoliose thoracique droite (âge moyen 14,5 ± 1,9 ans, angle Cobb 35,7 ± 15,3°).  Nc= 81 (âge moyen 14,1 ± 1,9 ans)	3 tests d'équilibre: -le Fukuda-Utenberger (S+D )(angle de rotation et distance de déplacement) -le Romberg modifié (D) -le test unipodal (S) (yeux fermés)	Différence significative pour l'essai dynamique pour les deux mesures : distance de déplacement (p < 0,01) et angle de rotation (p < 0,0001).	Biais dans la sélection du groupe scoliotique : scoliose thoracique droite. -Les tests en question font intervenir le vestibule et pas seulement la proprioception -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.
Assaiante et coll, 2012  Etude cas-témoin	Les SIA ne négligent pas leur information proprioceptive pour contrôler leur posture.	Nsia=10 avec 10°<angle de Cobb<35°  Nc=10	Maintient de la position debout lors d'oscillations dans le plan frontal yeux ouverts et fermés.	-Tous les adolescents négligent leur information proprioceptives pour contrôler leur posture. -Il n'existe pas d'altération du système proprioceptif statique dans la SIA alors qu'il semblerait que ce soit le cas pour son versant dynamique (p>0.05). +	-Petite population -Pas de notion sur le genre de la population. -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.
Haumont et coll, 2011  Etude transversale	L'amplitude de la déformation dans la SIA de l'adolescent est un facteur important pour le contrôle postural au début de la maladie.	N I =35 avec 5°<angle de Cobb<14°  N II =30 avec 15°<angle de Cobb<25°	Evaluation par stabilométrie du contrôle postural avec et sans conflit sensoriel par un test d'organisation sensoriel (SOT) Et contrôle postural en mouvement par stabilométrie dynamique avec faibles vibrations sinusoidales de la plate-forme.	En condition statique et dynamique, les patients avec des angles Cobb plus importants présentent une plus grande instabilité posturale (P = 0.013 ).  +	-Âge du plus jeune=8,9 ans ce qui est très précoce pour l'apparition d'une scoliose -Taille des groupes différente -Plateforme à 4 jauges moins fiable. -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Kuo et coll., 2010  Etude transversale	Impact de la privation visuelle et psychosensorielle sur l'équilibre dynamique des patients SIA Il existe un lien entre EMG et oscillations posturales.	Nsia=22 âge:11-17 ans (13.91 +_ 1.54 ) Scoliose thoracique droite lombaire gauche chez tous les sujets.  Nc=22 âge:11-16 ans (14.50 +_ 1.01 )	Test sur plateforme mobile inclinée dans 3 conditions:YO, YF et sur mousse YO. Enregistrement EMG des multifides, du moyen fessier et des gastrocnémiens .	-Asymétrie de la force musculaire :latence d'apparition du gastrocnémien droit précoce -Activités des multifidi et moyen fessier YF plus élevées que dans les conditions YF+mousse et YO (P < 0,05). En condition YF+mousse, l'angle d'inclinaison médio-latérale était inférieur à celui des conditions YO et YF. De plus, la durée d'activité du fessier moyen droit était plus courte en condition YF+mousse (P < 0,05).	-Données de genre non fournies et scoliose thoracique droite - lombaire gauche seulement. -La mousse est une poutre Airex balance pad (dispositif utilisé en rééducation) dont la densité n'est pas mentionnée. -On ne connaît pas la raison de sélection des muscles en question -Les résultats de l'essai d'angle d'inclinaison de la plate-forme pourraient être influencés par le poids corporel et la taille des sujets -l'évaluation radiologique est basée sur une radiographie 2D qui n'aurait peut-être pas permis de saisir certains problèmes tridimensionnels.

En ce qui concerne la proprioception, à la différence des autres organes, elle ne présente pas de pathologie propre de son afférence: les FNM ( sans parler du tact plantaire ). Ce sont plutôt les manifestations de celui-ci qui sont étudiées, à savoir l'équilibre statique ou dynamique avec des conditions expérimentales particulières ( mousse pour Kuo, contrôle postural par stabilométrie pour Haumont et Assaïante, paradigme de la roue pour Le Berre ). Ajoutons que tous ces paradigmes frôlent l'intégration multisensorielle car il font souvent intervenir un autre référentiel en plus de la proprioception ( vision pour Kuo et Assaïante- vision, vestibule par le moyen d'un SOT pour Haumont ) et la frontière entre ces deux entités n'est pas bien définie.

### 3.3.1 Au sujet de la proprioception

Les études qui suivent précisent la notion de proprioception statique et dynamique. Haumont conclut le premier dans son étude de 2011 à une atteinte de ces deux modalités pour les scolioses sévères ( angle de Cobb compris entre 15 et 25° ). L'étude de 2012 d'Assaïante, s'oppose à ce résultat et conclut à une non altération. Dans son développement, elle soutient l'hypothèse que la période de l'adolescence avec sa poussée de croissance, oblige les adolescent, scoliotiques ou non, à négliger leur proprioception changeante et supposée moins exploitable et privilégier le référentiel vestibulaire et visuel. Elle termine son étude en supposant une atteinte de la proprioception dynamique qu'elle ne démontre pas.

Ensuite, Le Berre dans une première étude ( 2017 ) que nous citons sur ce sujet, cherche à déterminer si des tests cliniques simples non spécifiques à la scoliose,



permettent de conclure à une altération de la proprioception statique ou dynamique. Il conclut à la positivité des deux tests portant sur la proprioception dynamique ce qui semble indiquer, non pas que la proprioception statique n'est pas atteinte, mais bien que la proprioception dynamique l'est.

Kuo propose une évaluation multimodale et ne permet pas de comparaison avec les autres études. La latence des muscles est différente en fonction du déséquilibre ce qui paraît évident si l'on considère l'asymétrie de la SI. Il semblerait que cela soit plus une conséquence de la SI plutôt qu'une cause.

### 3.3.2 A propos de la VPS

Enfin, dans la seconde étude de Le Berre sur le sujet ( 2019 ), celui-ci tente de savoir s'il existe une atteinte de la VVS et de la VPS dans le groupe SIA. Il conclut à une absence d'altération de la VVS ( allant à l'encontre d'Antoniadou, Chang et Cakrt ) mais en revanche à un déficit de la VPS, indiquant par cela une discordance entre ces deux modes de perception de la verticale gravitaire dans la SIA. Néanmoins, il y aurait une altération de la graviception somesthésique comme l'indique le test de la VPS.

En résumé sur le versant somesthésique, 2 auteurs évoluent dans le même sens en démontrant ( et un auteur supposant mais ne démontrant pas ) une altération de la proprioception dynamique et un autre en démontrant une atteinte de la graviception somesthésique par la VPS mais pas de la graviception vestibulaire par la VVS. Ce dernier auteur va dans le sens de Pérennou ( Pérennou et coll., 2008 ) qui démontrait avec un autre public à savoir les patients victimes d'AVC de l'hémisphère droit, que la VPS est plus discriminante pour évaluer les troubles d'appréciation de la verticalité que la VVS développée pour les atteintes vestibulaires.

### 3.4 L'intégration multisensorielle.

Tableau IV: étude sur l'intégration multisensorielle:

Auteurs et nature	Hypothèse	Population	Méthode	Résultats	Biais
Eijgelaar P.N. et coll., 2014 Etude cas-témoins	L'information des trois systèmes sensoriels combinés permet la formation d'une représentation centrale de la position de la tête et de la posture du corps. Les filles avec scoliose ont une façon différente d'orienter leur tête en cas de conflit sensoriel.	Nsia=25 filles Angle de Cobb =33,5° +_16° Nc=16 filles Âge: 10-16 ans	Mesure de l'angle de rotation de la tête. Paradigme:Les sujets se tiennent dans une boîte spéciale construite sur une plate-forme basculante (inclinaison de -14° à+14°) dans 4 conditions:1- debout YO dans la chambre 2- Assis YO dans la chambre 3- Debout YO en dehors de la chambre 4-En dehors de la chambre YF	Les sujets se comportent de façon assez semblable s'il n'y a pas de conflit sensoriel, mais s'il y a conflit, les différences entre les deux groupes sont plus grandes, surtout dans la catégorie des 13 à 14 ans. Le processus de développement de l'intégration sensorielle pour l'estimation de la verticalité semble être différent pour les filles atteintes de scoliose. (elles ont une façon différente de déterminer la fiabilité d'un système sensoriel)	-Paradigme de la chambre basculant sur une plateforme non standardisé avec absence de gabarit podal. -On ne connaît pas la distance de placement du sujet. -Pas d'auto-critique vis à vis des limitations de l'étude.

Signalons que dans nos équations de recherche, nous retrouvons les articles vus ailleurs ( doublons ) d'Antoniadou, Pilasse ( les 2 ) et Assaïante.

L'étude d'Eijgelaar a pour but d'opposer les entrées vestibulaire et proprioceptive d'une part ( rotation de la plateforme sur laquelle le sujet se tient debout ) et l'entrée visuelle d'autre part informant le sujet de la verticalité et de l'horizontalité ( cage quadrillée ). Est mesuré par la suite la rotation de la tête du sujet, sensé refléter la perception de la verticalité de l'individu et donc l'intégration sensorielle réalisée. L'auteur explique que pour toute situation posturale nouvelle, les individus font davantage confiance à leurs entrées vestibulaire et proprioceptive alors qu'en situation connue, c'est la vision qui est considérée comme la plus fiable. Ceci n'est pas respecté chez les filles scoliotiques et en particulier pour celles ayant 14 ans. Ceci est tout de même à relativiser car cette observation a été notée chez 3 adolescents seulement.

Une étude ( Mallau et coll., 2007 ) évolue dans le même sens en observant une disparition transitoire de la stabilisation de la tête dans l'espace à l'adolescence. Sans doute que les protocoles expérimentaux sont différents mais l'observation finale est la même: les filles scoliotiques ont des difficultés à stabiliser leur tête dans l'espace.

#### 4. Discussion.

##### 4.1. Synthèse des résultats.

Les études des dix dernières années semblent avoir abandonné ( sauf pour une seule, Hitier et coll. 2015 ) les hypothèses d'atteinte isolée d'un organe d'un des trois référentiels posturaux.

Que ce soit en terme de stabilité posturale avec conflit vestibulaire ( Sim et coll., 2018, Piallasse et coll., oct et nov 2015 ), d'appréciation de la verticale visuelle ( Antoniadou et coll., 2018 - Chang et coll., 2017 et Cakrt et coll., 2011 ), de proprioception dynamique ( Assaïante et coll., 2012 et Haumont et coll., 2011 ) et pour finir de graviception somesthésique ( Le Berre 2017 ) , des troubles sont mis en évidence.

Des contradictions ont été relevées entre ces études. Tout d'abord, sur la VVS, il y a opposition entre d'un côté les études d'Antoniadou, Chang et Cakrt et de l'autre celle de Le Berre ( 2019 ). De plus, au sujet de la proprioception, Le Berre (2017), Assaïante et Haumont concluent à l'absence d'altération de la proprioception statique alors que Le Berre ( 2019 ), grâce au paradigme de la roue, conclut à une altération de la graviception somesthésique qui peut s'apparenter à un mode de proprioception statique.

Au vu de la grande variété des protocoles, du manque de standardisation des études sur cette population et des contradictions présentes entre les résultats de ces mêmes études, il n'est pas possible d'affirmer, aujourd'hui, de l'atteinte d'une quelconque entité posturale.

En revanche, les études d'Eijgelaar ( dont c'est le thème ) mais aussi celles de Le Berre ( 2019 ) Sim, Antoniadou, Piallasse ( X2 ), Assaïante et Simoneau émettent l'hypothèse d'une altération de l'intégration multisensorielle.

## 4.2 Limitations.

Nous n'avons pas retrouvé dans les recherches que nous avons effectuées, d'études sur l'altération du système nerveux central ( SNC ) en relation avec l'intégration multisensorielle.

Par contre, un article qui n'a pas été trouvé sur Pubmed (certainement du au fait qu'il soit en français ) confirme une perturbation du système proprioceptif dynamique dans l' AIS. Les auteurs suggèrent une immaturité du système nerveux central, en particulier du cortex pariétal, avec une mauvaise intégration de l'afférence proprioceptive dynamique Cette équipe a testé le système proprioceptif dynamique avec illusion kinesthésique ( technique de vibration tendineuse ), chez des adolescents scoliotiques versus des adolescents sains ( Assaïante et coll., 2011 ).

D'autre part, peu d'auteur se sont penchés sur l'oculomotricité ( sauf un Lion et coll., 2013 ).

Une recommandation de recherche ultérieure pourrait être l'étude des structures cérébrales impliquées dans l'intégration multisensorielle, dans des conditions posturales.

Ainsi, une étude réalisée par Barra ( Barra et coll., 2010 ) explorait les zones cérébrales impliquées dans l'évaluation et dans le degré d'incertitude de la VVS en fonction de l'inclinaison de patients hémiparétiques ou paraparétiques.

Comme limitations personnelles, nous aurions pu élargir notre étude à d'autres moteurs de recherche comme Cochrane ou Google Scholar. De plus, les équations de recherche sont certainement insuffisantes en termes utilisés.

## 4.3 Ouverture.

### 4.3.1 Des circonstances favorisantes à l'adolescence.

La question qui se pose en filigranes à travers ces articles peut être la suivante: « pourquoi la scoliose idiopathique se déclenche-t-elle à l'adolescence? » Assaïante ( Assaïante et coll., 2012 ) apporte une réponse en affirmant que tout comme pour le groupe témoin, les adolescents basent leur orientation posturale essentiellement grâce à la vision et au vestibule et négligent leurs informations proprioceptives dans un contexte de croissance corporelle importante. Pour rappel, la taille assise passe de 34% chez l'enfant à 40% à 10 ans. Nous pouvons supposer qu'il est difficile pour tout adolescent d'établir de nouvelles références proprioceptives. Pialasse dans ses deux études de 2015, va dans ce sens et constate une difficulté de repondération sensorielle somesthésique et vestibulaire pour le groupe scoliotique suite à des stimulations galvaniques. Le Berre ( Le Berre et coll., 2019 ) confirme l'hypothèse d'un modèle interne perturbé en montrant l'altération de la graviception somesthésique.

Selon l'hypothèse d'excès d'ostéopontine retrouvé dans la SIA du à un défaut de signalement de la mélatonine ( Azzedine et coll., 2007 ), il existe une immaturité des fuseaux neuro-musculaires ( FNM ) des paravertébraux. Nous comprenons aisément que dans ce contexte, les FNM ne soient plus aptes à renseigner le sujet atteint sur l'état d'étirement de la fibre musculaire ( et ceci en particulier par leurs fibres sensibles Ia ).

La représentation de la verticalité de la colonne vertébrale n'est plus permise dans ce cas.

Dans son étude histologique sur la proportion de fibres musculaires cette fois présentes à différents endroits de la convexité scoliotique ( scoliose thoracique droite ) à la différence des études précédentes, Ford trouvait non seulement un plus grand nombre de fibres musculaires de type I ( c'est à dire lentes, riches en myoglobine ) dans le multifides au sommet de la convexité, mais aussi dans les muscles superficiels ( grand dorsal ) au-dessus et au-dessous du sommet de la convexité scoliotique ( Ford et coll., 1983 ). On peut donc concevoir une contraction de ces muscles plus lente à tout déséquilibre postural dans ces conditions, confirmant ainsi les études de Pialasse: en cas de conflit sensoriel, le groupe SIA met plus de temps à réagir. Cette étude de Ford semble aussi expliquer les résultats obtenus par Kuo ( Kuo et coll., 2011 ) qui trouvait une latence de contraction plus importante du multifides en condition yeux fermés. Rappelons que le multifides est un muscle paravertébral profond rotateur et extenseur de la colonne mais empêche conjointement la rotation contralatérale du rachis et sa flexion. Il est mentionné dans bon nombre d'études et semble jouer un rôle primordial dans l'apparition de la SI. Certains auteurs l'ont décrit, avec le système disco-somatique comme un modèle de tenségrité, c'est à dire comme ensemble auto-contraint et autonome en terme de tension élastique réciproque ( Dischiavi SL et coll., 2018 ). L'ensemble colonne vertébrale - multifides auraient donc une régulation de sa structure intrinsèque développée. Ce pourrait être à ce niveau que le système verrait ses capacités d'auto-régulation dépassées dans le cas d'un dysfonctionnement des FNM comme expliqué précédemment par excès d'ostéopontine.

On peut ainsi concevoir un modèle théorique où la verticalité de la colonne vertébrale serait à préserver . Ceci serait difficile chez les adolescents porteurs de scoliose idiopathique au vu de cette négligence proprioceptive propre à l'adolescence et



Figures 5 et 6: Concept de tenségrité au niveau de la colonne: implication du multifides.

au regard d'une mauvaise qualité des FNM qui n'assureraient plus leur rôle de vigilance quant à leur étirement dans le cas de déviations.

#### 4.3.2 Des déséquilibres conduisant à la scoliose.

Mais alors pourquoi la colonne dévie-t-elle?

Les descriptions précédentes tentent d'expliquer l'absence de messages d'erreur en cas de déviations mais n'expliquent pas leur *primum movens*. Il y aurait un défaut de signalement d'erreur mais on ne connaîtrait pas les agents provocants.

##### 4.3.2.1 De la relation posturologie - chaînes musculaires.

Nous pouvons concevoir un lien entre posturologie et chaînes musculaires. Pour commencer, Roll (Roll et coll., 1988 ) a montré que les vibrations des muscles extraoculaires, ainsi que celle des muscles du cou ou extrinsèques du pied donnent une impression de déplacement d'une cible visuelle lorsque le sujet est maintenu immobile. Pour ces auteurs, il existe bel et bien un ensemble de capteurs qu'ils surnomment « chaîne proprioceptive » et qui relie le pied et l'œil. Précisons juste que ces informations sont issues de muscles et de leur état d'étirement ( fibres Ia des FNM ). Ces auteurs apportent la nuance que les muscles doivent être considérés non seulement comme une chaîne proprioceptive en tant qu'afférence du mouvement mais aussi comme une chaîne musculaire en tant qu'effecteurs ( Roll et coll., 2017 ).

Dans deux autres études ont été observées des réactions posturales stéréotypées suite à des stimulations de la sole plantaire. Une première étude ( Kavanoudias et coll. , 2001 ) décrit un déplacement orienté du centre de pression ( CP ) suite à une vibration de la sole plantaire.

Une deuxième étude allant dans ce sens ( Fallon et coll. , 2005 ), remarque qu'une stimulation électrique d'une zone du pied induit une réponse électromyographique ( EMG ) des muscles de la jambe. Lorsque le talon est stimulé, il existe une réponse du soléaire, des péroniers latéraux pour la tête du cinquième métatarsien et enfin du tibial antérieur pour la tête du premier métatarsien. Il existe bel et bien une unité sole plantaire - muscles tibiaux même si l'auteur ne la qualifie pas de chaîne musculaire. Dans ces deux études, il n'est pas décrit d'ajustements posturaux des segments sus-jacents.

Grâce à une étude d'Horak ( Horak et coll., 1986), l'activité EMG des muscles gastrocnémiens, ischio-jambiers et paravertébraux a pu être enregistré suite à un déplacement postérieur d'une plate-forme.

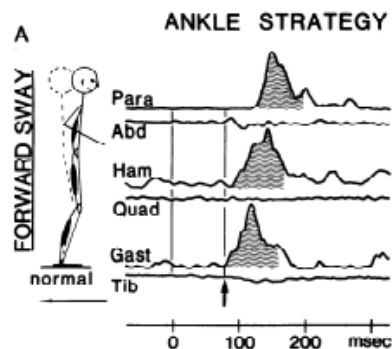


Figure 7: Expérience de Nashner sur la stratégie de cheville avec enregistrement EMG .

Si l'on considère le schéma de la figure 7, on observe bien une réaction de plusieurs muscles suite à ce déséquilibre et semblant correspondre à la chaîne musculaire postérieure de Mézières et postéro-médiane de GDS ( Campignon, 2013 ).

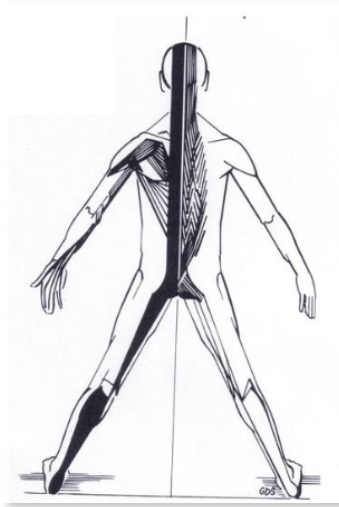


Figure 8: Chaîne postéro-médiane décrite par GDS.

Toujours dans cette optique que les muscles fonctionnent en synergie, Herman Kabat a mis au point une méthode de facilitation neuromusculaire par la proprioception ( PNF ) encore utilisée aujourd'hui principalement en rééducation neurologique périphérique. Il avait remarqué que les athlètes recherchaient le maximum d'efficacité grâce à un mouvement spiroïde. Son concept consiste en techniques facilitatrices où une contraction musculaire est recherchée grâce à un phénomène d'irradiation disto-proximal. Par exemple, la contraction des péroniers latéraux aide à la contraction du tenseur du fascia lata ( Viel E., 1972 ).

Ces descriptions valent pour un mouvement mais aussi de façon statique. Les auteurs comme Françoise Mézières, Godelieve Denys-Struyf ( GDS ) ou Léopold Busquet s'accordent sur l'observation clinique que toute chaîne musculaire, utilisée de façon privilégiée, se rétracte car fonctionnant en course interne sans être étirée par un mouvement antagoniste. En d'autres termes, toute personne adopte une attitude qui lui est propre et qui est le résultat de l'utilisation préférentielle d'un ou de plusieurs muscles. L'évolution de tout ceci va donc vers des attitudes pouvant évoluer vers des déviations articulaires.

Ces hypothétiques chaînes sont-elles les mêmes que celles utilisées en pathologie? Aucune étude à ce jour ne permet de l'établir.

#### 4.3.2.2 De l'asymétrie du le corps.

Une étude radiologique trouve une asymétrie précoce du groupe SIA à l'électro-encéphalogramme ( EEG ) entre les deux hémisphères cérébraux ( Pinchuk et coll., 2012 ). L'auteur décrit que cette asymétrie est plus précoce chez les scoliotiques et qu'elle semble déterminante dans le développement des scolioses thoraciques droites.

L'auteur précise même que cette asymétrie hémisphérique précoce pourrait être un test prédictif de développement de scoliose thoracique droite.

D'un point de vue gestuel, nous pouvons supposer que des mouvements certes répétés dans le cadre d'une pratique sportive asymétrique ( tennis, golf, badminton...) puissent être des facteurs prédisposant mais tous les patients porteurs de SI ne sont pas tous de ce genre de sportifs. Qu'en est-il de la relation entre chaînes musculaires et asymétrie scoliose?

GDS, masseur-kinésithérapeute belge, propose une analyse intéressante de l'organisation des chaînes musculaires sur le corps humain et introduit la notion d'asymétrie ( Diaz-Arribas et coll., 2015 ). Ainsi, le diaphragme, muscle majeur qui fonctionne de façon continue, entraîne par son mouvement et les masses qu' il comprime et en particulier le foie à droite, une asymétrie physiologique. Ainsi, radiologiquement, les coupes diaphragmatiques ne sont pas à la même hauteur l'une de l'autre.



Figure 9: Radiographie pulmonaire de face montrant l'asymétrie de hauteur des coupes diaphragmatiques.

En découlerait une asymétrie du corps entier avec des chaînes ( antéro-latérales et postéro-latérales en particulier ) qui s'expriment préférentiellement d'un côté ( Denys-Struyf, 1997 ) . Dans ce sens, si l'on considère 6 études citées dans ces pages ( Le Berre X2, Kuo, Eijelaar, Pinchuk et Ford ), nous pouvons relever des groupes de patients scoliose à courbure thoracique droite. Ford va même jusqu'à prélever dans ce groupe le grand dorsal. Ce muscle fait partie de la chaîne antéro-latérale ( AL ) selon GDS ( Campignon, 2004 ) . Or cette chaîne AL est décrite comme prédominante à droite. Un grand dorsal rétracté rentrerait-il dans la pathogénèse des scoliose thoraciques droites?

Cette asymétrie de chaînes, sans rentrer dans le détail des différents types de scoliose, serait une explication à l'installation d'une SI. La prédominance de côté ( sans

rapport avec le fait d'être gaucher ou droitier ) entrainerait donc une déviation de la colonne vertébrale. L'alignement vertébral ne serait plus compensé à l'adolescence comme décrit précédemment par Assaïante ( Assaïante et coll., 2012 ) dans cette période de négligence proprioceptive favorisé chez les adolescents souffrant de SI, ceci en raison de l'immaturation des FNM des muscles paravertébraux par défaut de signalement de mélatonine. Aujourd'hui, les données scientifiques confirmant cette hypothèse relative aux chaînes musculaires GDS et au déclenchement de la SI manquent et des études sont nécessaires afin de la vérifier.

## 5. Conclusion

De nombreuses études ont suspecté une atteinte vestibulaire isolée dans la SIA. Une revue systématique datant de 2014 n'établit pas de lien évident et propose une approche plus holistique englobant des troubles du contrôle postural orthostatique.

Tous les articles étudiés dans ce mémoire sauf un ( Hitier et col., 2015 ) répondent à cette proposition. Certains auteurs concluent sur l'altération du contrôle postural soumis à des perturbations ( Sim et coll., 2018 - Piallasse et coll., 2015 X 2 - Assaïante et coll., 2012 - Haumont et coll., 2011 - Kuo et coll., 2010 ). D'autres ( Antoniadou et coll., 2018 - Chang et coll., 2017 et Cakrt et coll., 2011 ) se rejoignent sur une mauvaise évaluation de la VVS. La VVS a été discriminante dans l'appréciation de la verticale pour les sujets souffrant d'atteinte vestibulaire. Enfin, un auteur ( Le Berre et coll., 2019 ), se basant sur un modèle proche des patients victimes d'AVC, étudie la VPS qui évalue la graviception somesthésique et donc l'intégration multisensorielle. Cette étude récente n'est confirmée par aucune autre.

Des contradictions entre ces différentes études ont été relevées et ne permettent pas d'affirmer d'une atteinte spécifique d'une entrée posturale ou d'une structure du SNC. Si l'on considère les protocoles expérimentaux d'une majorité d'études ( Sim, Chang, Piallasse, Eijgelaar, Assaïante, Haumont et Kuo ), on observe qu'au moins deux entrées sont mises en jeu ( 3 pour Eijgelaar ), signifiant ainsi le traitement des informations sensorielles par le SNC. Au vu de cette remarque, nous pouvons supposer de l'altération de l'intégration multisensorielle dans la SI. Ajoutons qu'aucune étude sélectionnée dans ce mémoire ne se penche sur la structure nerveuse en cause ( avec imagerie à l'appui ). Le Berre ( 2019 ) évoque juste un modèle proche du patient victime d'AVC.

Une ouverture physiopathologique possible dans l'étude de la SIA serait d'envisager cette pathologie sous l'aspect conceptuel des chaînes musculaires GDS. Celles-ci proposent une explication de l'asymétrie du corps humain.

### Remerciements:

- A mon stagiaire en formation de masso-kinésithérapie, Valentin Boyer, qui m'a permis de maîtriser les outils et la méthodologie nécessaires à la rédaction de ce mémoire.
- A France Mourey pour la lecture attentive de mon mémoire et son orientation.
- à ma femme, Caroline, et à mes filles, Sarah et Julie pour le temps qu'elles m'ont donné pour de l'élaboration de ce mémoire.
- A mon père, Roland, pour sa relecture et ses corrections.
- A Frédérique pour ses conseils de présentation.



## Bibliographie:

1. Antoniadou N, Hatzitaki V, Stavridis SI, Samoladas E. Verticality perception reveals a vestibular deficit in adolescents with idiopathic scoliosis. *Exp Brain Res*. 2018;236(6): 1725-34.
2. Assaiante C, Mallau S, Jouve J-L, Bollini G, Vaugoyeau M. Do adolescent idiopathic scoliosis (AIS) neglect proprioceptive information in sensory integration of postural control? *PLoS ONE*. 2012;7(7):e40646.
3. Assaiante C, Caudron S, Fortin C, Bollini G, Vaugoyeau M (2011) Contribution différenciée des informations proprioceptives statiques versus dynamiques dans le contrôle postural des adolescents avec scoliose. *Neurophysiol Clin* 41:202
4. Azeddine B, Letellier K, Wang DS, Moldovan F, Moreau A. Molecular determinants of melatonin signaling dysfunction in adolescent idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*. sept 2007;462:45-52.
5. Barra J, Marquer A, Joassin R, Reymond C, Metge L, Chauvineau V, et al. Humans use internal models to construct and update a sense of verticality. *Brain*. déc 2010;133(Pt 12):3552-63.
6. Cakrt O, Slabý K, Viktorinová L, Kolář P, Jeřábek J. Subjective visual vertical in patients with idiopathic scoliosis. *J Vestib Res*. 2011;21(3):161-5.
7. Campignon P. Les chaînes musculaires et articulaires Méthode GDS : Les chaînes de l'axe vertical Tome 2, Les chaînes postéro-médianes. 2013.
8. Campignon P. Les chaînes musculaires et articulaires concept GDS Les chaînes relationnelles - Tome 1 Les chaînes antéro-latérales. 2004
9. Catanzariti J-F, Agnani O, Guyot M-A, Wlodyka-Demaille S, Khenioui H, Donze C. Does adolescent idiopathic scoliosis relate to vestibular disorders? A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. sept 2014;57(6-7):465-79.
10. Chang Y-T, Meng L-F, Chang C-J, Lai P-L, Lung C-W, Chern J-S. Effect of Postural Control Demands on Early Visual Evoked Potentials during a Subjective Visual Vertical Perception Task in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *Front Hum Neurosci*. 2017;11:326.
11. Denys-Struyf G . *Les Chaînes Musculaires et Articulaires* . Brussels, Belgium: Institut des Chaînes Musculaires et des Techniques GDS; 1997.
12. Dischiavi SL, Wright AA, Hegedus EJ, Bleakley CM. Biotensegrity and myofascial chains: A global approach to an integrated kinetic chain. *Med Hypotheses*. janv 2018;110:90-6.

13.

Diaz-Arribas MJ, Kovacs FM, Royuela A, Fernandez-Serrano M, Gutierrez-Fernandez L, san Martin-Pariente O, Abreira V,. Effectiveness of the Godelieve Denys-Struyf (GDS) method in patients with low back pain: a cluster randomized controlled trial. *Physical Therapy* 2015 Mar;95(3):319-336.

14.

Duval-Beaupère G. Pathogenic relationship between scoliosis and growth. *Orthop Clin North Am* 1988;19:58-64.

15.

Eijgelaar PN, Wapstra FH, Otten E, Veldhuizen AG. Altered head orientation patterns in children with idiopathic scoliosis in conditions with sensory conflict. *Eur Spine J.* déc 2014;23(12):2626-34.

16.

Fallon JB, Bent LR, McNulty PA, Macefield VG. Evidence for strong synaptic coupling between single tactile afferents from the sole of the foot and motoneurons supplying leg muscles. *J Neurophysiol.* déc 2005;94(6):3795-804.

17.

Guyot M-A, Agnani O, Peyrodie L, Samantha D, Donze C, Catanzariti J-F. Cervicocephalic relocation test to evaluate cervical proprioception in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2016;25(10):3130-6.

18.

Haumont T, Gauchard GC, Lascombes P, Perrin PP. Postural instability in early-stage idiopathic scoliosis in adolescent girls. *Spine.* juin 2011;36(13):E847-854. 1.

19.

Hitier M, Hamon M, Denise P, Lacoudre J, Thenint M-A, Mallet J-F, et al. Lateral Semicircular Canal Asymmetry in Idiopathic Scoliosis: An Early Link between Biomechanical, Hormonal and Neurosensory Theories? *PLoS ONE.* 2015;10(7):e0131120.

20.

Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol.* juin 1986;55(6):1369-81.

21.

Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol (Lond).* 1 mai 2001;532(Pt 3):869-78.

22.

Kuo F-C, Wang N-H, Hong C-Z. Impact of visual and somatosensory deprivation on dynamic balance in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine.* 1 nov 2010;35(23):2084-90.

23.

Le Berre M, Pradeau C, Brouillard A, Coget M, Massot C, Catanzariti J-F. Do Adolescents With Idiopathic Scoliosis Have an Erroneous Perception of the Gravitational Vertical? *Spine Deform.* 2019;7(1):71-9.

24.

Le Berre M, Guyot M-A, Agnani O, Bourdeauducq I, Versyp M-C, Donze C, et al. Clinical balance tests, proprioceptive system and adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2017;26(6):1638-44.

25.

Lion A, Haumont T, Gauchard GC, Wiener-Vacher SR, Lascombes P, Perrin PP. Visuo-oculomotor deficiency at early-stage idiopathic scoliosis in adolescent girls. *Spine*. 1 févr 2013;38(3):238-44.

26.

Lowe T.G. , Edgar M., Margulies J.Y., Miller N.H., Raso V.J., Reinker K.A., et al., Etiology of idiopathic scoliosis: current trends in research, *J. Bone Joint Surg. Am.* 82-A (2000) 1157-1168.

27.

Mallau S, Bollini G, Jouve J-L, Assaiante C. Locomotor skills and balance strategies in adolescents idiopathic scoliosis. *Spine*. 1 janv 2007;32(1):E14-22.

28.

Pialasse J-P, Descarreaux M, Mercier P, Simoneau M. Sensory reweighting is altered in adolescent patients with scoliosis: Evidence from a neuromechanical model. *Gait & Posture*. oct 2015;42(4):558-63.

29.

Pialasse J-P, Descarreaux M, Mercier P, Blouin J, Simoneau M. The Vestibular-Evoked Postural Response of Adolescents with Idiopathic Scoliosis Is Altered. *PLoS ONE*. 2015;10(11):e0143124.

30.

Pinchuk D, Dudin M, Bekshayev S, Pinchuk O. Peculiarities of brain functioning in children with adolescence idiopathic scoliosis (AIS) according to EEG studies. *Stud Health Technol Inform*. 2012;176:87-90.

31.

Simoneau M, Lamothe V, Hutin E, Mercier P, Teasdale N, Blouin J. Evidence for cognitive vestibular integration impairment in idiopathic scoliosis patients. *BMC Neurosci*. 25 août 2009;10:102.

32.

Pérennou DA, Mazibrada G, Chauvineau V, Greenwood R, Rothwell J, Gresty MA, et al. Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship? *Brain*. sept 2008;131(Pt 9):2401-13.

33.

Pinchuk D, Dudin M, Bekshayev S, Pinchuk O. Peculiarities of brain functioning in children with adolescence idiopathic scoliosis (AIS) according to EEG studies. *Stud Health Technol Inform*. 2012;176:87-90.

34.

Roll JP, Roll R. From eye to foot: a proprioceptive chain involved in postural control. In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F, editors. *Posture and Gait: Development, Adaptation and Modulation*. Amsterdam: Elsevier; 1988. pp. 155-164

35.

Roll JP, Roll R. La proprioception musculaire dans *Pratiques de posturologie*. Elsevier Masson. 2017 pp 43-51

36.

Sim T, Yoo H, Lee D, Suh S-W, Yang JH, Kim H, et al. Analysis of sensory system aspects of postural stability during quiet standing in adolescent idiopathic scoliosis patients. *J Neuroeng Rehabil.* 22 juin 2018;15(1):54.

37.

Viel E., *La méthode Kabat*, Masson, Paris, 1972.

38.

Wang D, Shi L, Chu WCW, Burwell RG, Cheng JCY, Ahuja AT. Abnormal cerebral cortical thinning pattern in adolescent girls with idiopathic scoliosis. *Neuroimage.* 16 janv 2012;59(2):935-42.

39.

Wiener-Vacher SR1, Mazda K. Asymmetric otolith vestibulo-ocular responses in children with idiopathic scoliosis. *J Pediatr.* 1998 Jun;132(6):1028-32.