

BALAFREJ NABIL



RAPPORT DE STAGE

**Etude d'un indice en corrélation avec la déformation
de la colonne vertébrale**



Stage effectué à l'entreprise Lecante
270 rue Vendôme
69003 Lyon
Maître de stage : M. Barral

Stage de fin d'année de Master 1 Ingénierie Pour la Santé
de l'Université Claude Bernard de LYON,
effectué du 17 avril au 16 juin 2006.
Enseignant tuteur : M. E. Perrin.

Remerciements

Ce stage de fin d'année de Master 1 Ingénierie Pour la Santé s'est déroulé du 17 avril au 16 juin 2006, dans l'entreprise d'orthopédie Lecante à Lyon.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon maître de stage Monsieur Frédéric Barral, directeur général de la société, pour l'accueil qu'il m'a réservé et pour la confiance qu'il m'a témoignée tout au long de ce stage.

Je remercie aussi Monsieur Cyril Lecante, Président Directeur Général, de m'avoir accepté au sein de son entreprise.

Je remercie également Monsieur Boussard, kinésithérapeute au centre des Massues à Lyon, pour son accueil chaleureux et sa disponibilité.

Enfin, je remercie tout le personnel de l'entreprise Lecante pour son accueil et sa sympathie.

Sommaire :

1. Introduction	page 5
2. L'entreprise	page 6
1. Historique	page 6
2. Structure de l'établissement	page 6
3. Organigramme de la société	page 7
4. Organigramme du groupe Lecante	page 8
5. Activité de la société	page 9
3. La colonne vertébrale	page 10
1. Description	page 11
2. Les courbures	page 11
4. La scoliose	page 12
1. Définition	page 12
2. Les différents types de scoliose :	page 13
5. Traitement de la scoliose par orthèses du tronc ou corset	page 14
1. Le corset	page 14
2. La fabrication	page 14
6. La CFAO	page 16
1. Présentation	page 16
2. Technique utilisée pour réaliser l'acquisition	page 16
3. Principe du moulage optique	page 17
4. Le traitement du moulage optique	page 17
7. L'examen médical	page 18
1. La gibbosité	page 18
2. L'angle de Cobb	page 18
8. L'indice de déformation de la colonne vertébrale	page 19
1. Description du logiciel Ort-Trunk	page 19
2. Quelle méthode pour calculer l'indice ?	page 21
3. Description de la technique choisie	page 21
4. L'informatisation des dossiers médicaux	page 23
5. Comparaison de l'indice avec les dossiers médicaux	page 23
6. Les erreurs dans la méthode de calcul	page 24
7. Conclusion	page 24
9. Recherches sur le calcul d'un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale	page 25
1. Calcul du véritable centre de chaque tranche	page 25

2 .Le repositionnement de la tranche	page 27
3. Calcul de l'indice	page 29
11. Discussion sur les perspectives d'avenir	page 30
12. Conclusion	page 31
13. Bilan du stage	page 32
14. Annexes	page 33

1. Introduction

Mon stage s'est déroulé au sein de l'entreprise d'orthopédie Lecante à Lyon sous la tutelle du Directeur Général M. Barral.

L'entreprise Lecante conçoit, fabrique et adapte des appareils d'orthopédie et de prothèses sur mesure, destinés à corriger une déformation ou pallier un déficit fonctionnel.

Mon stage a consisté au choix et à l'étude d'une méthode calculant un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale, à partir d'acquisitions optiques de patient atteint de scoliose.

Dans un premier temps j'aborderai dans ce rapport la description de l'entreprise et son historique, puis une partie générale sur la scoliose, les corsets et leurs fabrications.

Dans un second temps je décrirai l'indice et étudierai la méthode choisie pour le calculer.

Pour finir, je présenterai et détaillerai mes recherches sur l'amélioration de cette méthode.

2. L'entreprise

2.1. Historique

Fondée à Lyon par Régis Lecante en 1935, la société a ensuite été dirigée par Pierre Lecante et depuis 1997 par Cyril Lecante.

Pierre Lecante a permis le développement de l'activité de l'entreprise dans la fabrication et l'application d'appareillages orthopédiques. L'entreprise a suivi une croissance régulière et a connu un développement régional à partir de 1960 en créant des structures d'application sur la région Rhône-Alpes à Saint-Étienne, Valence, Chambéry et Châlon-sur-Saône. Ces implantations ont permis d'être plus proche des patients, de mieux satisfaire leurs attentes et une demande croissante en orthoprothèse.

L'entreprise a modifié sa gamme de produits en intégrant les matériaux nouveaux et en se rapprochant des prescripteurs pour permettre une meilleure prise en compte des besoins des malades. C'est dans ce contexte que la reconnaissance internationale de l'efficacité du « corset lyonnais », et de ses dérivés dans les traitements des déformations du rachis, a été l'événement phare contribuant à la dynamique de l'entreprise.

2.2. Structure de l'établissement

L'établissement Lecante est une société anonyme dont le siège social est situé à Lyon. D'autres établissements Lecante existent dans des grandes villes (Nice, Marseille, Paris, Lille) mais ils ont chacun leur propre personnalité juridique et sont donc détachés de la société mère.

Le siège social LECANTE SA
 270-272 rue Vendôme
 69003 LYON

L'établissement est dirigé par le Président Directeur Général, Cyril Lecante, assisté du Directeur Général, Frédéric Barral et du Directeur Administratif et Financier, François Lasselin. Composé de quatre secteurs d'activité (l'atelier fabrication, l'application, le secrétariat et la comptabilité), chacun est géré par un chef de secteur.

2.3. Organigramme de la société

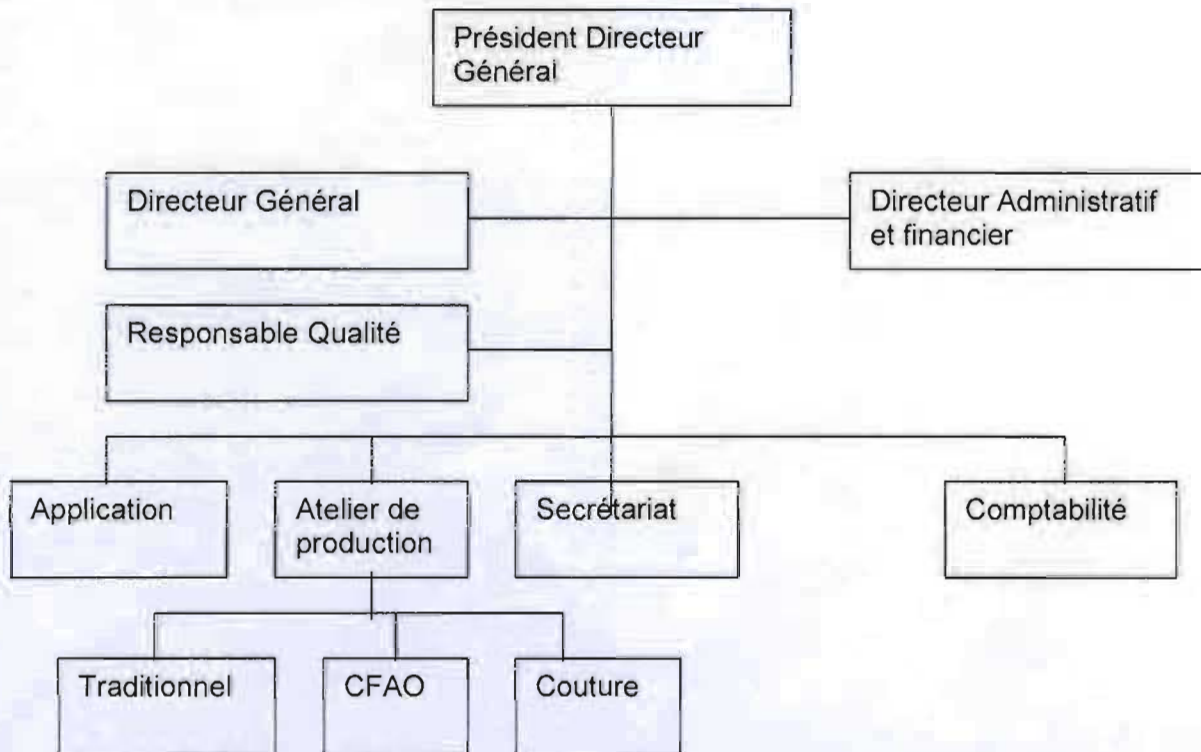


Figure 1 : Organigramme de la société

2.4. Organigramme du groupe Lecante

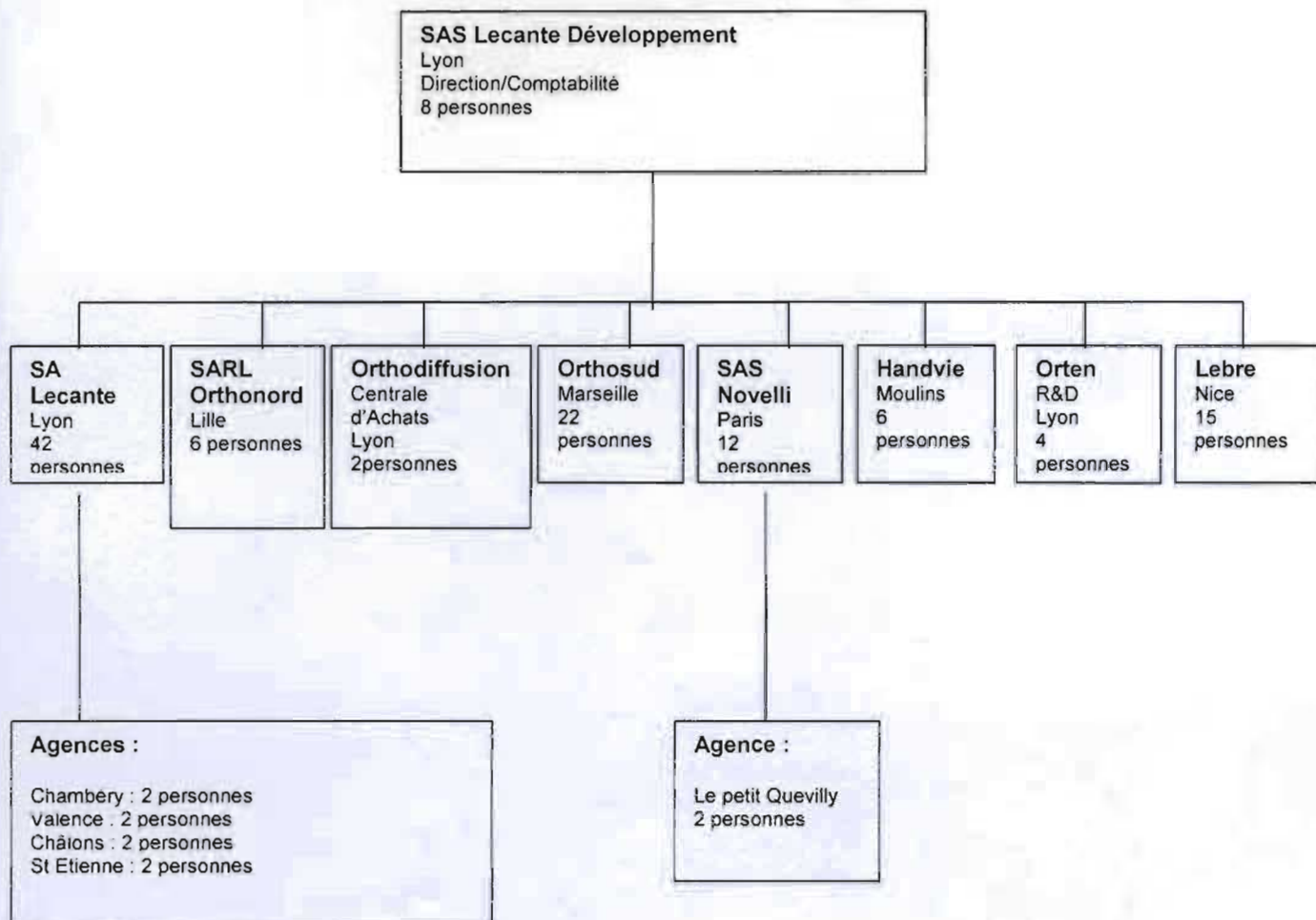


Figure 2 : Organigramme du groupe Lecante

2.5. Activité de la société

Les missions de Lecante SA ont peu changé au cours de l'histoire de l'établissement. Ce sont les techniques qui ont évolué.

Les deux activités principales de l'établissement consistent en :

- La production d'appareillage sur-mesure
- Le suivi du patient

Le groupe Lecante innove et organise la recherche en matière d'appareillage, il a d'ailleurs permis le développement de la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) d'appareillages orthopédiques à partir de son système de prise d'empreinte optique.

Le Groupe Lecante a toujours investi dans les dernières technologies pour concevoir



et réaliser ses appareillages avec précision, en harmonie avec la morphologie de ses patients et le handicap à traiter.

Les techniques traditionnelles du bois, du cuir et de l'acier côtoient celles plus modernes du carbone, du silicone ou du titane, dans une recherche de fiabilité, de légèreté et d'esthétique.



En matière de production d'appareillage, l'établissement s'est développé dans différentes activités :

Fabrication de dispositifs médicaux sur mesure de petit et grand appareillage ;
Fabrication d'une partie du dispositif médical (DM) : esthétique de prothèse, positifs en mousse, fabrication d'une partie d'un appareillage ;
Sous-traitance de certains éléments de la fabrication, ou de la totalité d'un DM ;
Vente de DM ;
Mise en place de DM, avec modification des DM en série ;
Importation de DM de série semi-finie, à adapter au patient.

3. La colonne vertébrale

3.1. Description

La colonne vertébrale ou rachis, est un empilement de 33 ou 34 os articulés, les vertèbres, qui forment le support du dos et sur lesquelles sont fixées les côtes. Le rachis s'élargit de bas en haut pour plus de stabilité, ainsi les vertèbres sont donc différentes selon les étages vertébraux.

Le rachis se divise en 5 parties :

1. le rachis cervical

Il se compose de 7 vertèbres cervicales, dénommées par la lettre C (de C1 à C7)
Les deux premières sont particulières : ce sont l'atlas et l'axis.

2. le rachis dorsal (ou thoracique)

Il est composé de 12 vertèbres thoraciques ou dorsales, dénommées par les lettres T ou D (de T1 à T12, ou de D1 à D12).
Il fait suite au rachis cervical et précède le rachis lombaire.

3. le rachis lombal (ou lombaire)

Il se compose de 5 vertèbres lombales (lombaires), dénommées par la lettre L (de L1 à L5).
Il fait suite au rachis dorsal et précède le rachis sacré.

4. le rachis sacré (ou sacrum)

Il se compose de 5 vertèbres sacrées ou sacrales dénommées par la lettre S (de S1 à S5).
Il fait suite au rachis lombal et précède le rachis coccygien.

5. le rachis coccygien (ou coccyx)

Il se compose de 4 ou 5 vertèbres coccygiennes soudées entre elles. Contrairement aux autres, elles ne sont pas dénommées par une lettre.
Il fait suite au sacrum et constitue la fin du rachis humain.

3.2. Les courbures

La colonne vertébrale vue de dos est droite mais dans le plan sagittal (vue de profil) elle présente quatre courbures, les concavités sont nommées lordose et les convexités cyphose.

On distingue :

- Une lordose cervicale
- Une cyphose thoracique
- Une lordose lombaire
- Une cyphose coccygienne

colonne vertébrale

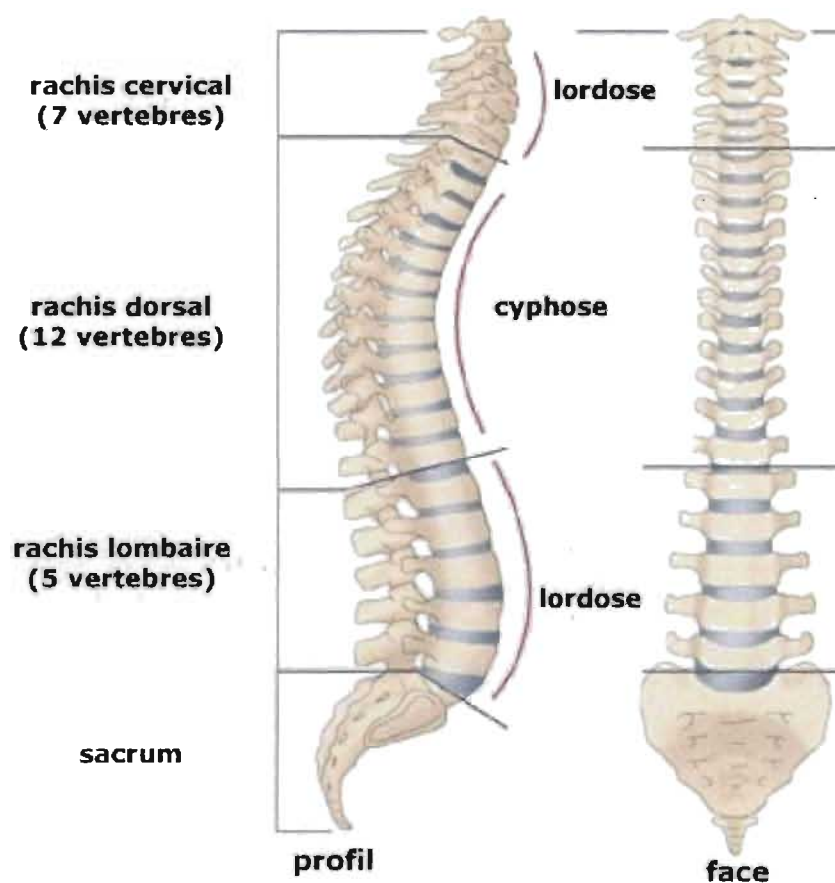


Figure 3 : Les courbures de la colonne vertébrale

4. La scoliose



Figure 4 : Exemple de scoliose

4.1. Définition

La scoliose est une affection déformante du rachis évoluant jusqu'à maturité osseuse. C'est le résultat du déplacement progressif des vertèbres les unes en rapport aux autres dans les trois dimensions de l'espace.

Ce déplacement s'effectue selon 3 axes de rotation :

- Inflexion latérale qui correspond au déplacement dans le plan frontal
- Extension ou dos plat correspondant au déplacement dans le plan sagittal
- Rotation, correspondant au mouvement de la vertèbre dans un plan horizontal. Elle se traduit cliniquement par la gibbosité.

La gibbosité est une courbure anormale de la colonne vertébrale, se manifestant par une saillie du thorax arrière.

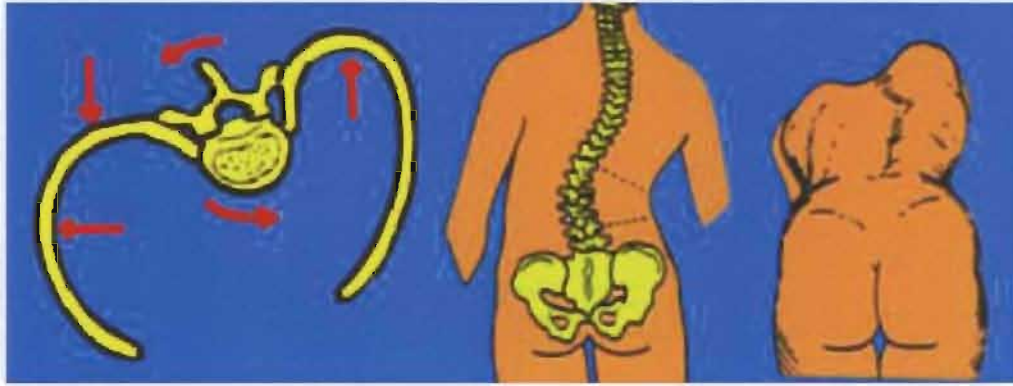


Figure 5 : La rotation vertébrale et la gibbosité

La scoliose la plus fréquente est la scoliose idiopathique (sans étiologie évidente) qui survient durant l'adolescence entre 11 et 13 ans chez les filles (80 % des scolioses) et 13-15 ans chez le garçon (20 % des scolioses).

4.2. Les différents types de scoliose :

Le type de scoliose est défini par une ou plusieurs courbures : thoraciques, lombaire, thoraco-lombaire, en fonction des vertèbres limites.

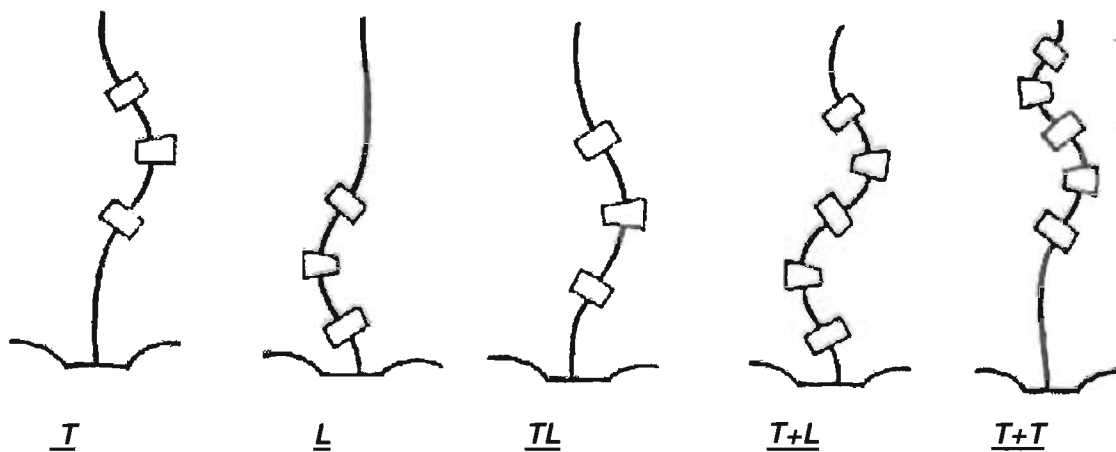


Figure 6 : Les différents types de scoliose

5. Traitement de la scoliose par orthèses du tronc ou corset

5.1. Le corset

Ce traitement a pour but de réduire les courbures d'une scoliose et va être porté environ 18 mois ou tout au moins jusqu'à maturité osseuse.

Un corset est dit valide s'il est :

- Sur mesure
- Réglable (la croissance est bien sûr à prendre en compte),
- Esthétique
- "Semaine" (fabriqué en 3 jours)
- Contrôlé

Il doit être porté à chaque fois que le patient est assis, après une séance de sport et surtout la nuit (le corset a en effet 70% d'effet la nuit).

Il existe différentes orthèses qui sont adaptées pour différentes pathologies, aussi bien les scolioses (de tout types) que les fractures. Aujourd'hui, grâce au développement et à l'évolution des matériaux utilisés, on peut même trouver des corsets souples, comme le « toilé », qui facilitent l'exercice physique.

5.2. La fabrication

La fabrication des corsets est réalisée dans l'atelier situé au-dessus des bureaux ou l'on conçoit également des prothèses et divers appareils orthopédique.

Le mode opératoire est le même pour tout les corsets et peut être décomposé en plusieurs étapes :

5.2.1. La fabrication du positif

Avant de fabriquer le positif il faut d'abord effectuer la prise d'empreinte.

C'est une étape déterminante dans la fabrication du corset, cette empreinte doit être la plus fidèle possible au tronc du patient.

On peut la réaliser par acquisition optique ou bien par moulage au plâtre.

•Acquisition optique

La forme du tronc du patient est acquise par le capteur 3D et générée par le logiciel Comfortac. Ensuite les retouches sur l'image en 3D sont effectuées au moyen du logiciel Ort-Trunk.



L'image finale est envoyée à l'usinage où une fraiseuse va réaliser le positif dans une mousse de polyméthane.

Figure 7 : Le fraisage

- Moulage au plâtre

On effectue tout d'abord un moulage au plâtre du tronc du patient appelé négatif. On va ensuite le fermer et le remplir de plâtre, on obtient une statue appelée positif. Une fois sec on retire le négatif et on effectue les retouches : disparition des défauts inhérents au coulage du positif et accentuation des différentes zones d'appui. Ce mode de fabrication est beaucoup plus long que l'acquisition optique.

5.1.2. Thermoformage de la coque d'essai

On chauffe une plaque de polyéthylène à 160° pendant 15 minutes et une fois souple on l'applique sur le positif. Une fois sèche on obtient le corset utilisé pour l'essayage.

5.1.3. Essayage du corset sur le patient

Cette étape permet de rectifier la dimension du corset et de tracer l'emplacement des mains d'appui.

5.1.4. Fabrication du corset définitif :

Suite à l'essayage on effectue les différentes modifications sur le positif puis on réalise le corset définitif suivant le même mode opératoire que la coque d'essai. On lui ajoute des renforts en carbone et le système de fermeture avant l'essayage du corset sur le patient par l'appliqueur. Les retouches sont effectuées immédiatement à l'atelier et le patient repart avec son corset....



Figure 8 : Le corset Lyonnais fabriqué et conçu par l'entreprise Lecante

6. La CFAO

6.1. Présentation

Le groupe Lecante procède depuis de nombreuses années à des investissements lourds en recherche et développement afin de remplacer le traditionnel moulage plâtré, par des procédés plus scientifiques.

L'entreprise est ainsi équipée d'un capteur optique fixe développé et commercialisé par la société Orten, filiale du groupe Lecante.

Composé de quatre colonnes équipées de projecteurs et de caméras reliées au logiciel Comfortac, il permet l'obtention rapide et sans contact de la forme précise du tronc ou des membres inférieurs avec une précision de plus ou moins 1 mm.



Figure 9 : Le capteur optique

6.2. Technique utilisée pour réaliser l'acquisition

Le capteur effectue l'acquisition par projection de franges, cette méthode consiste à projeter sur le patient des lignes noires et blanches.

Les déformations de la mire sur le patient permettant grâce à un dispositif optoélectronique adapté et à une méthode mathématique sophistiquée de reconstituer le relief de l'objet.

Les images issues de la projection de franges contiennent toutes des informations de relief qu'il faudra décoder. Les techniques de projection de franges permettent l'acquisition d'une surface et non pas uniquement d'une ligne. Il faut néanmoins utiliser plusieurs capteurs pour obtenir la totalité du corps du patient.



Figure 10 : La projection de franges

6.3. Principe du moulage optique

Avant de commencer la prise d'emprunte on procède à un examen minutieux du patient et de son bilan clinique. Ces informations sont consignées et servent à l'opérateur qui réalisera les modifications avec Ort-trunk de travailler sans avoir vu le patient.

Ensuite, afin d'obtenir un moulage optique optimal il est nécessaire d'avoir un éclairage homogène sur le patient. Pour ce faire, on revêt le patient d'un jersey blanc moulant et l'on veille à l'absence de plis.

Pour permettre à Ort-trunk de construire sa modélisation, on place au marqueur les repères anatomiques importants.

Le patient est placé debout au centre du capteur, en position d'autocorrection et reste immobile pendant la durée de l'acquisition qui est de deux secondes.

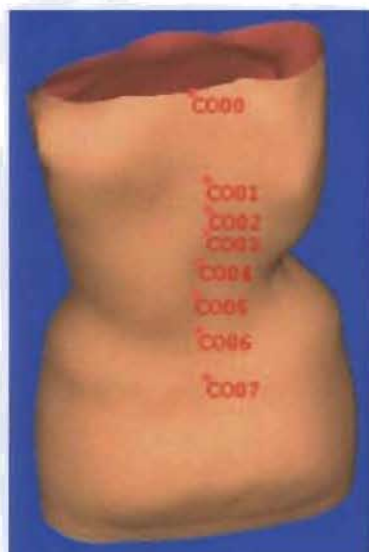


Figure 11 : Exemple d'acquisition

6.4. Le traitement du moulage optique

Le logiciel de Conception Assisté par Ordinateur Ort-trunk a été conçu pour modéliser et manipuler les données 3D issues du capteur. Ainsi l'orthoprotésiste retouche la forme externe du tronc de la même manière qu'il l'effectuera pour un positif en plâtre.

Les avantages de ce procédé par rapport à la prise d'empreinte plâtrée sont nombreux. Il permet à l'orthoprotésiste de travailler sur l'image réelle de son patient, de gagner un temps considérable dans la production, de stocker numériquement les informations et de suivre en 3D l'évolution du traitement.

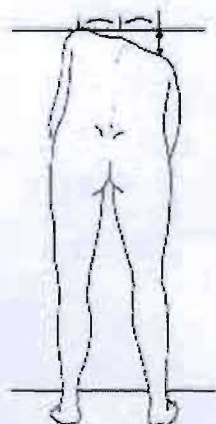
7. L'examen médical

Le dossier médical, spécifique à chaque patient, contient les bilans détaillés du dos, les bilans radiologiques et des éléments sur les antécédents médicaux et chirurgicaux.

Dans le cadre de mon travail sur l'étude d'un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale j'ai étudié une cinquantaine de dossiers médicaux de patients du centre des Massues à Lyon.

Je me suis intéressé en particulier à la valeur des gibbosités et des angles de Cobb, deux paramètres qui permettent de suivre efficacement l'évolution d'une scoliose.

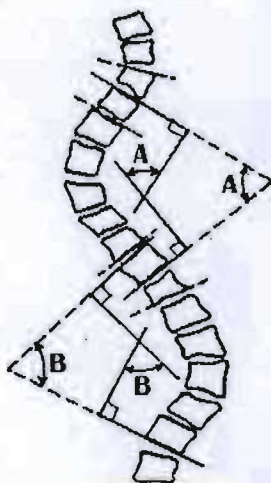
7.1. La gibbosité



La valeur de la gibbosité (en mm) est égal à la distance entre l'horizontale passant par le sommet de celle-ci et le dos côté concave, en un point symétrique de ce sommet par rapport à la ligne des épineuses. La gibbosité est recherchée debout, le patient penché en avant, le bassin étant équilibré et les mains jointes entre les jambes tendues.

Figure 12 : Mesure de la gibbosité

7.2. L'angle de Cobb



Cette mesure est effectuée sur la radiographie de face du patient et pour chaque véritable courbure.

L'angle de Cobb est formé par la droite passant par le plateau supérieur de la vertèbre limite supérieure et la droite passant par le plateau inférieur de la vertèbre limite inférieure.

Les vertèbres limites de la courbure sont les vertèbres les plus inclinées par rapport à l'horizontal.

Figure 13 : Mesure de l'angle de Cobb

8. L'indice de déformation de la colonne vertébrale

Le but de ce travail de recherche est de déterminer une corrélation entre l'empreinte prise par le capteur et la déformation de la colonne vertébrale et ainsi à long terme remplacer l'examen radiologique et clinique pour quantifier la gravité de la scoliose. Ce sujet de stage ayant déjà été donné à de précédents stagiaires, la première partie de mon travail a été de choisir la meilleure méthode pour calculer cet indice. Le point de départ ma recherche a été la compréhension du fonctionnement du logiciel de modélisation Ort-Trunk.

8.1. Description du logiciel Ort-Trunk

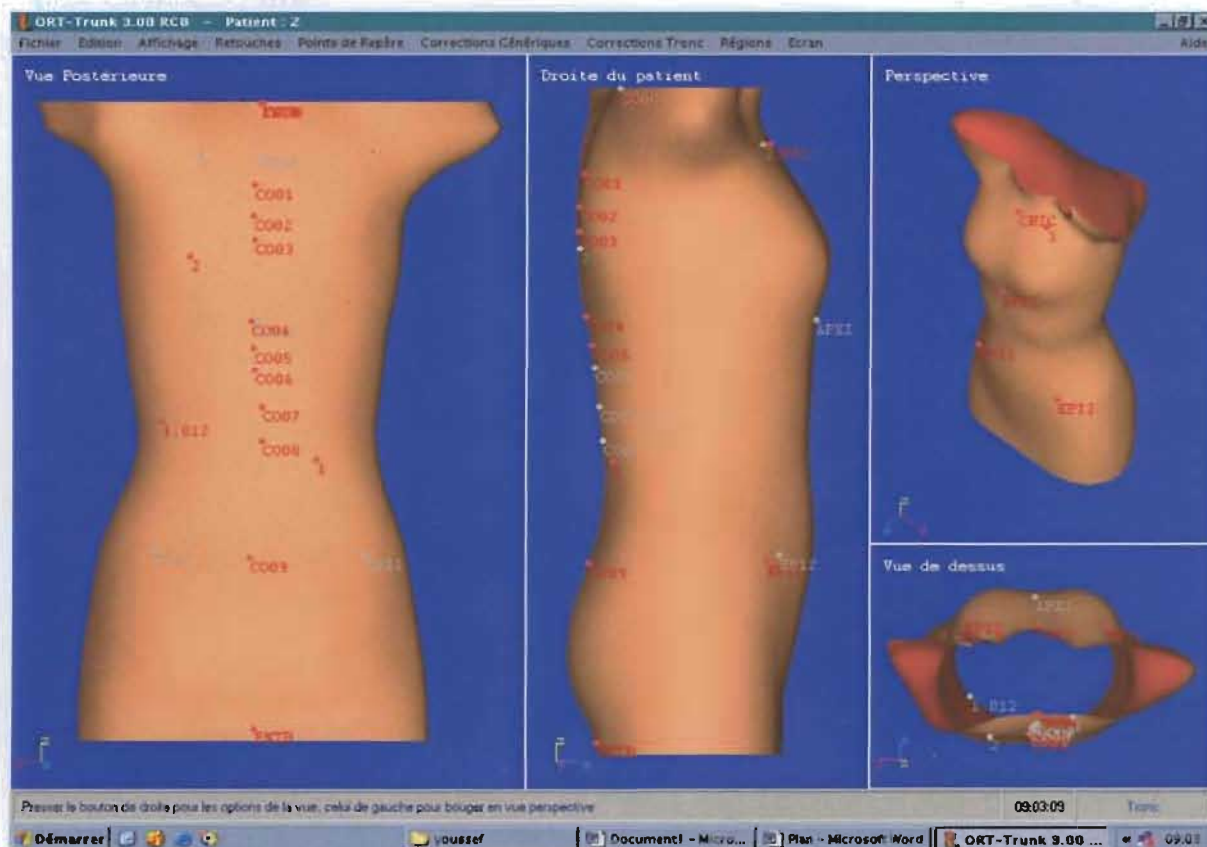


Figure 14 : Écran de visualisation du logiciel de CAO Ort-Trunk

Ce logiciel est utilisé après l'acquisition réalisée à l'aide du capteur optique 3D Orten. On voit ici le tronc d'une personne modélisé sur plusieurs vues, ce qui permet à l'opérateur de réaliser des modifications sur l'image d'un patient (rotations, translations, modifications de rayon, etc.).

Il est ainsi possible de fabriquer un corset sur mesure adapté à la morphologie du patient et permettant de réduire la déformation de la colonne. Pour chaque patient on génère donc un fichier .aop qui peut être lu par le logiciel Ort-Trunk.

A partir de ce fichier, on peut en créer un autre issu du bloc note (format .txt) qui permet d'avoir accès aux différents points constituant l'ensemble de la forme du tronc :

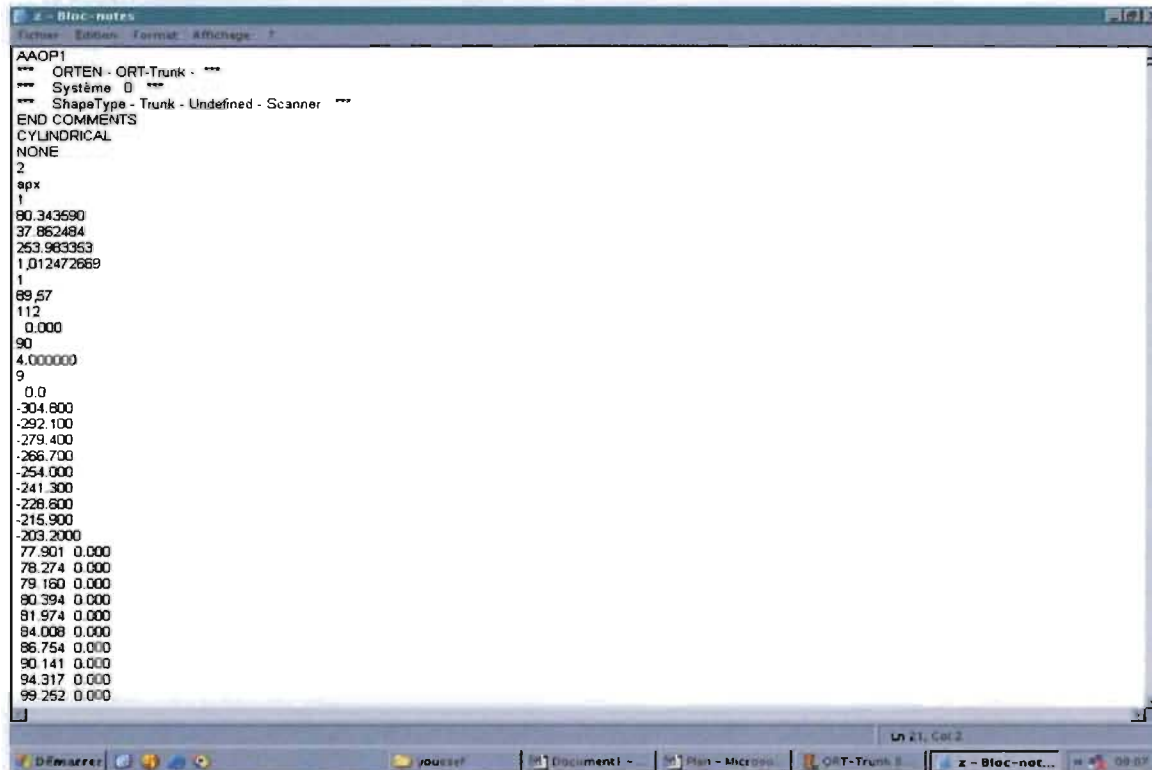


Figure 15 : Exemple de fichier bloc note issue d'un fichier .AOP

Le tronc est modélisé par un nombre de tranches successives en hauteur pouvant aller d'une quarantaine de tranches à environ soixante-quinze tranches maximum qui sont visualisables sur le fichier bloc note. Chaque tranche est constituée de 90 points séparés entre eux par un espace de 4 degrés, ce qui permet d'obtenir à 360 degrés la circonférence de cette partie du tronc.

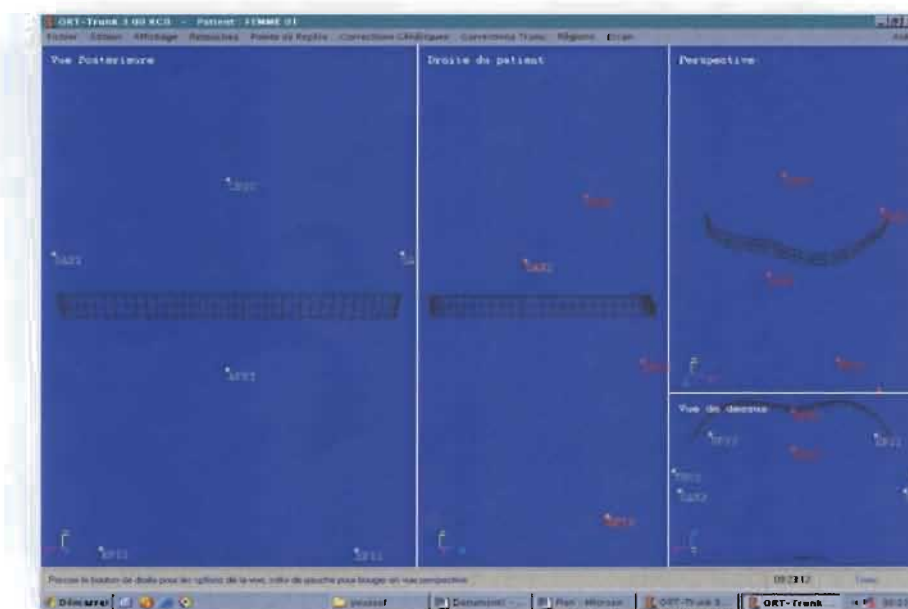


Figure 16 : Exemple de 3 tranches

Chaque point dans le plan est donc situé à l'aide de 3 critères :

- Une longueur : Le programme Ort-Trunk nous donne les distances qui séparent le centre de la circonférence de la tranche, on a donc 90 distances sur le total de la tranche. Pour des raisons de commodité et par aberration (car ce n'est pas un cercle), j'appellerai ces distances des « rayons ».
- Un angle : compris entre 0 et 356 degrés en partant du centre de la face ventrale.

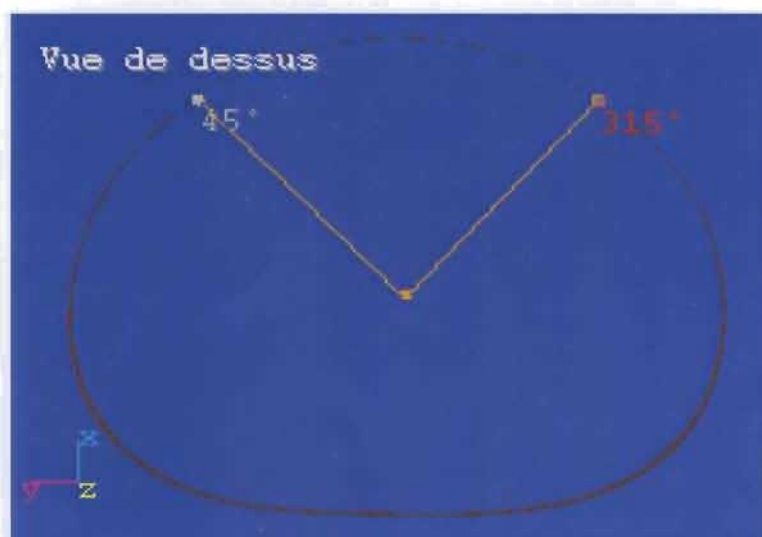


Figure 17 : Exemple de deux rayons un situé à 45° et l'autre à 315°

- Une hauteur : chaque tranche possède une altitude qui permet de placer les 90 points qui la constitue, à une hauteur donnée avant de passer à l'autre.

Le tronc ainsi réalisé est composé de 4050 points pour les plus petits (45 tranches) à environ 6750 points pour les plus grands (75 tranches).

8.2. Quelle méthode pour calculer l'indice ?

J'ai choisi d'utiliser une méthode de calcul créée par un ancien stagiaire de DESS génie Biomédicale, c'est celle qui donne l'indice me semblant être le plus représentatif de la déformation de la colonne vertébrale.

Par la suite je vérifierai son exactitude en comparant cet indice avec des dossiers médicaux de patients scoliotiques.

8.3. Description de la technique choisie

En observant une tranche de tronc dite normale et en la comparant avec une tranche dite déformée par une gibbosité, on peut voir que la symétrie par rapport au plan sagittal est respectée dans l'une mais pas dans l'autre.

On en déduit qu'un calcul utilisant la comparaison des surfaces permettrait d'avoir une vue plus précise de la forme exacte de la circonférence.

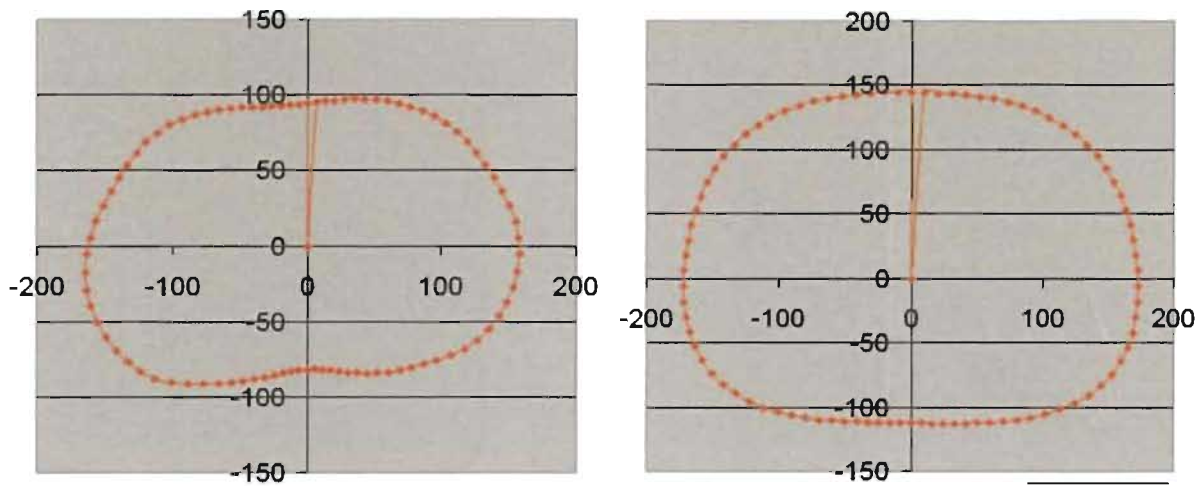


Figure 18 : À gauche une tranche déformée par la gibbosité, à droite une tranche normale

En regardant la surface d'une tranche, on peut distinguer deux plages intéressantes : la plage postérieure allant de 90° à 180° , puis la seconde allant de 180° à 270° . En effet, sur ces deux plages on peut dessiner les diamètres qui vont nous aider à comprendre comment la géométrie de la tranche change lors d'une déformation.

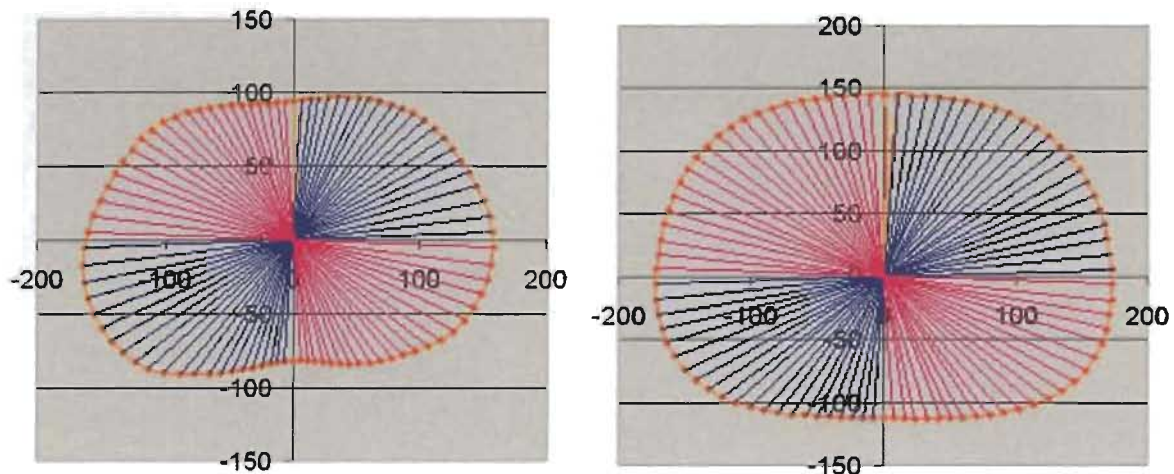


Figure 19 : En bleu ensemble des diamètres de 90° à 180° , en rose les diamètres de 180° à 270°

Lorsque l'on compare la plage bleue avec la plage rose on peut constater sur la tranche normale, l'égalité quasi parfaite entre les longueurs des diamètres.

Cette observation permet de voir que lorsqu' intervient la déformation due à la gibbosité, il y a une rotation des vertèbres qui crée un déplacement de ces diamètres vers la gauche ou vers la droite ce qui théoriquement rend les parties roses et bleues inégales en termes de longueur.

Ainsi cette observation conduit à réaliser un calcul de diamètre moyen sur les deux parties (rose et bleue) puis à calculer le rapport suivant :

Diamètre rose moyen = $(\sum \text{diamètre rose} / \text{nombre de diamètre rose})$

Diamètre bleu moyen = $(\sum \text{diamètre bleu} / \text{nombre de diamètre bleu})$

Puis

Indice de déformation moyen = Diamètre rose moyen / Diamètre bleu moyen

8.4. L'informatisation des dossiers médicaux

L'un des travaux demandés par mon maître de stage fut l'informatisation des données relatives à la gravité de la scoliose, contenues dans les dossiers médicaux.

Pour ce faire je me suis rendu plusieurs jours durant aux Massues qui est un centre spécialisé dans les pathologies rachidiennes.

J'ai ainsi travaillé en collaboration avec M. Boussard, kinésithérapeute, et son équipe pour dans un premier temps compléter mes connaissances acquises à l'entreprise Lecante sur la scoliose et dans un second temps apprendre à exploiter efficacement un dossier médical.

Pour réaliser une étude plus significative nous avons décidé de ne choisir que des scolioses de type thoracique et de ne garder que les déformations à droite de la colonne vertébrale.

J'ai pu avoir accès à une cinquantaine de dossiers et répertorier dans un tableau Excel les valeurs des angles de Cobb et des gibbosités pour chaque patient à trois dates différentes correspondant aux trois acquisitions.

Les acquisitions faites par le capteur optique ont été réalisées avant le plâtre, avant le traitement par corset et après un an de traitement de corset.

J'ai ainsi réalisé une étude sur la validité de cet indice en le comparant avec les paramètres contenus dans les dossiers et en tenant aussi compte de l'évolution de la scoliose au cours du temps.

8.5. Comparaison de l'indice avec les dossiers médicaux

J'ai évalué la validité de cet indice sur une vingtaine de patients avec pour chacun 3 examens médicaux et 3 acquisitions effectuées au même moment et étalées dans le temps.

Après comparaison il s'avère qu'il n'y a aucune corrélation entre la valeur de cet indice et les paramètres mesurés par le praticien (angle de Cobb et gibbosité).

Cet indice n'est donc ni représentatif de la déformation de la colonne vertébrale ni de la variation de relief du tronc.

Ainsi un patient n'ayant pas de déformation de la colonne vertébrale peut avoir un indice supérieur ou inférieur à 1.

Cette conclusion ne me permettant pas de poursuivre la deuxième partie de mon travail, l'étude statistique, j'ai décidé de chercher la cause de ces résultats aberrants et d'améliorer cette méthode de calcul d'indice en réduisant le plus possible la dépendance à l'opérateur.

8.6. Les erreurs dans la méthode de calcul

Tout d'abord, ni l'orientation, ni la posture du patient qui sont des paramètres variables ne sont pris en compte dans les différentes méthodes de calcul.

Ainsi la méthode de calcul est valable seulement si le patient est droit et bien orienté ce qui n'est à priori jamais le cas...

L'opérateur a la possibilité de repositionner le tronc du patient avec le logiciel Ort_Trunk, mais ce réglage est imprécis.

S'ajoutant à ces paramètres liés aux patients, la principale cause de la non-représentativité de cet indice était de partir du fait que le logiciel calculait un centre pour chaque tranche.

Ce qui, après consultation des employés de la société Orten, est faux, le logiciel calcul un centre unique pour tout le tronc.

Pour étayer mon raisonnement, j'ai représenté deux tranches positionnées sur un axe issu du tronc d'un même patient ne souffrant d'aucune déformation de la colonne vertébrale.

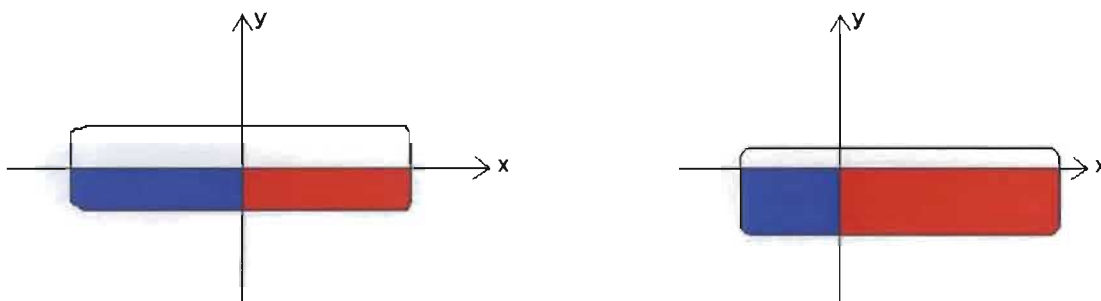


Figure 20 : Deux tranches A et B issues du même patient

La tranche A aurait donné un indice = 1 c'est à dire une colonne vertébrale sans déformation.

La tranche B aurait donné un indice < 1 c'est à dire une déformation à droite de la colonne vertébrale.

8.7. Conclusion

Une méthode de calcul d'un indice représentant la déformation de la colonne vertébrale ne peut pas être élaborée sans prendre en compte l'orientation du patient et le calcul d'un centre pour chaque tranche.

Ainsi de nouveaux paramètres sont à mettre en jeu pour obtenir un indice fiable et précis comparable avec plusieurs acquisitions d'un même patient.

Cette conclusion rejoint la notion d'opérateur indépendant souhaité par mon maître de stage, et m'a poussé à effectuer des recherches sur l'amélioration de cette méthode, détaillées dans la suite de mon rapport.

9. Recherches sur le calcul d'un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale

Mon stage arrivant à sa fin, je détaille dans les pages suivantes mes recherches sur l'amélioration de cette méthode de calcul avec pour objectif l'obtention d'un indice représentatif.

Je laisse la partie programmation au futur stagiaire travaillant sur cet indice (un logiciel plus puissant que Excel, tel que Scilab, sera indispensable pour effectuer ces calculs).

9.1. Calcul du véritable centre de chaque tranche

Rappel : Une tranche est composée de 90 points séparés entre eux de 4° .

La longueur des 90 rayons est donnée par le logiciel Ort-Trunk et correspond à la distance entre l'axe des z (centre unique pour tout le thorax) et la circonférence de la tranche.

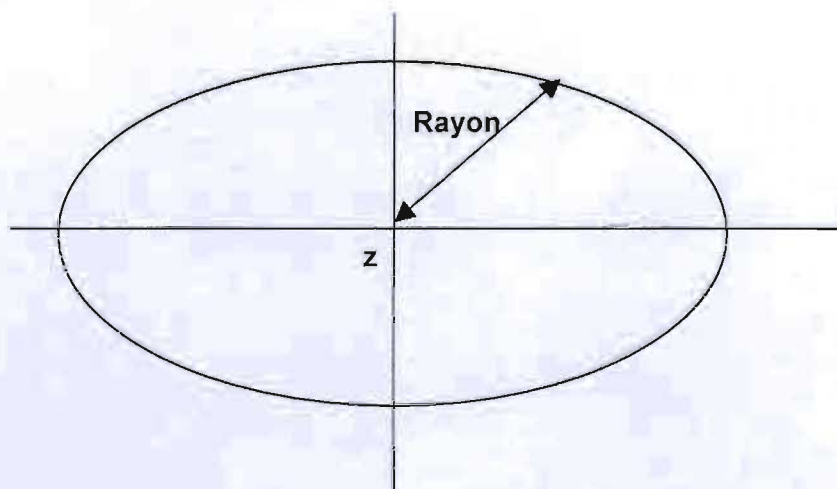


Figure 21 : représentation d'une tranche

9.1.1. Première méthode : calcul du milieu d'une droite séparant deux points

Après avoir recréé les tranches en coordonnées cartésiennes, le centre de la tranche serait le milieu d'une droite reliant un point $P (X_p ; Y_p)$ de la tranche à son opposé $P' (-X_p ; -Y_p)$.

Mais cette méthode serait valable si et seulement si chaque point avait son opposé ce qui n'est pas toujours le cas...

La méthode permettant le calcul exact des coordonnées du centre d'une tranche est la suivante :

9.1.2. Deuxième méthode : Calcul du barycentre

9.1.2.1. Définition :

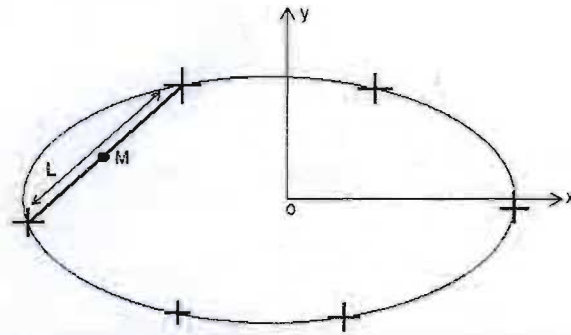


Figure 22 : Représentation d'une tranche

Dans un repère $(o ; x ; y)$, G est le barycentre de $(M_1 ; L_1) ; (M_2 ; L_2) ; \dots ; (M_n ; L_n)$ avec $M_i(x_i ; y_i)$ centre du segment L_i .

Les coordonnées du point G sont :

$$X_g = \frac{L_1 * x_1 + L_2 * x_2 + L_3 * x_3 + \dots + L_n * x_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}$$

$$Y_g = \frac{L_1 * y_1 + L_2 * y_2 + L_3 * y_3 + \dots + L_n * y_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}$$

9.1.2.2. Procédure :

-Transformation des coordonnées cylindriques en coordonnées cartésiennes :

Cette transformation des coordonnées des 90 points constituant une tranche en coordonnées cartésiennes est indispensable pour calculer son barycentre.

Les coordonnées de P sont : $(x = r * \cos \theta ; y = r * \sin \theta)$

On obtient 90 points : $P_1(x_{p1}, y_{p1}) ; P_2(x_{p2}, y_{p2}) ; \dots ; P_{90}(x_{p90}, y_{p90})$

-Calcul de la distance L séparant deux points :

$$L = \text{Racine carré de } (x_{p2} - x_{p1})^2 + (y_{p2} - y_{p1})^2$$

-Calcul des coordonnées du point M, centre du segment L :

$$M \left(\frac{x_{p1} + x_{p2}}{2} ; \frac{y_{p1} + y_{p2}}{2} \right)$$

-Calcul des coordonnées du barycentre G, véritable centre de la tranche :

On effectue le calcul des coordonnées de G en suivant la définition plus haut.

-Enfin, à partir des coordonnées du nouveau centre G, on recalcule les coordonnées des points à partir de celui-ci :

Les coordonnées de P sont $(x_p - x_g ; y_p - y_g)$

9.2. Le repositionnement de la tranche

L'étape suivante est la correction d'une mauvaise orientation du patient en effectuant une rotation de celle-ci par rapport au centre G.

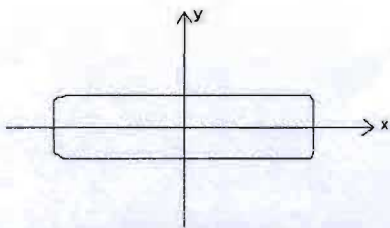


Figure 23 : Bonne orientation

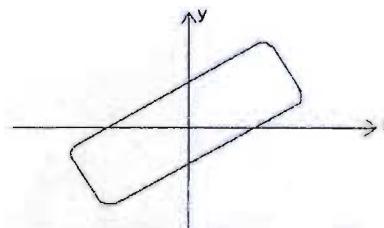


Figure 24 : Mauvaise orientation

9.2.1. Première méthode : la plus simple

Elle consiste à calculer l'angle créé par les deux rayons les plus longs d'une tranche, toujours situés sur les côtés, avec l'axe des 90° pour une orientation « à droite » et avec l'axe des 270° pour une orientation « à gauche ».

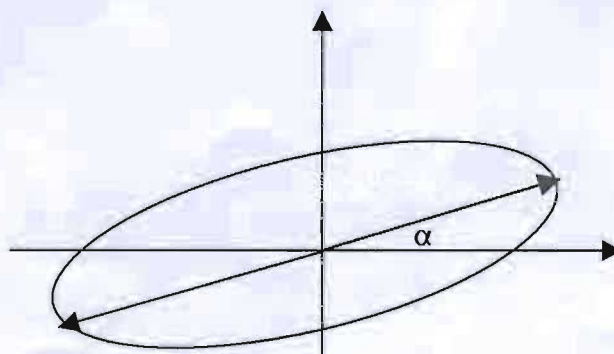


Figure 25 : Première méthode

Ensuite on ajoute cet angle α aux angles des 90 rayons pour repositionner correctement la tranche.

Cette méthode fonctionne seulement si les deux rayons de longueur maximum séparent la tranche en deux parties égales.

Car dans certains cas on peut trouver deux maximums ou un maximum situé, un peu en dessous ou un peu au dessus, de l'axe de symétrie de cette tranche. La méthode suivante, le calcul du barycentre, tient compte de ces irrégularités.

9.2.2. Méthode améliorée : le barycentre

Cette méthode est une version améliorée de la technique précédente et consiste à calculer l'angle moyen de 45 rayons, correspondant à la moitié d'une tranche.

Tout d'abord il faut tracer la courbe représentant la longueur du rayon en fonction de son angle.

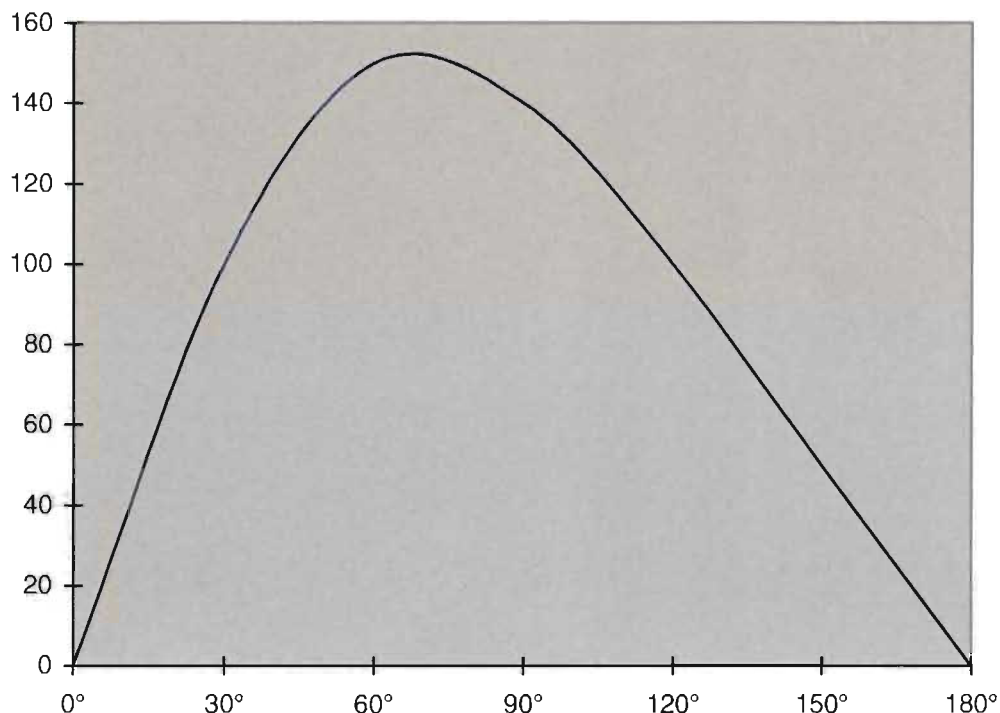


Figure 26 : Courbe représentant la longueur du rayon en fonction de son angle

Ensuite on calcule l'angle moyen en utilisant la formule du barycentre :

$$\theta_{\text{moy}} = \frac{\sum R_i * \theta_i}{\sum R_i} \quad \text{avec } i \text{ allant de } 0 \text{ à } 45$$

On effectue le même calcul pour les rayons entre 180° et 360°, puis on fait la moyenne des deux angles θ_{moy} obtenus.

Finalement on calcule la différence en degré α entre l'axe des 90° et θ_{moy} , et on l'additionne à l'angle de tous les rayons.

Cette méthode est plus précise que la précédente car elle prend en compte la forme de la tranche et l'ensemble de ses rayons et de ses angles.

9.2.2. Troisième méthode : l'ellipse

Il faut transformer les coordonnées des points en coordonnées cartésiennes, on obtient ainsi un nuage de points.

Ensuite, on trace l'ellipse correspondante à ce nuage de points et on mesure l'angle fait par l'ellipse avec l'axe des 90° .

Cette technique est plus complexe à mettre en œuvre que le calcul du barycentre mais tout aussi fiable.

9.3. Calcul de l'indice

Une fois les tranches recentrées et repositionnées on peut alors calculer l'indice de déformation moyen selon la méthode vu précédemment.

Si on effectue ces calculs à chaque acquisition d'un même patient on obtiendra un indice comparable dans le temps.

Ainsi on aura atteint l'objectif : pouvoir, simplement avec les indices, suivre l'évolution de la scoliose du patient et ajuster son traitement.

10. Discussion sur les perspectives d'avenir

Le recentrage de chaque tranche est une étape obligatoire pour calculer un indice à partir d'acquisition faite par le capteur mais sa réorientation peut être discutée.

En réorientant la tranche on corrige la mauvaise posture du patient, source de résultats faussés, mais on atténue aussi la déformation de la colonne vertébrale. L'utilisation d'une méthode trop normalisatrice qui ne mettrait pas assez en évidence la gravité de la scoliose du patient ne conduira pas à un diagnostic exact.

Des tests, avec et sans réorientation de la tranche devront être menés pour pouvoir en juger.

Pour ce qui est de l'avenir de la recherche sur un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale, les trois grandes lignes des méthodes de calcul seront automatisées, indépendance vis à vis de l'opérateur et représentativité.

11. Conclusion

Mes recherches effectuées sur une méthode de calcul d'un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale montre que le recentrage de chaque tranche, et éventuellement sa réorientation, est obligatoire.

Il est donc nécessaire d'inclure ces paramètres dans le cahier des charges afin d'obtenir un indice le plus représentatif possible et une technique de calcul opérateur indépendante.

Ainsi dans ce rapport sont détaillées des méthodes permettant d'avancer dans la recherche sur la quantification de la gravité de la scoliose à partir d'acquisitions du capteur optique Orten.

Je pense que cet indice remplacera, à court terme, la mesure clinique des gibbosités et à long terme celle de l'angle de Cobb ainsi on évitera les dangers liés à l'exposition aux rayons x lors de l'examen radiologique.

12. Bilan du stage

Ce stage m'a initié au fonctionnement d'une entreprise et plus particulièrement m'a permis de découvrir en profondeur le domaine de l'orthopédie.

Mes activités au sein de cette entreprise furent très diverses ; j'ai pu suivre les étapes de la conception d'un corset, participer aux essayages ou consulter des dossiers médicaux au centre des Massues.

Durant le stage, j'ai pu apprendre à développer des méthodes pour fournir un travail rigoureux et exploitable par celui qui reprendra mes recherches.

D'autre part, mon tuteur étant très occupé de par sa fonction, il m'a laissé une grande autonomie dans la conduite de mon stage, ce fut une expérience d'autant plus enrichissante et formatrice.

Enfin, un bon contact avec les différents membres de l'entreprise était nécessaire pour mener à bien mon sujet. J'ai ainsi apprécié le côté relationnel de mon stage, aspect important dans toute activité professionnelle.

Annexes



Table des figurations

Figure 1 : Organigramme de la société	page 7
Figure 2 : Organigramme du groupe Lecante	page 8
Figure 3 : Les courbures de la colonne vertébrale	page 11
Figure 4 : Exemple de scoliose	page 12
Figure 5 : La rotation vertébrale et la gibbosité	page 13
Figure 6 : Les différents types de scoliose	page 13
Figure 7 : Le fraisage	page 14
Figure 8 : Le corset Lyonnais de l'entreprise Lecante	page 15
Figure 9 : Le capteur optique	page 16
Figure 10 : La projection de franges	page 16
Figure 11 : Exemple d'acquisition	page 17
Figure 12 : Mesure de la gibbosité	page 18
Figure 13 : Mesure de l'angle de Cobb	page 18
Figure 14 : Ecran de visualisation du logiciel de CAO Ort-Trunk	page 19
Figure 15 : Exemple de fichier bloc note issue d'un fichier.AOP	page 20
Figure 16 : Exemple de 3 tranches	page 20
Figure 17 : Exemple de deux rayons un situé à 45° et l'autre à 315°	page 21
Figure 18 : Tranche déformée par la gibbosité, tranche normale	page 22
Figure 19 : Ensemble des diamètres de 90 à 180° et de 180 à 270°	page 22
Figure 20 : Deux tranches A et B issues du même patient	page 24
Figure 21 : Représentation d'une tranche	page 26
Figure 23 : Bonne orientation	page 27
Figure 24 : Mauvaise orientation	page 27
Figure 25 : Première méthode	page 27
Figure 26 : Courbe représentant la longueur du rayon en fonction de son angle	page 28

Bibliographie

- www.Demauroy.net : site Internet sur la colonne vertébrale conçu par le Professeur Demauroy.
- Les déformations du rachis par P.Stagnara (édition Masson)
- Manuel d'utilisation Comfortac : Dispositif de Moulage optique du tronc
- Rapport de Stage de Cherid Youssef : Calcul et automatisation d'un indice en corrélation avec la déformation de la colonne vertébrale