



Rapport de stage 2013

# **Etude quantitative des répercussions des déformations posturales du crâne sur les structures internes crâniennes à l'aide d'images en trois dimensions**

**Etudiante :**

Mélissa SOLINHAC

Master 2 Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour la Santé (STIC pour la santé).

Spécialité Bio-informatique, Connaissances, Données (BCD)

**Responsable de stage :**

Pr. Guillaume CAPTIER  
Dr. Gérard SUBSOL

**Tuteur pédagogique :**

Pr. Vincent BERRY



## **Remerciement**

Je tiens à remercier le Pr Guillaume Captier, tout d'abord pour m'avoir acceptée au sein de ce stage puis pour ses conseils et sa disponibilité. Merci aussi au Dr Gérard Subsol pour son aide et d'avoir été également très disponible.

## Sommaire

Introduction .....	6
I. Les déformations crâniennes du nourrisson.....	7
1.1 Définition .....	7
1.2 Etiologie .....	7
1.3 Diagnostics et traitement .....	8
II. Le contexte.....	9
2.1 Etude de l'état de l'art .....	9
2.1 La situation.....	12
III. Etude des déformations posturales .....	13
3.1 Retour sur le projet .....	13
3.1.1 Méthode : Pipeline des logiciels .....	13
3.1.2 Obtention de deux structures.....	14
3.1.3 Calculs de carte de distances .....	16
3.1.4 Résultats.....	17
3.2 Etude quantitative .....	18
3.2.1 Méthode : Pipeline des logiciels .....	18
3.2.2 Construction de la base de données .....	19
3.2.3 Les segmentations.....	20
3.2.4 Les calculs de distances.....	21
IV. Résultats, exploitation, discussion .....	23
4.1 Résultat et exploitation.....	23
4.1.1 Définition d'un critère de gravité quantitatif .....	24
4.1.2 Classification automatique.....	28
4.1.3 Corrélation entre déformations crâniennes et endocrâniennes .....	30
4.2 Discussion.....	37
4.3 Résultats annexes .....	38
Conclusion .....	41
Références.....	43
Annexes .....	45



## Introduction

Mon stage de fin d'étude de Master STIC pour la Santé se réalise au sein du service pédiatrique du CHRU Lapeyronie. Mes deux encadrants sont le Pr Guillaume Captier, chirurgien spécialisé dans la chirurgie plastique et infantile et le Dr Gérard Subsol, chercheur au CNRS dans l'équipe ICAR au Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique (LIRMM) de Montpellier.

Les nourrissons sont sujets à des déformations crâniennes qui se traduisent par une anomalie de la forme du crâne qui perd sa forme ovoïde. Il existe deux mécanismes principaux : les déformations par synostoses (craniosténoses) et les déformations sans synostoses. Ce stage a pour but d'étudier quantitativement les déformations sans synostoses du crâne et leurs répercussions sur les structures internes crâniennes à l'aide d'images en trois dimensions. Certaines études tendent à montrer qu'il y a une influence sur le développement de l'enfant. Il est donc indispensable d'obtenir des données quantitatives pour essayer de classifier et d'identifier la répercussion d'une telle déformation.

Ce stage est la continuité d'un projet que j'ai réalisé au premier semestre. Une première étude avait été menée sur sept examens acquis par scanner (coupes d'environ 1 mm) d'enfants atteints de déformations crâniennes. Le but était de récupérer automatiquement deux structures à l'aide de différents logiciels : le crâne et l'endocrâne (surface intérieure du crâne) pour analyser les répercussions des structures externes sur les structures internes. Ce stage correspond à la même étude sur une plus grande base de données. Les deux structures sont aussi délimitées automatiquement afin d'analyser les déformations quantitativement et leur corrélation.

Ce rapport est divisé en quatre parties ; la première effectue un résumé des déformations crâniennes (définition, étiologies, diagnostic et traitement). Le contexte est présenté dans la deuxième partie. La troisième partie expose l'étude sur les répercussions des déformations posturales en rappelant la démarche entreprise dans le projet initial puis les étapes réalisées lors de l'étude quantitative. Un pipeline des logiciels utilisés pour ces deux démarches est décrit afin de bien comprendre leur enchainement et les différences qui existent entre les deux. La quatrième partie correspond aux résultats et une exploitation et une discussion de ces résultats.

## I. Les déformations crâniennes du nourrisson

### 1.1 Définition

Il existe deux grands mécanismes des déformations du crâne [1,3,4]:

- Les déformations crâniennes par synostose (craniosténoses), causés par des fermetures prématurées d'une ou plusieurs sutures crâniennes. Elles sont plus rares et surviennent dès la naissance [1,5].

- Les déformations sans synostoses, aussi appelées déformation posturales ou positionnelles [1,2,3]. Elles sont quant à elle très fréquentes. Elles surviennent dans les premières semaines de la vie alors que le crâne était normal à la naissance car durant les premiers mois de la vie, le nourrisson bouge très peu sa tête et dort sur le dos pour respecter les consignes de prévention de la mort subite du nourrisson. Les asymétries peuvent alors devenir plus sévères ou s'améliorer avec le temps [1,4]. On distingue trois formes de déformations posturales (Cf. figure 1) : les plagiocéphalies occipitales (PO) où la déformation survient sur un côté à l'arrière du crâne, les plagiocéphalies fronto-occipitales (PFO) qui présentent une asymétrie postérieure unilatérale et un front bombé et les brachycéphalies (ou platycéphalie) possèdent un aplatissement central de l'arrière du crâne plus ou moins symétrique [1,5].

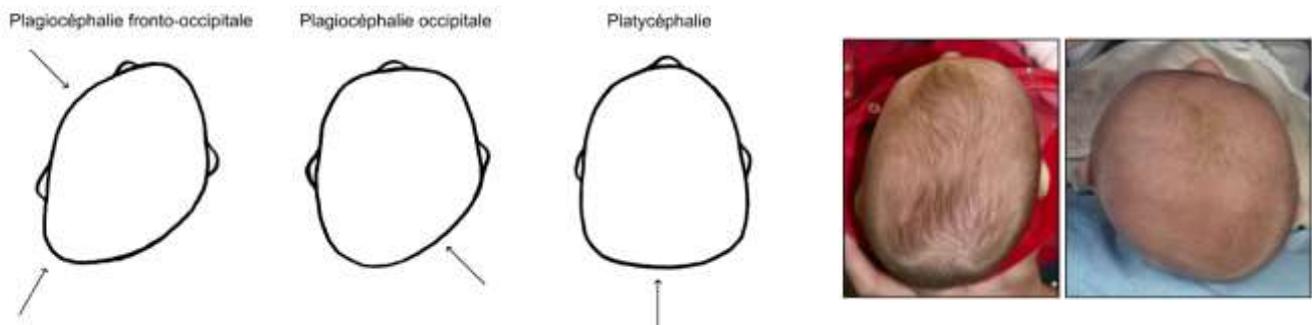


Figure 1 – Gauche : Différents types de déformations posturales (source : Wikipédia).  
Droite : Enfants atteints de plagiocéphalies posturales (source : Internet)

### 1.2 Etiologie

Les facteurs de risques de ces déformations crâniennes sont mal connus, malgré le nombre de cas qui augmentent. Chez les enfants atteints de plagiocéphalies, on retrouve souvent des torticolis [1,3,4,5,6] (contraction du muscle sterno cléido-occipito-mastoïdien, muscle pair du cou, tendu obliquement, entre la

clavicule et le sternum en bas et la mastoïde de l'os temporal et l'os occipital en haut). A l'exception de ces torticolis, les déformations sont considérées comme des conditions purement mineures, n'ayant que des conséquences cosmétiques.

Certaines études pensent que ces déformations proviennent de forces externes prénatales ou postnatales [2,3,4] ou bien qui surviennent à la naissance[3] qui modulerait le crâne dans les premiers mois de la vie [1,5,6,7]. Différents articles indiquent d'autres facteurs de risques comme des grossesses avec assistance, la gémellité, des problèmes intra-utérin ou encore le fait que ce soit un garçon.

Le facteur le plus répertorié est la position allongée sur le dos. La campagne « Back to Sleep » de l'AAP (American Academy of Pediatrics), qui recommande de positionner les bébés sur le dos pour éviter le syndrome de la mort subite du nouveau-né, s'est accompagnée d'une forte augmentation de la fréquence des déformations posturales [1,3,5].

L'étude de Captier G et al. [10] conclut que les déformations survenaient in-utero ou chez le nouveau-né. La position allongée aggrave la déformation et la traction et la compression du muscle du cou sont des facteurs mécaniques responsables. Des simulations biomécaniques pourraient aider à étudier ces influences.

### **1.3 Diagnostics et traitement**

L'apparition des déformations est différente suivant les cas. Pour les craniosténoses, elles apparaissent à la naissance et ne bougent pas, pour les posturales, elles apparaissent dans les premières semaines et évoluent avec le temps. Chaque déformation a ses caractéristiques. Le crâne est asymétrique ; il s'agit d'une plagiocéphalie. Le crâne est raccourci ; il s'agit d'une brachycéphalie. Lorsque le crâne est allongé on peut suspecter une craniosténose [11].

Il faut ensuite observer le crâne. De face, il faut chercher une asymétrie des oreilles. Pour les brachycéphalies, par exemple, le crâne est large et est proéminent au-dessus des oreilles. De dos, il faut chercher une asymétrie à la base du crâne. De dessus, il faut chercher une asymétrie entre le côté gauche et le côté droit. Les plagiocéphalies sont caractérisées par un aplatissement à l'arrière du crâne, unilatéral pour les PO et les PFO présentent, en plus, une déformation frontale. Pour

la vue de profil, il faut chercher un aplatissement sur l'arrière du crâne et éventuellement chercher une protubérance du front pour les PFO [11].

Il faut ensuite différencier les craniosténoses des déformations posturales. Pour l'un le traitement est chirurgical pour l'autre il est principalement postural [1,2,3,11]. Les premiers soins pédiatriques sont indispensables pour émettre un bon diagnostic. Détecter au plus tôt une éventuelle déformation permet de mettre en place un traitement efficace [1].

Il existe aussi différentes thérapies pour la prévention et le traitement des déformations posturales comme la thérapie par casque où une étude a montré que la symétrie s'améliore un peu avec le temps pour les enfants qui ont reçu un traitement orthopédique. Très peu d'études ont été menées sur le sujet [9]. Il faut, cependant, une bonne évaluation de la déformation et de l'asymétrie pour avoir un casque le mieux adapté possible.

## **II. Le contexte**

### **2.1 Etude de l'état de l'art**

Certains chercheurs ont mis en place des méthodes pour étudier l'asymétrie de la tête chez des enfants atteints de déformations crâniennes.

Stéphanie Lanche, et al [12] ont lancé une étude dont le but est de développer une méthode qui permet d'évaluer et de modéliser ces asymétries. Pour cela, ils ont capturé, sur 38 enfants atteints, la surface de leur crâne en utilisant la caméra 3dMD<sup>1</sup>. Il s'agit d'une caméra qui permet d'obtenir des surfaces en trois dimensions. Ces surfaces sont toutes recalées sur une surface de crâne de référence afin de pouvoir comparer la symétrie en un point P du patient 1 à celle du patient 2 au même point. Cette symétrie, à un point P, correspond au ratio entre deux distances d et d' (Cf. figure 2).

---

<sup>1</sup> [www.3dMD.com](http://www.3dMD.com)

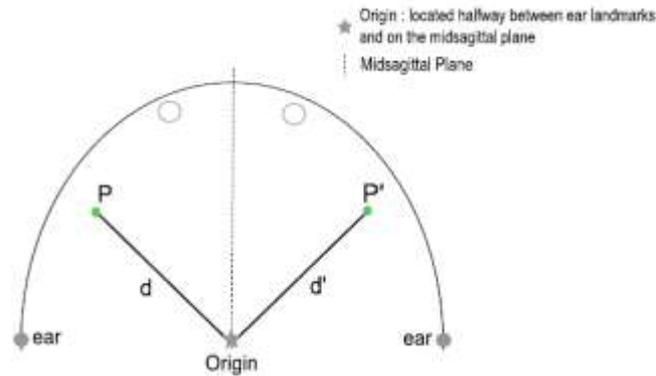


Figure 2 – Figure 2 de l'article de Stéphanie Lanche, et al [12]. Représentation de l'asymétrie à un point P

Pour visualiser ces résultats une carte de distances en deux dimensions est créée. Chaque point P est défini en coordonnées sphériques et est reporté sur la carte de distance où l'oreille droite correspond à 0 degré, le milieu de la face à 90 degré, l'oreille gauche à 180 et le centre de l'arrière à 270 degré (Cf. figure 3 (1)).

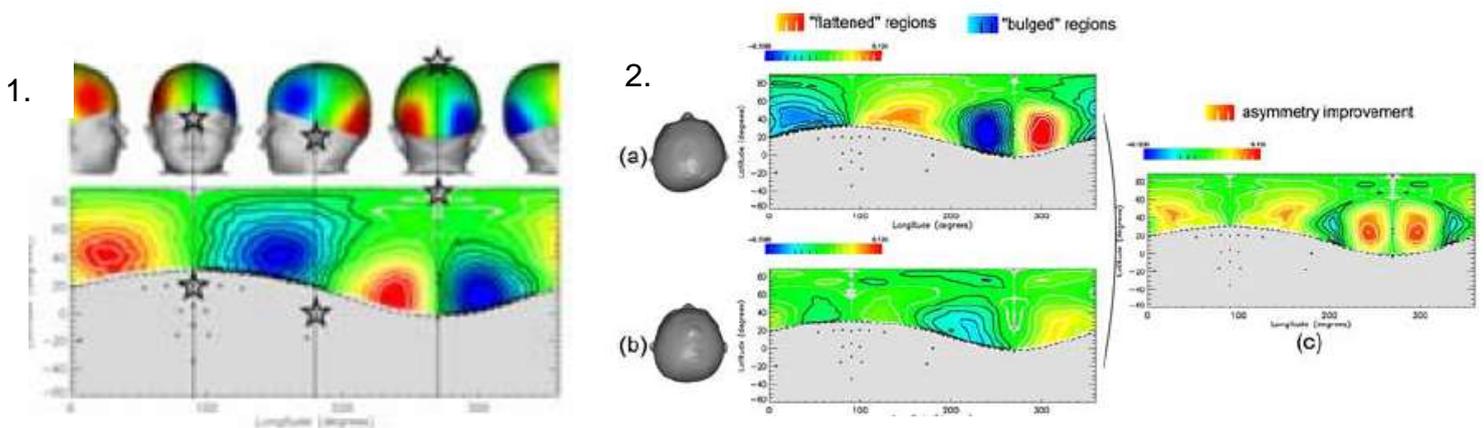


Figure 3 – Figure 3 et 4 de l'article de de Stéphanie Lanche, et al [12] (1) construction de la carte de distances en deux dimensions (2) comparaison des cartes de distances avant (a) et après (b) traitement. (c) carte de changement

Une carte de changement de l'asymétrie est calculée à partir des cartes d'asymétrie obtenues avant et après le traitement (Cf. figure 3 (2)). Un modèle statistique de PCA a été mis en place et il en résulte que les mesures de l'asymétrie semblent bien refléter les asymétries observées et que le modèle permet d'obtenir une description quantitative de l'asymétrie. Quelques problèmes pourraient se poser comme l'utilisation des positions des oreilles pour établir une correspondance des points, car elles sont souvent atteintes dans ces déformations ou encore les repères sur le haut de la tête qui ne sont pas anatomiques. D'après eux, cela ne semble pas affecter leurs mesures.

B. Lynne Hutchison et al [13] ont mené une étude sur 60 enfants (31 cas et 29 contrôles). Le crâne de chacun d'eux a été photographié à l'aide d'une caméra avec une bande placée autour de la tête. Le programme HeadsUp®, développé pour analyser ces photos, a permis d'obtenir l'index céphalique (IC ; rapport entre la longueur et la largeur d'un crâne humain), la circonférence de la tête, les distances entre chaque oreille et le centre du nez et le ratio des longueurs transcraniennes oblique (OCLR ; *oblique cranial length ratio*) (Cf. figure 4 (E)). Ces mesures ont aussi été calculées grâce à un élastique flexible placé autour de la tête (Cf. figure 3 (C)). Les places des oreilles et du nez sont marquées et sont ensuite repérés sur un papier (Cf. figure 3 (F)). Chaque manipulation a été répétée trois fois.

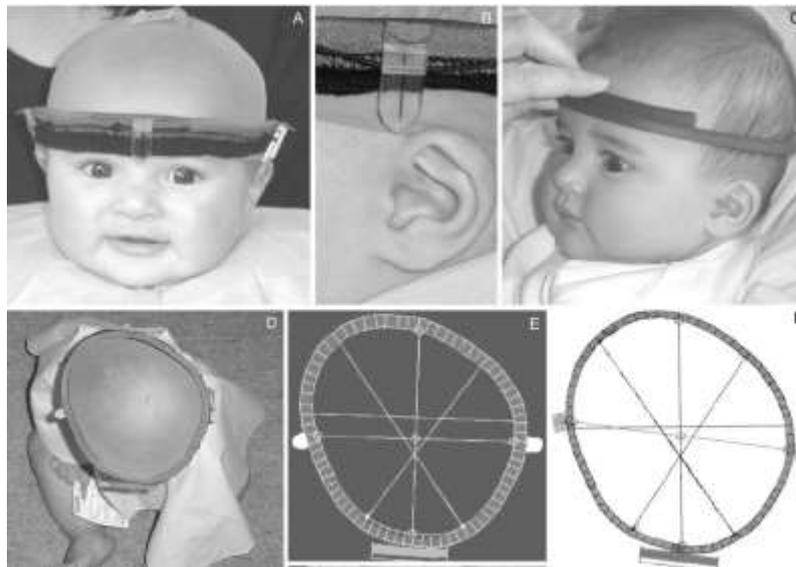


Figure 4 – Figure 1 de B. Lynne Hutchison et al [13] Exemple de photographie HeadsHup (A,B,E) et flexicurve (C,D,F)

Ces deux méthodes sont ensuite comparées. Le but étant de mettre en place une technique de quantification des déformations. Ils ont utilisé l'OCLR du crâne pour quantifier les plagiocéphalies et l'IC pour les brachycéphalies. En effet l'IC permet de savoir si le crâne est allongé ou pas et l'OCLR donne une idée de la dissymétrie. Il en résulte que ces deux mesures sont significativement différentes entre les cas et les contrôles, avec une large variation, notamment pour les enfants cas (Cf. figure 5). Ces résultats suggèrent qu'un IC > 93% pourrait définir une brachycéphalie et un OCLR > 106 % une plagiocéphalie.

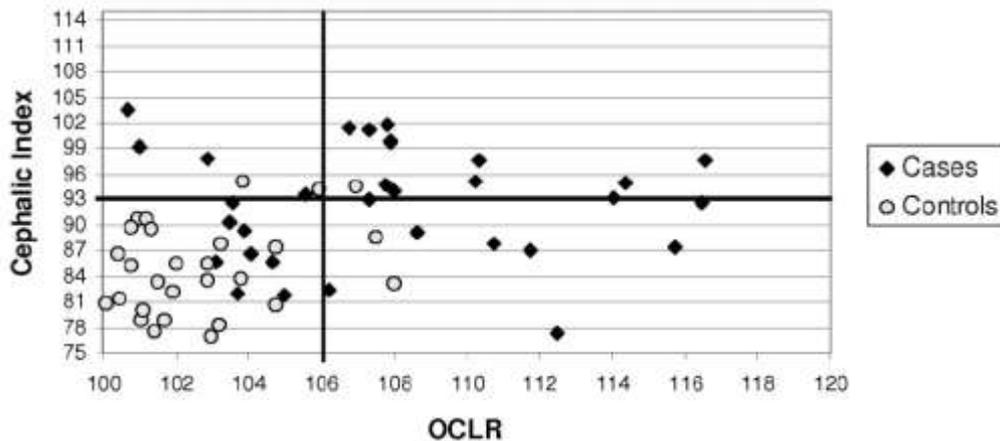


Figure 5 – Figure 2 de B. Lynne Hutchison et al [13] Détermination de points limites pour l'IC et l'OCLR

Ces paramètres ne s'appuient que sur quelques points en deux dimensions (vue du dessus). La vision 3D est plus adéquate pour évaluer la gravité et aussi pour essayer de localiser ces déformations. De plus, le même problème sur les repères anatomiques (position des oreilles) peut se poser ici. Ces mesures peuvent donner une idée de la déformation mais pas de la comprendre vraiment.

## 2.1 La situation

Quelques recherches ont suggérées que les enfants atteints de telles déformations posséderaient un risque de retard de développement. Cependant, les chercheurs affirment que les enfants auraient un risque mais n'ont pas de preuves quant à une relation causale entre les déformations posturales et le développement [5,6,7,8].

Mon stage est la suite d'un projet que j'ai réalisé au cours de mon premier semestre. Le but de ces deux travaux est de chercher à mieux comprendre les plagiocéphalies posturales et de proposer une méthode de quantification 3D de la déformation du crâne et de l'endocrâne. La quantification permettra d'avoir une échelle de gravité de la déformation, de l'asymétrie et de la répercussion sur les structures internes qui pourraient indiquer un éventuel lien sur le développement cérébral. Un niveau de gravité quantitatif pourra être mis en place en comparant l'ensemble des résultats.

La quantification de la gravité est difficile mais peut être utile pour une bonne prise en charge de l'enfant et une évaluation du traitement. Cette quantification est en effet souvent basée sur des opinions d'experts. Ces opinions sont variées et ne

sont pas vraiment répertoriées. Ils correspondent uniquement à des critères qualitatifs d'examen clinique [14]. Il est donc complexe de se fier à une méthode ou à une autre. Plusieurs études se sont intéressées à la question, chacune d'entre elles se sont basées sur l'asymétrie de la tête. Elle semble donc être un bon critère pour quantifier la déformation.

Les déformations des structures externes (le crâne) seront comparées aux déformations des structures internes cérébrales (l'endocrâne). Un ensemble de logiciels a été utilisé pour récupérer automatiquement ces deux structures (crâne et endocrâne) afin d'analyser les répercussions.

Le projet précurseur, a surtout permis d'étudier la faisabilité de cette étude sur les répercussions des déformations. Il a été mené sur sept examens anonymisés acquis par CT-scan (résolution environ 1mm) d'enfant atteint de déformations.

### **III. Etude des déformations posturales**

#### **3.1 Retour sur le projet**

##### **3.1.1 Méthode : Pipeline des logiciels**

Le pipeline ci-dessous (Cf. Figure 6) permet de bien comprendre l'enchaînement des logiciels utilisés lors du projet. Le projet s'est réalisé sur trois grandes étapes. La première étape correspond à la segmentation des deux structures, la deuxième à la création du symétrique et la dernière à la création de cartes de distances.

Chaque format de fichier de sortie correspond au format fichier d'entrée des logiciels qui suivent. Il n'y a pas de problème de conversion de fichier. Il s'agit d'un format .obj (description d'une géométrie 3D, coordonnées des sommets et des faces au format ASCII).

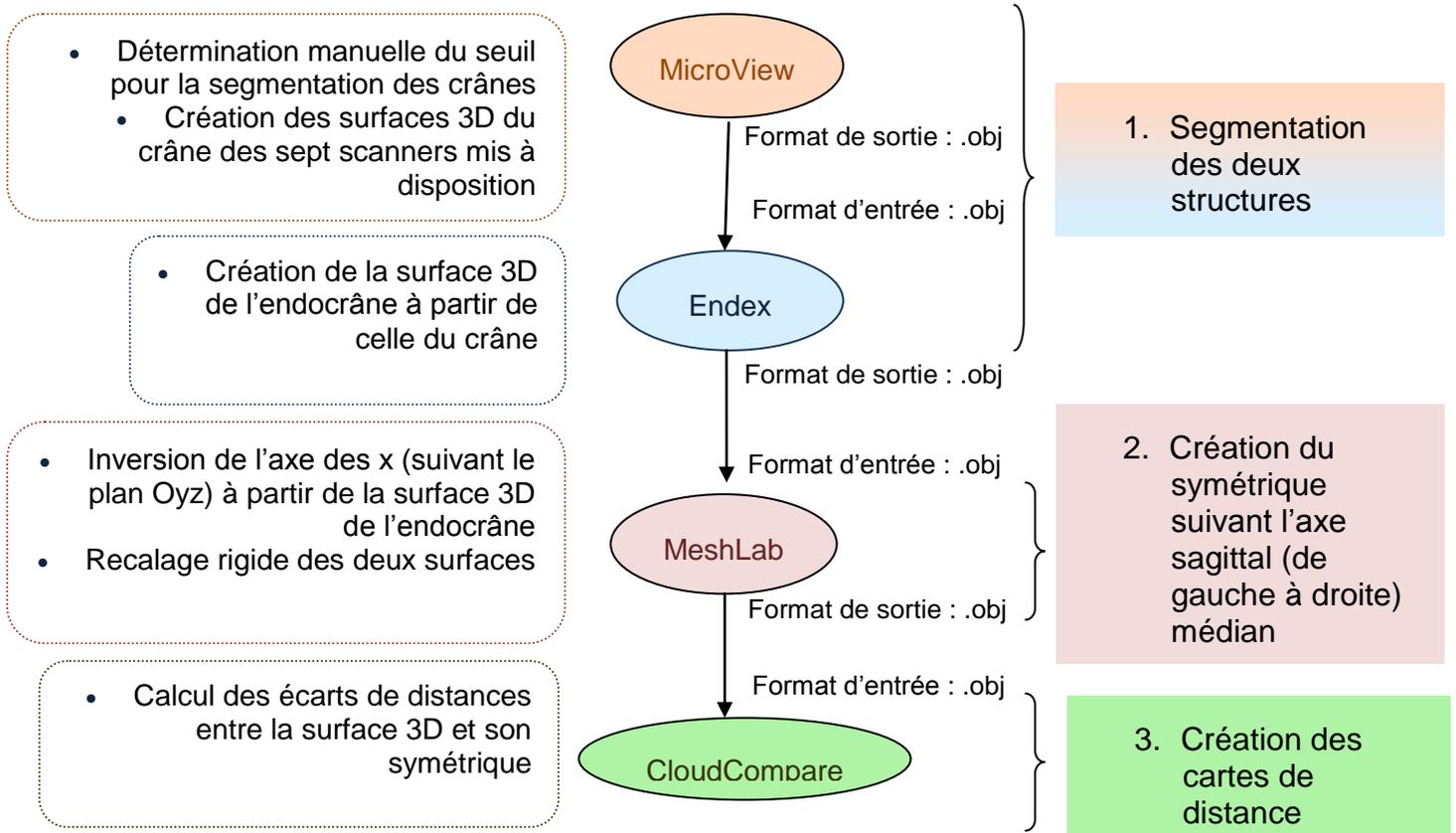


Figure 6 – Enchaînement des logiciels utilisés dans le projet

### 3.1.2 Obtention de deux structures

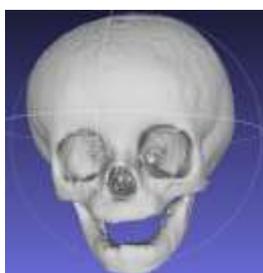
Comme énoncé dans le contexte, le but de ce projet est de récupérer deux structures (le crâne et l'endocrâne) afin d'analyser les répercussions des structures externes sur les structures internes.

Ces deux structures ont été récupérés par une méthode de traitement d'image appelée « segmentation ». Elle permet de rassembler des pixels (*Picture Element*) ou voxel (*Volumetric Picture Element*) pour une image en trois dimensions entre eux suivant des critères définis, comme par exemple une même intensité mesurée en unité Hounsfield. Les pixels/voxels sont ainsi regroupés dans des régions distinctes et on s'intéresse alors à des régions particulières appelées région d'intérêt (ROI : *Region Of Interest*). Deux méthodes de segmentations ont été utilisées pour récupérer les structures :

- Le crâne a été segmenté grâce à une méthode de seuillage. C'est une opération de segmentation, la plus simple, qui consiste à extraire une région dont les voxels ont une intensité supérieure à un seuil fixé. La surface d'une région est appelée iso-surface. C'est une surface qui "passe" par tous les voxels ayant une

même intensité (les voxels de la région). C'est la visualisation d'une "enveloppe » de la région (Cf. Figure 7). Cette segmentation est faite grâce au logiciel Microview<sup>2</sup>. Un logiciel libre qui permet de visualiser des images en trois dimensions. Il possède des outils et des plug-ins pour la manipulation de celles-ci, notamment, une fonction qui permet de créer des iso-surfaces en choisissant un seuil adapté. Le choix de ce seuil se fait manuellement (Cf. annexe 1). C'est l'inconvénient de cette méthode ; la récupération du crâne avec le logiciel Microview n'est pas automatique. Elle n'est pas identique pour chaque examen.

- L'endocrâne a été segmenté grâce à une méthode dite par "modèle déformable" (Cf. figure 8). C'est une courbe ou une surface qui évolue dans un espace en deux ou trois dimensions pour délimiter au mieux une structure anatomique. L'évolution de cette structure est régie par deux forces. Une force extérieure qui l'attire vers les données et une force interne qui tend à maintenir une surface lisse. L'utilisateur positionne le modèle de manière approximative au centre d'une région d'intérêt. Le modèle va alors se déformer à partir de cette solution initiale et va délimiter avec précision et de manière automatique la frontière de la région recherchée (Cf. annexe 2). Cette segmentation est faite grâce à Endex<sup>3</sup>, un logiciel de recherche académique développé par Gilles Gesquière (LSIS, Marseille), Gérard Subsol (LIRMM, Montpellier) et leurs étudiants. Il met à disposition une nouvelle méthode de segmentation entièrement automatique qui consiste à déformer une surface vers les parties osseuses de l'image. On obtient alors un maillage de l'endocrâne. Un maillage est constitué de sommets, connectés les uns aux autres par des faces ou facettes de forme polygonale. Ils permettent de représenter des surfaces à l'aide d'un ensemble de polygones.



**Figure 7** – iso-surface d'un crâne



**Figure 8** – maillage d'un endocrâne segmenté

---

<sup>2</sup> <http://microview.sourceforge.net/>

<sup>3</sup> <http://www.lsis.org/endex/>

### 3.1.3 Calculs de carte de distances

Des cartes de distances sont réalisées sur les ROIs segmentées. Dans le projet, seuls les écarts de distances sur les endocrâne sont calculés. Le but étant de comparer les distances entre la partie gauche et la partie droite. Il faut donc trouver un plan de symétrie central adéquat.

Pour cela chaque endocrâne est symétrisée. Ce symétrique est ensuite aligné automatiquement sur la ROI initiale, après initialisation manuelle, afin de pouvoir quantifier et analyser les différences entre chaque côté par rapport à ce plan de symétrie central. Ce plan est le plan sagittal médian déterminé automatiquement à l'aide d'un algorithme de recalage rigide. C'est un algorithme qui permet de mettre en correspondance deux images à l'aide d'une transformation. Ici la transformation est rigide, c'est-à-dire des rotations et des translations. Il permet de trouver les bonnes positions du vrai symétrique (Cf. Figure 9). Cet algorithme de recalage permet d'obtenir un plan de symétrie central optimal en minimisant toutes les distances entre le maillage et son symétrique.

Le logiciel MeshLab<sup>4</sup> a permis d'appliquer un filtre pour inverser l'axe des x, pour créer le symétrique de l'endocrâne (suivant le plan Oyz), et d'effectuer une méthode de recalage rigide sur le maillage et son symétrique pour obtenir automatiquement le véritable symétrique avec une plan de symétrie optimal (Cf. annexe 3).

Des écarts de distances ont été ensuite calculés entre tous les points de la ROI et de son symétrique. On obtient alors une carte de dissymétrie (Cf. Figure 10) qui permet de localiser et de quantifier la déformation de la plagiocéphalie.

Le logiciel CloudCompare<sup>5</sup>, un logiciel qui permet le traitement de maillages en trois dimensions et qui a été initialement conçu pour comparer deux maillages entre eux a été utilisé pour calculer les distances entre le maillage de l'endocrâne et son symétrique. Une distance est calculée entre chaque point du maillage et le point correspondant le plus proche sur le symétrique.

---

<sup>4</sup> <http://meshlab.sourceforge.net/>

<sup>5</sup> <http://www.danielgm.net/cc/>

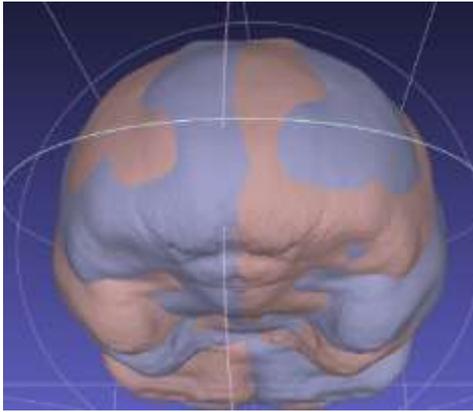


Figure 9 – un endocrâne et son symétrique recalé

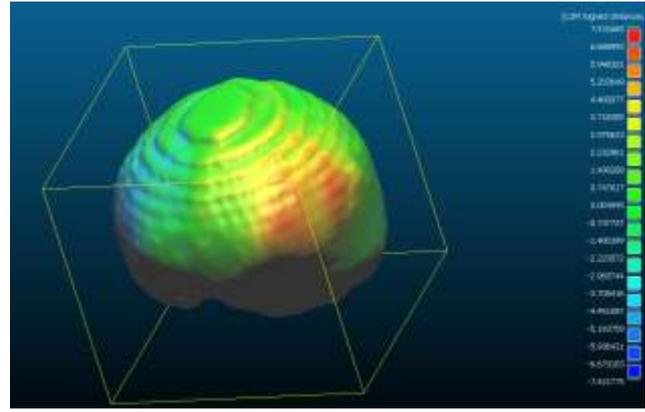


Figure 10 – Carte des distances d'un endocrâne

### 3.1.4 Résultats

Les distances calculées sont signées : une valeur positive en rouge signifie que la partie est plus protubérante que sa partie opposée alors qu'une valeur négative en bleu signifie que la partie est plus aplatie. Les parties intermédiaires en vertes signifie qu'il n'y a pas trop de différences.

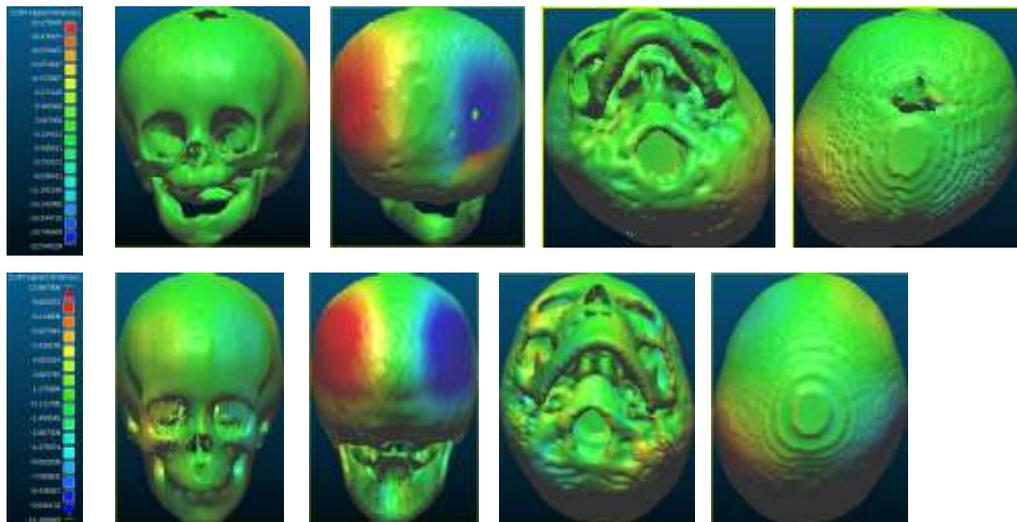


Figure 11 – Deux exemples d'évaluation des déformations à l'aide des cartes de distances.

Haut : déformation type PO, bas : déformation type PFO

Les résultats (Cf. Figure 11) permettent de mettre en évidence la localisation de la déformation (frontale ou occipitale) avec les zones de méplats (en bleu) et les zones bombées (en rouge). Cette visualisation permet de mieux appréhender les zones asymétriques. La carte de distance avec l'échelle permet d'avoir une quantification en mm de ces déformations. On constate que la déformation de l'endocrâne suit celle du crâne.

Cette approche va nous permettre d'étudier en particulier les déformations de la partie basale de l'endocrâne qui n'est pas accessible à l'examen clinique du crâne (Cf. figure 11).

### 3.2 Etude quantitative

L'étude menée durant le stage se basera sur la même démarche que le projet sur une plus grande base de données.

#### 3.2.1 Méthode : Pipeline des logiciels

Pour faire une comparaison avec l'enchaînement des logiciels du projet, voici le pipeline des logiciels utilisé lors du stage (Cf. Figure 12). Il s'est également réalisé sur trois grandes étapes. Les mêmes que le projet : segmentation des structures, création des symétriques et calculs et analyse des écarts de distances.

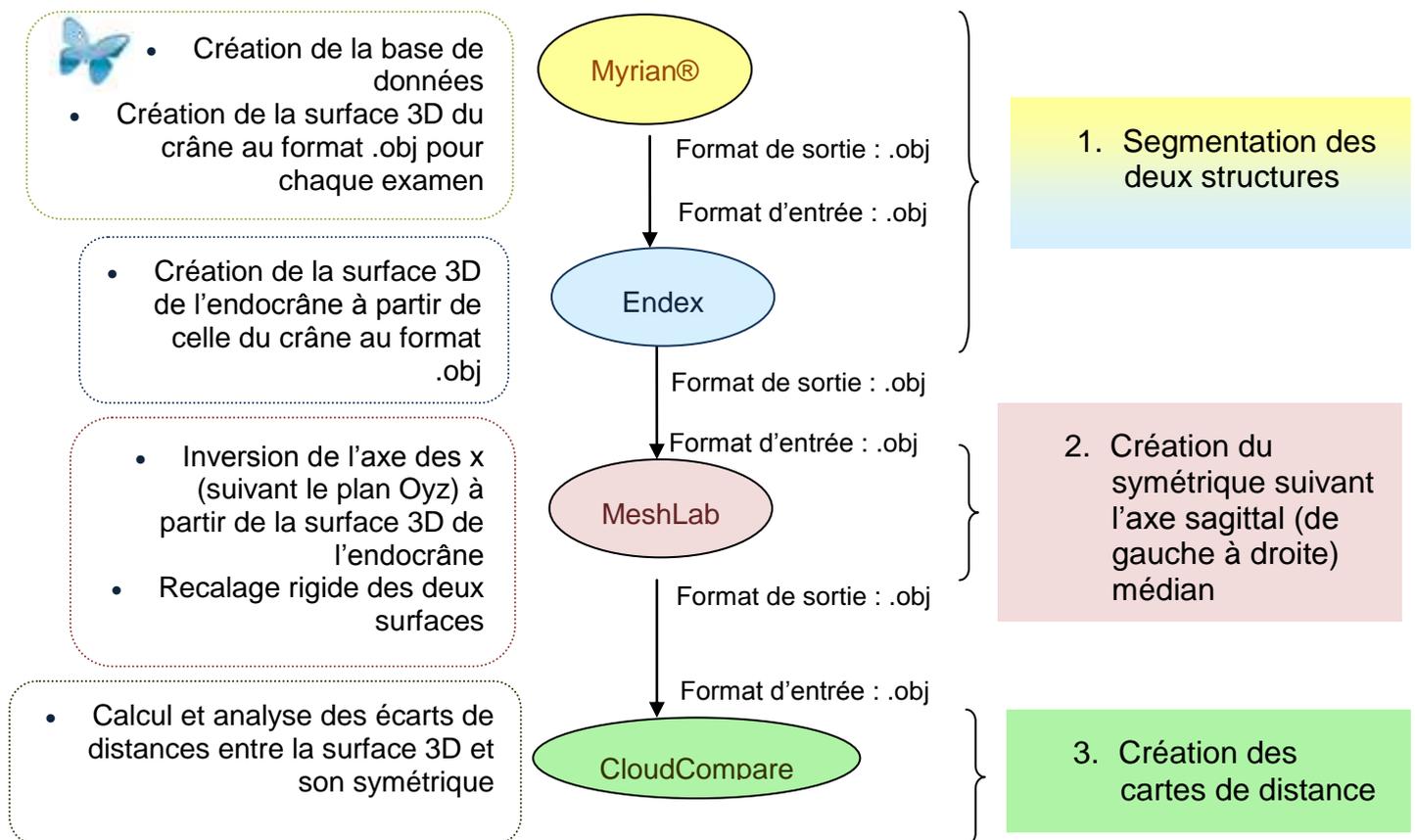


Figure 12 – Enchaînement des logiciels utilisés dans le stage

Ici aussi, il n'y a pas de problèmes de conversions de type de fichiers.

La seule grande différence est la segmentation du crâne. Dans le stage, cette structure n'a pas été récupérée avec le même logiciel. Nous avons utilisé le logiciel Myrian®, un logiciel d'analyse d'images médicales développé par la société Intrasense<sup>6</sup>. L'avantage de cette méthode par rapport à celle du projet est que la segmentation des crânes réalisée est une segmentation semi-automatique, elle est donc identique pour tous les examens.

### **3.2.2 Construction de la base de données**

La base de données provient de la base du service de chirurgie plastique pédiatrique du CHRU Lapeyronie dont les tomodensitométries ont été anonymisées. Elle a été construite à l'aide du logiciel Myrian®. La base de données contient des d'images en trois dimensions acquises par scanner X (résolution d'environ 1 mm) d'enfants atteints de déformations posturales (plagiocéphalies et brachycéphalies postérieures). La base contient également des enfants sans déformations.

La base de données, utilisée dans ce stage, a été bâtie à partir de quatre bases de données : une de référence et trois déjà préalablement travaillées par d'anciens stagiaires. La plupart des examens travaillés de ces trois premières bases contiennent déjà un ensemble de ROIs. Le but est de rassembler tous les examens au sein de la base de référence en fusionnant les ROIs des examens déjà présents.

Le logiciel Myrian® permet de déplacer les ROIs d'un examen à l'autre et de gérer les régions d'intérêts (les ROIs) automatiquement ou non sur les examens présents dans la base de données courante.

Des examens, jugés intéressants, ont été rajoutés au fur et à mesure par le Pr Captier, pour construire une base riche et variée.

Cette partie était plutôt longue et fastidieuse mais indispensable pour la construction d'une base homogène et pour obtenir des résultats concluants.

De plus, durant cette étape des problèmes avec le logiciel Myrian® sont survenus, (problèmes de version et de visualisation des ROIs) retardant la mise en place de cette base de données. Ceci m'a permis de me mettre en relation avec le support technique de l'entreprise Intrasense, une équipe qui règle les problèmes des utilisateurs, un échange, sur plusieurs semaines qui a été très intéressant et efficace

---

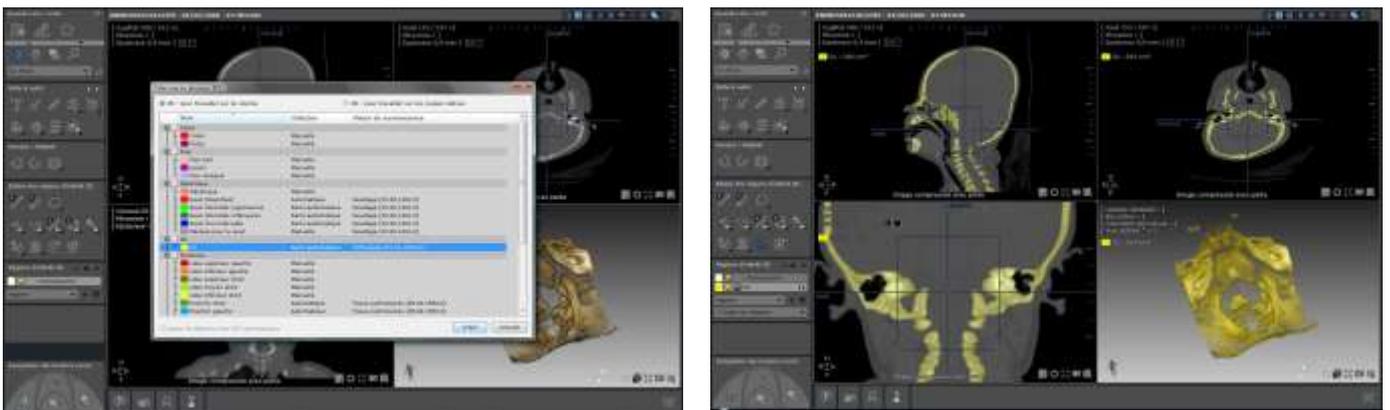
<sup>6</sup> <http://www.intrasense.fr/>

Un jeu d'exportations et d'importations (fonctions du logiciel Myrian® permettant de copier ou d'ajouter les examens des bases de données disponibles) ont permis de construire une base de données contenant environ cent soixante-neuf examens. Chacun de ces examens a été anonymisés. Sur ces cent soixante-neuf examens, seulement cent quinze examens ont été utilisés. Les cinquante-quatre scanners restant n'ont pas été étudié car le crâne n'était pas entièrement présent au scanner ou il ne s'agissait pas d'une déformation posturale.

### **3.2.3 Les segmentations**

Le crâne

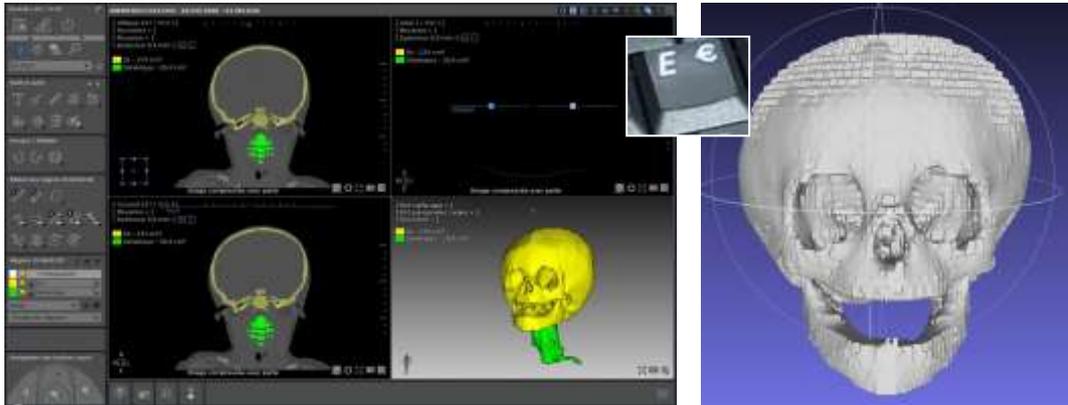
Une fois la base de données construite avec la liste d'examens souhaitée, « la ROI os » a été créée sur chacun de ces examens grâce au logiciel Myrian®. Comme énoncé précédemment, ce logiciel met à disposition des outils pour gérer les régions d'intérêts (Cf. Figure 13).



**Figure 13 – Gauche : Panneaux de gestion des ROIs du logiciel Myrian®. Sélection : créer « ROI os ».  
Droite : « La ROI os »**

Avec cette méthode, semi-automatique, la « ROI os » est composée de l'ensemble des voxels correspondant à l'os : le crâne mais également la colonne vertébrale (Cf. figure 13). Pour obtenir uniquement le crâne, la colonne vertébrale a été séparée de celui-ci grâce à des outils disponible dans ce logiciel : « la gomme » et « le pinceau ». La gomme pour séparer les vertèbres qui touchent la base du crâne et le pinceau pour « peindre » la colonne cérébrale dans une autre couleur (C'est-à-dire pour qu'elle appartienne à une autre ROI) (Cf annexe 4). Ainsi, deux ROIs sont créées : une pour le crâne et une autre pour la colonne. Le crâne, ainsi segmenté, sera utilisé pour segmenter l'endocrâne.

Le logiciel Myrian® permet de visualiser les ROIs dessinées en volume surfacique (image de la « surface de l'objet »). Une fois la fenêtre « vue surfacique » active, il permet d'exporter les ROIs de l'examen au format obj, grâce à la touche E du clavier. Il s'agit d'une fonction expérimentale qui n'est pas disponible dans toutes les versions de Myrian® (Cf. figure 14).



**Figure 14 – Gauche : ROI « os » et « colonne vertébrale » + fenêtre surfacique activée.  
Droite : ROI « os » exporté au format .obj, visualisation dans MeshLab.**

A cette étape dix examens ont été supprimés car la segmentation automatique n'avait pas rendu un résultat correct, dû à des trous et aux fontanelles. La suite de l'étude s'est donc réalisée sur cent vingt-deux examens.

### L'endocrâne

Comme pour le projet, l'endocrâne va être segmenté, à partir de la segmentation du crâne, avec le logiciel Endex. La même méthode dite « par modèle déformable » sera utilisée (Cf. annexe 2).

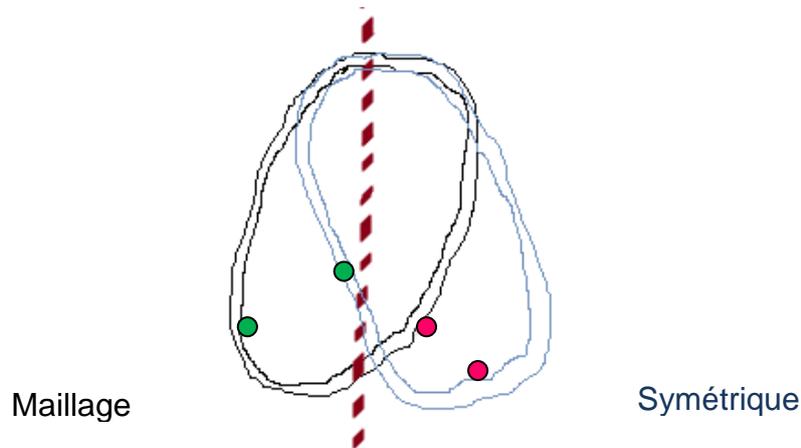
La difficulté de cette méthode est de bien positionner le modèle au centre du crâne. L'opération peut être en effet répétée plusieurs fois avant de trouver la bonne position initiale. La déformation, quant à elle, est automatique, tout comme la segmentation du crâne elle sera donc identique pour chaque examen.

### 3.2.4 Les calculs de distances

Les calculs de distances ont été obtenus de la même manière que pour le projet ; à l'aide du logiciel CloudCompare et du calcul des distances entre le côté gauche et le côté droit par rapport au plan mi-sagittal.

Pour les endocrânes, la même méthode du symétrique puis du recalage est utilisée : création du symétrique en inversant l'axe des x avec le logiciel MeshLab puis réalisation de la méthode de recalage rigide automatique pour obtenir le plan de symétrie (Cf. Annexe 3).

Pour le crâne, une étape préalable a dû être effectuée pour pallier au problème de l'épaisseur de l'os. Le crâne ayant une épaisseur, il y a une surface externe et une surface interne. Les calculs de distances réalisés par le logiciel CloudCompare consiste à calculer la distance avec le point symétrique le plus proche (Cf. figure 15). Des points sur la surface externe seront donc comparés à la surface interne (en rose Cf. figure 15) ou vice versa (en vert Cf. figure 15).



**Figure 15 – Problème de calcul de distance sur le crâne à cause de la double épaisseur.**

Pour remédier à ce problème, une stratégie a été mise en place pour enlever la partie intérieure du crâne (Cf annexe 5). Des distances non signées entre l'endocrâne et le crâne sont calculés dans CloudCompare. Dans ce logiciel, une fonction permet d'enlever les parties que l'on souhaite. La partie la plus proche de l'endocrâne, c'est-à-dire tous les voxels qui correspondent à la surface interne, sont supprimés. Le crâne est désormais représenté par une seule surface. La procédure du symétrique puis du recalage peut être effectuée.

## IV. Résultats, exploitation, discussion

### 4.1 Résultat et exploitation

La figure 16 présente un récapitulatif de l'ensemble de la base de données. Elle est composée de cent quinze examens (48 filles et 67 garçons) dont dix-sept brachycéphalie (BP), trente et un plagiocéphalie fronto-occipitale (PFO), vingt-cinq plagiocéphalie occipitale (PO) et quarante-deux crâne sans déformation (CSD).

	Filles	Garçons	Total
PFO	14	17	31
PO	16	9	25
BP	2	15	17
CSD	16	26	42
Total	48	67	115

Figure 16 – Caractéristiques de la base de données

Les cartes de distances pour chaque examen reflètent les caractéristiques de leur déformation au niveau visuel: asymétrie de l'arrière du crâne pour les PO (Cf figure 17.1), asymétrie de l'arrière et au niveau frontal pour les PFO (Cf figure 17.2), pas trop d'asymétrie pour les BP (Cf figure 17.3) et les CSC n'ont pas d'asymétrie bien visible (Cf. figure 17.4). Les données obtenues et visibles sur les cartes de distances correspondent aux observations cliniques.

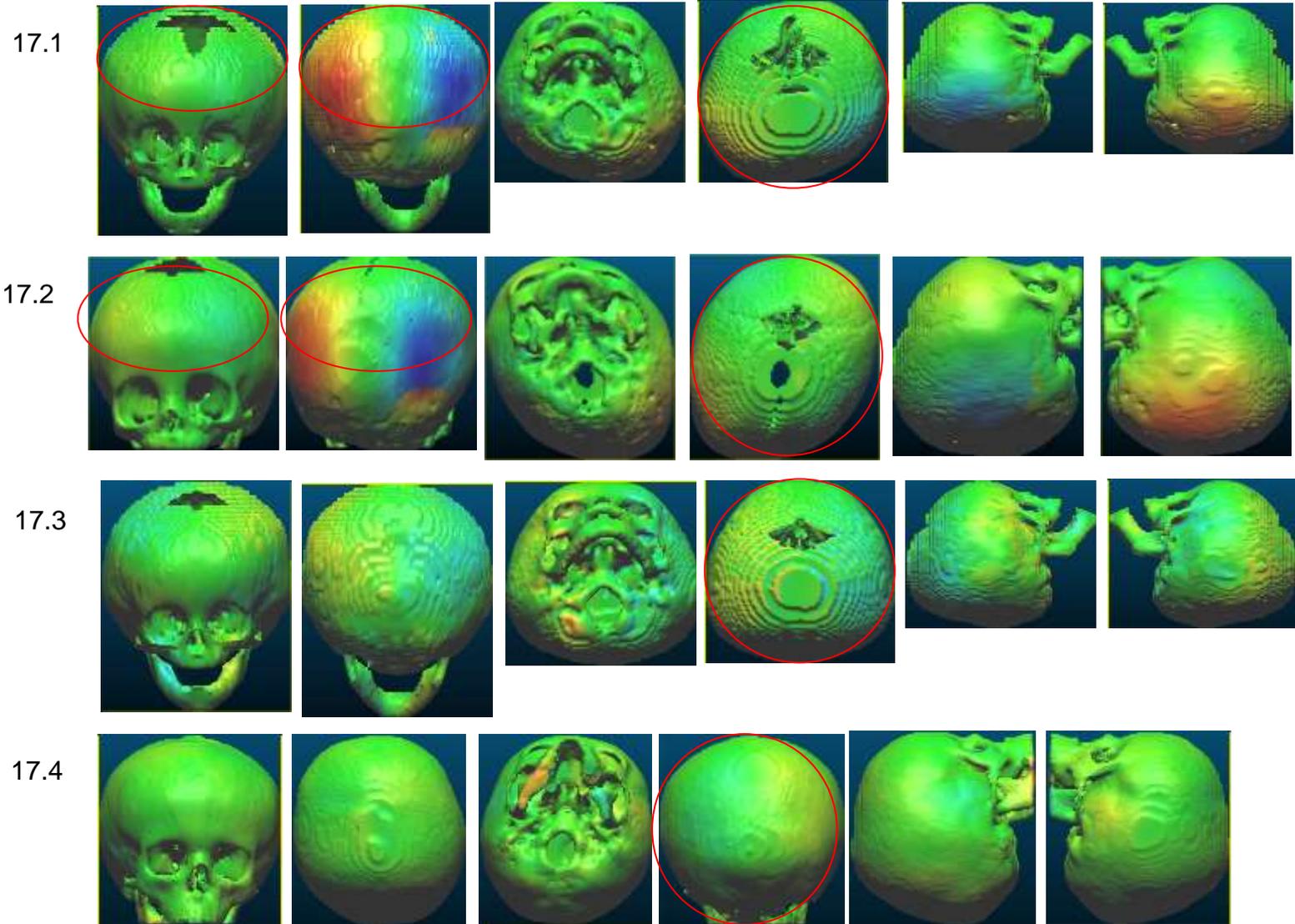


Figure 17 – Exemple de carte de distances pour chacune des déformations

#### 4.1.1 Définition d'un critère de gravité quantitatif

Les résultats des cartes de distances fournissent des données quantitatives sur les déformations. Nous avons d'abord voulu essayer de définir un critère de gravité pour éventuellement mettre en évidence les effets qu'une quelconque thérapie pourrait avoir sur ces déformations. Pour cela, nous avons décidé de réaliser des classifications sur les crânes : une première visuelle et une deuxième quantitative, puis de les comparer pour déterminer si les calculs quantitatifs correspondent aux visuels et pourraient servir de critère pour évaluer la gravité.

Le classement visuel s'est réalisé simplement en examinant, dans tous les plans de référence (antérieure, postérieure, supérieure, inférieure, droite et gauche),

les différents crânes segmentés pour les classer du plus symétrique au plus asymétrique (Cf. figure 18).

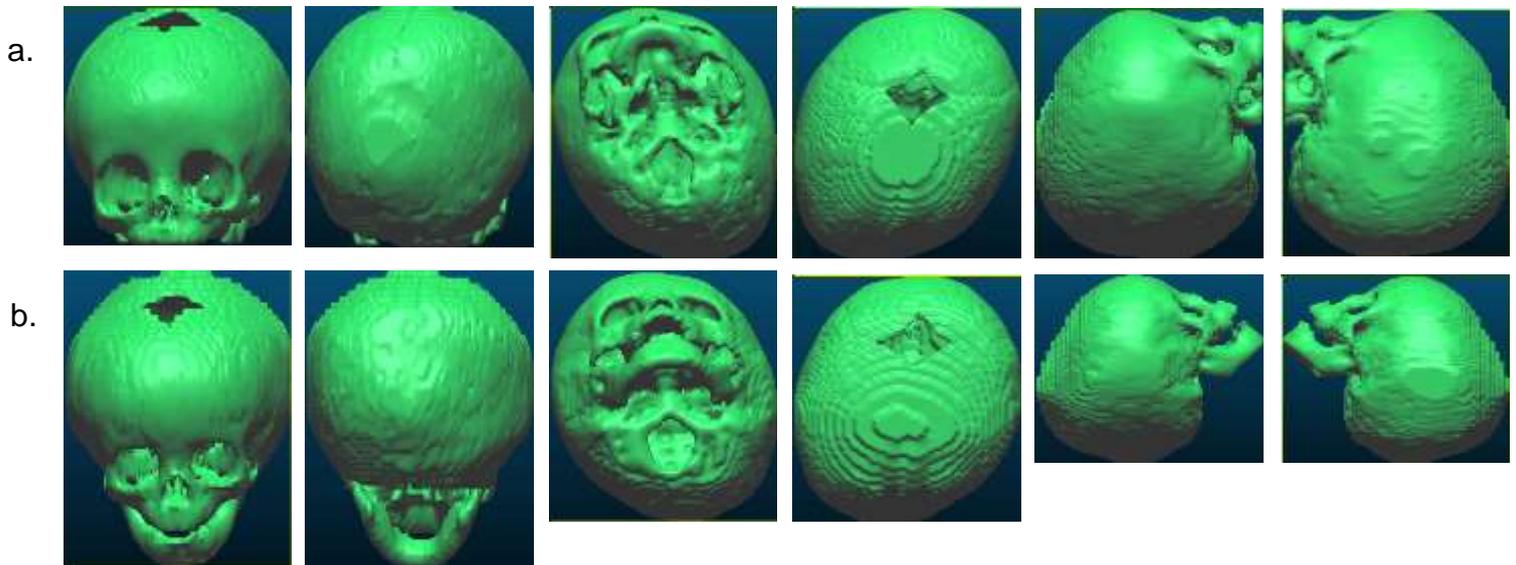


Figure 18 – Exemple de comparaison de deux cas PFO pour la classification.

(a) est plus déformé que (b)

Les amplitudes des cartes de distances (différences entre les distances positives et négatives) nous paraissent être un bon moyen pour évaluer l'asymétrie et effectuer le classement quantitatif. Ces amplitudes peuvent être récupérées grâce à l'histogramme des distances disponible dans le logiciel CloudCompare.

Quelques problèmes sont survenus. Sur certain des crânes, des points aberrants peuvent apparaître, notamment s'il y a des voxels d'un côté et pas de l'autre. Par conséquent l'amplitude n'est pas très représentative de l'asymétrie réelle. Pour résoudre ce problème, j'ai enlevé manuellement ces points aberrants sur les histogrammes (Cf figure 19)

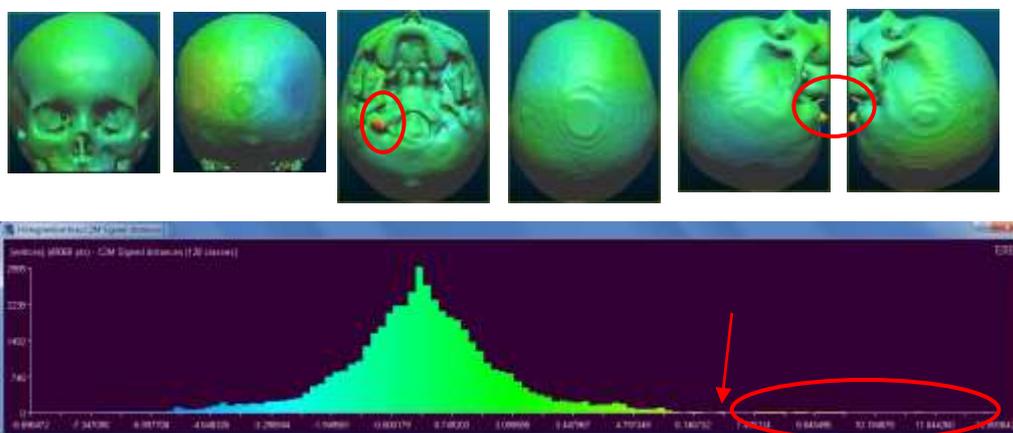


Figure 19 – Exemple de détection des points aberrants sur l'histogramme de CloudCompare

Le logiciel CloudCompare permet, une fois les calculs de distances effectués, de sauvegarder ces données dans des fichiers au format ASCII (format texte) comprenant les coordonnées des points et leur distance correspondante. Chaque distance a été stockée dans un tableau et les points aberrants enlevés.

Un deuxième problème a été la taille des crânes. Les patients étudiés ont des âges différents allant de 3 mois à 80 ans, par conséquent, leurs crânes sont de tailles différentes. La comparaison devient alors difficile car une même déformation est moins importante sur une « gros » crâne que sur un « petit ». Pour pouvoir comparer toutes les amplitudes entre elles, il faut normaliser toutes les données. Nous avons donc fait le ratio entre chaque distance et la racine cubique du volume de l'endocrâne pour supprimer le facteur « taille » et ainsi pouvoir comparer à l'aide d'une échelle commune.

Les deux classifications ont ensuite été comparées (Cf. annexe 6).

Pour chaque déformation, une différence de 0 à 3 places a été considéré comme correcte. Il en résulte une correspondance de 56 % pour les déformations PO, 67,7 % pour les déformations PFO et 42 % pour les déformations BP. Cette grande différence sur les dernières déformations s'explique par le fait que ce sont des déformations un peu particulières qui n'ont pas obligatoirement d'asymétrie. Ce qui veut dire que comparer l'asymétrie d'une telle déformation n'est pas forcément significatif (Cf. figure 20).

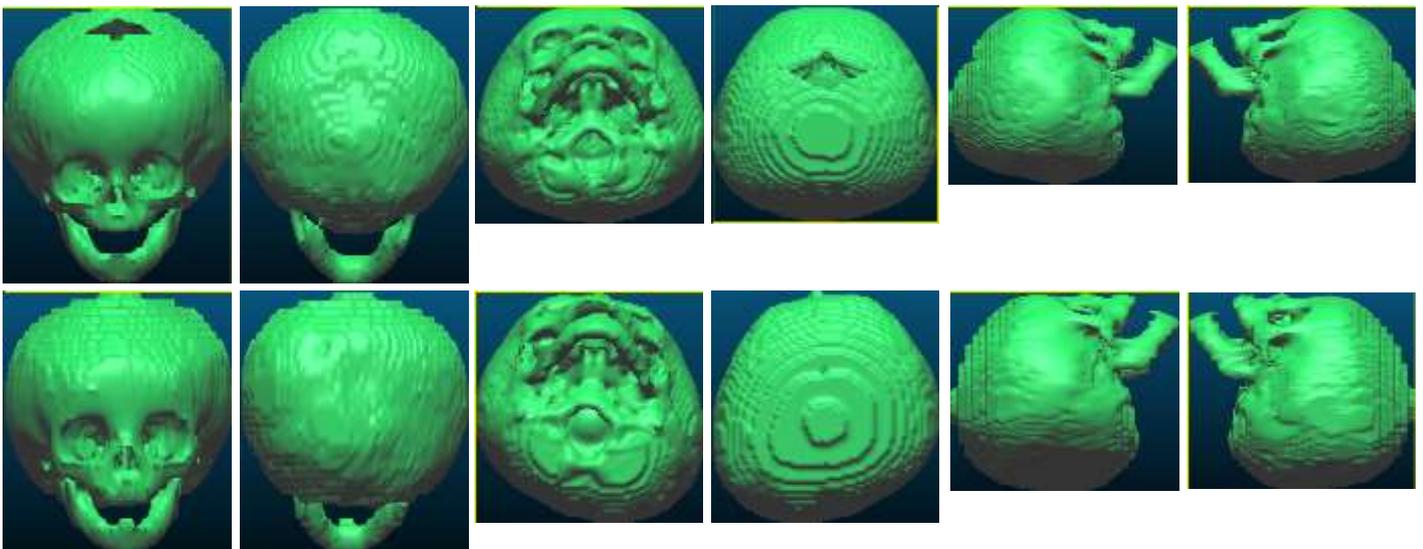


Figure 20 – Exemple de comparaison d'une BP symétrique et d'une BP asymétrique

## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

Pour les deux autres déformations, les résultats sont plutôt significatifs. Les données quantitatives reflètent les classements visuels. Les résultats sont présentés dans la figure 21.

ID	Amplitude	Classement
ANON16051312170317	9,229048	1
ANON19081021011518	9,807542	2
ANON19081020574512	10,474332	3
ANON1908102055489	10,630005	4
ANON19081020563811	10,664963	5
ANON19081020590815	10,796177	6
ANON1505130943320	11,165686	7
ANON14051316422619	11,323577	8
ANON19081021020119	11,335637	9
ANON1908102055408	11,483555	10
ANON15051315472611	11,912428	11
ANON19081020585814	12,064206	12
ANON1405131506494	12,200784	13
ANON1505130913032	12,322492	14
ANON19081020584713	12,411242	15
ANON19081021045523	12,631258	16
ANON16051312264618	13,093384	17
ANON15051310441910	13,121287	18
ANON19081020562910	13,121287	19
ANON15051315523912	13,437103	20
ANON19081021035922	13,729203	21
ANON19081021023020	14,290562	22
ANON14051316094413	14,908069	23
ANON15051316241916	15,160811	24
ANON1605131334712	15,238899	25
ANON16051312093316	15,495471	26
ANON19081021025421	15,532355	27
ANON15051312220825	15,653761	28
ANON1605131429200	15,813967	29
ANON1505131406420	16,570179	30
ANON1704130858142	16,574807	31
ANON19081021003117	17,302229	32
ANON1405131542196	18,604041	33
ANON14051316514521	18,946717	34
ANON1704130903508	19,751847	35
ANON1505130924414	20,688681	36
ANON1505131007214	20,972115	37
ANON1405131524245	21,026498	38
ANON1405131428220	23,702726	39
ANON15051310520011	29,173874	40
ANON19081020595516	29,725443	41
ANON1505131034593	30,001189	42

ID	amplitude	Classement
ANON17041309063911	12,121729	1
ANON15051311124113	12,550239	2
ANON16051309561512	14,319854	3
ANON14051316222816	15,631316	4
ANON15051316383718	16,826399	5
ANON1505131431235	17,149648	6
ANON1605130920575	18,400763	7
ANON1605131116028	20,701578	8
ANON16051311300911	22,168488	9
ANON1704130859474	22,359295	10
ANON15051311013912	24,105012	11
ANON16051309595913	25,210857	12
ANON1605130906044	25,542903	13
ANON1605131105467	26,197056	14
ANON1505131526169	29,305510	15
ANON15051311562920	28,961409	16
ANON15051312020921	33,590241	17
ANON16051309523011	34,068030	18
ANON02081120071539	36,823266	19
ANON1605130925156	37,273974	20
ANON1605130837340	37,458420	21
ANON1505130955512	38,367025	22
ANON1605130847441	39,181657	23
ANON1605131042074	41,062082	24
ANON02081120050910	47,370875	25

ID	Amplitude	Classement
ANON26031311534412	12,015505	1
ANON22044131520563	12,045724	2
ANON1905131024225	12,676718	3
ANON0208112004579	12,844333	4
ANON1605131025321	13,359270	5
ANON15051312081023	13,953699	6
ANON02081120084857	14,073175	7
ANON1505131514498	16,264200	8
ANON02081120091863	24,097529	9
ANON2204131458500	25,944885	10
ANON1605130935137	26,053832	11
ANON2081120061926	26,522004	12
ANON0208112004294	28,923738	13
ANON1405131555509	32,381297	14
ANON16051311260710	32,882884	15
ANON1505131421053	35,958115	16
ANON1505130948051	38,827516	17
ANON15051316183515	40,443354	18
ANON15051311270314	41,226322	19
ANON2204131513542	42,440809	20
ANON16051309485610	42,899445	21
ANON1505131025417	43,810117	22
ANON1605131054145	44,004798	23
ANON15051316102114	47,394400	24
ANON1505131019576	50,622455	25
ANON1605130945229	50,982000	26
ANON02081120061223	52,013871	27
ANON02081120062930	53,114537	28
ANON1605131019410	53,173165	29
ANON02081120053714	60,638847	30
ANON2304131518070	73,716136	31

Figure 21 – Calculs des amplitudes pour chaque déformation. Rouge : CSD, vert : PO, orange : PFO

Excepté quelques cas extrêmes, les CSDs ont une amplitude entre 10 et 15, avec une moyenne à 15. Pour les PO et les PFO les amplitudes sont un plus étendues. Les PFO ont une moyenne de 34,6 et les PO de 27. Les amplitudes des BP ne sont pas comparées car étudier leur symétrie n'est pas vraiment représentative. Les amplitudes des CSDs ne sont pas non plus très représentatives car ils sont censés ne pas avoir d'asymétrie mais sont utilisés pour effectuer une comparaison avec les PO et les PFO.

Ces premiers résultats peuvent amorcer la mise en place d'une méthode qui permet d'obtenir une notion de quantification et un critère de gravité à l'aide des amplitudes.

#### **4.1.2 Classification automatique**

Nous avons effectué un autre classement quantitatif qui correspond plus à l'étendue et la répartition des données. Pour cela j'ai calculé la fréquence cumulée pour chacune des distances. J'ai ensuite mesuré le pourcentage de points présent pour chacune de ces distances. Les courbes de ce pourcentage en fonction de la distance ont été créées pour chacune des déformations et ont été analysées (Cf. figure 22). L'idée est de chercher la distance correspondante à 75% des points pour chercher un seuil ou une plage de distance qui permettrait de différencier les CSDs des PO, PFO ou BP. Pour chaque déformation, ces distances obtenues sont classées et ce classement est comparé avec le classement visuel pour chercher par une autre méthode un critère de gravité.

Pour les CSDs, on retrouve les 75% de points entre 0 et 3 mm de déformation en moyenne. C'est résultat sont cohérents ; une distance autour de zéro signifie qu'il n'y a pas beaucoup d'asymétrie et donc de déformation.

Pour les PO, les 75% sont, quant à eux, entre 2 et 5 mm environ. Il y a donc plus de points qui ont une plus grande déformation. Ces résultats se voient sur les courbes présentes figure 22, les allures des courbes entre les CSDs et les PO diffèrent légèrement et celles des PO sont décalés sur la droite. Visuellement, les courbes montrent qu'il y a effectivement plus de points qui possèdent une plus grande déformation. Lorsqu'on compare le classement des distances des 75 % des points avec le classement visuel on retrouve 64 % de correspondance. De plus lorsqu'on compare avec le classement réalisé avec les amplitudes, les correspondances sont égales à 80 %. Une question peut se poser sur les cas les plus grave, c'est à dire soit ce sont les déformations les plus importante ou soit les déformations les plus étendues qui décrivent une déformation. Les comparaisons des deux méthodes montrent qu'il n'y a pas grande différence.

Pour les PFO, les 75% sont entre 3 et 8 mm en moyenne. Il y a là encore plus de points qui ont une plus grande déformation. Les courbes de la figure 22, montrent

qu'effectivement elles sont aussi décalées sur la droite. Il y a donc plus de points avec une plus grande déformation.

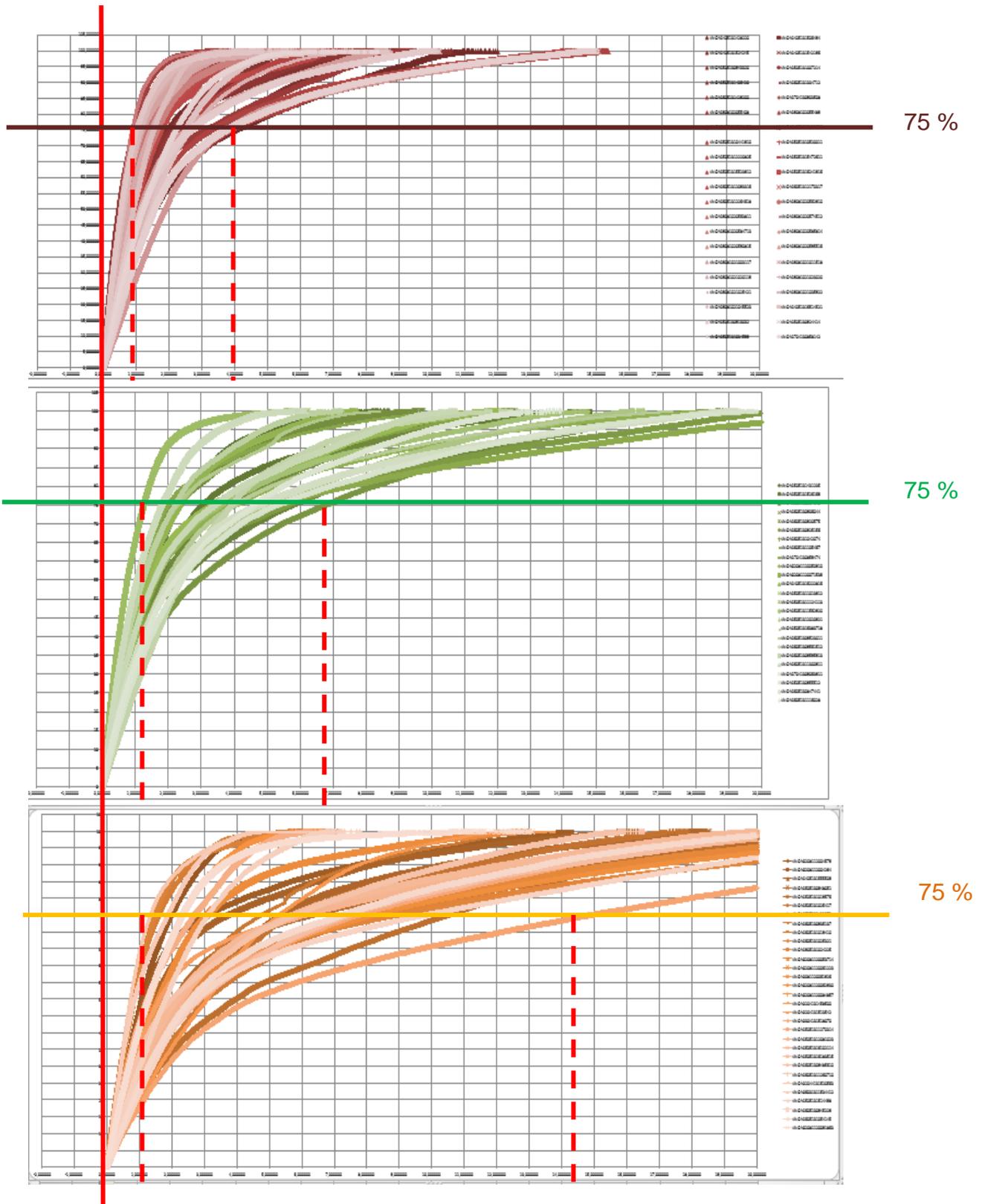
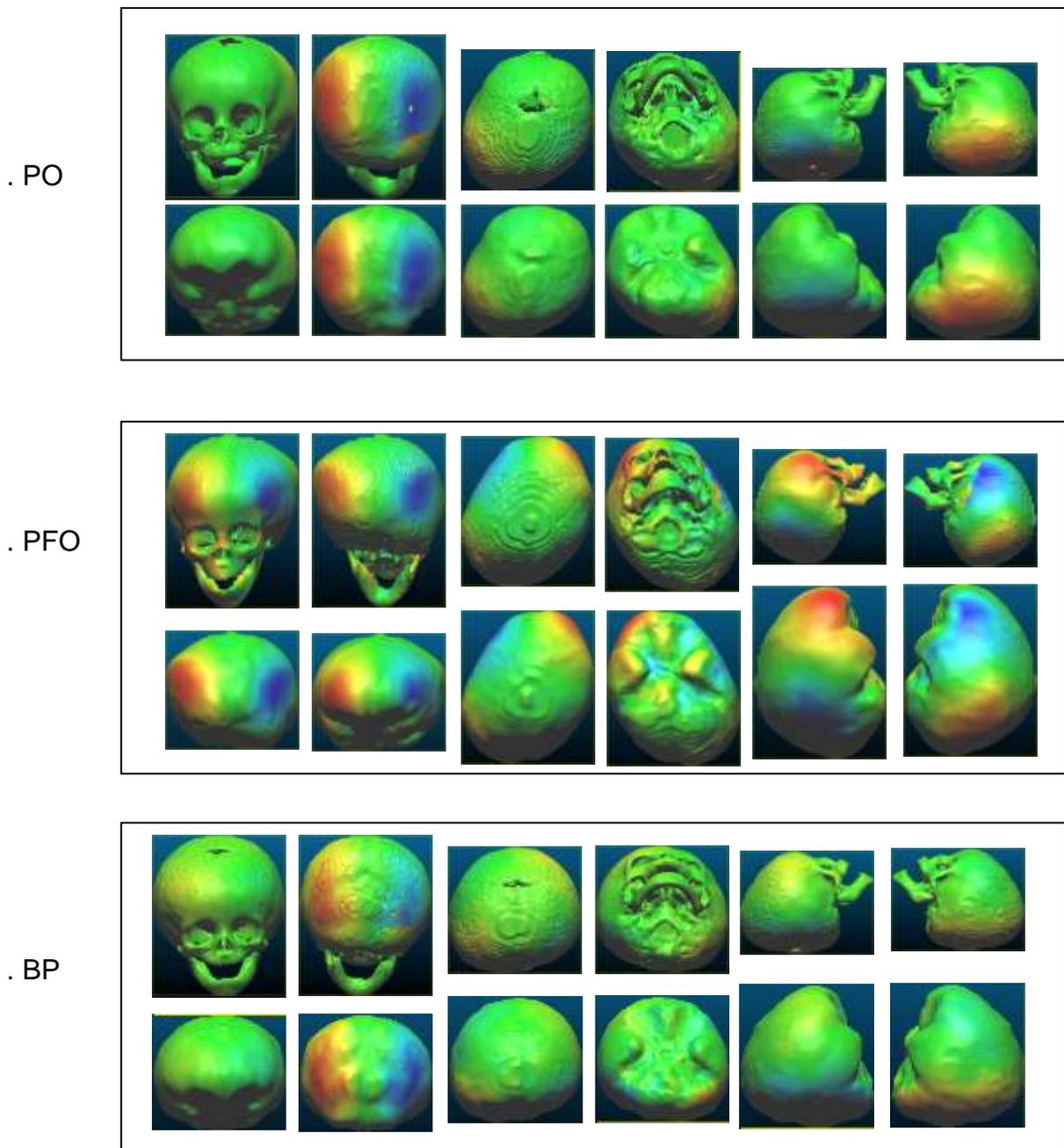


Figure 22 – pourcentage de points en fonction de la distance. Rouge : CSD, VERT : PO, ORANGE : PFO

#### 4.1.3 Corrélation entre déformations crâniennes et endocrâniennes

Un des buts de cette étude est de voir la corrélation des déformations crâniennes sur l'endocrâne (surface interne du crâne). Les cartes de distance des crânes et des endocrânes ont été comparées. En comparant la dissymétrie du crâne et de l'endocrâne, on peut corréler la déformation extérieure, visible et celle, intérieure, qui peut exercer des contraintes sur les structures cérébrales.

Les différentes déformations ont d'abord été analysées visuellement (Cf. figure 23).



. CSD

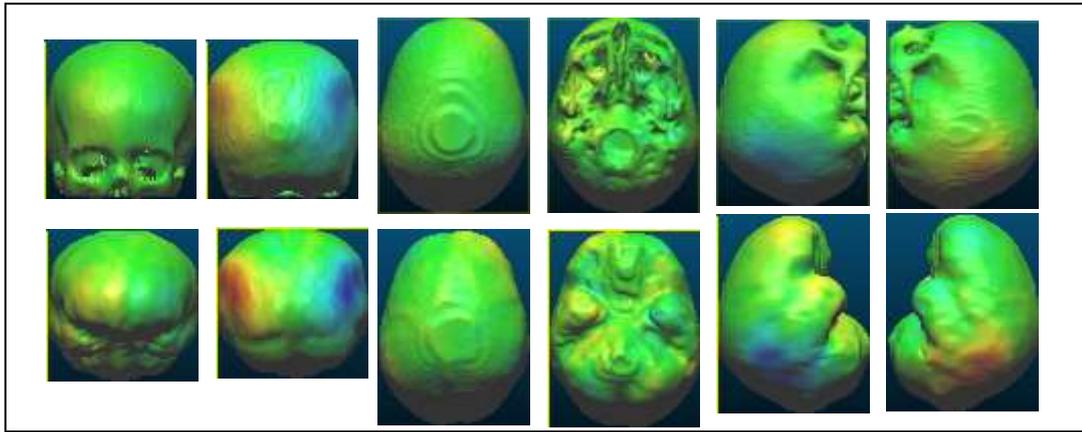


Figure 23 – Exemple de comparaison des cartes de distances crâne/endocrâne pour chaque déformation

D'après la figure 23, les déformations des endocrâne suivent celles du crâne.

Pour analyser l'influence des déformations crâniennes, une procédure a été mise en place pour classifier les déformations et déterminer si elles correspondent aux données cliniques. Chaque déformation a ses propres caractéristiques. Les cartes de distances sont donc censées être propres à chaque déformation. Nous avons tenu compte de cette hypothèse pour réaliser cette procédure. Nous comparons la droite avec la gauche, les cartes de distances sont a priori symétriques. Nous nous sommes donc intéressé à un seul côté ; pour une PO nous devrions avoir sur la carte de distances, un pic de points à « + » ou « - » (en fonction du côté observé) correspondant à l'asymétrie à l'arrière, pour les PFO, nous devrions avoir deux pic, un « + » et un « - » correspondant à l'asymétrie avant et arrière, pour les BP et les sains, nous ne devrions pas avoir de pic bien distinct (Cf. figure 24).

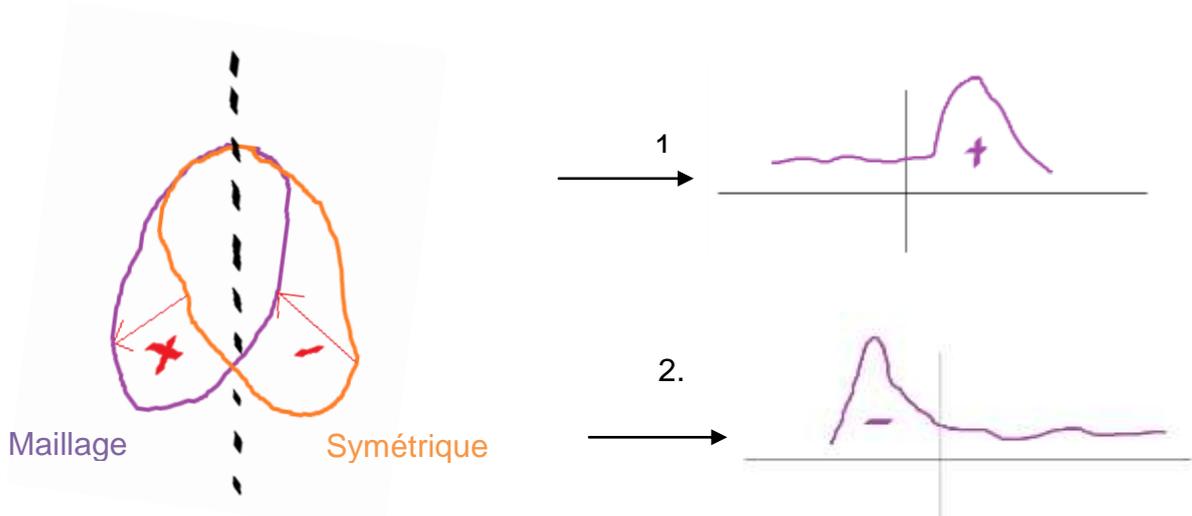


Figure 24 – Schéma d'exemple de cartes de distances correspondant a un cote pour une deformation PO

## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

Des tests ont été réalisés sur plusieurs endocrâne de chaque déformation. J'ai coupé les endocrânes en deux suivant le plan de symétrie du recalage et étudié leur carte de distance. Pour chacun d'entre eux, j'ai constaté qu'effectivement chaque déformation avait une carte bien particulière, mais pas comme nous l'avions pensé.

Pour les PO (Cf. figure 25), cette procédure fonctionne bien, nous avons bien obtenu un pic mais à l'inverse de ce que nous pensions, cela peut s'expliquer par le fait qu'il y a plus de point de l'autre côté de l'asymétrie et donc par conséquent un pic à l'inverse de la valeur de l'asymétrie.

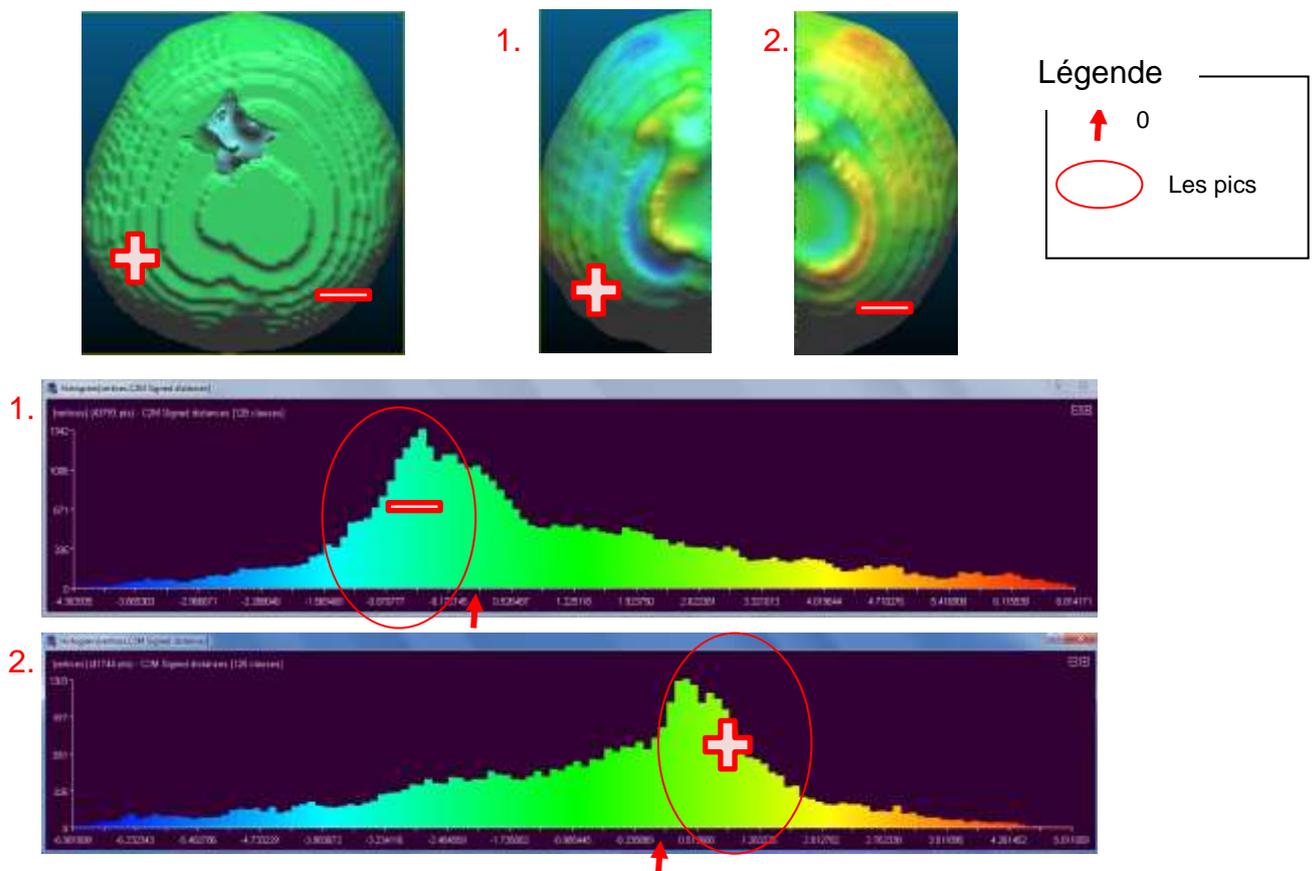


Figure 25 –Cartes de distances pour un exemple de déformation PO. 1. Côté gauche 2. Côté droit

Pour les PFO (Cf. figure 26), les deux pics ne sont pas aussi distincts que l'on aurait souhaité. Sur certain PFO, notamment celui pris en exemple figure 24.B, les asymétries frontales ne sont pas aussi importantes que les asymétries arrière.

Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

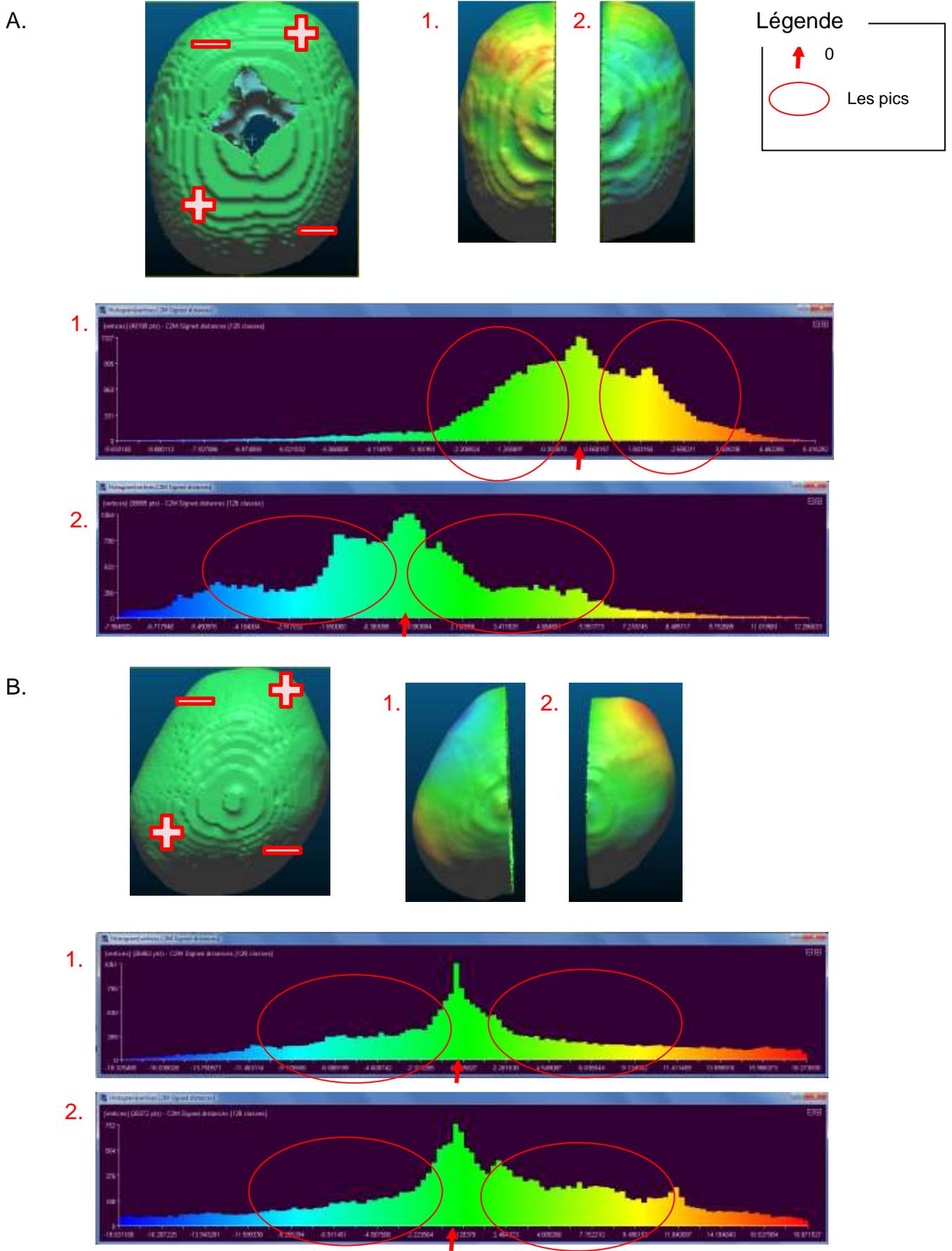
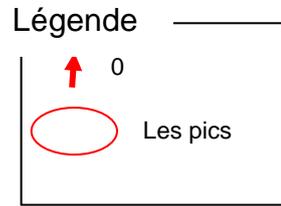
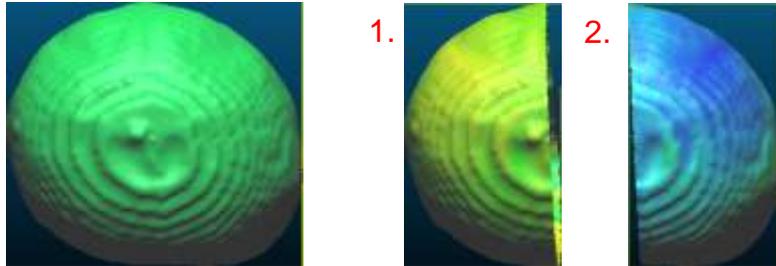


Figure 26 – Cartes de distances pour deux exemples de déformation PFO. 1 Côté gauche 2. Côté droit

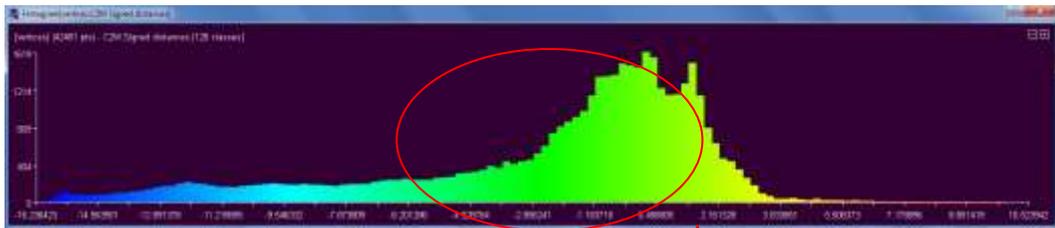
**Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne**

Pour les BP (Cf. figure 28), nous avons vu avec les cartes de distances qu’elles peuvent être asymétriques ou non. Par conséquent nous trouvons parfois des asymétries (Cf. figure 28.A) alors que sur d’autres non (Cf. figure 26.B).

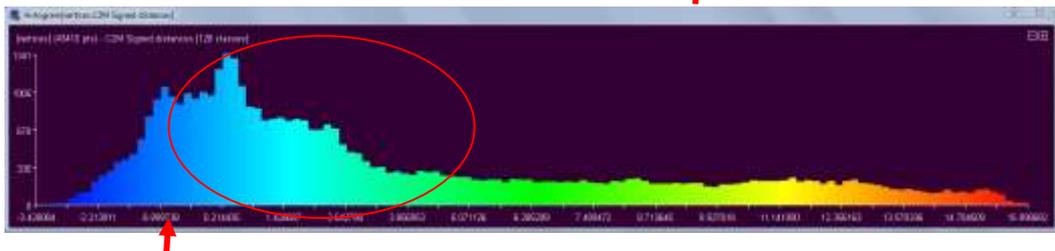
A.



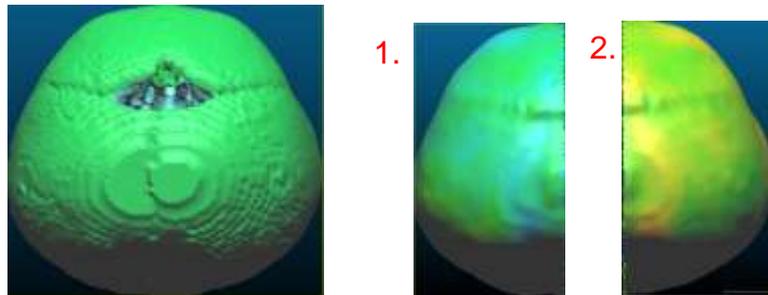
1.



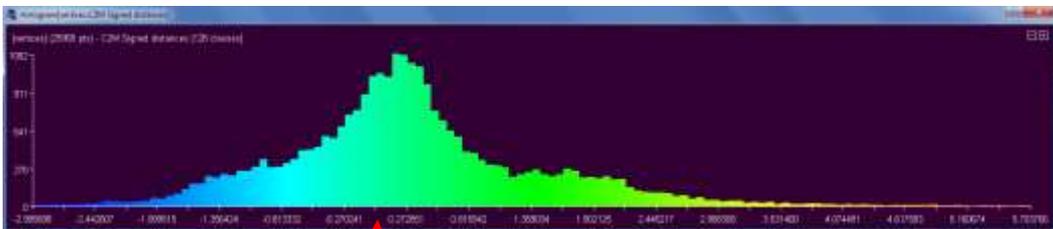
2.



B.



1.



2.

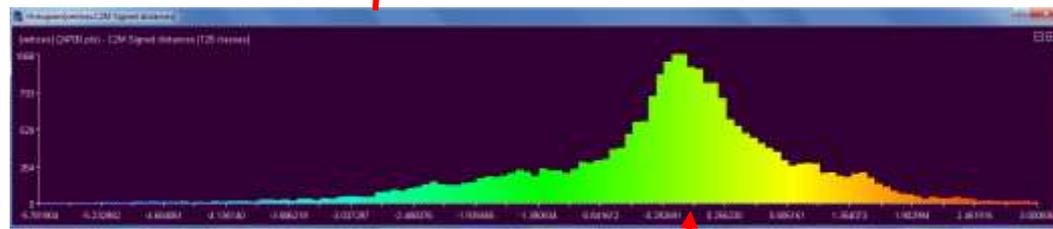


Figure 28 – Cartes de distances pour une déformation BP asymétrique (A) et une déformation BP non asymétrique (B). 1. Côté gauche 2. Côté droit

## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

Pour les normaux (Cf. figure 27), il y a toujours un peu d'asymétrie mais les amplitudes ne sont pas très élevés.

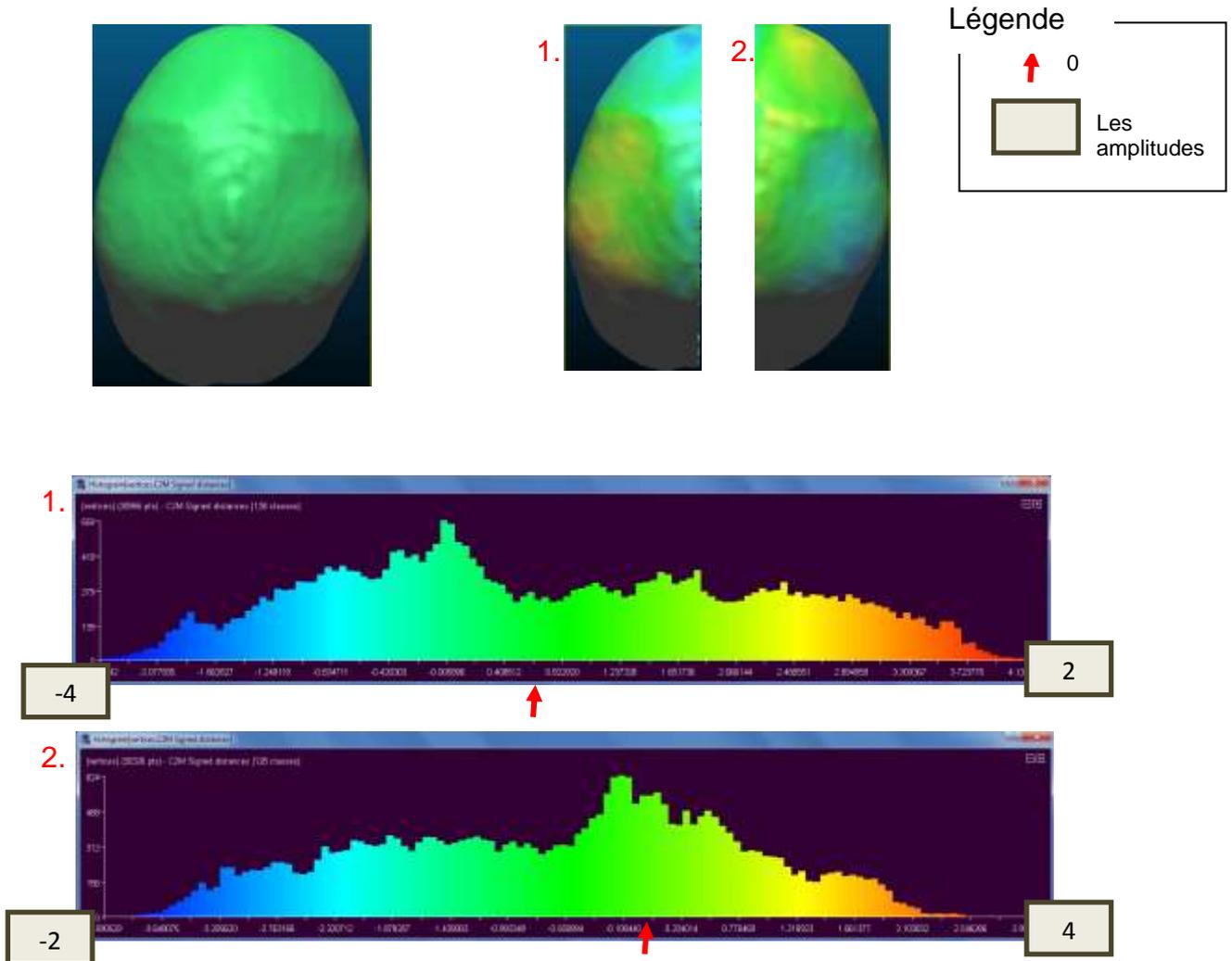


Figure 27– Cartes de distances correspondant pour un crâne sans déformation. 1. Côté gauche 2. Côté droit

Nous retrouvons bien, un pic pour les PO, deux pics plus ou moins distincts pour des PFO et pas de pic significatif pour les BP et les sains, mais nous observons un certain nombre de points avec une déformation pour les BP et des amplitudes plus grande. Ainsi avec la carte de distances nous pouvons dire s'il s'agit d'une PO, d'une PFO ou un sain. Pour déduire si c'est une BP, c'est parfois compliqué, elles peuvent être un mélange de PFO ou de PO.

## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

Pour bien tester cette procédure, quelques examens ont été pris au hasard pour tester si nous retrouvions bien sa déformation. La carte de distances d'un des tests est présentée figure 28.

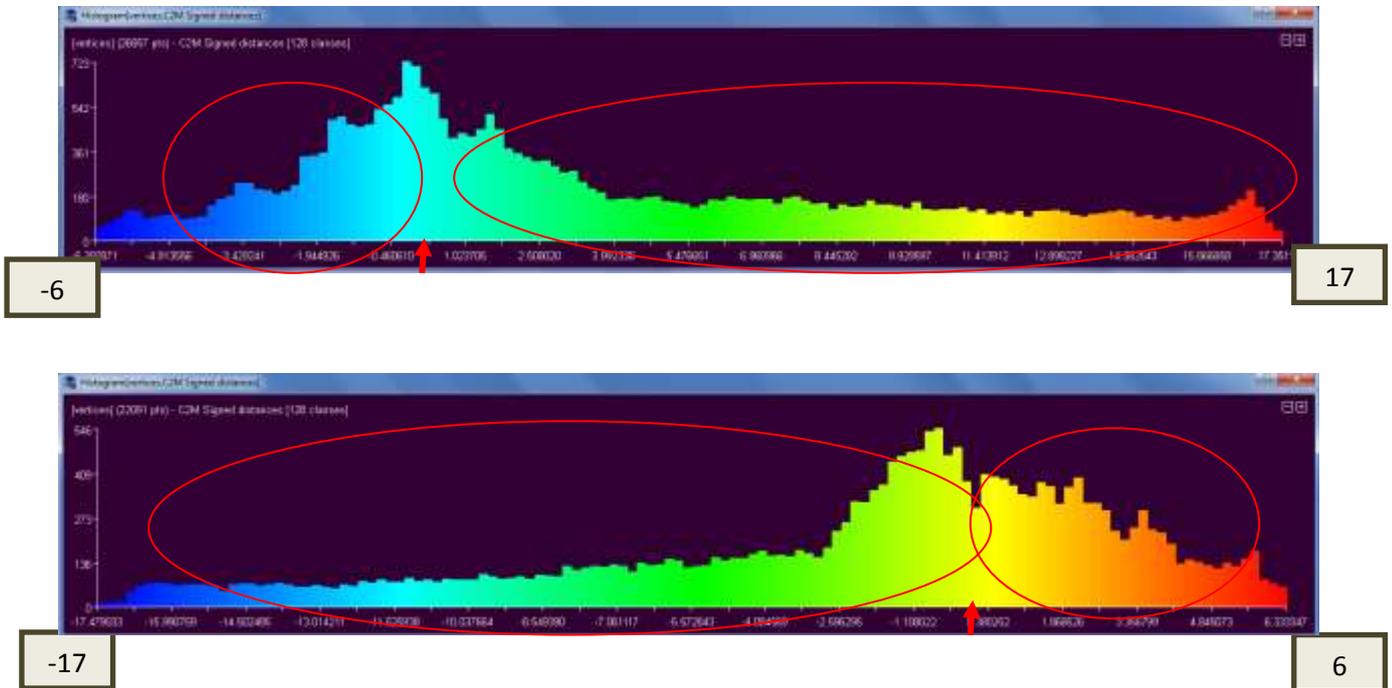


Figure 28 – Exemple de test de la procédure ; carte de distance sur une déformation pris au hasard. Haut : Côté droit Bas : Côté droit

Les cartes de distances reflètent une PFO. Les amplitudes sont assez importante et on remarque bien les deux déformations « + » et « - » sur chaque côté. Après vérification dans les résultats, il s'agit bien d'une PFO (Cf. figure 29).

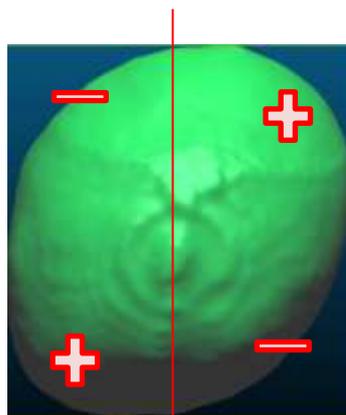


Figure 29– Maillage de l'endocrâne de l'exemple

Sur les dix tests réalisés, six tests ont réussi et quatre n'ont pas réussi. Il y a 60 % de réussite pour cette procédure. Elle peut être complétée par une étude visuelle et l'étude quantitative pour analyser la déformation et sa gravité.

Pour tous les tests qui n'ont pas réussi, l'évaluation de la carte de distance avait une tendance PFO. Pour un d'entre eux, il s'agissait d'une BP asymétrique. Une analyse visuelle peut déceler les caractéristiques d'une BP comme un crâne large. Pour les trois autres, il s'agissait d'enfants sains. L'évaluation visuelle de la carte de distances a révélé pour un d'entre eux une asymétrie à la base du crâne (invisible à l'œil nu), le crâne quant à lui ne possédait pas d'asymétrie, donc sain pour une évaluation clinique et une asymétrie arrière pour les deux autres. Dans ces deux dernier cas, l'évaluation clinique n'a pas permis de révéler ces asymétries.

## **4.2 Discussion**

La méthode pour trouver l'axe de symétrie qui consiste à symétriser les maillages et effectuer un algorithme de recalage peut être sujet à discussion. Cette méthode permet de trouver un plan de symétrie géométrique mais est-ce le plan de symétrie optimal pour nos données ? Il doit se faire en fonction du contexte. Lorsque le recalage est réalisé dans cette étude, il est initialisé en précisant trois points (Cf. Annexe 3). A partir de ces trois points, l'algorithme minimise la distance entre chaque point. Ces trois points ont été choisis sur la face pour le crâne car le souhait était d'étudier les déformations crâniennes.

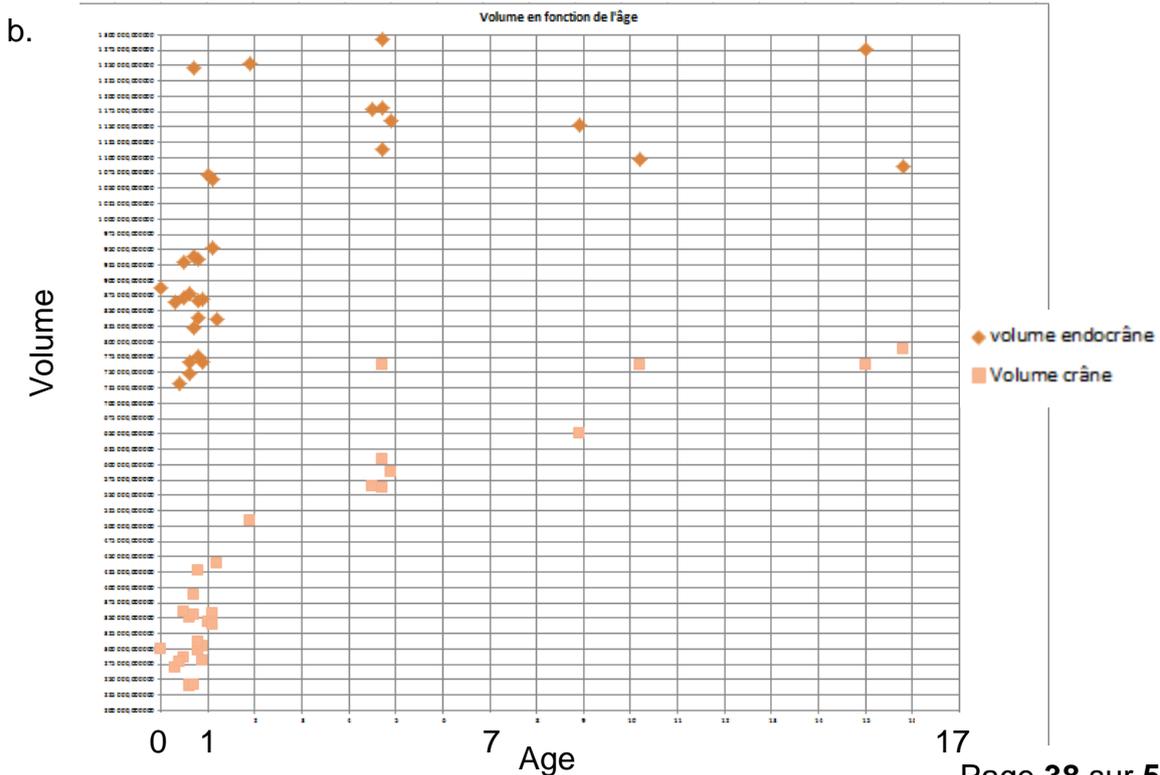
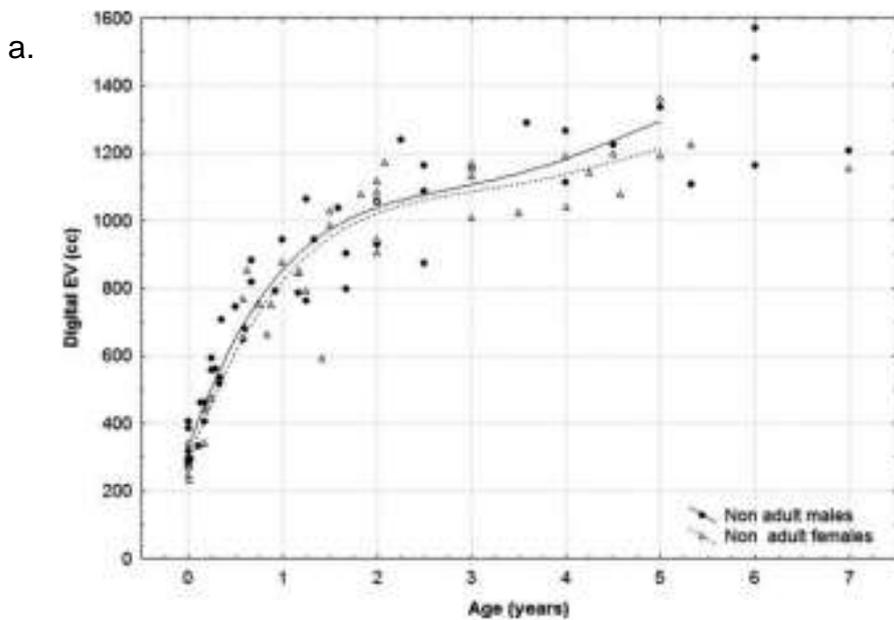
La normalisation pourrait également se réaliser autrement. Dans cette étude, les points aberrants sont supprimés manuellement, chaque distance est divisée par la racine cubique de l'endocrâne pour ainsi avoir une échelle commune. L'histogramme pourrait être découpé en plusieurs parties et les points aberrants concorderaient avec les parties extrêmes. Ils pourraient aussi correspondre à 1 ou 2% chaque extrémité de la totalité des points.

Le calcul des amplitudes est également délicat. Les déformations peuvent se trouver sur la face ou la mâchoire. Par conséquent, les amplitudes ne reflètent pas toujours ce que l'on souhaite observer. Comme c'est le cas sur la figure 19.

### 4.3 Résultats annexes

Des résultats annexes ont été effectués pour confondre nos données.

Des courbes de l'âge des patients avec le volume crânien et endocrânien ont été réalisées. Les allures des courbes ressemblent à celle qu'on trouve dans l'article de Hélène Coqueugniot «et Jean-Jacques Hublin, « Age-Related Changes of Digital Endocranial Volume During Human Ontogeny: Results From an Osteological Reference Collection » [15]. Ils ont mesurés le volume de quatre-vingt-quatre crânes dont ils connaissaient l'âge (entre 0 et 7,5 ans) et le sexe.



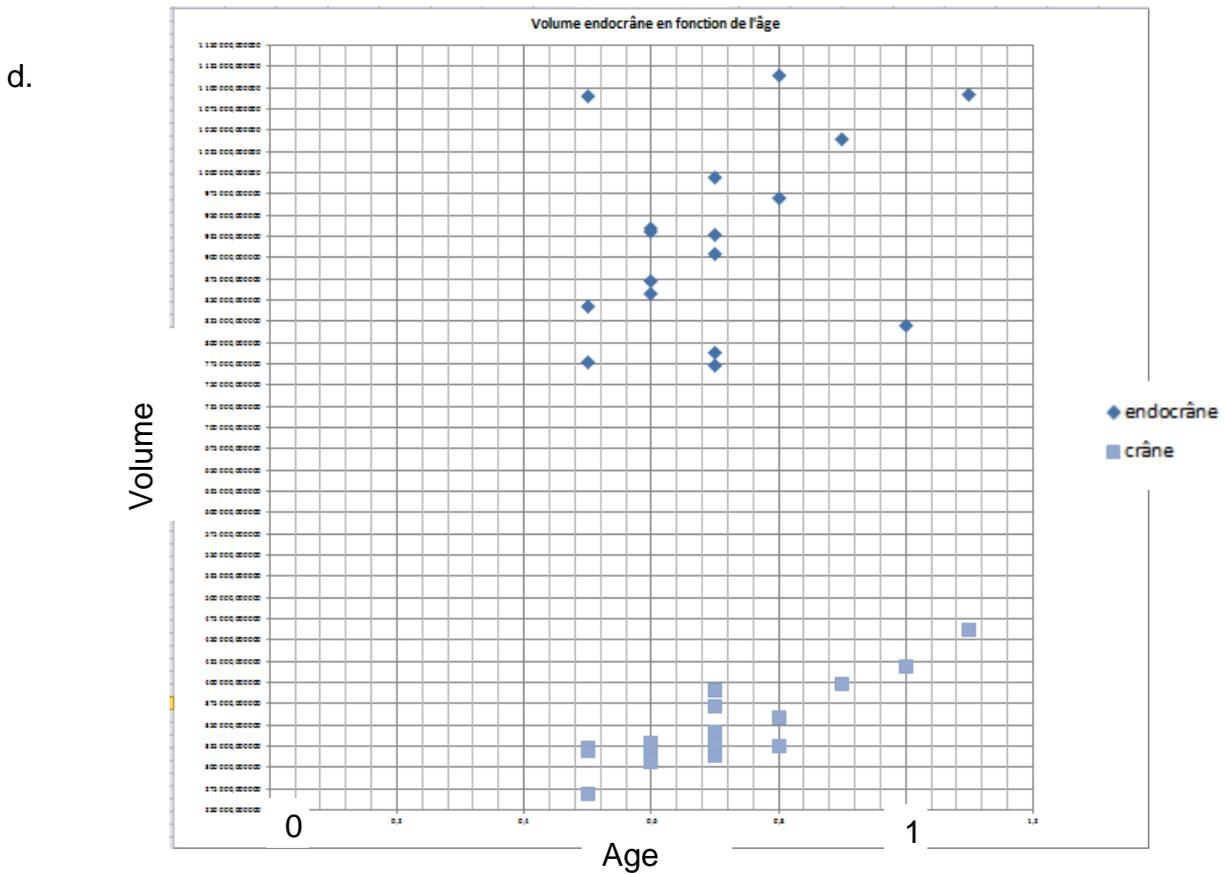
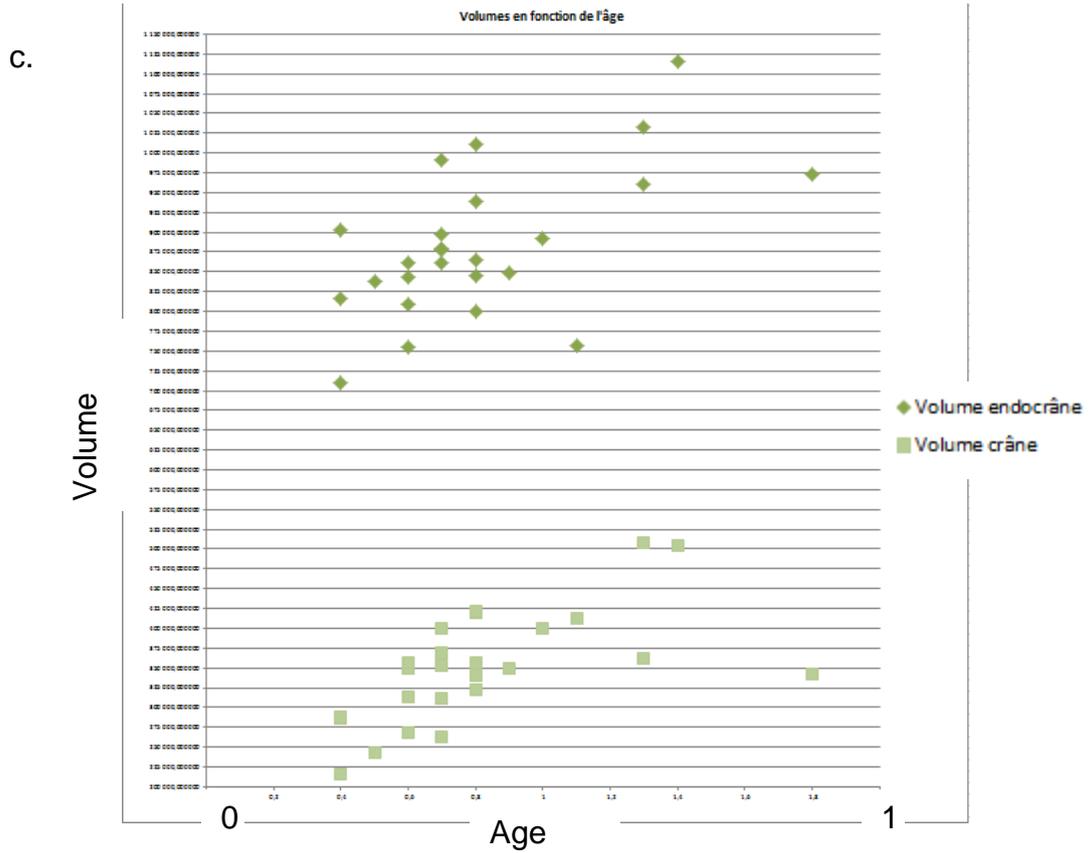


Figure 31 – Comparaison des courbes du volume crâne et endocrâne en fonction de l'âge de l'article Hélène Coqueugniot «et Jean-Jacques Hublin (a), et de nos résultats, PFO(b), PO (c) et BP (d).

## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

La figure 31 montre les résultats qu'ils ont obtenus et nos résultats. Pour les PO (c) et les BP (d), les courbes semblent plus linéaires mais le nombre de données est plus réduit et de l'âge des patients est sensiblement les mêmes (de 4 mois à 1 an environ pour les PO). Ce qui concorde avec l'allure de la courbe de l'article si on compare pour des âges identiques.

Pour chaque déformation un classement de l'amplitude des déformations en fonction de l'âge a aussi été analysé. Seul les déformations PFO sont exploitables car pour toutes les autres déformations les tranches d'âges ne sont pas assez distinctes (Cf. figure 32). Pour le classement des PFO, il en résulte qu'en fonction de l'âge l'amplitude diminue. C'est cohérent car il semblerait qu'avec l'âge les déformations s'atténuent.

ID	age	amplitude	Classement
ANON17041309063911	0,6	12,121729	1
ANON15051311124113	0,4	12,550239	2
ANON16051309561512	1,4	14,319854	3
ANON14051316222816	1,8	15,631316	4
ANON15051316383718	0,7	16,826399	5
ANON1505131431235	0,9	17,149648	6
ANON1605130920575	0,8	18,400763	7
ANON1605131116028	0,4	20,701578	8
ANON16051311300911	0,7	22,168488	9
ANON1704130859474	0,4	22,359295	10
ANON15051311013912	0,5	24,105012	11
ANON16051309595913	1,1	25,210857	12
ANON1605130906044	0,7	25,542903	13
ANON1605131105467	0,8	26,197056	14
ANON1505131526169	0,7	29,305510	15
ANON15051311562920	1,3	28,961409	16
ANON15051312020921	1	33,990241	17
ANON16051309523011	0,6	34,068030	18
ANON02081120071539	0,6	36,823266	19
ANON1605130925156	0,7	37,273974	20
ANON1605130837340	0,8	37,458420	21
ANON1505130955512	1,3	38,367025	22
ANON1605130847441	0,6	39,181657	23
ANON1605131042074	0,8	41,062082	24
ANON02081120050910	0,8	47,370875	25

ID	age	amplitude	Classement
ANON1605131032072	0,5	19,625392	8
ANON02081120065736	0,5	23,573606	11
ANON1605131037073	0,5	26,303101	14
ANON02081120095871	0,6	9,578562	2
ANON0208112004496	0,6	14,8735579	5
ANON1505131449376	0,6	17,179841	7
ANON1505131012395	0,6	31,1179056	15
ANON15051315354910	0,7	11,042709	3
ANON1505131418072	0,7	15,154042	6
ANON02081120060520	0,7	21,938537	10
ANON1505131425464	0,7	24,650491	12
ANON1505131029398	0,7	55,459331	17
ANON1704130858001	0,8	9,334085	1
ANON1605131121359	0,8	25,553433	13
ANON02081120092968	0,9	34,946719	16
ANON1605130942178	1	12,501036	4
ANON15051311503519	1,1	20,269064	9

ID	age	Amplitude	Classement
ANON26031311534412	4,7	12,015505	1
ANON22044131520563	4,7	12,045724	2
ANON1905131024225	15	12,676718	3
ANON0208112004579	1,1	12,844333	4
ANON1605131025321	4,5	13,359270	5
ANON15051312081023	1,1	13,953699	6
ANON02081120084857	15,8	14,073175	7
ANON1505131514498	4,7	16,264200	8
ANON02081120091863	10,2	24,097529	9
ANON2204131458500	4,9	25,944885	10
ANON1605130935137	0,5	26,053832	11
ANON2081120061926	8,9	26,522004	12
ANON0208112004294	0,6	28,923738	13
ANON1405131555509	0,9	32,381297	14
ANON16051311260710	0,7	32,882884	15
ANON1505131421053	0,8	35,958115	16
ANON1505130948051	0,6	38,827516	17
ANON15051316183515	0,8	40,443354	18
ANON15051311270314	0,5	41,226322	19
ANON2204131513542	0,8	42,440809	20
ANON16051309485610	0,7	42,899445	21
ANON1505131025417	0,6	43,810117	22
ANON1605131054145	0,4	44,004798	23
ANON15051316102114	1,2	47,394400	24
ANON1505131019576	1	50,622455	25
ANON1605130945229	0,8	50,982000	26
ANON02081120061223	0,9	52,013871	27
ANON02081120062930	0,7	53,114537	28
ANON1605131019410	0,3	53,173165	29
ANON02081120053714	1,9	60,638847	30
ANON2304131518070	-	73,716136	31

Figure 27– Classement des amplitudes en fonction de l'âge pour chaque déformation

## Conclusion

L'étude mis en place durant ce stage est un outil d'assistance pour mettre en valeur certains critères pour bien comprendre les déformations crâniennes. Grâce à cette méthode et aux calculs disponibles par les cartes de distances, des critères de gravité quantitatifs peuvent être déterminés. Des classements peuvent aider à étudier ces asymétries. A l'heure actuelle, les classifications visuelles restent plutôt subjectives. Les données quantitatives peuvent aider à analyser ces déformations et à déterminer au mieux leur gravité. Nous pouvons également corrélérer les déformations endocrâniennes et crâniennes. D'après cette étude, l'influence des déformations crâniennes est bien présente sur les déformations endocrâniennes. Nos données ont été validées par des résultats annexes.

Des calculs et des méthodes peuvent encore être mis en place pour compléter cette étude comme par exemple la quantification des données des endocrânes qui n'a pas été réalisée. Ces données pourraient être comparées avec celles du crâne pour faire ressortir une corrélation quantitative entre les deux. L'endocrâne n'est que la surface interne du crâne. Il serait intéressant de pouvoir effectuer la même étude sur le cerveau. Avec les cartes de distances et des outils du logiciel CloudCompare, il est possible de ne faire apparaître que ce que l'on souhaite étudier. Ce logiciel possède une échelle de visualisation. L'idée serait de ne sauvegarder que les déformations en dessus d'une certaine distance seuil puis de les recalculer sur un crâne de référence pour voir si toutes les déformations correspondent. Une étude de localisation pourrait compléter l'étude quantitative.

Cette méthode est reprise par un deuxième stagiaire de Master 1 STIC Santé spécialité technologie pour la santé, actuellement en stage à l'hôpital Lapeyronie. Il va travailler sur les déformations des mandibules et corrélérer les résultats avec ceux du crâne et de l'endocrâne pour voir si une relation existe en fonction des déformations des mandibules et les différents types de déformation. Durant mes dernières semaines, nous avons pu collaborer ensemble.

Ce stage m'a permis de manipuler des images en trois dimensions et de mettre en pratique les techniques de traitement d'images que j'ai su acquérir durant mon Master. Il m'a également permis de mettre en place une étude statistique pour la quantification. J'ai pu, durant ces cinq mois, collaborer avec le support technique

**Rapport de stage 2013** – Etude quantitative des déformations posturales du crâne

d'Intrasense, ce qui a été intéressant car j'ai pu partager avec eux sur le logiciel Myrian® et ses fonctionnalités. La coopération avec le nouveau stagiaire m'a permis de discuter sur les méthodes et l'étude statistique qui a servi à la quantification.

## Références

---

- [1] Looman WS, Flannery AB, Evidence-Based Care of the Child with Deformational Plagiocephaly, Part 1: Assessment and Diagnosis. *Journal of Pediatric Health Care*, 2012, Jul-Aug;26(4):242-50; quiz 251-3. doi: 10.1016/j.pedhc.2011.10.003.
- [2] Flannery AB, Looman WS, Kemper K, Evidence-Based Care of the Child with Deformational Plagiocephaly, Part II: Management, 2012, Sept-Oct; 26(5):320-31. doi: 10.1016/j.pedhc.2011.10.002.
- [3] Bialocerkowski AE, Vladusic SL, Wei Ng C, Prevalence, risk, factors and natural history of plagiocephaly; a systematic review, *Dev Med Child Neurol*, 2008 Aug;50(8):577-86. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03029.x.
- [4] Miller RI, Clarren SK, Long-Term Developmental Outcomes in Patients with Deformational Plagiocephaly, *Pediatrics* 2000 Feb; 105(2):E26.
- [5] Collett B, Breiger D, King D, Cunningham M, Speltz M, Neurodevelopmental Implication of "Deformational Plagiocephaly", *J Dev Behav Pediatr*. 2005 Oct;26(5):379-89.
- [6] Collett BR, Starr JR, Kartin D, Heike CL, Berg J, Cunningham ML, Speltz ML, Development in toddlers with deformational plagiocephaly, *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2011 Jul;165(7):653-8. doi: 10.1001/archpediatrics.2011.92.
- [7] Speltz ML, Collett BR, Scott-Miller M, Starr JR, Heike C, Wolfram-Aduan AM, King D, Cunningham ML, Case-Control Study of Neurodevelopment in Deformational Plagiocephaly, *Pediatrics*, 2010, March;125(3):e537-e542. doi:10.1542/peds.2009-0052.
- [8] Collett BR, Aylard EH, Berg J, Davidoff C, Norden J, Cunningham M L., Speltz ML, Brain volume and shape in infants with deformational plagiocephaly, *Childs Nerv Syst*. 2012 Jul; 28(7):1083-90. doi: 10.1007/s00381-012-1731-y. Epub 2012 Mar 25
- [9] Collett BR, Heike CL, Atmosukarto I, Starr JR, Cunningham ML and Speltz ML, Longitudinal, Three-Dimensional Analysis of Head Shape in Children with and without Deformational Plagiocephaly or Brachycephaly, *J Pediatr*. 2012 Apr;160(4):673-678.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2011.09.059. Epub 2011 Nov 13
- [10] Captier G, Leboucq N, Bigorre M, Canovas F, Bonnel F, Bonnafé A et Montoya P, Etude clinico-radiologique des déformations du crâne dans les plagiocéphalies sans synostose, *Arch Pediatr*. 2003 Mar;10(3):208-14
- [11] Captier G, Torticolis et déformations du crâne: mise au point, *Médecine & Enfance*, Volume 33, Numéro 4, avril 2013.
- [12] Stéphanie Lanche, Tron A. Darvann, Hildur Olafsdottir ,Nuno V. Hermann, Andrea E. Van Pelt, Daniel Govier, Marissa J. Tenenbaum, Sybill Naidoo, Per

Larsen, Sven Kreiborg, Rasmus Larsen, and Alex A. Kane, A Statistical Model of Head Asymmetry in Infants with Deformational Plagiocephaly, Proceeding, 2007, Pages 898-907 ISBN: 978-3-540-73039-2

- [13] Hutchison BL, Hutchison LA, Thompson JM, Mitchell EA. Quantification of Plagiocephaly and Brachycephaly in Infants Using a Digital Photographic Technique, Cleft Palate Craniofac J. 2005 Sep;42(5):539-47.
- [14] Argenta, L. (2004). "Clinical classification of positional plagiocephaly." J Craniofac Surg 15(3): 368-372.
- [15] Hélène Coqueugniot , Jean-Jacques Hublin, Age-Related Changes of Digital Endocranial Volumen During Human Ontogeny: Results From an Osteological Reference Collection, AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY 147:312–318 (2012)

## Annexes

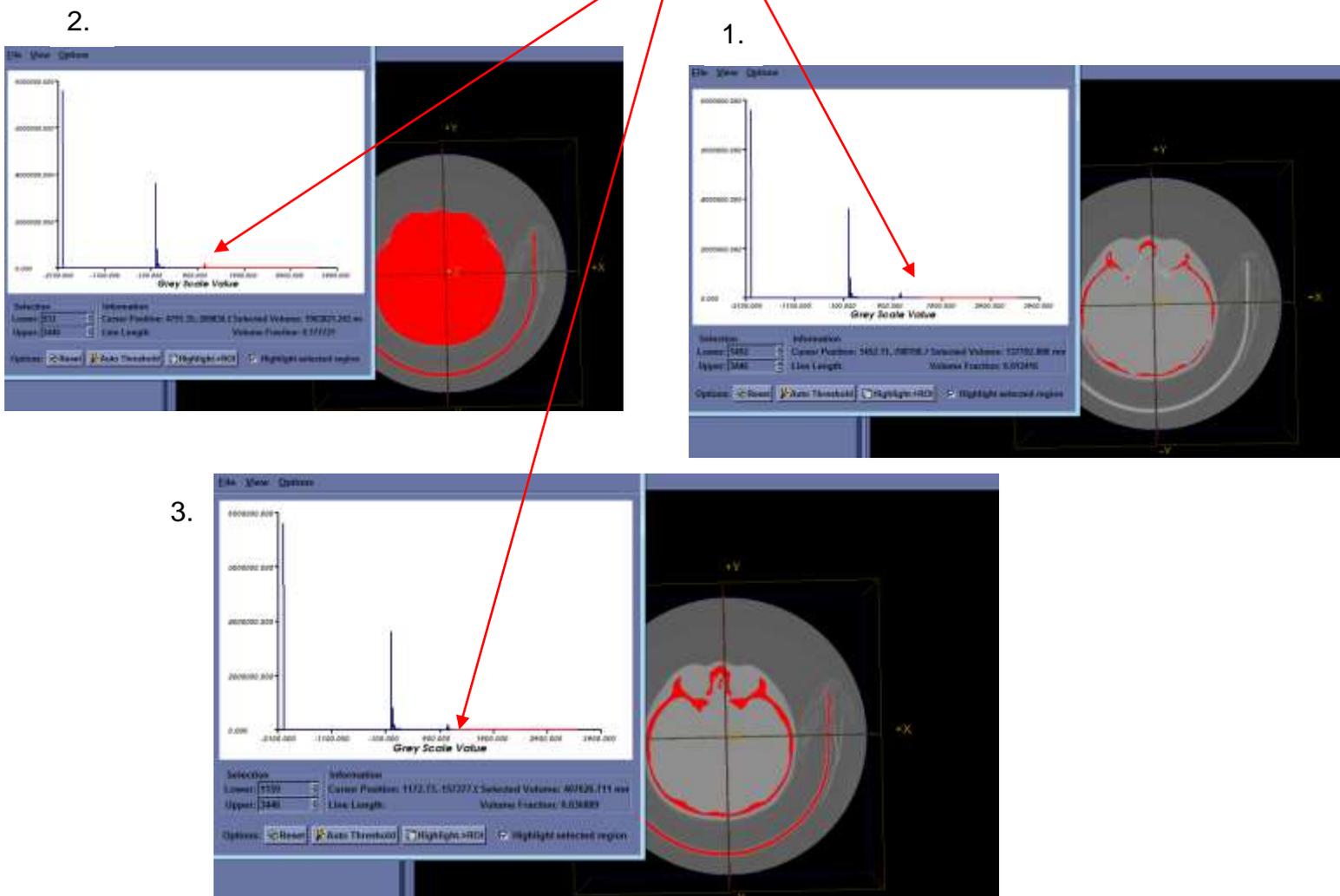
### Annexe 1 : Détermination manuelle du seuil pour la segmentation du crâne dans le projet

La détermination d'un seuil adéquat se fait manuellement grâce à l'histogramme de l'image (nombre de voxels en fonction de chaque intensité présente dans l'image).

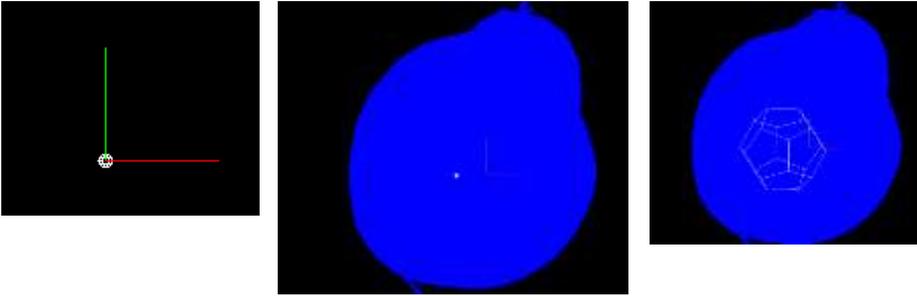
L'annexe 1 présente différents seuils pour un exemple :

1. Seuil trop haut
2. Seuil trop bas
3. Seuil adéquat

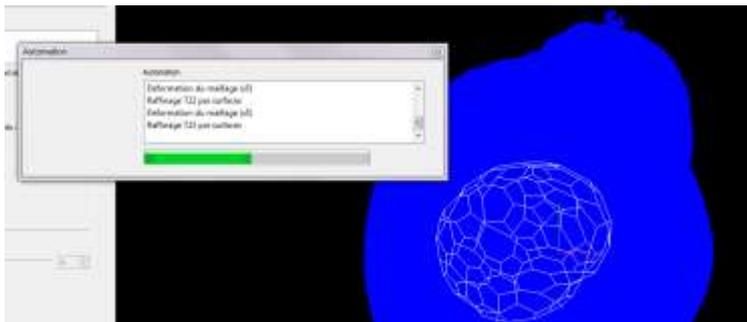
3 différents seuils pour une même région d'intérêt



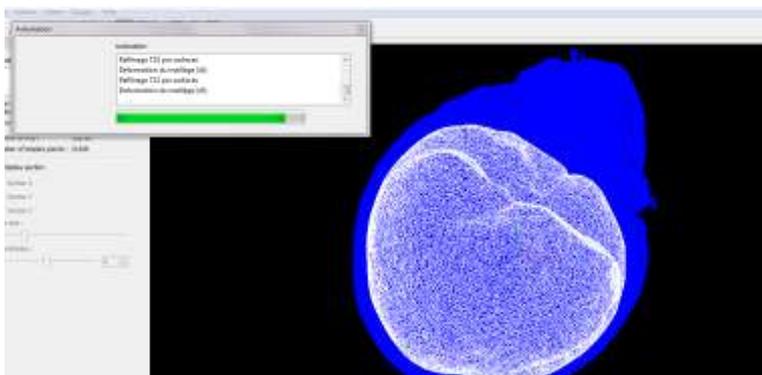
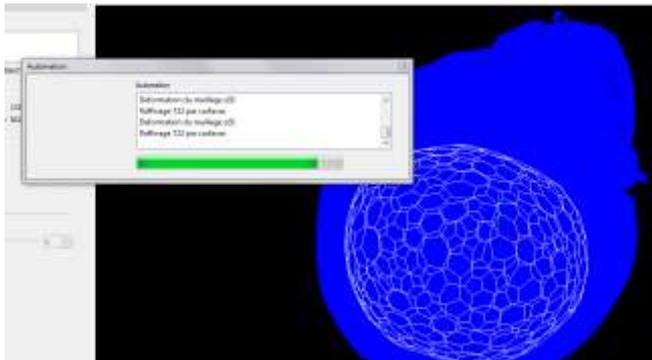
**Annexe 2 : Création de la surface 3D de l'endocrâne à l'aide d'une surface déformable**



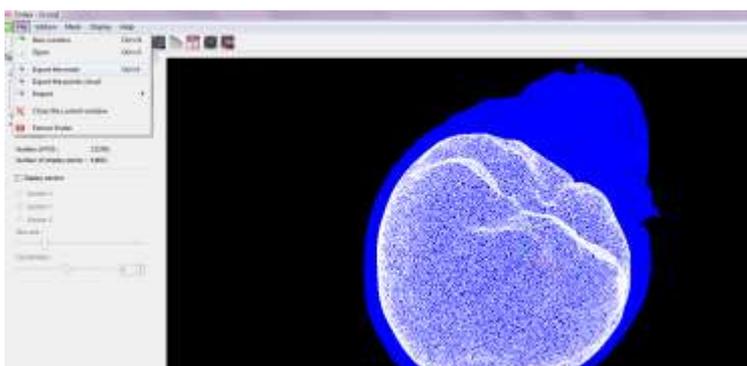
Mise en place du modèle déformable au centre du crâne



Lancement de la procédure de déformation



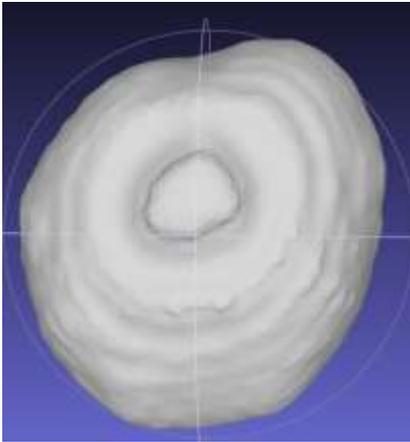
Le modèle déformable « grossit » jusqu'à ce qu'il atteigne les bords osseux.



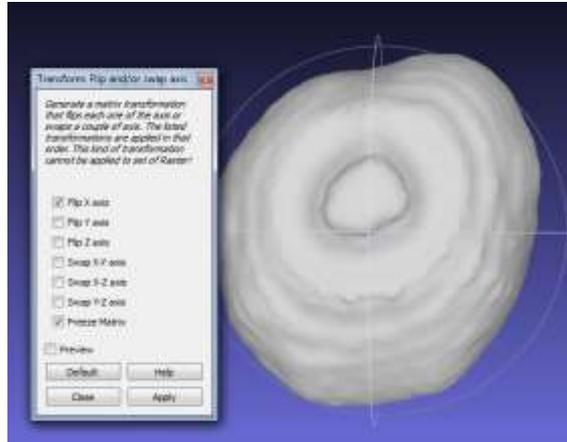
Maillage de l'endocrâne

**Annexe 3 : Obtention du symétrique à l'aide d'un algorithme de recalage rigide**

. Exemple de recalage rigide sur un endocrâne (vu du dessus).



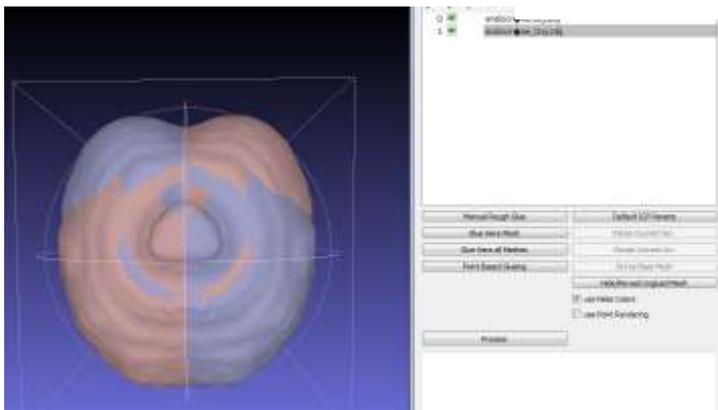
Endocrâne



Création du symétrique



Symétrique

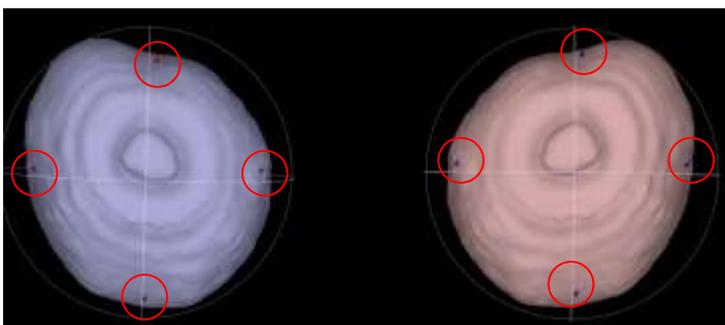


Le maillage original et son symétrique

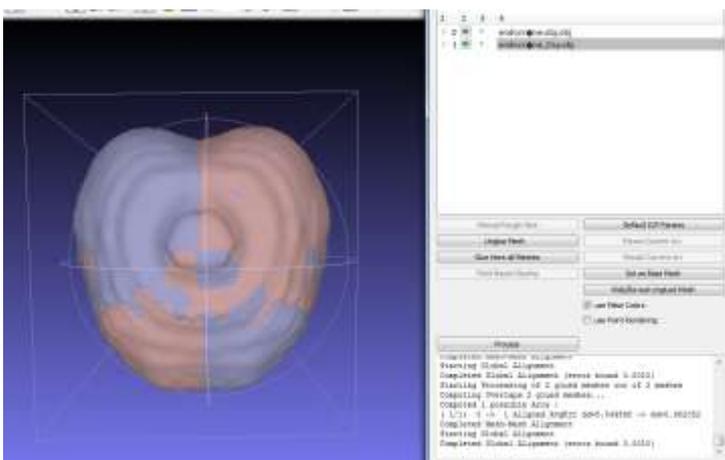
Bleu : endocrâne symétrique recalé

Rouge ; endocrâne original

Recalage rigide :

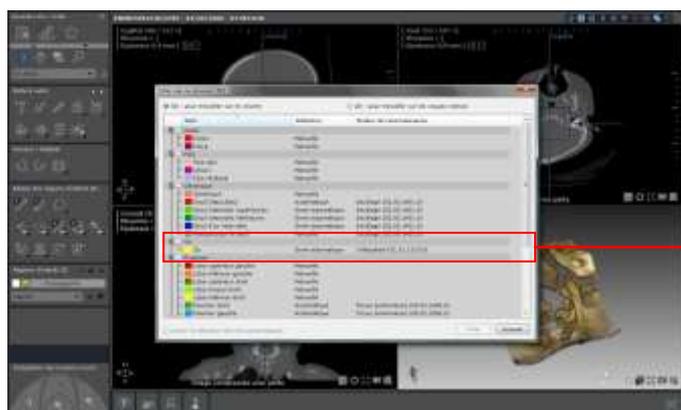


Initialisation du recalage : choix de quatre points éloignés. Pour le crâne choix de ces points sur la face



Maillage symétrique recalé.

**Annexe 4 : Elaboration de la région d'intérêt du crâne**



Panneaux de gestion des ROIs

ROI « os »



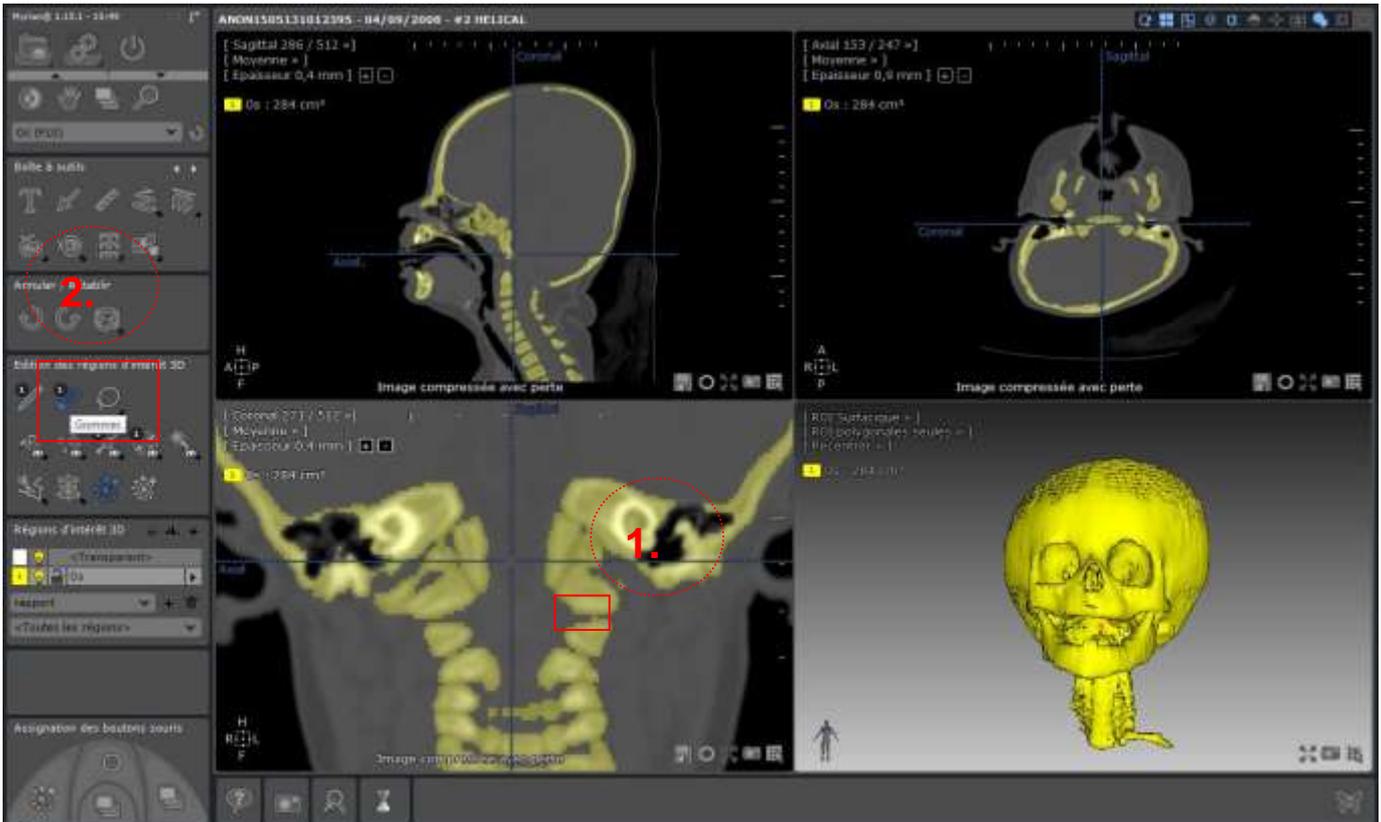
Création de la ROI « os » ( en jaune)



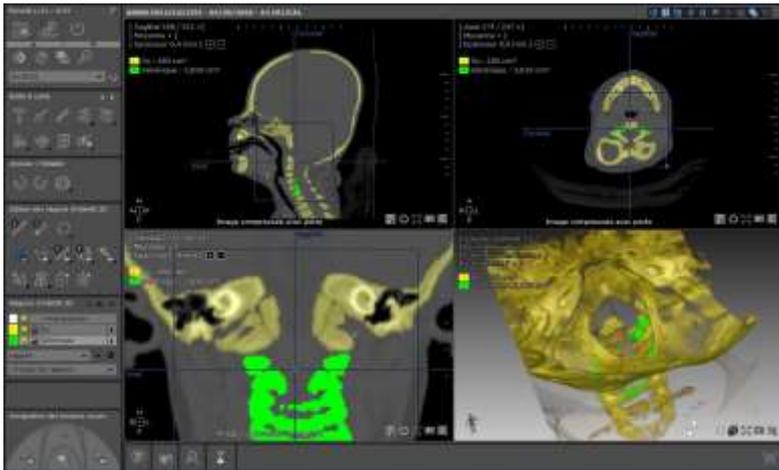
Recherche des voxels des vertèbres qui « touchent » les voxels de la base du crâne



## Rapport de stage 2013 – Etude quantitative des déformations posturales du crâne



1. Un des voxels qui relie la colonne et le crâne
2. Outils « La gomme »
3. Gommage du voxel pour séparer la colonne du crâne



Outils « pinceau » pour « colorier » la colonne vertébrale dans une autre ROI sur quelques coupes pour séparer toute la colonne

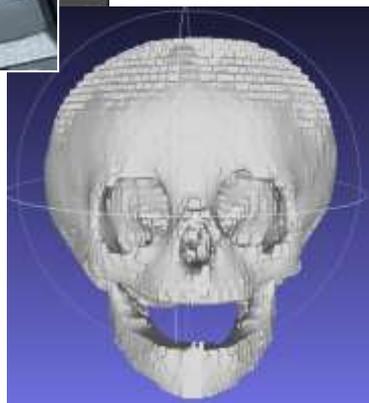


Puis coloration en trois dimensions, une fois que la colonne de touche plus le crâne.

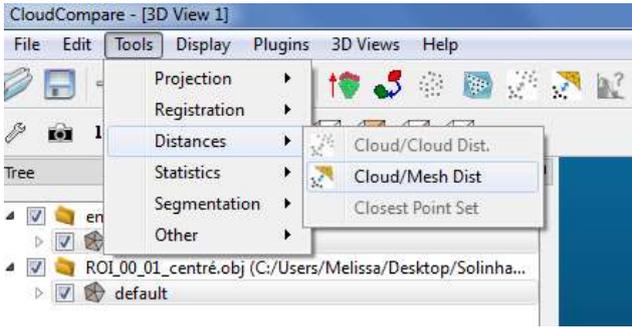


Exportation des ROI avec la touche « E ».

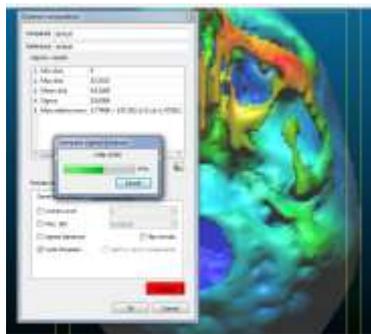
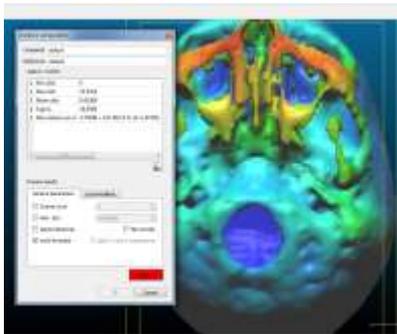
Visualisation avec le logiciel MeshLab.



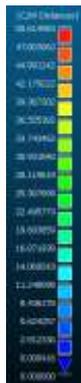
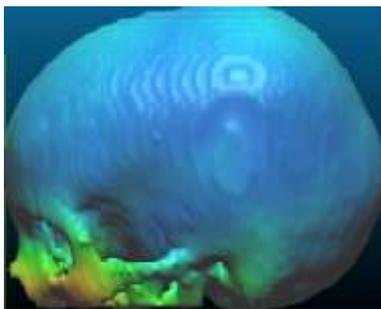
**Annexe 5 : Suppression de la partie interne du crâne**



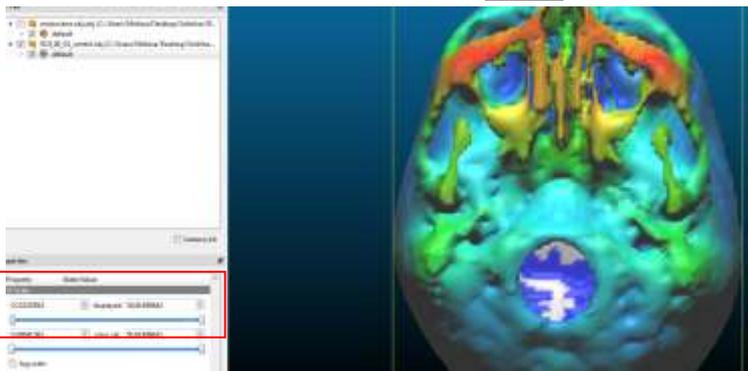
Lancement des calculs de distances entre le maillage du crâne et celui de l'endocrâne



Les calculs sont non signés (bleu : proche ; rouge : loin)

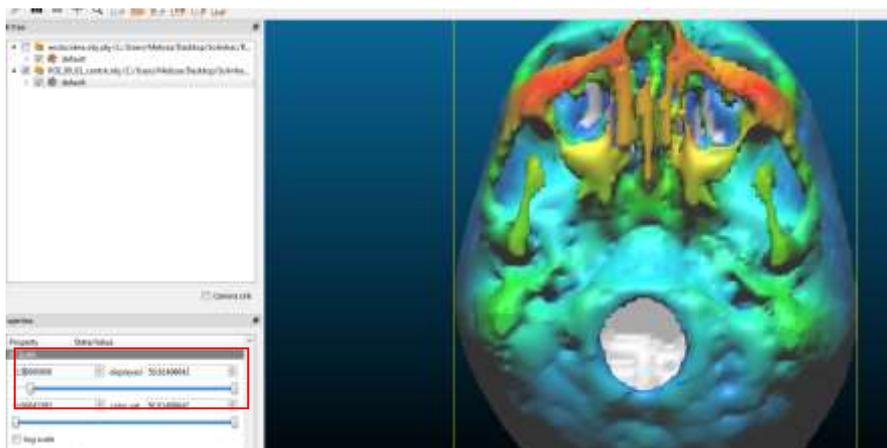


Echelle de distances entre le crâne et l'endocrâne



Suppression des voxels les plus proches du crâne = suppression de la partie interne du crâne

à l'aide d'une échelle de visualisation disponible dans le logiciel.



**Annexe 6 : Comparaison classification visuelle et quantitative pour chaque déformation**

. Déformation PO

ID	age	Amplitudes	Classement	Différence
ANON1505131431235	0,9	17,149648	6	2
ANON1505131526169	0,7	29,305510	15	5
ANON1605130837340	0,8	37,458420	21	10
ANON1605130906044	0,7	25,542903	13	2
ANON1605130920575	0,8	18,400763	7	0
ANON1605130925156	0,7	37,273974	20	5
ANON1605131042074	0,8	41,062082	24	4
ANON1605131105467	0,8	26,197056	14	5
ANON1704130859474	0,4	22,359295	10	12
ANON02081120050910	0,8	47,370875	25	1
ANON02081120071539	0,6	36,823266	19	19
ANON14051316222816	1,8	15,631316	4	0
ANON15051311013912	0,5	24,105012	11	5
ANON15051311124113	0,4	12,550239	2	1
ANON15051311562920	1,3	28,961409	16	5
ANON15051312020921	1	33,590241	17	3
ANON15051316383718	0,7	16,826399	5	0
ANON16051309523011	0,6	34,068030	18	5
ANON16051309561512	1,4	14,319854	3	1
ANON16051309595913	1,1	25,210857	12	0
ANON16051311300911	0,7	22,168488	9	0
ANON17041309063911	0,6	12,121729	1	2
ANON1505130955512	1,3	38,367025	22	1
ANON1605130847441	0,6	39,181657	23	5
ANON1605131116028	0,4	20,701578	8	2
				56

. Déformation BP

ID	age	Amplitudes	Classement	Différence
ANON0208112004496	0,6	14,8735579	5	1
ANON1505131012395	0,6	31,1179056	15	1
ANON1505131418072	0,7	15,154042	6	1
ANON1505131425464	0,7	24,650491	12	5
ANON1505131449376	0,6	17,179841	7	6
ANON1605130942178	1	12,501036	4	11
ANON1605131032072	0,5	19,625392	8	5
ANON1605131037073	0,5	26,303101	14	8
ANON02081120060520	0,7	21,938537	10	8
ANON02081120065736	0,5	23,573606	11	3
ANON02081120092968	0,9	34,946719	16	4
ANON02081120095871	0,6	9,578562	2	6
ANON15051311503519	1,1	20,269064	9	2
ANON15051315354910	0,7	11,042709	3	2
ANON1505131029398	0,7	55,459331	17	0
ANON1605131121359	0,8	25,553433	13	3
ANON1704130858001	0,8	9,334085	1	8
				47,0588235

. Déformation PFO

ID	age	Amplitudes	Classement	Différence
ANON0208112004579	1,1	12,844333	4	3
ANON0208112004294	0,6	28,923738	13	9
ANON1405131555509	0,9	32,381297	14	4
ANON1505130948051	0,6	38,827516	17	10
ANON1505131019576	1	50,622455	25	3
ANON1505131025417	0,6	43,810117	22	1
ANON1505131421053	0,8	35,958115	16	2
ANON1605130935137	0,5	26,053832	11	5
ANON1605131019410	0,3	53,173165	29	0
ANON1605131025321	4,5	13,359270	5	2
ANON1905131024225	15	12,676718	3	6
ANON02081120053714	1,9	60,638847	30	0
ANON02081120061223	0,9	52,013871	27	1
ANON2081120061926	8,9	26,522004	12	4
ANON02081120062930	0,7	53,114537	28	3
ANON02081120084857	15,8	14,073175	7	0
ANON2204131458500	4,9	25,944885	10	0
ANON2204131513542	0,8	42,440809	20	0
ANON2304131518070	-	73,716136	31	0
ANON15051311270314	0,5	41,226322	19	0
ANON15051312081023	1,1	13,953699	6	6
ANON15051316102114	1,2	47,394400	24	2
ANON15051316183515	0,8	40,443354	18	1
ANON16051309485610	0,7	42,899445	21	3
ANON16051311260710	0,7	32,882884	15	2
ANON22044131520563	4,7	12,045724	2	0
ANON26031311534412	4,7	12,015505	1	4
ANON1505131514498	4,7	16,264200	8	3
ANON1605130945229	0,8	50,982000	26	5
ANON1605131054145	0,4	44,004798	23	8
ANON02081120091863	10,2	24,097529	9	3
				67,741935