

**Master STIC pour la Santé**  
**spécialité PhyMed**



**Physique pour le bioMédical**

**STAGE M1**

**Année 2015-2016**

**Tomodensitométrie dans le cadre de la  
déformation crânienne chez le nourrisson**

**Gardes Loic**

**Maitre de stage : Dr Guillaume Captier et Pr Gérard Subsol**

**Tuteur : Mr Thierry Cloitre et Dr Michel Zanka**



**UNIVERSITE DE MONTPELLIER**

## Remerciements

Je remercie tout d'abord Le Pr Guillaume Captier ainsi que le Pr Gérard Subsol pour m'avoir accordé leur soutien et leur disponibilité. Sans ces 2 grands Messieurs qui ont cru en moi, je n'aurais pas pu exercer ce stage et ils m'ont apporté une maîtrise et un nouveau sens de l'analyse qui m'ont permis de grandir non seulement en tant que stagiaire et -j'espère- en tant que futur professionnel dans le monde de la Santé mais aussi en tant qu'être humain car ce stage m'a permis de faire face à la difficulté et aux mystères de la réalité du monde scientifique et m'a rapproché directement du monde médical qui m'a fasciné de jour en jour au cours de stage.

Je remercie tout le service de Chirurgie Pédiatrique ainsi que le LIRMM pour leur accueil chaleureux et agréable, notamment au Pr Cottalorda, au Dr Bigorre, au Dr Baylon, au Dr Delpont, au Dr Baumler ainsi qu'aux secrétaires médicales Soad et Florence et aux programmatrices Céline Cade et Céline Chaudier qui m'ont apporté leur soutien et m'ont accepté comme l'un des leurs en si peu de temps.

Je remercie tout le Master SNS, en particulier Madame Gergely et Monsieur Cloitre-ainsi qu'AU Dr Michel Zanka que j'espère retrouver dans mon année de M2-, qui m'ont permis d'acquérir de nouvelles compétences en Physique Biomédicale et de progresser dans le domaine scientifique et m'ont démontré par l'occasion que de devenir un bon scientifique demande une rigueur et une maîtrise de tout les instants, et quel que soit le contexte

Je remercie tout mes camarades de PhyMed, D'IDS et de BCD pour avoir partagé des bons moments au cours de cette année 2015-2016

Je remercie et dédie ce compte rendu à ma famille, à mes grands parents, à mon frère, à mon père et surtout à la personne la plus merveilleuse de ce monde à ma mère, pour sa ténacité, sa fougue, sa joie, sa bonne humeur et surtout son amour incommensurable et éternel me concernant.

Vive la Recherche ! Vive la Médecine ! Vive la Science !

## Résumé

L'objectif de ce stage est de quantifier et de qualifier les déformations asymétriques crâniennes et endocrâniennes ainsi que les déformations mandibulaires.

Au cours de ce stage, j'ai pu réaliser des segmentations d'images sur le Logiciel Myrian en séparant le crâne de la mandibule et de la colonne vertébrale. Puis j'ai procédé à l'extraction de l'endocrâne (ou le crâne cérébral) sur le logiciel Endex pour pouvoir procéder à la création du symétrique endocrânien – ainsi qu'au symétrique mandibulaire- par la méthode dite de l'algorithme de recalage rigide. Une fois les symétriques obtenus, on procède à la mise en place des cartes de distances des endocrânes et des mandibules qui reflètent le degré d'asymétrie des endocrânes et des mandibules qui permettront l'étude des amplitudes des cartes de distances des endocrânes et des mandibules, puis des mesures de l'évolution de ces déformations asymétriques avec les données des coordonnées reçues en format ASCII, et enfin le calcul des distances normalisées d'asymétrie en prenant le ratio des distances de déformations et par la racine cubique du volume endocrânien dans l'optique de résoudre le problème d'écart de ces volumes endocrânien et dans la mise en place d'une échelle commune, et qui permettront de classer ces endocrânes comme des PO (Plagiocéphalie Occipitale), des PFO (Plagiocéphales FrontoOccipitales), des BP (Brachycéphalies Posturales) et des CONTROLE ( ou les Normaux en d'autres termes).

Les résultats obtenus après avoir constitué la base de données spécifiques des examens d'imageries montrent une majorité de garçons par rapport aux filles (123 garçons pour 88 filles). Le diagnostic des Plagiocéphalies est très précoces (10<sup>ème</sup> mois pour les PO et les BP). L'évolution des volumes endocrâniens est évalué à un intervalle d'âge compris entre 0 et 30 mois et les graphes correspondants à cette évolution montrent que les endocrânes CONTROLE grandissent le plus vite, suivis des PO, des PFO et des BP qui connaissent une légère baisse. L'évolution des volumes mandibulaires montrent que les mandibules PFO grandissent le plus vite, suivi des CONTROLE, des PO et des BP qui connaissent une baisse assez importante.

Les amplitudes des cartes de distances ne permettent pas de mettre bien en évidence les asymétries endocrâniennes du fait des écarts de volumes endocrâniens entre groupe d'endocrânes et les graphes spécifiques à l'évolution des déformations endocrâniennes et mandibulaires ne donnent pas vraiment de grandes précisions au sujet de ces asymétrie.

Pour cela, on est passé par la normalisation des distances de déformations qui permettent de mettre en évidence le degré de déformations des endocrânes en particulier. Après la manipulation, on a constaté que les PFO possédaient la distance moyenne d'asymétrie la plus importante, suivi des PO et des CONTROLE qui ont servi de référence pour la comparaison et les BP ont été abandonnées pour cette normalisation du fait que l'asymétrie est quasi-inexistante.

## Sommaire

I)	Introduction.....	p.5
II)	Présentation de L'Hôpital Lapeyronie.....	p.5
	1) Informations générales.....	p.5
	2) Informations spécifiques.....	p.7
III)	Présentation du problème biomédical.....	p.7
	1) Anatomie tête et cou : généralités.....	p.7
	a) Anatomie de la calvaria.....	p.8
	b) Anatomie de la base du crâne.....	p.8
	c) Anatomie du massif facial et de la mandibule.....	p.11
	2) Types de déformations crâniennes du nourrisson.....	p.13
	a) Définition.....	p.13
	b) Mécanisme des DCP.....	p.13
	3) Diagnostic et Traitements .....	p.17
	a) Diagnostic .....	p.17
	b) Traitements .....	p.18
IV)	Missions réalisées pendant le stage .....	p.18
	1) Prélude bibliographique : Etudes réalisées sur le périmètre crânien sujet à Déformation.....	p.18
	2) Mise en place de la démarche de projet d'études des DCP.....	p.20
	3) Travaux réalisés sur les DCP .....	p.21
	a) Mise en place de la base de données.....	p.21
	b) Segmentation du crâne, de la mandibule et de la colonne vertébrale sur Myrian .....	p.21
	c) Obtention de l'endocrâne par Endex .....	p.24
	d) Etape de Morphométrisation 3D par les processus de symétrisation endocrânienne et mise en place de carte de distances correspondantes .....	p.24
	4) Résultats et Interprétations .....	p.26
	a) Etablissement de la base de données et état des lieux des scanners.....	p.26
	A) Interprétation de la base de données .....	p.26
	B) Interprétation de l'évolution des volumes endocrâniens .....	p.27
	C) Interprétation des volumes mandibulaires .....	p.27
	b) Etablissement des cartes de distances des endocrânes et des Mandibules .....	p.28
	c) Graphes de distances de déformations des différentes catégories de crânes et de mandibules .....	p.32
	d) Normalisation des distances d'asymétrie endocrânienne .....	p.36
	5) Discussion et Résultats annexes .....	p.42
V)	Conclusion .....	p.43
	Bibliographie.....	p.44
	Annexes .....	p.46

## **I) Introduction**

Actuellement, la médecine ne cesse d'évoluer grâce aux progrès de la technologie et de la science. Ces progrès servent à remplir la mission de Santé Publique vis-à-vis de la population, du patient principalement. En parlant de progrès technologique, l'imagerie médicale-qui se manifeste par le biais de différentes techniques- s'avère comme un atout majeur pour le bien du corps médical..Les techniques d'imageries 3D ont pour fonction l'aide au diagnostic (sclérose en plaque avec l'IRM), l'évaluation de la sévérité d'une maladie (détection de métastases pour mesure du niveau de dissémination du cancer), l'aide à l'intervention (ponctions effectuées chez les patients sous échographies pour visualisation de zone pathologique à traiter), l'aide à la prise en charge et au suivi thérapeutique et par conséquent à l'amélioration des connaissances médicales. Pour synthétiser, les techniques d'imageries 3D permettent la quantification et la qualification des différentes pathologies existantes. Dans le cadre de mon stage, il s'agit de cibler et de mieux comprendre les déformations crâniennes du nourrisson visionnées par Tomodensitométrie (ou scanner X dans le langage courant).

La problématique que l'on peut poser est la suivante : Quelles sont les caractéristiques de ces déformations crâniennes ? Comment se manifeste-t-elles ? Quelles méthodes doit-on employer pour mieux étudier ces déformations en question ?

Pour répondre à ces différentes questions, nous plancherons sur la présentation de l'Hôpital Lapeyronie d'abord, puis sur le problème médical en question à savoir les déformations crâniennes et surtout endocrâniennes du nourrisson, et enfin sur les travaux réalisées pendant le stage ainsi que sur l'analyse et l'interprétation de ces travaux.

## **II) Présentation de l'Hôpital Lapeyronie**

### **1) Informations générales**

L'Hôpital Universitaire de Montpellier s'organise autour de 12 pôles hospitalo-universitaires regroupant toutes les spécialités médico-chirurgicales et répartis dans plusieurs sites géographiques au nord-est de Montpellier :

- Lapeyronie (Os et articulations, Urgences)
- Arnaud de Villeneuve (Femme, enfant, cœur-poumons)
- La Colombière, Balmes (Gérontologie)
- Benech (Administration, finances,...)
- Saint-Eloi (Digestif)
- Gui de Chauliac (Tête et cou)
- Euromédecine (Logistique)

Le Centre Hospitalier Universitaire de Montpellier a pour missions fondamentales le **soin**, l'**enseignement**, la **recherche**, mais également la **prévention**, l'**éducation en santé** et la **lutte contre l'exclusion sociale**.

Mon stage s'est déroulé au sein de l'Hôpital Lapeyronie, plus exactement au sein du pôle Femme, Mère, Enfant dont je vous présente ses caractéristiques principales :

**Présentation du pôle hospitalier Femme,Mère,Enfant de l'Hôpital Lapeyronie :**

Voici quelques données regroupées dans un tableau récapitulatif résumant les activités principales ainsi que les chiffres du pôle Femme, Mère, Enfant de l'Hôpital Lapeyronie :

Départements	Nombre de lits et places	Effectif moyen annuel	Chiffres clés d'activité
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pédiatrie</li> <li>• Urgences et Post-urgences pédiatriques</li> <li>• <b><u>Chirurgie Infantile</u></b></li> <li>• Pédiatrie néonatale et réanimations</li> <li>• Gynécologie obstétrique</li> <li>• Anesthésie-réanimation Lapeyronie</li> <li>• Anesthésie réanimation Arnaud de Villeneuve</li> <li>• Imagerie pédiatrique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 319</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 124,6 ETP de médecins</li> <li>• 777,7 ETP non médicaux</li> <li>• 163,9 internes et étudiants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30310 hospitalisations</li> <li>• 11082 interventions chirurgicales</li> <li>• 3476 chirurgies ambulatoires</li> <li>• 31220 venues en imagerie</li> <li>• 31130 passages aux urgences</li> <li>• 91010 venues en consultations</li> <li>• 24 greffes de cellules souches hématopoïétiques enfants</li> </ul>

Le département où j'ai effectué mon stage est le département de **Chirurgie Infantile** et a pour objectif de :

- Promouvoir la bonne pratique et de la recherche en chirurgie plastique et réparatrice de l'enfant
- Promouvoir l'enseignement et de la formation continue des chirurgiens qui pratiquent cette spécialité
- L'établissement de liens spécifiques entre les différents spécialistes exerçant cette spécialité

La chirurgie plastique pédiatrique s'adresse aux nouveau-nés, jeunes enfants et adolescents porteurs d'anomalies congénitales de la peau, de la tête et du cou et des membres, mais également aux anomalies acquises des tissus cutanés d'origine traumatique ou tumorale.

La chirurgie plastique pouvant améliorer ou corriger la plupart de ces anomalies congénitales et sachant que les perspectives de bons résultats et de succès dépendent de la bonne synchronisation de la chirurgie avec la croissance, la consultation précoce avec un chirurgien plasticien pédiatrique devrait être privilégiée.

Le pédiatre et le chirurgien plasticien pédiatrique travaillent en étroite collaboration en vue d'avoir un plan de traitement optimum pour l'enfant. Généralement, ils fonctionnent dans le cadre d'une équipe multidisciplinaire.

Les médecins conseillent utilement les familles sur la composante émotionnelle et affective qu'une anomalie congénitale ou un traumatisme génère pour l'enfant et sa famille ; ils s'appuient également souvent sur les compétences de psychologues spécialisés.

## 2) Informations spécifiques

Les missions du département de Chirurgie Infantile Pédiatrique sont les suivantes :

- Evaluer une situation clinique et établir un diagnostic dans le domaine médico-chirurgical et infirmier
- Concevoir et conduire un projet à visée médicale dans le cadre du diagnostic
- Accompagner une personne dans la réalisation de ses soins quotidiens et aussi l'aider dans le domaine de la recherche médicale
- Mettre en œuvre des actions à visée diagnostique et thérapeutique
- Initier et mettre en œuvre des soins éducatifs et préventifs
- Communiquer et conduire une relation dans un contexte de soins
- Analyser la qualité des soins et améliorer sa pratique professionnelle
- Rechercher et traiter des données professionnelles et scientifiques
- Organiser et coordonner des interventions soignantes
- Informer et former des professionnels et des personnes en formation

## III) Présentation du problème biomédical

### 1) Anatomie tête et cou : généralités

Chez l'homme, le **crâne** est la partie supérieure du squelette. Il est essentiellement destiné à protéger le cerveau. Il repose sur le rachis cervical par l'intermédiaire de l'atlas ou vertèbre C1, et maintient en antérieur le massif facial. L'ensemble composé par la tête et le crâne représente environ un huitième du poids du corps et est la partie la plus solide du corps.

Le crâne est composé de 2 parties :

- Le crâne cérébral contenant le cerveau (ou l'**endocrâne**),
- Le crâne facial

Le crâne cérébral (ou l'**endocrâne**) a ce que l'on appelle la forme d'un ovoïde aplati concernant sa partie inférieure décrivant 2 parties subsidiaires :

- La calvaria, de constitution simple,
- La base du crâne, de constitution complexe

### a) Anatomie de la calvaria

La calvaria est constituée par des os plats de consistance membraneuse, comprenant une couche d'os de nature spongieuse(ou diploe) bordant de chaque côté la couche d'os de type compact(ou table).

La voûte, ou calvaria, est formée de plaques osseuses, soudées entre elles par des sutures interdigitées extrêmement solides. À la naissance, les os de la calvaria sont séparés par des fontanelles, qui permettent la croissance de la boîte crânienne. Comme le cerveau, schématiquement, la voûte comprend quatre parties ou pôles (voir Figure 1) :

- **frontal ou plutôt fronto-orbitaire**, à l'avant (formée des os frontal, ethmoïde, sphénoïde et percé de cavités pneumatiques creuses : les sinus) ;
- **pariétal droit et gauche**, latéralement (os pariétal et temporal) formant les tempes, zones les plus fragile de cette boîte ;
- **occipital** à l'arrière (os occipital).

### b) Anatomie de la base du crâne

La base du crâne est formée par des os de nature cartilagineuse et, à titre informatif, le volume du crâne cérébral équivaut au double du volume du crâne facial [1].

Il est formé de trois fosses crâniennes :

- **la fosse crânienne antérieure**, composée de la partie orbito-nasale de l'os frontal, de la lame criblée de l'ethmoïde et des petites ailes du sphénoïde ;
- **la fosse crânienne moyenne**, composée des grandes ailes et de la partie supérieure du corps du sphénoïde, ainsi que des parties pétreuse et tympanique et de la région infra-zygomatique de la partie squameuse de l'os temporal ;
- **la fosse crânienne postérieure**, composée de la partie postérieure du dos de la selle turcique du sphénoïde, de la face postéro-supérieure de la portion pétreuse de l'os temporal et de l'os occipital (voir Figure 2).

La base du crâne est donc limitée par l'os occipital en arrière et la partie supra-orbitaire de l'os frontal en avant. Elle est percée de trous laissant passer les différents éléments innervant ou permettant la circulation sanguine à l'intérieur du crâne. On retrouve selon un axe antéro-postérieur :

- **la lame criblée de l'ethmoïde**, qui laisse passer le 1<sup>er</sup> nerf crânien ;
- **le canal optique**, entre les deux racines de la petite aile, qui laisse passer le nerf optique (II) et l'artère ophtalmique ;
- **la fissure orbitaire supérieure**, entre la petite et la grande aile du sphénoïde, qui laisse passer les nerfs oculomoteurs (III), trochléaires (IV), abducens (VI) et ophtalmiques (V<sub>1</sub>), ainsi que les veines ophtalmiques ;
- **le foramen rond du sphénoïde**, qui laisse passer le nerf maxillaire (V<sub>2</sub>) ;
- **le foramen ovale du sphénoïde**, qui laisse passer le nerf mandibulaire (V<sub>3</sub>) ;
- **le foramen épineux du sphénoïde**, qui laisse passer l'artère méningée moyenne ;



- **le méat acoustique interne**, qui laisse passer les nerf facial (VII), intermédiaire (VIIIbis) et cochléo-vestibulaire (VIII) ainsi que l'artère labyrinthique (vascularisation de l'oreille) ;
- **le canal du nerf hypoglosse**, qui laisse passer le nerf hypoglosse (XII) ;
- **le foramen jugulaire**, qui laisse passer les nerfs glosso-pharyngien (IX), vague (X) et accessoire (XI) ainsi que la veine jugulaire interne ;
- **le foramen magnum**, ou trou occipital, le plus gros, en continuité avec la colonne vertébrale, par lequel passe la moelle allongée et les deux artères vertébrales (voir Figure 2).

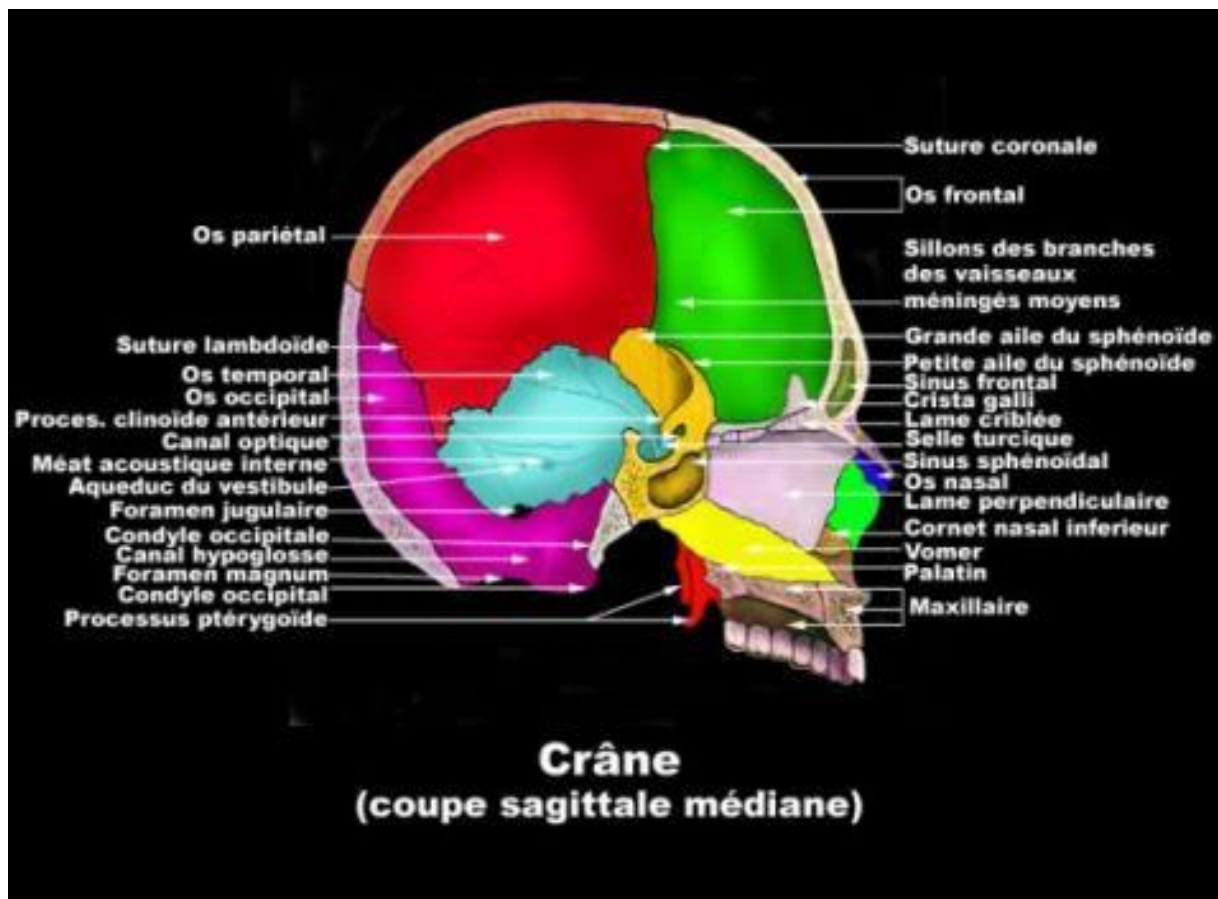
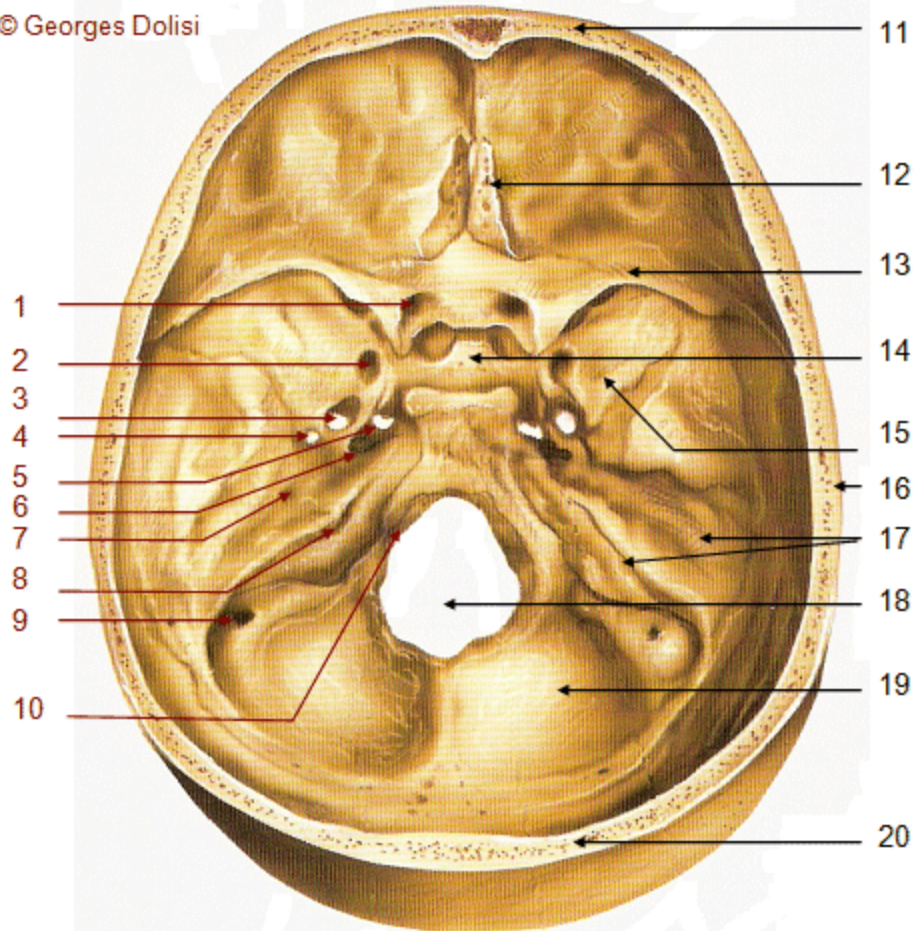


Figure 1 : Anatomie du crâne en coupe sagittale médiane

© Georges Dolisi



1. Canal optique. 2. Foramen rond. 3. Foramen ovale. 4. Foramen épineux. 5. Foramen vidien. 6. Ostium carotidien. 7. Pore acoustique interne. 8. Trou déchiré postérieur. 9. Canal mastoïdien. 10. Canal de l'hypoglosse. 11. Os frontal. 12. Lame criblée : partie de l'ethmoïde qui permet le passage des branches du nerf olfactif. 13. Petite aile du sphénoïde qui forme la paroi postérieure de la cavité orbitaire. 14. Selle turcique, partie du sphénoïde, qui abrite l'hypophyse. 15. Grande aile du sphénoïde. 16. Os temporal. 17. Faces verticales du rocher. 18. Foramen magnum ou trou occipital. 19. Fosse cérébelleuse (emplacement du cervelet). 20. Os occipital.

### Base du crâne en vue interne

Figure 2 : Anatomie de la base du crâne en vue interne

### c) Anatomie du massif facial et de la mandibule

Concernant le crâne facial, il se constitue d'un massif osseux pyramidal de nature cartilagineuse fixé par sa base à la partie antérieure de la base du crâne cérébral. Il limite, avec celle-ci, de chaque côté, 3 cavités : les orbites et la cavité nasale.

La face est anatomiquement décrite entre la ligne capillaire en haut et la tangente à la pointe du menton en bas. Elle se divise en trois étages :

- Supérieur
- Moyen
- Inférieur

Crâne et face sont intimement liés :

- la base du crâne est posée sur le pivot vertébral au niveau du trou occipital (foramen magnum) ;
- la face est donc déjetée en avant, suspendue sous l'étage antérieur de cette base ;
- la mandibule, seul os mobile cranio-facial, est suspendue sous l'os temporal, pivotant autour de ses deux condyles (voir Figure 3).

L'ensemble crâne–face est ainsi en équilibre parfait pour répondre aux contraintes de la pesanteur et des forces masticatoires.

Le squelette facial est composé d'une mosaïque osseuse dont la mandibule, mobile, constitue à elle seule le massif facial inférieur. Elle est répartie en deux entités:

- une portion dentée horizontale ;
- un ramus, ou partie ascendante, se terminant en avant par le processus coronoïde (ou coroné) donnant insertion au muscle temporal et, en arrière, le condyle articulaire qui s'articule avec le condyle de l'os temporal (voir Figure 4 et 5). Le massif facial moyen est formé par les deux maxillaires réunis autour de l'orifice piriforme. Latéralement, l'os zygomatique (ou os malaire) forme le relief osseux de la pommette et rejoint le processus zygomatique du temporal pour fermer la fosse temporale, coulisse du muscle du même nom. L'os nasal forme avec son homologue le faite du toit nasal. Le massif facial supérieur est cranio-facial :
- ethmoïdofrontal médialement ;
- frontosphénoïdal au niveau du cône et du toit orbitaire ;
- frontozygomatique latéralement

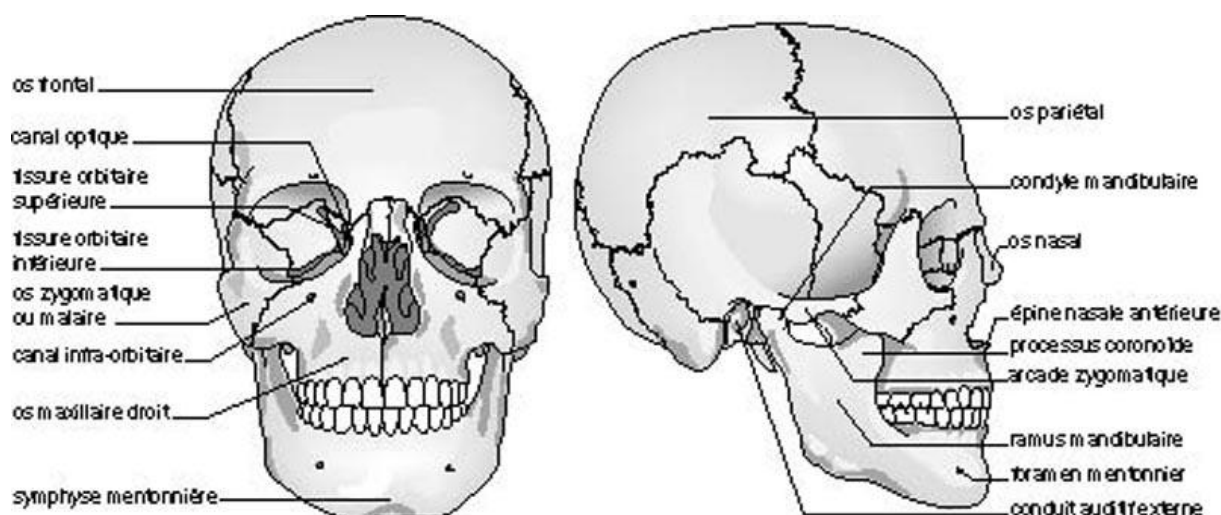
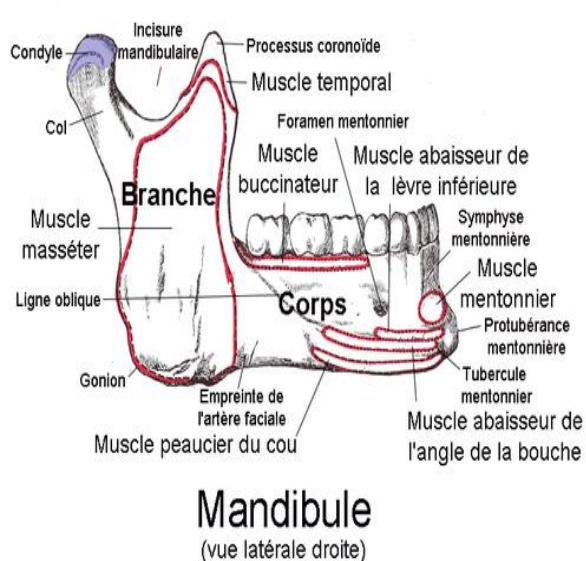


Figure 3 : Anatomie du squelette facial

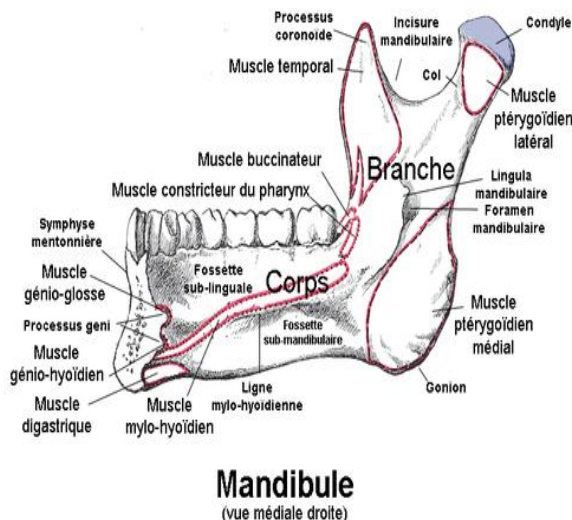
Le tiers médian facial et les orbites sont donc directement en relation avec l'étage antérieur de la base du crâne, ce qui explique la fréquence des lésions mixtes cranio-faciales. La mandibule est également en relation avec le crâne par l'intermédiaire de l'articulation temporomandibulaire, articulation bicondylienne à ménisque interposé, située juste en avant du conduit auditif externe (ou méat acoustique externe). Maxillaire et mandibule – portant la denture supérieure et inférieure – sont en relation par l'intermédiaire de l'articulé dentaire, système de référence unique et précieux lors des réductions fracturaires

La *mandibule* s'articule :

- avec le maxillaire par l'intermédiaire de l'articulé dentaire ;
- avec le temporal au niveau de l'articulation temporomandibulaire (ATM).



**Mandibule**  
(vue latérale droite)



**Mandibule**  
(vue médiale droite)

Figure 4 : Anatomie de la mandibule en vue latérale droite

Figure 5 : Anatomie de la mandibule en vue médiale droite

## 2) Déformations posturales du crâne (DPC)

### a) Définition

Les Déformations Posturales du Crâne (DPC) ou déformation sans synostose [2] équivalent à un symptôme se traduisant par une difformité de la morphologie du crâne qui perd son caractère ovoïde régulier à grand axe antéro-postérieur et à grosse convexité postérieure. A titre informatif, la croissance du crâne et les sutures crâniennes sont normales dans les DPC. Les DPC sont caractéristiques à une déformation qui peut soit être intentionnelle [3, 4], comme dans certaine culture, ou le plus souvent non-intentionnelle en période périnatale.

On peut définir les DPC via un paramètre morphométrique que l'on nomme le périmètre crânien lorsqu'on regarde le crâne sur une vue supérieure :

- **Dolichocéphalie** : le crâne est allongé dans le sens antéro-postérieur, l'index crânien (largeur/longueur) est inférieur à 0,76.
- **Brachycéphalie** : le crâne est raccourci dans le sens antéro-postérieur ; l'index crânien est supérieur à 0,81.
- **Plagiocéphalie** : le crâne est asymétrique avec un méplat occipital isolé, plagiocéphalie occipitale (PO) ou associée à une bosse frontale du même côté, plagiocéphalie fronto-occipitale (PFO) [5].

### b) Mécanisme des DPC

Les DPC se définissent comme des anomalies de la couche externe du crâne suite à la manifestation d'une force biomécanique externe [6]. Autrement dit, les DPC sont causées d'un point de vue biomécanique à des forces de tractions ou de compression qui s'appliqueront sur le crâne soit avant la naissance, soit pendant l'accouchement, soit en période postnatale. Il n'y a à priori aucune malformation ou déficit de croissance associé. La déformation dépend donc des caractéristiques biomécaniques de la force appliquée, c'est-à-dire sa direction et son amplitude, mais également de ce que l'on nomme la compliance des tissus et du stade de développement [7] (Voir Figure 6).

En ce qui concerne le crâne, les déformations intentionnelles culturelles ont montré qu'il fallait appliquer une force constante dès la naissance et au moins jusqu'à 1 an pour que la déformation soit pérenne [3, 8]. A contrario, la suppression précoce des forces externes entraîne une amélioration de la déformation.

De ce fait, les forces biomécaniques externes appliquées au niveau du crâne chez le nouveau-né s'exercent principalement au niveau de l'occiput et ce d'autant plus que la consigne de les faire dormir sur le dos pour la prévention de la mort subite du nourrisson a été mise en place. En dehors des déformations du crâne liées à l'accouchement ou à des contraintes in utero (syndrome des bébés moulés) la majorité des déformations surviennent secondairement selon une période de déformation liée au décubitus dorsal prolongé [9] ou à un torticolis [10].

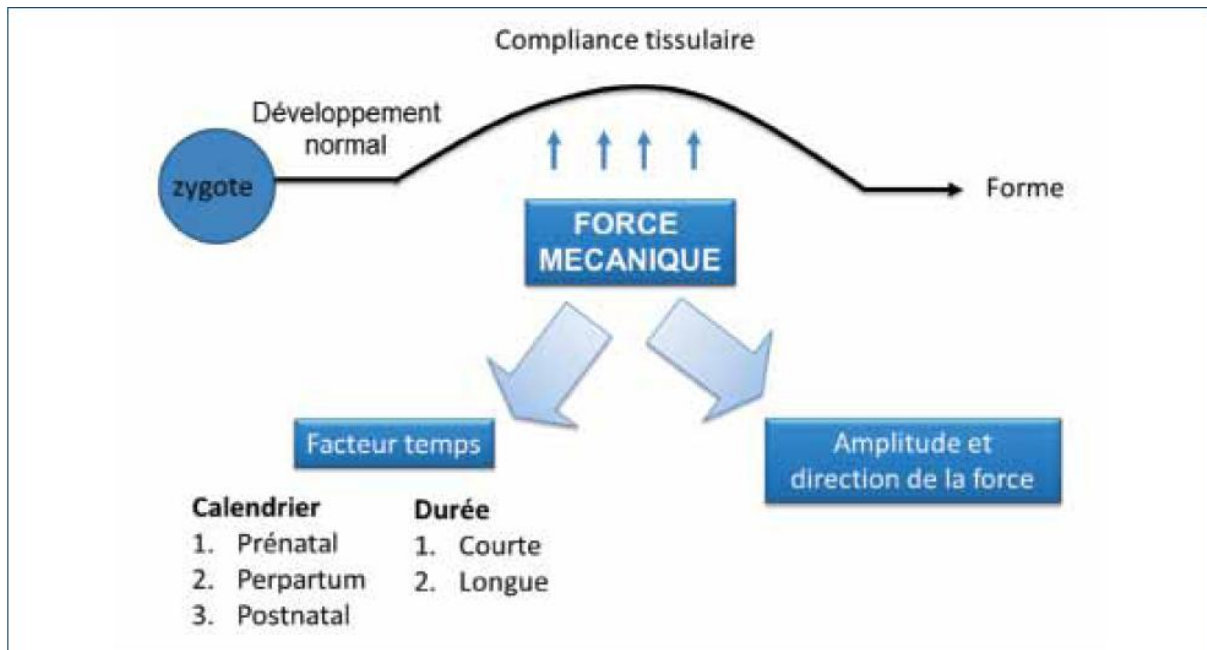


Figure 6 : Principes biomécaniques des déformations (anomalie de forme externe) secondaire à une force mécanique

Les anomalies musculaires cervicales vont être responsables d'une limitation de la mobilité libre de l'enfant qui va favoriser la venue d'une attitude vicieuse ou posture maintenue lorsqu'il est sur le dos. En fonction de la posture, la zone et la direction de la force biomécanique qui s'exerce sur le crâne sera différente ce qui va conduire à des formes différentes de DPC selon Captier *et al.* [11](Voir Figure 7).

Ainsi, on peut montrer les caractéristiques descriptives des DPC :

**PFO** : Lorsqu'il y a un TMC avec une hypertonie myogénique, l'appui va se faire au niveau de l'occiput du côté controlatéral au TMC. L'appui prolongé entraîne un méplat occipital unilatéral. De plus, le raccourcissement permanent du muscle SternoCléidoMastoidien (SMC) entraîne une traction sur la base du crâne au niveau du V pétro-mastoïdien. La bascule de la base du crâne dans le sens frontal associée à l'appui postérieur entraîne un bombement frontal controlatéral au Torticolis Musculaires Congénital (TMC). Le bombement frontal est responsable d'une modification du bord supérieur de l'orbite avec une ouverture de la fente palpébrale qui donne l'impression d'un œil rond du côté controlatérale au TMC. Ainsi, le crâne va avoir une déformation oblique ovalaire [12] ou PFO (voir Figure 8).

**PO** : Lorsque le torticolis congénital est secondaire à une hypertonie neurogène il n'y a pas de force de traction ou de trop faible intensité qui s'exerce sur la base du crâne, il n'y a pas de déformation dans le plan frontal de la base du crâne, seul existe un appui sur l'occiput qui va être responsable du méplat unilatéral sans déformation frontale et donc d'une PO (voir Figure 9).

**BP** : Tous les enfants qui dorment sur le dos ne développent pas une DPC d'une part parce qu'il existe une mobilité libre et qu'ils n'appuient pas toujours du même côté et d'autre part l'appui postérieur est transmis au niveau de ce V pétro-mastoidien qui assure la résistance de la base du crâne [13]. En revanche, lorsqu'il se manifeste une dysfonction au niveau de la région suboccipitale avec hypertonie des muscles suboccipitaux, on observe sur le plan clinique qu'une perte de rotation bilatérale (muscle oblique inférieur de la tête), plus ou moins asymétrique, et surtout une hyperextension de la tête (au niveau des muscles grand et petit droits de la tête). Le nourrisson garde une tête fixée dans l'axe de la colonne vertébrale sans mobilité et en hyperextension. S'il est couché sur le dos, l'appui postérieur se fera au-dessus du V pétro-mastoidien au niveau du lambda et de la partie squameuse de l'occipital ce qui a pour conséquence un aplatissement du crâne dans le sens antéro-postérieur responsable d'une BP. Le raccourcissement va être compensé par une augmentation en hauteur du crâne et un élargissement bitemporal (voir Figure 10).

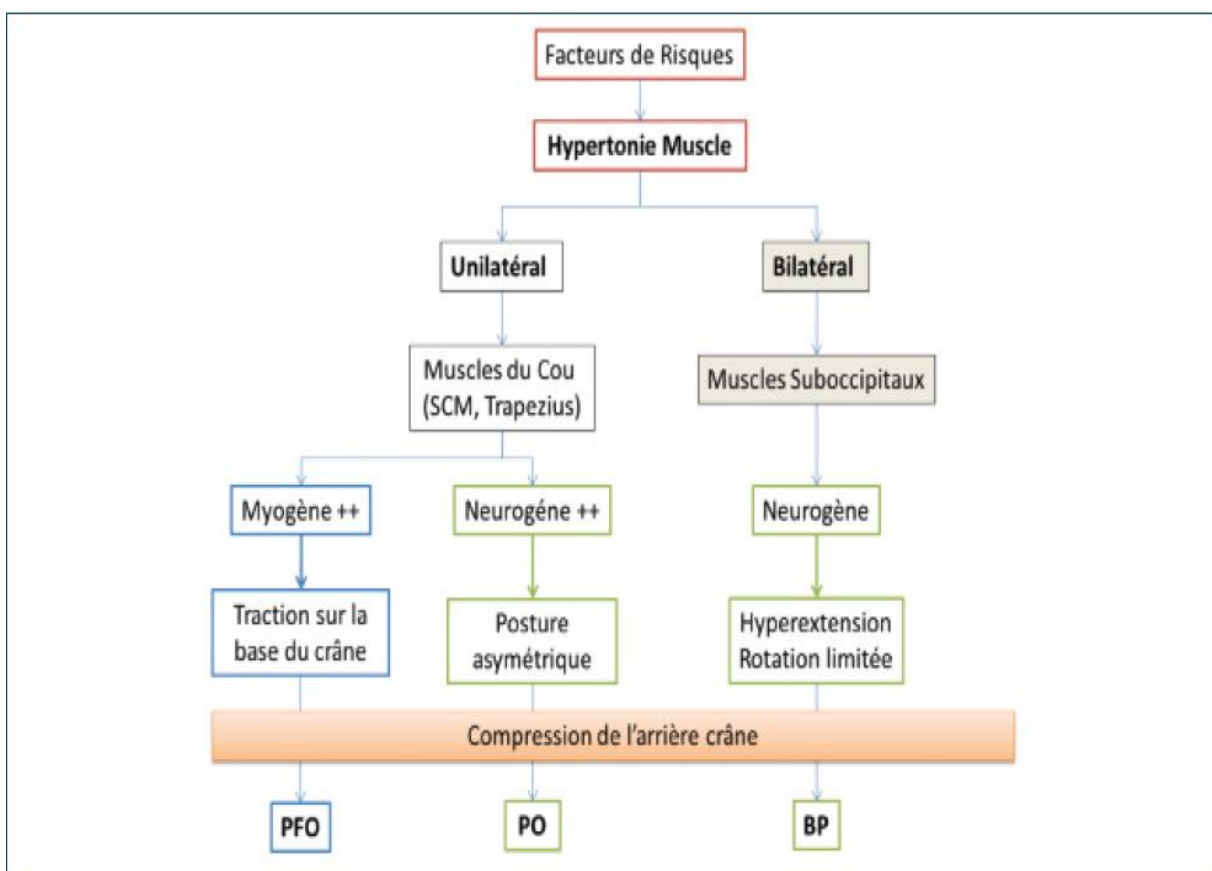


Figure 7 : Modèle pathogénique des déformations posturales du crâne (DPC) selon Captier et al. [30].

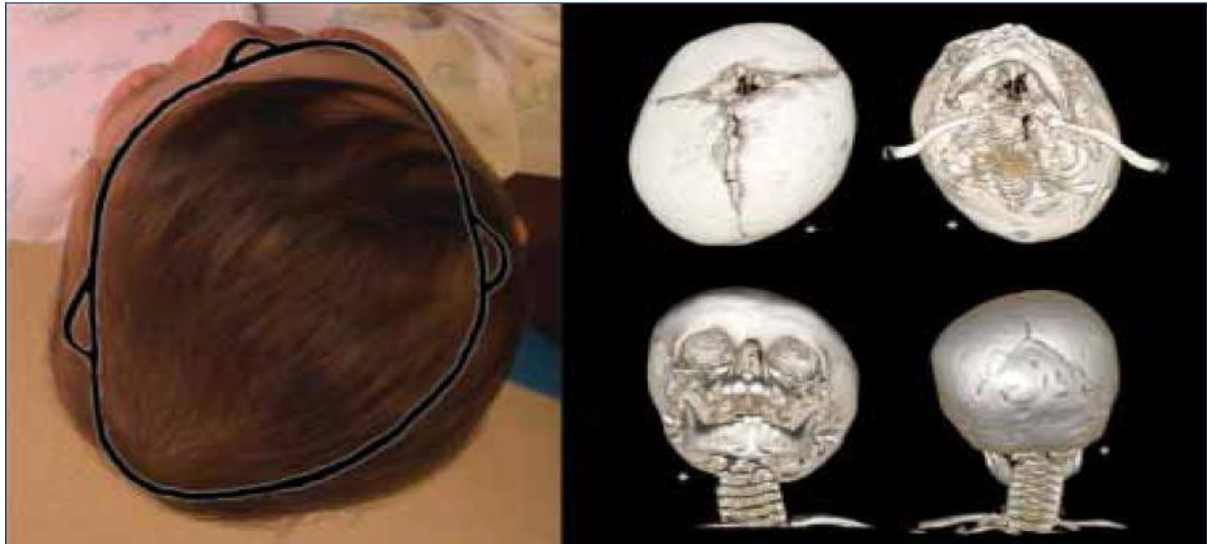


Figure 8 : Plagiocéphalie fronto-occipitale (PFO)



Figure 9 : Plagiocéphalie occipitale (PO)



Figure 10 : Brachycéphalie postérieure (BP)



La question à se poser est la suivante : comment mettre en évidence ces DCP au niveau imagerie ?

### **3) Diagnostic et Traitements**

#### **a) Diagnostic**

Le diagnostic est clinique, l'asymétrie crânienne est facilement décelable. À la naissance, elle motive un examen radiologique-qui est le scanner le plus souvent-pour s'assurer qu'elle n'est pas d'origine synostotique. Concernant l'évolution sur le temps de la déformation, elle tend à s'améliorer et une majorité de plagiocéphalie dépistée à la naissance a disparu à l'âge de 3-4 ans.

Ici, la technique d'imagerie utilisée est **le scanner**.

Egalement appelé tomodynamomètre ou scanographe, le scanner est un appareil qui « balaie » la région à explorer de façon à réaliser des images en coupes fines (ou « en tranches ») de l'organisme. Il permet ainsi de déterminer très précisément la localisation et l'étendue d'une lésion sur un organe ou un tissu. L'examen scanographique est réalisé par un radiologue, au sein d'un service hospitalier ou en médecine de ville.

La tomodynamométrie (TDM) est un examen utile en deuxième intention sans qu'il y ait de consensus pour ses indications. Tomlinson et Bredahl [14] proposent un arbre décisionnel pour l'indication de la TDM dans les DPC en cas de doute diagnostics clinique. Devant un torticolis congénital atypique il peut être réalisé une TDM 3D du crâne et de la colonne vertébrale.

#### **Déroulement de l'examen**

L'examen scanographique utilise des rayons X émis par une source rotative placée dans un tube qui ressemble à un « tunnel ». Contrairement à une radiographie classique, la source de rayonnement n'est donc pas fixe. Elle tourne autour de l'organe à explorer. Les rayons sont plus ou moins absorbés par les tissus, en fonction de la densité de ces derniers. Les données recueillies après le passage des rayons sont ensuite traitées par un ordinateur, puis converties en images. Celles-ci montrent généralement des « coupes » de la partie explorée, d'une épaisseur de 1 à 10 millimètres par « tranche ». Bien souvent, l'examen nécessite l'injection préalable d'un produit de contraste. Celui-ci permet d'améliorer la lisibilité des clichés. Celui-ci est généralement injecté par voie intraveineuse mais un scanner abdominal par exemple, pourra être précédé d'un lavement. Dans la salle d'examen, le patient est allongé sur un lit qui va lentement se déplacer dans le « tunnel ». Il doit rester immobile, parfois même cesser de respirer à la demande. Ses bras sont disposés le long du corps ou derrière sa tête, selon la partie du corps qui est examinée. L'examen dure en moyenne une quinzaine de minutes.

#### **Risques éventuels du scanner**

L'examen scanographique n'est pas douloureux. Comme il fait appel aux rayons X, quelques précautions sont indispensables, notamment en cas de grossesse. L'injection du produit de contraste peut aussi entraîner des réactions allergiques. Les professionnels de santé recommandent ainsi aux patients de leur communiquer le maximum d'informations sur leur état de santé : antécédents allergiques donc, mais aussi cardiaques, rénaux, pulmonaires ou diabétique.

## **b) Traitement**

Après environ 18 mois, la déformation est installée de manière irréversible ou presque (les sutures entre les os du crâne se sont « soudées »). La chevelure aura cependant tendance à cacher le désagrément esthétique qui ne se verra généralement pas à l'âge adulte.

Le traitement des déformations positionnelles diffère selon l'origine mécanique du trouble :

- au Québec, la physiothérapie s'avère utile dans le but de connaître la cause de la plagiocéphalie ou de la brachycéphalie (présence de torticolis, hypotonie, asymétrie posturale, rétractions musculaires, mauvaise intégration des réflexes (tonique asymétrique du cou, etc.) et de la traiter en suivi. Plus tôt le nourrisson est pris en charge, plus le résultat est efficient. Au-delà de 6 mois la correction est difficile, au-delà de 12 mois elle n'est plus envisageable [15] ;
- traitement ostéopathique : L'ostéopathe, en agissant notamment sur la raideur pathologique du rachis cervical, rétablit les conditions nécessaires à une croissance physiologique. En trois à quatre séances étalées sur un ou deux mois, le crâne retrouve progressivement sa symétrie. Plus tôt le nourrisson est pris en charge, plus le résultat est efficient. Au-delà de 6 mois la correction est difficile, au-delà de 12 mois elle n'est presque plus effective [16] ;
- la kinésithérapie est particulièrement indiquée pour le traitement du torticolis congénital (rétraction fibreuse du muscle sterno-cléido-mastoidien) [17] ;
- la chirurgie du muscle sterno-cléido-mastoidien peut être une alternative en cas d'échec du traitement ostéopathique et kinésithérapique sur ce muscle. Sauf quelques cas extrêmes, une intervention chirurgicale n'est pas indiquée pour la déformation positionnelle en elle-même compte tenu de la bénignité du trouble [18] ;
- autres traitements : un traitement orthopédique (très répandu aux États-Unis) avec port d'une orthèse crânienne (casque semi-rigide) permet de remodeler la tête de l'enfant en quelques mois [19]. Cependant, les preuves de l'efficacité se sont avérées sans résultats [20] nulles avec un inconfort couplé à des effets secondaires possibles, qui font que cette pratique n'est pas recommandée [21].

## **IV) Missions réalisées pendant le stage**

### **1) Prélude bibliographique : Etudes réalisées sur le périmètre crânien sujet à déformation**

Stéphanie Lanche, et al [21] se sont investit dans une étude dans l'objectif de développer une méthode qui permet l'évaluation ainsi que la modélisation de ces asymétries. Pour cela, ils ont analysé, sur 38 enfants atteints, la surface de leur crâne en utilisant la caméra 3dMD. Il s'agit d'une caméra qui permet d'obtenir des surfaces en trois dimensions, puis ces surfaces sont toutes recalées sur une surface crânienne de référence dans l'optique de comparer la symétrie en un point P du patient n°1 à celle du patient n°2 au même point. Cette symétrie, à un point P, correspond au ratio entre deux distances d et d' (voir figure 11).

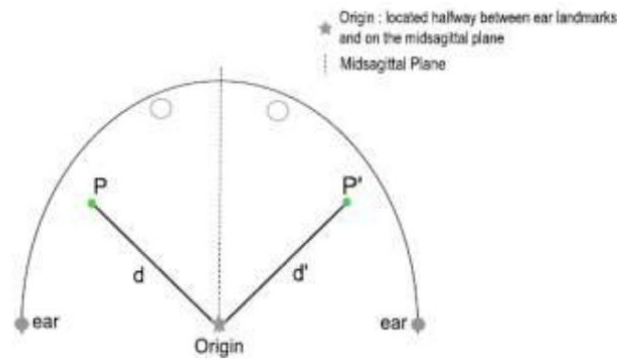


Figure 11 – Figure 2 de l'article de Stéphanie Lanche, et al [21]. Représentation de l'asymétrie à un point P

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 (Voir figure 12).

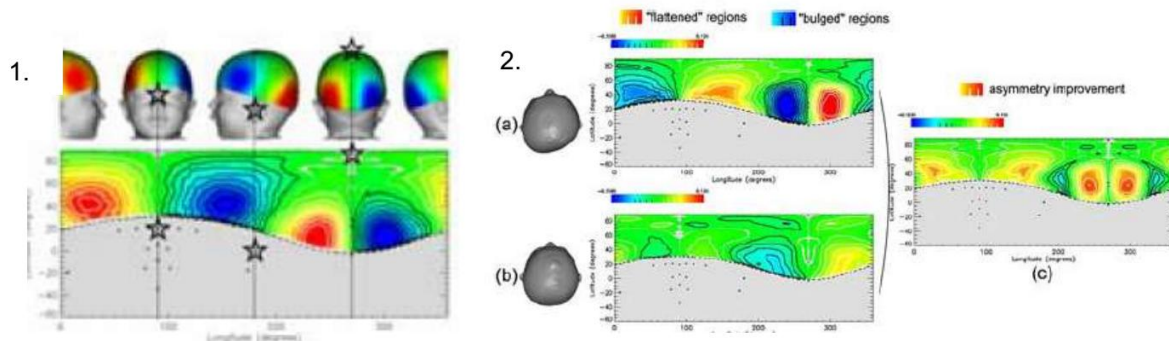


Figure 12 – Figure 3 et 4 de l'article de de Stéphanie Lanche, et al [12] (1) construction de la carte de distances en deux dimensions (2) comparaison des cartes de distances avant (a) et après (b) traitement. (c) carte de changement

Une carte de changement de l'asymétrie est calculée à partir des cartes d'asymétrie obtenues avant et après le traitement (Voir Figure 12). 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.

## 2) Mise en place de la démarche du projet d'étude des DCP

On peut se mettre dans l'optique que les enfants atteints de telles déformations posséderaient un risque de retard de développement. Cependant, les recherches menées sur ce sujet ne montrent pas de manière suffisamment convaincante une corrélation entre les déformations posturales et les difficultés enregistrées principalement sur le plan cognitif.[22,23,24,25]

Le but de ces deux travaux est de chercher à mieux comprendre les plagiocéphalies posturales-si possible de quantifier ce processus biomécanique- et de proposer une méthode de quantification 3D de la déformation du crâne et de l'endocrâne. Ici, il s'agira de quantifier l'asymétrie endocrânienne et mandibulaire 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.

Avant de mettre en lumière l'asymétrie endocrânienne et mandibulaire, il est important de situer certains points dans leur contexte. Les examens d'imageries relatifs aux cas répertoriés de PO, de PFO, de BP et des cas normaux que l'on nommera CONTROLE sont classés dans le logiciel Myrian. Une fois que l'on a pris la mesure du logiciel, la première tâche à réaliser est de segmenter le crâne de la mandibule- qui est le seul os mobile de la face- et de la colonne vertébrale. Une fois cela réalisée et accomplie, on peut établir une base de données qui nous servira à faire un état des lieux concernant les caractéristiques des examens (type d'examen notamment) et nous servira d'édifice pour faire un suivi de la caractérisation de la déformation crânienne et endocrânienne ainsi que de la déformation mandibulaire et pour mettre en place la procédure pratique ( que l'on nommera aussi pipeline) dans notre objectif de quantification de l'asymétrie endocrânienne et mandibulaire en particulier (voir Figure 13).

Ces travaux ont aussi pour objectif de mieux déceler et comprendre le mécanisme de la déformation endocrânienne et mandibulaire et d'établir un lien entre les déformations crâniennes, endocrâniennes et mandibulaires.

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 cliniques comme dans le cas de la classification selon Argenta qui a établi un outil de classification des différents degrés de déformations du crâne chez le nourrisson. Cela a contribué à l'amélioration des diagnostics chez les nourrissons et enfants atteints de plagiocéphalies en décrivant notamment cinq types de déformation possibles partant d'un cas de déformation minime jusqu'à un stade beaucoup plus sévère [26]. 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.

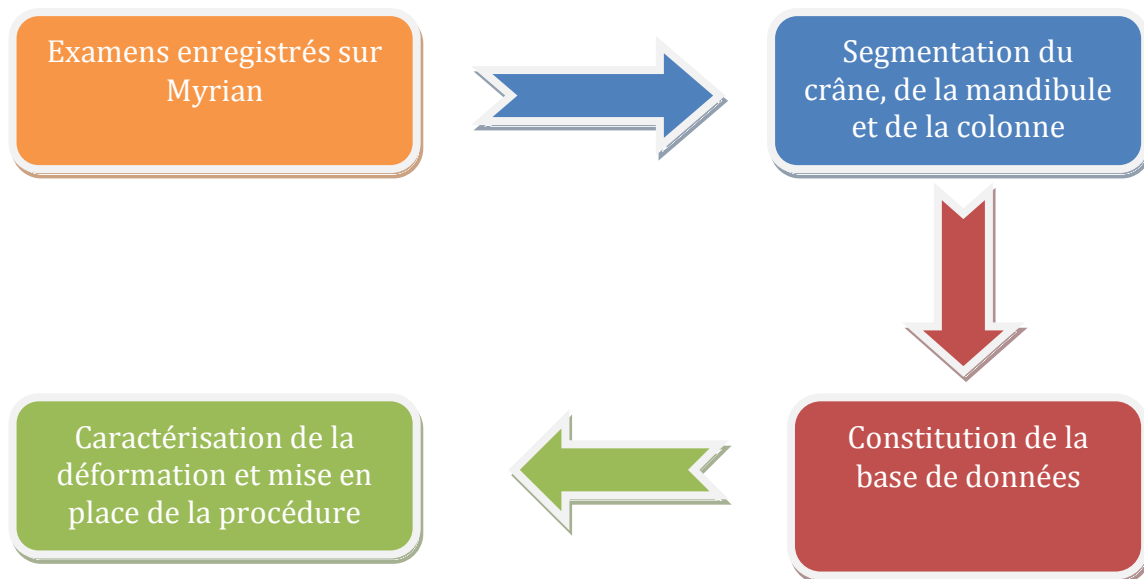


Figure 13 : Schéma de la mise en place de la procédure pratique relative à la qualification et à la quantification de l'asymétrie endocrânienne

### 3) Travaux réalisés sur les DCP

#### a) Mise en place de la base de données

En premier lieu et avant toute manipulation d'ordre de traitement d'images, j'ai procédé à la création de ce que l'on appelle une base de données. Elle a été construite à l'aide du logiciel Myrian®, qui est un serveur développé par la société Intrasense. La base de données contient des 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. Cette base de données regroupe tous les examens réalisés par le CHU Lapeyronie depuis fin 2002 jusqu'à fin 2015 concernant les Déformations Posturales Crâniennes. Pour décrire cette base, elle comprend comme cité précédemment tous les examens qui seront identifiés chacun par un numéro d'anonymat, leur date de réalisation ainsi que la date de naissance du patient. Dans cette base, il m'a été conseillé de réaliser une mise à jour des caractéristiques de cette base afin de faire une traçabilité des défauts possibles d'examens comme un crâne sectionné, une mandibule incomplète voire manquante, une colonne vertébrale complète ou non ainsi que la présence ou non également du sternum.

#### b) Segmentation du crâne, de la mandibule et de la colonne vertébrale sur Myrian

Le pipeline permet de bien comprendre l'enchaînement des logiciels utilisés lors du projet. Le projet s'est réalisé sur 3 grandes étapes. La première étape correspond à la segmentation des

deux structures, la deuxième à la création du symétrique de la structure endocrânienne et la dernière à la création des 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) (voir Figure 14).

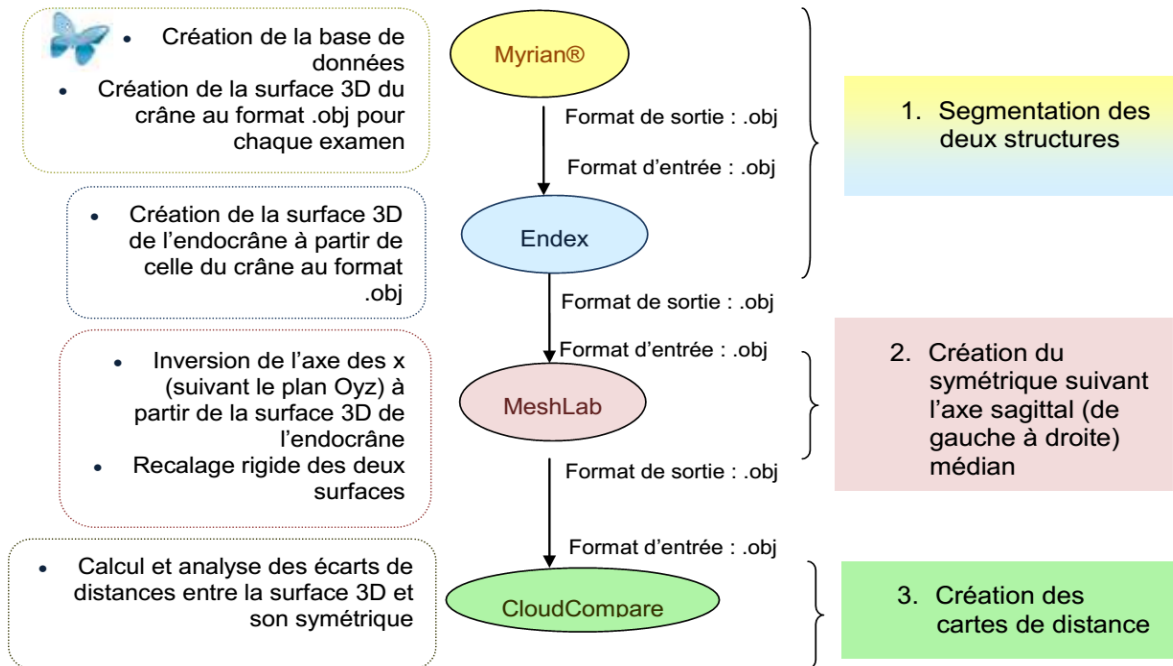


Figure 14 : Enchaînement des logiciels utilisés dans le projet

Nous avons utilisé le logiciel Myrian®, un logiciel d'analyse d'images médicales développé par la société Intrasense. 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.

Pour rappel, 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 (ROI : *Region Of Interest*). 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 lesdites ROIs en question 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.

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 211 examens, seulement 161 examens ont été utilisés. Les 50 autres examens 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.

Une fois la base de données construite avec la liste d'examen 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

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 (Voir Figure 15). 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 la mandibule de la base du crâne et le pinceau pour « peindre » la colonne cérébrale et la mandibule dans une autre couleur (C'est-à-dire pour qu'elles appartiennent à une autre ROI) (Voir annexe 1). Ainsi, 3 ROIs sont créées : une pour le crâne, une pour la mandibule et une autre pour la colonne. Le crâne, ainsi segmenté, sera utilisé pour segmenter l'endocrâne.

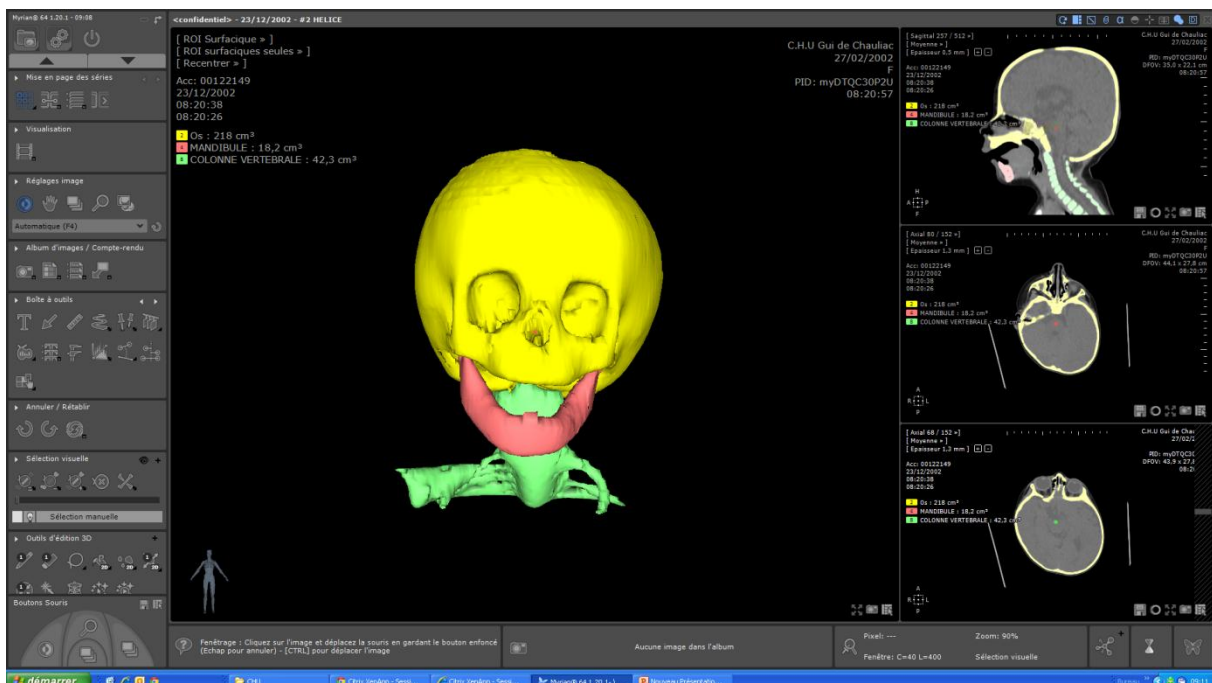


Figure 15 : Segmentation du crâne, de la mandibule et de la colonne vertébrale sur Myrian

### c) Obtention de l'endocrâne par Endex

Après avoir pratiqué la segmentation crânienne sur le logiciel Myrian, nous avons procédé à la récupération de la structure endocrânienne via le logiciel Endex. L'endocrâne a été segmenté grâce à une méthode dite par "modèle déformable" (Voir Figure 16). 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 (Voir annexe 2). Cette segmentation est faite grâce à Endex, 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.

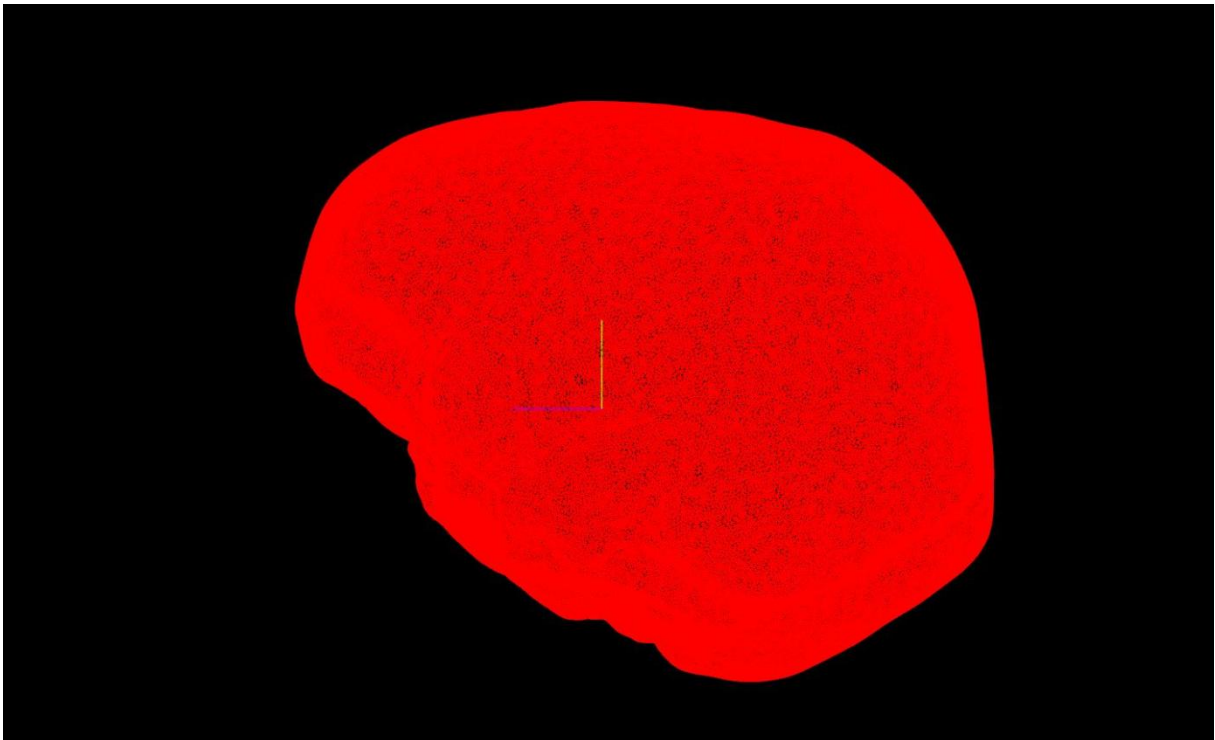


Figure 16 : Obtention du maillage 3D de l'endocrâne

### d) Etape de Morphométrie 3D par les processus de symétrisation endocrânienne et mise en place de carte de distances correspondantes

Des cartes de distances sont réalisées sur les ROIs segmentées. Dans le projet, seuls les écarts de distances sur les endocrânes ainsi que les mandibules sont calculés. Pour rappel, la visée de ce projet



d'étude consiste à caractériser les déformations des crânes répertoriées sur le serveur Myrian et pour cela on est en droit de comparer les distances entre la partie gauche et la partie droite des endocrânes des différentes catégories de crânes répertoriés. Par déduction logique, on procède par l'établissement d'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 (Voir Figure 17 et 18). 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 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 un 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 (voir Figure 23 à 27) qui permet de localiser et de quantifier la déformation de la plagiocéphalie. Le logiciel CloudCompare, 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 (Voir Figure 19 à 22). Une distance est calculée entre chaque point du maillage et le point correspondant le plus proche sur le symétrique.

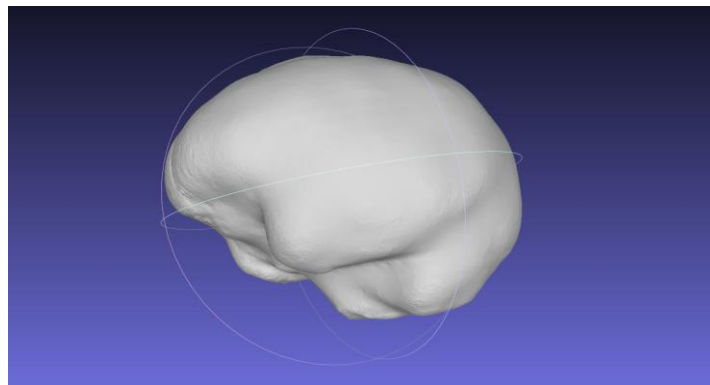


Figure 17 : Endocrâne obtenu après l'étape de constitution du maillage et avant symétrisation

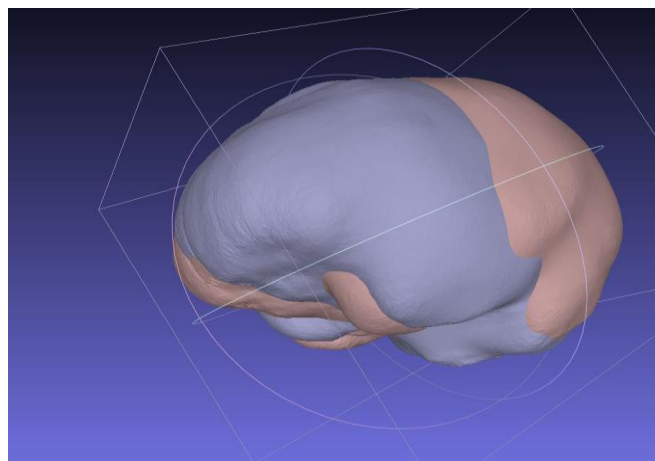


Figure18 : Endocrâne après symétrisation

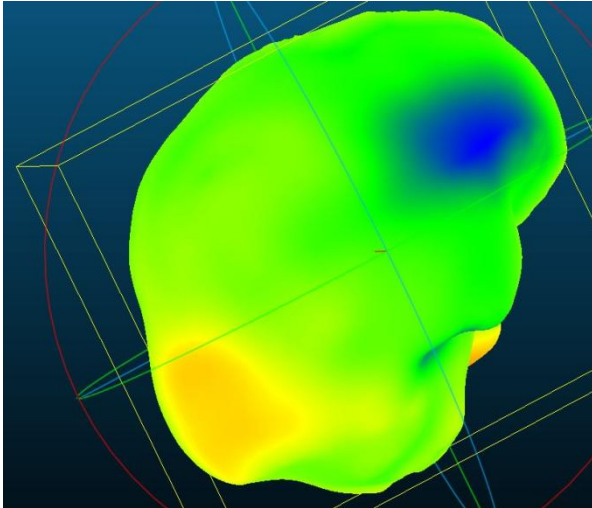


Figure 19 : Endocrâne CONTROLE

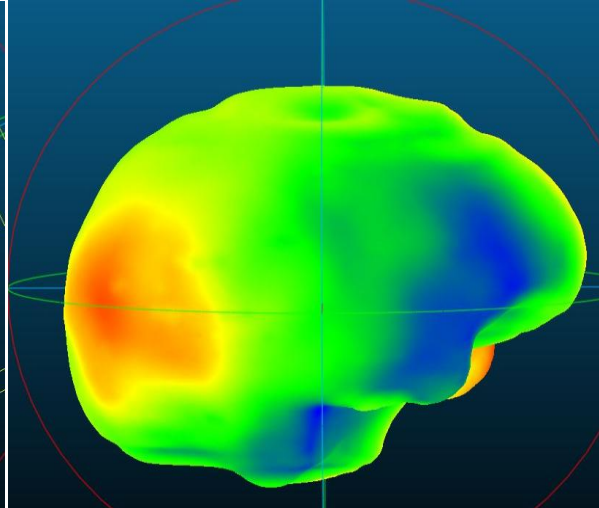


Figure 20 : Endocrâne PFO

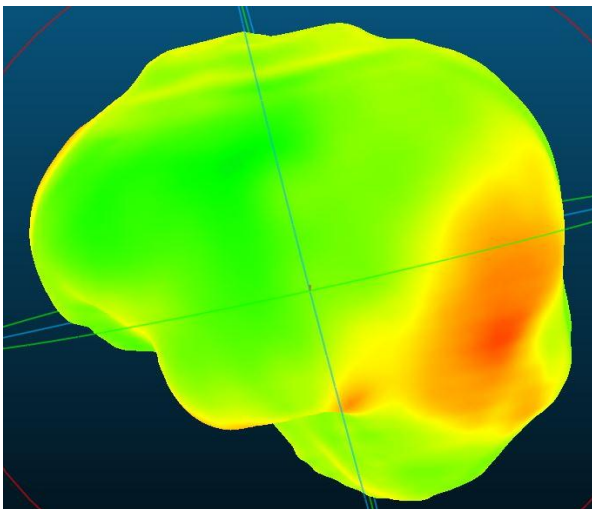


Figure 21 : Endocrâne PO

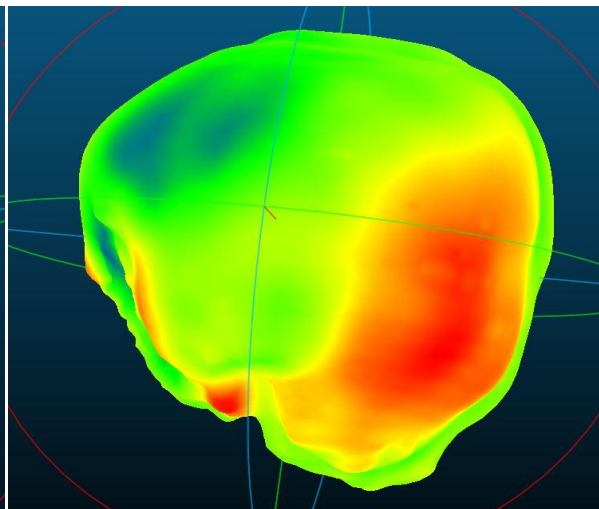


Figure 22 : Endocrâne BP

#### 4) Résultats et Interprétations

##### a) Etablissement de la base de données et état des lieux des scanners

##### A) Interprétation de la base de données

**Commentaires** : Le tableau descriptif de la base de données nous montre qu'une majorité de garçon est répertoriée en comparaison aux filles. En effet, on compte 123 garçons ayant subi des examens pour 88 filles. Chez les garçons, on dénombre une majorité de cas CONTROLE (41 cas), 30 PFO, 25 BP et 22 PO. Chez les filles, le bilan est légèrement différent où on a dénombré 27 cas CONTROLE, 25 PFO, 10 PO et 10 BP. Si l'on prend les garçons et les filles ensemble, on compte  $41+27=68$  cas CONTROLE soit  $68/211*100= 32.23\%$  des cas totaux, puis on a 55 cas PFO, soit  $26,06\%$  des cas

totaux, 32 cas PO soit 15,16% des cas totaux répertoriés et enfin 35 cas BP soit 16,59% des cas totaux répertoriés sur Myrian. On constate que l'âge de diagnostic des différents cas de déformations crâniennes est relativement précoce, en particulier les BP et les PO vers le 10<sup>ème</sup> mois (chez les garçons comme chez les filles) mais moins chez les PFO où l'âge du diagnostic est de 2 ans et demi environ chez les garçons et de 4 ans chez les filles. Dans la base de données, on voit que l'examen le plus utilisé est le CT scan dans 80% des cas. L'IRM, quant à lui, est très peu utilisé mais on a recourt aux IRM en cas de suivi médical si nécessaire (Voir Annexe 5).

## **B) Interprétation de l'évolution des volumes endocrâniens**

**Commentaires** : Ici, on que les volumes endocrâniens sont assez homogènes. En effet, on a mesuré pour les PO un volume de 825,62 cm<sup>3</sup> ; 876,58 cm<sup>3</sup> pour les CONTROLE ; 945,44 cm<sup>3</sup> pour les PFO et 983,66 cm<sup>3</sup> pour les BP. Les écart-type calculés pour les différents volumes endocrâniens sont très grands et témoignent de l'irrégularité très fréquente de ces volumes endocrâniens et en conséquence sur les différences morphologiques de ces endocrânes (Voir Annexe 7).

Pour résoudre ce problème, il a été discuté avec le Dr Captier et Mr Subsol de mettre en place une échelle commune des volumes endocrâniens en prenant la racine cubique du volume de l'endocrâne pour les mesures de déformations endocrâniennes démontrées plus tard dans ce compte-rendu.

Le graphe montre l'évolution du volume endocrânien en fonction de l'âge. Il est à préciser qu'il s'agit d'une droite de régression effectuée sur Excel et que l'intervalle d'âge est comprise entre 0 et 30 mois au plus. Au-delà de 30 mois, la croissance endocrânienne s'estompe et cela fausserait les données si l'on prenait d'autres cas plus âgés, notamment chez les CONTROLE.

On voit clairement que le volume endocrânien des cas CONTROLE augmente le plus rapidement, suivi des PO puis des PFO, tandis que le volume endocrânien des BP diminue très légèrement. Cela laisse supposer que plus la déformation endocrânienne est importante, d'un point de vue surfacique et volumique, plus le volume régresse, ce qui paraît assez cohérent d'un point de vue morphométrique. Cela laisse supposer aussi que l'élasticité et la rigidité endocrânienne s'en retrouve affecté de manière proportionnelle.

Ce graphe comprend aussi une barre d'erreur en employant l'erreur pourcentage autour de 5% et on peut observer que ces 4 graphes spécifiques à chaque croissance endocrânienne sont assez précis concernant la précision (Voir Annexe 6).

## **C) Interprétation des volumes mandibulaires**

**Commentaires** : Ce tableau résume les volumes moyens des mandibules pour chaque groupe d'endocrânes répertoriés. Il est à noter que les mesures des volumes mandibulaires est aussi prise avec un intervalle d'âge compris entre 0 et 30 mois car c'est dans cet intervalle que la déformation mandibulaire est la plus importante et significative.

On constate que le volume moyen mandibulaire chez les CONTROLE est le plus faible avec un chiffre de 12,20 cm<sup>3</sup> tandis que le volume mandibulaire moyen chez le PFO est le plus important avec un chiffre de 20,63 cm<sup>3</sup>. Il est possible l'hypothèse que la mandibule évolue très significativement au fur et à mesure que la déformation endocrânienne est importante. Les volumes mandibulaires entre les groupes d'endocrânes pathologiques (PO, PFO et BP) sont relativement assez proches, ce qui pourrait renforcer la véracité de l'hypothèse émise précédemment (voir Annexe 9).

Le graphe représentant l'évolution mandibulaire en fonction de l'âge montre que les volumes mandibulaires des PFO augmentent très rapidement par rapport au volume mandibulaire des CONTROLE et des PO. On remarque aussi que le volume mandibulaire spécifique des BP baisse de manière importante au fur et à mesure de l'âge, ce qui est très suspect alors que l'on devait s'attendre à priori à une évolution quasi-linéaire du volume mandibulaire (voir Annexe 8)

Voici un état des lieux après avoir réalisé les 4 étapes :

	Filles	Garçons	Total
PFO	20	25	45
PO	8	18	26
BP	7	16	23
CONTROLE	21	34	55
Total	56	93	149

Il est à noter que l'on a une majorité de garçon auxquels on a relevé leurs cartes de distance sur Cloud Compare. On dénombre en tout 55 cas CONTROLE, 45 cas PFO, 26 cas PO et 23 cas BP.

Après avoir un aperçu des premières caractéristiques de ces DCP, On s'est proposé de quantifier ces déformations d'un point de vue morphométrique en étudiant l'asymétrie des endocrânes par l'étude des cartes de distance des endocrâne ainsi que l'amplitude des endocrânes et les déformations endocrâniennes en terme de distance d'asymétrie.

#### **b) Etablissement des cartes de distances des endocrânes et des mandibules**

Pour resituer les choses dans leur contexte, 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, asymétrie de l'arrière et au niveau frontal pour les PFO, pas trop d'asymétrie pour les BP mais une protubérance manifeste au niveau occipital et les CONTROLE n'ont pas d'asymétrie bien visible. Les données obtenues et visibles sur les cartes de distances correspondent aux observations cliniques.

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

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.

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.

Les résultats permettent de mettre en évidence la localisation de la déformation (frontale ou occipitale) avec les zones de méplats (en bleue) 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

### Cartes de distances des Endocranes

#### CONTROLE

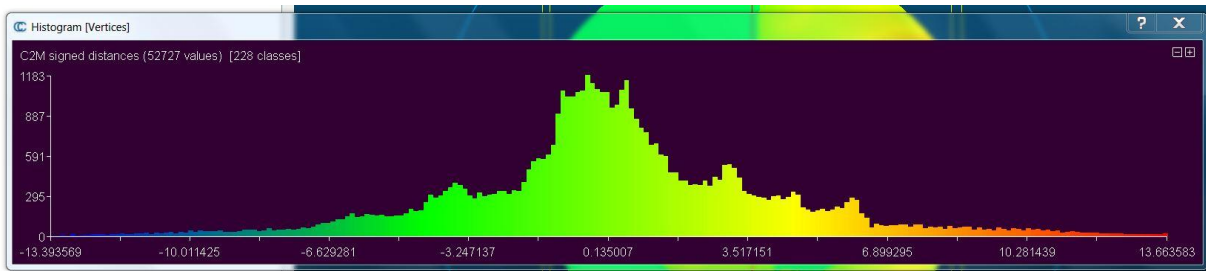


Figure 23 : Carte de dyssymétrie d'un endocrâne de type CONTROLE

**Commentaires** : Sur ce cas, les zones bleue et rouge sont très minimales et la zone verte est majoritaire concernant l'histogramme en question. On peut donc affirmer que cet endocrâne présente a priori une certaine dyssymétrie endocrânienne mais très minimale

#### PO

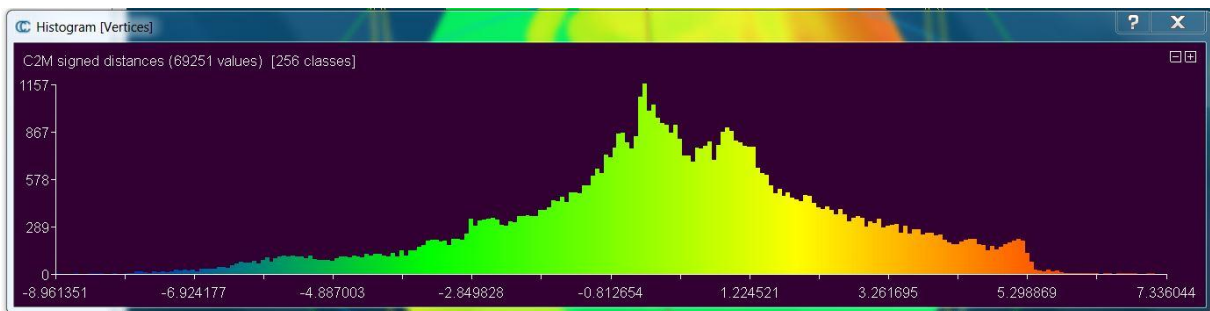


Figure 24 : Carte de dyssymétrie d'un endocrâne de type PO

**Commentaires** : Dans cet histogramme, on voit que l'aire rouge, spécifique à la partie bombée, est beaucoup moins répandue que chez un PFO et l'aire bleue est pratiquement indécélable au vu de cet histogramme. Cette aire rouge est très fréquente et présente chez les PO car elle est relative à la partie bosselée de l'arrière de l'endocrâne PO.

#### PFO

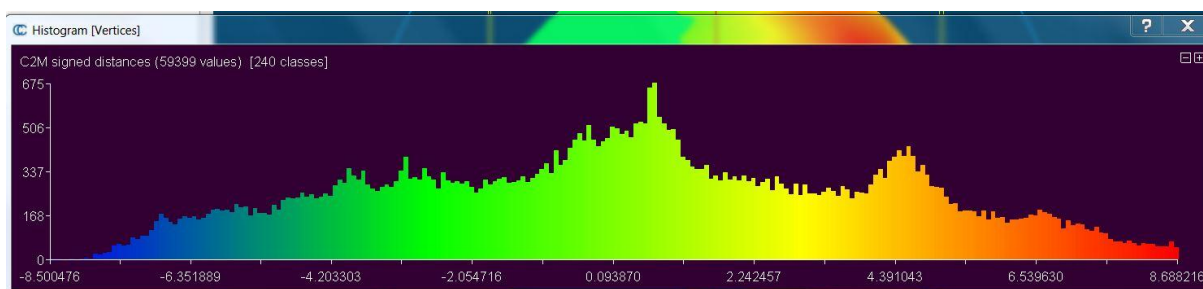


Figure 25 : Carte de dyssimétrie d'un endocrâne de type PFO

**Commentaires** : Sur cet histogramme, on peut observer l'aire rouge qui est nettement plus importante que l'aire bleue. Cela s'explique notamment par la déformation occipitale et frontale caractéristiques de cette déformation. Cette aire colorée en rouge montre une grande partie du crâne qui est très sortante par rapport à un crâne normal et l'aire bleue montre quant à elle une partie très rentrante.

BP :

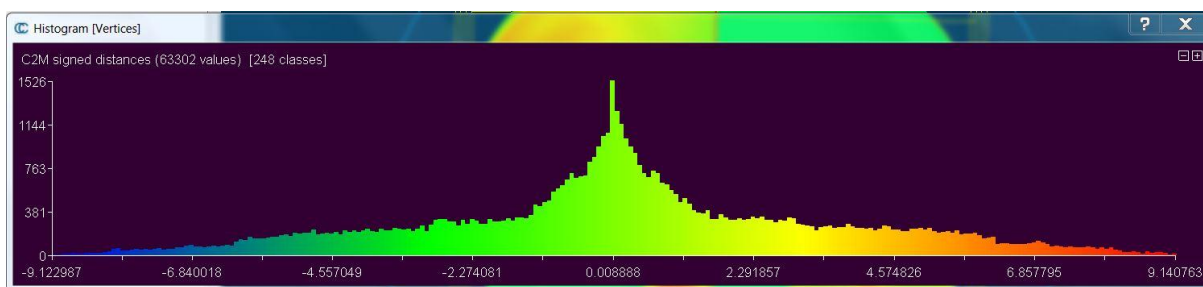


Figure 26 : Carte de dyssimétrie d'un endocrâne de type BP

**Commentaires** : Le cas du BP est très particulier du fait qu'il n'y a pas une grande asymétrie au vu de l'histogramme mais on observe une zone rouge assez présente, ce qui laisse supposer qu'une zone anormalement bombée est présente sur le crâne du BP. Le pic vert présent sur la carte de distance montre une grande homogénéité de l'endocrâne BP et aussi de la symétrie endocrânienne de la carte de distance relative au cas BP car si on se repère à partir de ce pic, on constate que la répartition des points spécifiques à cet endocrâne est très semblable.

Après avoir obtenu les cartes de distances et étudié de près les amplitudes endocrâniennes correspondantes, l'amplitude moyenne des PFO est de 26,0 et celles des PO et des CONTROLE sont respectivement de 24,4 et de 23,2. On en déduit que les amplitudes moyennes des endocrânes sont très proches entre elles, contrairement à ce que l'on espérait. Cela signifie que la déformation endocrânienne posséderait un mécanisme différent de celui de la déformation crânienne car ces

amplitudes ont pour fonction de refléter l'asymétrie endocrânienne vu qu'elles codent entre autre la répartition spatiale des points spécifiques de la surface endocrânienne (Voir Annexes 10 à 12 pour les endocrânes et Annexes 13 à 15 pour les mandibules).

### Carte de distance des mandibules

Il est nécessaire de noter qu'après avoir obtenu les cartes de distances des mandibules, on a noté des différences de déformations très irrégulières des mandibules au sein du même groupe d'endocrânes et il ne serait pas judicieux de faire une description des déformations mandibulaires pour chaque groupe d'endocrânes étant donné que l'on peut retrouver des déformations semblables dans certaines catégories d'endocrânes.

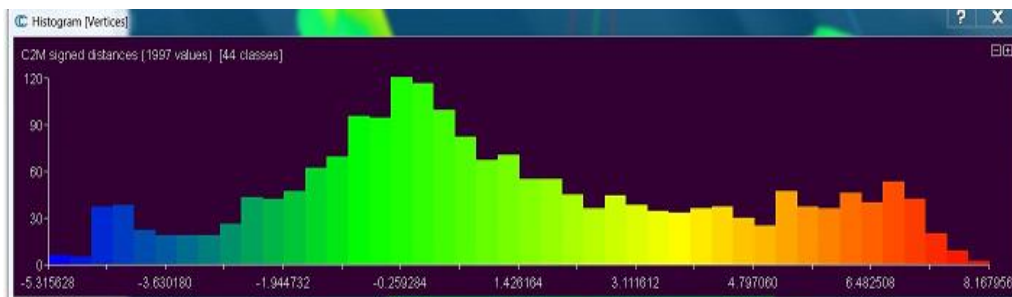


Figure 27 : Carte de dyssimétrie d'une mandibule

Ici, il s'agit de la carte de distance d'une mandibule sujette à déformation. La carte de distances montre une zone verte omniprésente et une zone rouge qui est importante, ce qui est montré sur les images de la mandibule obtenue sur CloudCompare. Les figures relatives aux vues arrière et avant de la mandibule montrent une pression exercée à partir du condyle jusqu'au processus coronoïde et aussi tout le long de la ligne mylo-hyoidienne sur la partie gauche de l'arrière du ramus (voir Figure 28). On peut remarquer de même une protusion sur le ramus avant droit en longeant la ligne oblique de la mandibule en passant sur le foramen mentonnier et la symphyse mentonnière (voir Figure 29).

De manière synthétique, on peut affirmer qu'il y a bien une pression qui s'exerce d'avant en arrière sur la ligne oblique de la mandibule et que cette pression exercée sur le condyle et aussi sur le processus coronoïde se retrouve aussi sur les l'articulation temporo-mandibulaire et en particulier sur les ligaments qui sont responsables de la fixation du condyle mandibulaire.

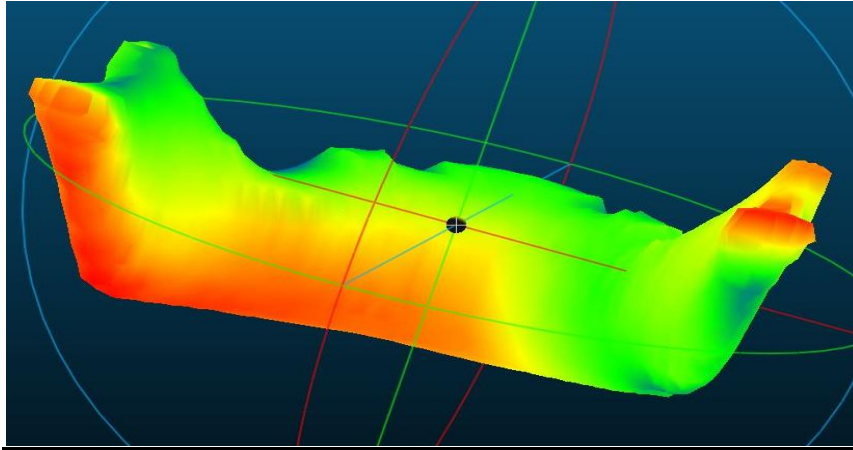


Figure 28 : Vue arrière de la mandibule

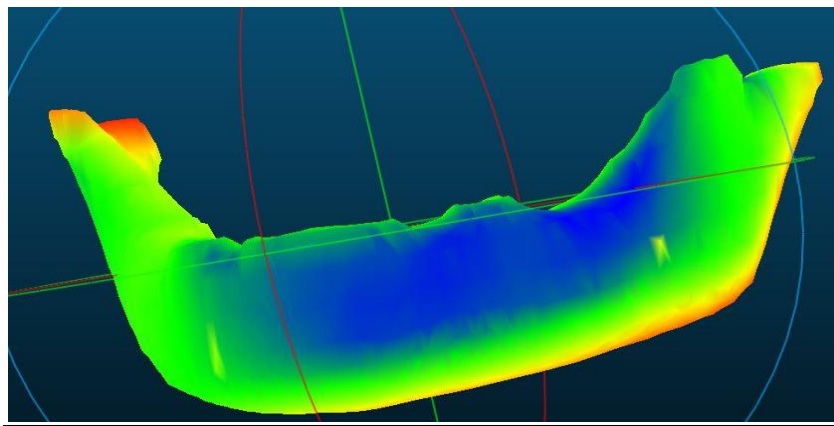


Figure 29 : Vue avant de la mandibule

c) **Graphes de distances de déformations des différentes catégories de crânes et de mandibules**

Pour quantifier l'asymétrie endocrânienne, on peut procéder à un classement quantitatif qui correspond à l'étendue et à la répartition des données. Pour cela, on calcule la fréquence cumulée des distances des points spécifiques à la surface endocrânienne. Il est à noter que les courbes relatives à ces fréquences cumulées sont créées pour chacune des déformations analysées. 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 CONTROLE des PO, DES PFO ou BP (voir Figure 30 à 32 pour les endocrânes et Figure 33 à 35 pour les mandibules).



**Graphes des Endocrânes**

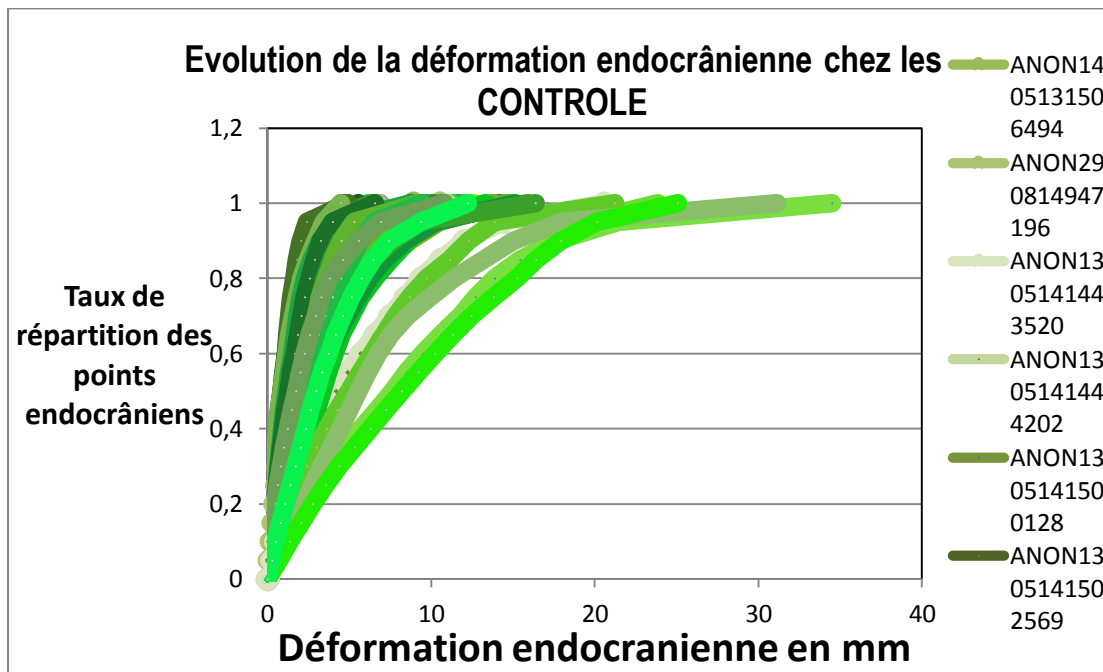


Figure 30 : Graphe de l'évolution de la déformation endocrânienne chez les CONTROLE

**Commentaires** : Pour les CONTROLE, mis à part quelques courbes relatives à des sujets plus âgés, on retrouve les 75% de points entre 1,5 et 5,7 mm de déformation en moyenne. Ce résultat est assez curieux du fait que l'on retrouve une certaine dissymétrie endocrânienne que l'on ne retrouve pas dans le compartiment crânien en toute normalité.

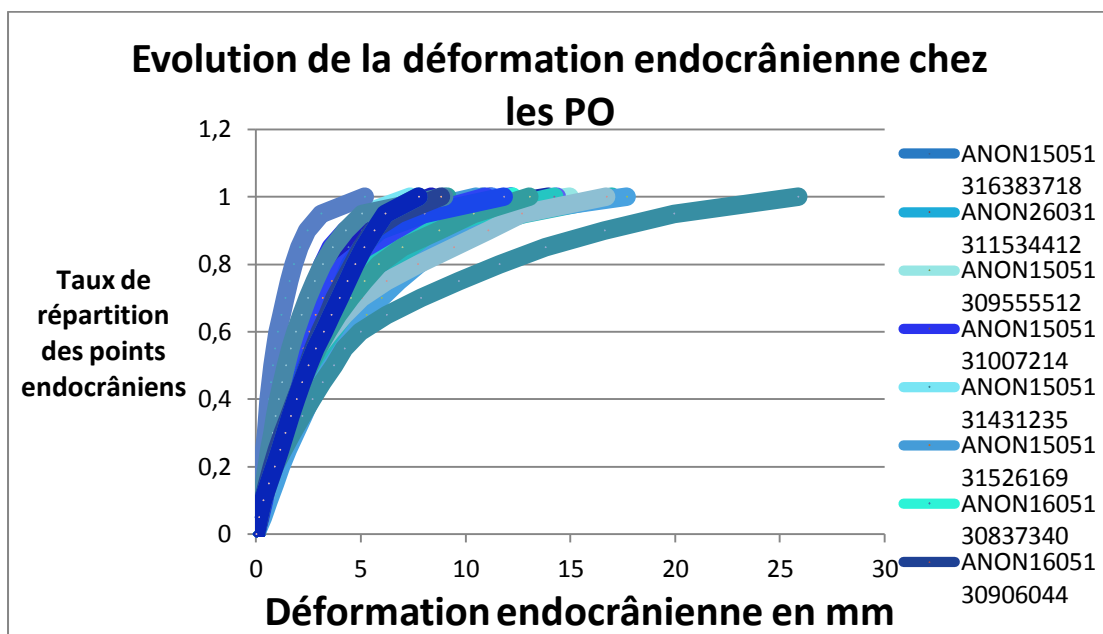


Figure 31 : Graphe de l'évolution de la déformation endocrânienne chez les PO

**Commentaires** : Pour les PO, les 75% sont, quant à eux, entre 1,6 et 6,2 mm environ. On peut donc affirmer que les courbes sont plus décalées sur la droite des abscisses par rapport aux CONTROLE. Il y a donc plus de points qui ont une plus grande déformation. On peut curieusement noter que l'écart entre les CONTROLE et les PO n'est pas aussi grand qu'on pouvait l'imaginer. Cela laisse penser que la déformation endocrânienne ne serait pas en si grande correspondance avec la déformation crânienne. En effet, il existe un espace entre le crâne et l'endocrâne et cet espace est censé mettre en accord la déformation entre le crâne et l'endocrâne. On pourrait supposer que cet espace pourrait traduire un jeu d'élasticité entre le crâne et l'endocrâne et pourrait mettre en lumière un mécanisme différent de déformation endocrânienne par rapport à la déformation crânienne

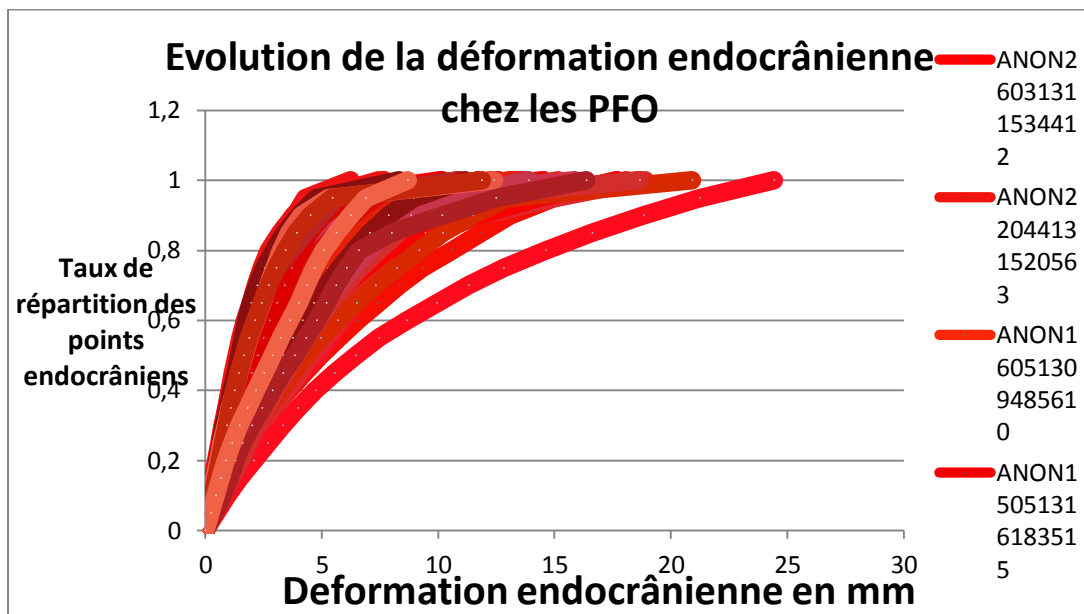


Figure 32 : Graphe de l'évolution de la déformation endocrânienne chez les PFO

**Commentaires** : Pour les PFO, les 75% sont entre 2 et 8,2 mm environ. Il y a là encore plus de points qui ont une plus grande déformation et de ce fait un plus grand décalage des courbes sur l'axe des abscisses. Ce résultat paraît cohérent et logique au vu de l'importance des déformations des PFO vu sur la carte de distance ci-dessus.

Graphes des mandibules

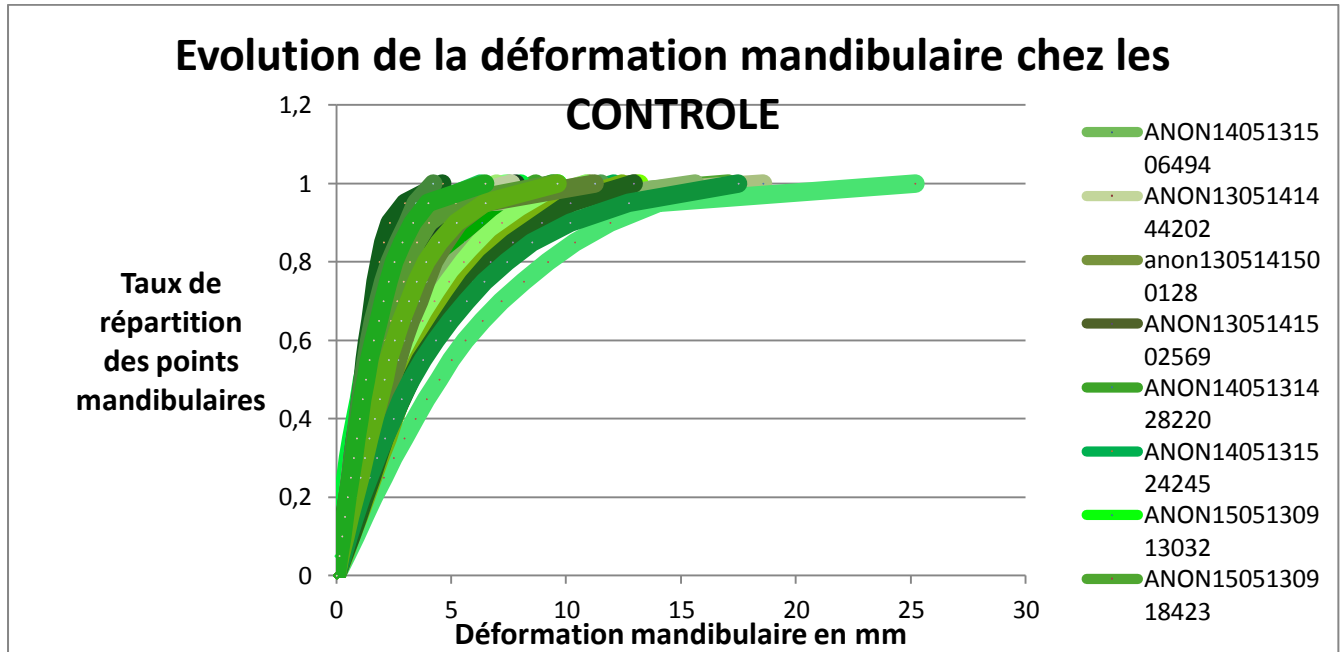


Figure 33 : Graphe de l'évolution de la déformation mandibulaire chez les CONTROLE

**Commentaires** : Pour les cas CONTROLE, on retrouve les 75% à des valeurs comprises entre 1,7 et 6,4 mm. Ces courbes vont servir de référence pour faire une comparaison avec les autres déformations mandibulaires. On note aussi que l'écart de déformation mandibulaire est quasi semblable à l'écart de déformation endocrânienne chez les CONTROLE.

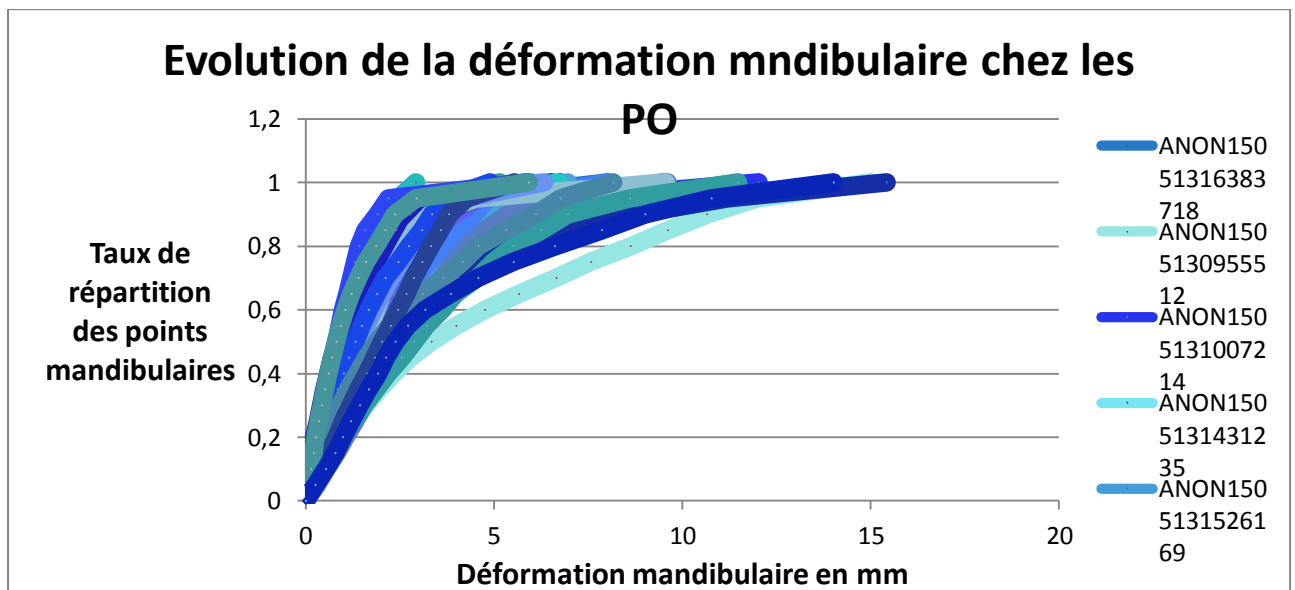


Figure 34 : Graphe de l'évolution de la déformation mandibulaire chez les PO

**Commentaires** : Chez les PO, l'écart de déformation est compris entre 1,3 et 5,5 mm. Cet écart est plus faible par rapport aux CONTROLE. On pourrait supposer que la pression exercée sur la mandibule

serait moindre par rapport aux CONTROLE du fait que la pression responsable de la déformation des endocrânes PO s'exercerait surtout sur la zone occipitale et non sur la zone de l'ATM.

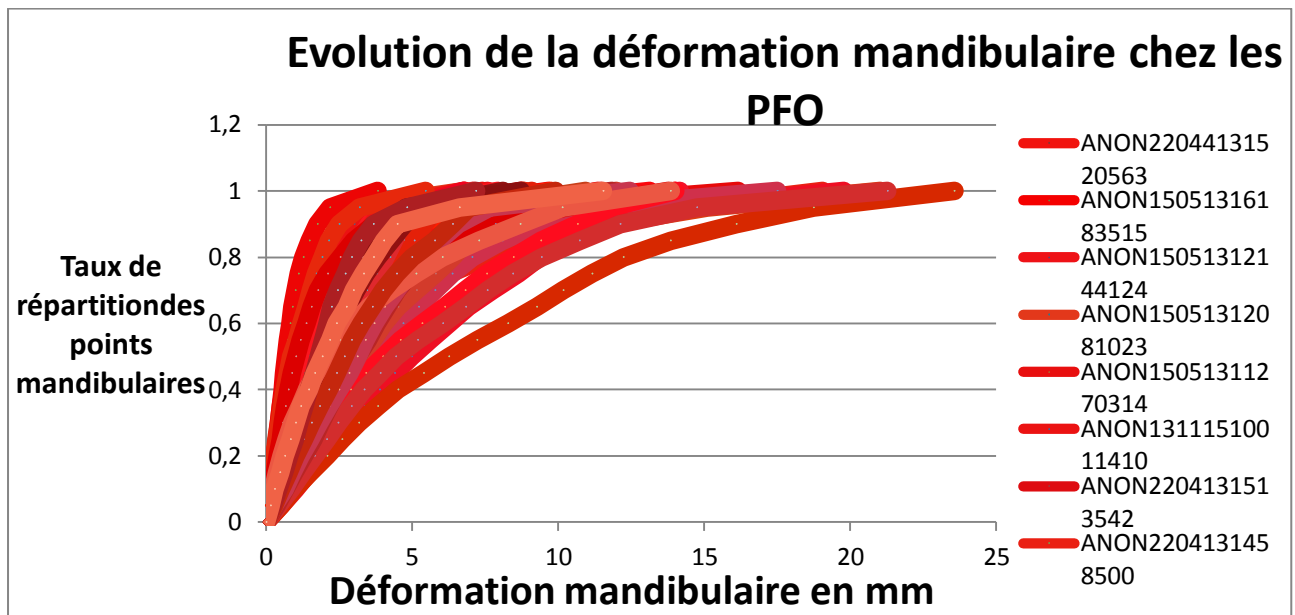


Figure 35 : Graphe de l'évolution de la déformation mandibulaire chez les PFO

**Commentaires :** Chez les PFO, l'écart de déformation mandibulaire est compris entre 1,1 et 8,4 mm. Cet écart est plus grand que chez les PO et chez les CONTROLE. Ce résultat est logique vu que la déformation chez les PFO s'exerce sur la zone occipitale et sur la zone frontale et aussi en partie sur l'ATM.

Après avoir fait l'étude de la distance d'asymétrie endocrânienne, on a constaté que comparer ces distances d'asymétrie -en prenant en compte les écarts des volumes endocrâniens qui sont très importants, allant au plus extrême entre 800 et 1400cm<sup>3</sup>, bien que les résultats des PFO demeurent assez significatifs- n'est pas aussi pertinent qu'il n'y paraît. Autrement, pour un outil de diagnostic clinique, ces résultats manquent d'impacts pour mettre en évidence la déformation endocrânienne. Pour la déformation mandibulaire, cela est différent du fait que le mécanisme de déformation mandibulaire est différent du mécanisme de déformation endocrânien. Etudier ces distances d'asymétrie endocrânienne en admettant que les volumes endocrâniens soient tous égaux entre eux seraient plus judicieux et juste pour éclairer les zones d'ombre de la quantification de cette asymétrie endocrânienne

#### d) Normalisation des distances d'asymétrie endocrânienne

Ici, on va procéder à la normalisation de la distance d'asymétrie endocrânienne. Cette normalisation de cette distance. Comme vu précédemment, 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 distances 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 (voir Figure 37 à 39). Pour mieux cibler les effets de cette distance d'asymétrie normalisée, on procède à une description de la nature de l'asymétrie qui peut se manifester soit à l'avant de l'endocrâne, soit à l'arrière de l'endocrâne. Dans cette expérience, j'ai trouvé 5 types d'endocrânes possibles : l'endocrâne CONTROLE, l'endocrâne PO intermédiaire (qui est un endocrâne entre le CONTROLE et le PO et écrit en abrégé PO int), l'endocrâne PO, l'endocrâne PFO intermédiaire (qui est un endocrâne entre le CONTROLE et le PFO et écrit en abrégé PFO int) et l'endocrâne PFO (voir Figure 36).

Voici un tableau qui regroupe tous les critères pour déterminer le type d'endocrâne déformé :

Asymétrie arrière	Asymétrie avant	Type d'endocrâne
NON	NON	CONTROLE
OUI LEGER	NON	PO int
OUI	NON	PO
NON	OUI ( ou OUI LEGER)	PFO int
OUI LEGER	OUI LEGER	PFO int
OUI	OUI LEGER	PFO int
OUI	OUI	PFO

Figure 36 : Tableau descriptif de la détermination du type d'endocrâne analysé

Voici les tableau descriptif comprenant les résultats des distances d'asymétrie normalisée et les diagnostic d'endocrânes déformés :

Numéro d'anonymat	Distance relative 90%	Distance normalisée	Asymétrie arrière	Asymétrie avant	Type d'endocrâne
ANON16051312264618	2,04771	0,0188175	NON	NON	CONTROLE
ANON15051315523912	2,33459	0,023228	NON	OUI LEGER	PFO int
ANON16051311491014	2,68826	0,029209	NON	OUI LEGER	PFO int
ANON19081020563811	2,92371	0,027289	OUI	NON	PO
ANON1704130858142	3,17315	0,042481	OUI LEGER	NON	PO int
ANON19081020574512	3,20121	0,029866	NON	NON(Bosse Avant)	CONTROLE
ANON19081021011518	3,26079	0,029892	NON	NON	CONTROLE
ANON19081020562910	3,38533	0,02959	NON	NON(Bosse arrière et protusion avant)	CONTROLE
ANON290814947196	3,63075	0,036792	NON	NON	CONTROLE
ANON15051312220825	3,64295	0,03618	OUI	OUI	PFO
ANON1505130924414	3,72371	0,035531	NON	NON	CONTROLE
ANON2908140947457	3,89448	0,04023	NON	OUI LEGER	PFO int
ANON2908140945032	3,98864	0,03937	NON	NON	CONTROLE
ANON14051316422619	3,99156	0,036125	NON	NON(Asymétrie Latérale)	CONTROLE
ANON16051312170317	4,04951	0,035953	OUI	NON(Bosse Avant assez présente)	PO

ANON2908140948398	4,1979	0,042551	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON1405131542196	4,28348	0,045336	OUI	OUI	PFO
ANON1605131429200	4,29276	0,038742	NON	OUI	PFO int
ANON19081021020119	4,40233	0,040596	NON	NON (Protusion arrière)	CONTROLE
ANON1505130913032	4,40885	0,040016	NON	OUI	PFO int
ANON19081021023020	4,51267	0,042687	NON	NON (Bosse avant et au dessus du crâne)	CONTROLE
ANON2703131221277	4,74011	0,043137	NON	OUI	PFO int
ANON1305141444202	5,01956	0,041882	OUI LEGER	NON	PO int
ANON15051315472611	5,05443	0,045475	NON	NON	CONTROLE
ANON1305141502569	5,09661	0,048039	NON	NON	CONTROLE
ANON1305141500128	5,43994	0,050593	OUI LEGER	NON	PO int
ANON19081021035922	5,57274	0,050265	NON	OUI	PFO int
ANON19081021025421	5,68946	0,049475	OUI	NON(Bosse droite et en avant du crâne)	PFO
ANON19081020584713	5,74039	0,051027	OUI LEGER	OUI LEGER	PFO int
ANON1405131506494	5,83691	0,060349	OUI	OUI	PFO
ANON2908140944351	6,02561	0,063172	NON	OUI	PFO int
ANON1405131524245	6,09049	0,071195	NON	OUI	PFO int
ANON2908140945494	6,11383	0,061473	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON1908102055408	6,18444	0,051933	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON1704130903508	6,34006	0,071256	NON	OUI	PFO int
Anon1505131411501	6,39061	0,06067	NON	OUI LEGER	PFO int
ANON2908140945173	6,83133	0,0668	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON19081021003117	6,8818	0,06391	OUI	OUI	PFO
ANON1505131406420	6,95952	0,070274	OUI	NON (Bosse Avant)	PO
ANON1505131034599	7,06229	0,069895	OUI	OUI	PFO
ANON15051310441910	7,35571	0,071646	OUI	OUI	PFO
ANON19081020585814	7,68995	0,073708	NON	OUI	PFO int
ANON16051311392213	8,41223	0,104095	NON	OUI	PFO int
ANON2908140947045	8,42915	0,089747	OUI	OUI	PFO
ANON15051316241916	8,59402	0,076991	NON	OUI	PFO int
ANON14051316094413	8,67039	0,088096	NON	OUI	PFO int
ANON1305141443520	11,9925	0,138649	OUI	OUI	PFO
ANON1605131334712	12,2898	0,155754	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON16051312093316	15,0336	0,135974	NON(Bosse Avant)	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON1505130943320	17,2054	0,164249	NON	NON(Asymétrie Latérale)	CONTROLE
ANON19081020590815	17,9364	0,167259	NON	NON(Asymétrie Latérale)	CONTROLE

Figure 37 : Tableau descriptif des asymétries endocrâniennes par le biais des distances normalisées chez les CONTROLE

**Commentaires** : Dans ce tableau, on constate une grande étendue des distances normalisées allant de 0,0188 à 0,167 mm et on a qu'à partir de 0,05 mm, on obtient des groupes d'endocrânes qui ont des caractéristiques de PO et à partir de 0,07 mm des endocrânes qui ont des caractéristiques de PFO. Cela montre bien que des états intermédiaires entre PO et PFO sont possibles sans que le diagnostic ait été repéré. Ensuite, on compte 51 endocrânes normalisées (4 endocrânes n'ont pas été normalisés car le fichier texte relatif aux coordonnées de l'endocrâne n'a pas pu être obtenu pour des raisons inconnues) dont 20 CONTROLE, 16 PFO intermédiaires, 8 PFO, 3 PO intermédiaires et 4 PO. La correspondance entre tous les endocrânes CONTROLE et les endocrânes véritables CONTROLE est de :  $21/50 \times 100 = 39,12\%$ .

Numéro d'anonymat	Distance relative 90%	Distance normalisée	Asymétrie arrière	Asymétrie avant	Type d'endocrâne
ANON15051311124113	2,44128	0,026637	OUI	NON (Controle)	PO
ANON1505131007214	4,25443	0,057586	OUI	NON(Controle)	PO
ANON16051309561512	4,26795	0,040993	OUI LEGER	OUI LEGER	PFO int
ANON1505131431235	4,61429	0,048996	NON	NON	CONTROLE
ANON1605131116028	5,04983	0,05695	OUI	OUI	PFO
ANON1605130920575	5,45332	0,055752	OUI	NON	PO
ANON16051311300911	5,53688	0,059127	OUI	OUI	PFO
ANON16051309595913	5,53705	0,060621	OUI	OUI	PFO
ANON17041309063911	5,5956	0,06203	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON1505131526169	5,71084	0,061782	OUI	OUI	PFO
ANON16051309523011	5,89829	0,064236	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON15051316383718	6,26025	0,065654	OUI	NON	PO
ANON15051311355915	6,62364	0,072913	OUI	NON	PO
ANON1605131105467	6,78894	0,070565	OUI	NON	PO
ANON26031311534412	6,91385	0,071987	OUI	NON	PO
ANON1605130906044	7,40918	0,074825	OUI	NON	PO
ANON1704130859474	7,66935	0,08048	OUI	NON	PO
ANON1505130955512	7,721	0,077861	OUI	OUI	PFO
ANON1605130837340	7,87589	0,079414	OUI	OUI	PFO
ANON02081120071539	8,20019	0,086418	OUI	NON	PO
ANON15051312020921	8,7318	0,090201	OUI	NON	PO
ANON1605131042074	9,77182	0,102435	OUI	NON	PO
ANON1605130925156	10,0134	0,104872	OUI	NON	PO
ANON02081120050910	10,1616	0,110667	OUI	OUI	PFO
ANON15051311562920	11,0716	0,111213	OUI	NON	PO
ANON15051311445518	16,6286	0,240907	OUI	NON	PO

Figure 38 : Tableau descriptif des asymétries endocrâniennes par le biais des distances normalisées chez les PO

**Commentaires** : Chez les PO, la distance normalisée s'étend de 0,026 à 0,24 mm et on compte 26 endocrânes dont 2 endocrânes de type CONTROLE, 0 PO intermédiaires, 15 PO, 2 PFO intermédiaires

et 7 PFO. La correspondance entre tous les endocrânes PO et endocrânes véritables PO est de :  
 $15/26 \times 100 = 57,69\%$ .

Numéro d'anonymat	Distance relative 90%	Distance normalisée	Asymétrie arrière	Asymétrie avant	Type d'endocrâne
ANON15051312144124	3,79652	0,034808	NON	NON	CONTROLE
ANON1605131025321	3,79717	0,036013	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON22044131520563	3,82456	0,036352	NON	NON (Bosse Latérale)	CONTROLE
ANON15051312081023	3,85631	0,039077	OUI LEGER	OUI LEGER	PFO int
ANON1905131024225	3,97627	0,036755	OUI	NON (Bosse Avant)	PO
ANON26031311534412	4,00513	0,03895	NON	NON (Bosse Avant)	CONTROLE
ANON0208112004294	4,11238	0,042613	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON02081120084857	4,28874	0,041639	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON16051311260710	4,50687	0,041375	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON1311150950265	4,95607	0,050243	OUI	NON	PO
ANON1311150957049	5,06395	0,047814	NON	NON(Bosse Avant+Arrière)	CONTROLE
ANON26031311534412	5,73043	0,052618	NON	NON (Bosse Latérale)	CONTROLE
ANON02081120091863	5,8824	0,057348	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON2081120061926	5,95197	0,056113	OUI	OUI	PFO
ANON1505131514498	6,10864	0,058384	NON	NON (Controle)	CONTROLE
ANON1605131054145	6,23688	0,068661	OUI	OUI	PFO
ANON1405131555509	6,68247	0,069787	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON02081120062930	6,82074	0,073153	OUI	NON	PO
ANON1311510040611	7,59688	0,07093	OUI	NON	PO
ANON2204131458500	7,81776	0,076263	OUI	OUI	PFO
ANON1305141455047	7,86225	0,069609	OUI	OUI	PFO
ANON1505131425464	8,03756	0,08507	OUI	NON	PO
ANON13111510011410	8,13761	0,080323	OUI	OUI	PFO
ANON15051311270314	8,18465	0,084331	OUI	OUI	PFO
ANON1311150948534	8,33375	0,085706	OUI	OUI	PFO
ANON1505131421053	8,33531	0,08586	OUI	OUI	PFO
ANON15051316183515	8,40022	0,088221	OUI	OUI	PFO
ANON1505131025417	8,49127	0,092303	OUI	OUI	PFO
ANON1605130945229	8,65966	0,094592	OUI	OUI	PFO
ANON1605130847441	8,81813	0,09184	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON2204131513542	8,86985	0,094153	OUI	OUI	PFO
ANON16051309485610	8,94831	0,092035	OUI	OUI	PFO
ANON1605130935137	9,374	0,097491	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON1311150950596	9,39437	0,102278	OUI	OUI	PFO
ANON1605131019410	9,85966	0,104525	OUI	OUI	PFO
ANON15051316102114	10,168	0,105426	OUI	NON (Bosse	PO



				Avant)	
ANON0208112004579	10,5245	0,095215	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON1802141844230	10,9939	0,10075	OUI	OUI	PFO
ANON1311150954208	11,5013	0,117613	OUI	OUI	PFO
ANON02081120061223	11,5127	0,124726	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON1505130948051	11,7447	0,126718	OUI	OUI LEGER	PFO int
ANON1505131019576	11,784	0,115062	OUI	OUI	PFO
ANON0208112005371	13,1027	0,1217778	OUI	OUI	PFO
ANON2304131518070	18,822	0,195261	OUI	OUI	PFO

Figure 39 : Tableau descriptif des asymétries endocrâniennes par le biais des distances normalisées chez les PFO

**Commentaires :** Chez les PFO, la distance normalisée s'étend de 0,035 à 0,19 mm et on compte 43 endocrânes dont 11 endocrânes de type CONTROLE, 0 PO intermédiaires, 6 PO, 7 PFO intermédiaires et 19 PFO. La correspondance entre tous les endocrânes PO et endocrânes véritables PO est de :  $19/43 \times 100 = 44,18\%$ .

Pour mieux caractériser les distances d'asymétrie normalisées, on a pu constituer un tableau regroupant les moyennes des distances d'asymétrie normalisées par groupe d'endocrânes et les sous groupes correspondants à l'apparence d'endocrâne autre que le groupe d'endocrâne correspondant décrit précédemment (voir Figure 40) :

Groupes d'endocranes Sous Groupe D'endocrâne	CONTROLE	PFO	PO
CONTROLE	0,06393868	0,044355818	0,055513
PO intermédiaire	0,04498533	0	0
PO	0,04574775	0,07026283	0,08749633
PFO intermédiaire	0,05781481	0,092122	0,0526145
PFO	0,071964	0,09367782	0,072346

Figure 40 : Tableau regroupant les moyennes des sous-groupes d'endocrânes spécifiques aux groupes endocrânes

**Commentaires :** Dans ce tableau, on voit chez les PFO que plus la déformation endocrânienne est importante (c'est-à-dire que plus on descend à partir des sous-groupes d'endocrânes en partant des sous-groupes CONTROLE jusqu' au PFO), plus la distance normalisée est élevée, ce qui est en cohérence avec la logique de déformation. Par contre, chez les PO, on ne retrouve pas cette cohérence de résultat car le mécanisme de déformation des PO est différent des PFO et que les morphologies endocrâniennes des PO est différente des PFO, ce qui expliquerait ce résultat en partie. Chez les

CONTROLE, la logique de l'augmentation des distances normalisées d'asymétrie des endocrânes est respectée à l'exception de la moyenne de la distance normalisée du sous groupe CONTROLE qui a une moyenne plus élevée de l'ordre de 0,064mm, ce qui est dû à la grande diversité volumique chez ce sous groupe et que ce sous groupe comprenait les endocrânes avec les volumes les plus élevées.

Pour se faire une idée de la hiérarchie de la valeur de la distance normalisée de chaque sous groupe, on doit prendre toutes les moyennes des sous groupes de chaque groupe d'endocrânes pour voir si le zonage de la déformation endocrânienne serait viable et cohérent. Par exemple, pour avoir la moyenne de la distance normalisée du sous-groupe, on additionne toutes les moyennes du sous-groupes correspondant pour chaque groupe, ce qui a été calculé et donné les résultats suivants :

- Moyenne CONTROLE : 0,054602498 mm
- Moyenne PO int : 0,044985333 mm
- Moyenne PO : 0,067835639 mm
- Moyenne PFO int : 0,067517104 mm
- Moyenne PFO : 0,079329272 mm

Dans l'ensemble, les résultats sont très cohérents par rapport à la logique de déformation endocrânienne : plus la déformation se répand sur l'endocrâne, plus la moyenne est élevée. Pour les CONTROLE, la valeur de cette moyenne se justifie par le fait que dans le groupe d'endocrâne des CONTROLE, il y avait aussi des cas particuliers et peu nombreux comme quelques adultes qui ont des volumes endocrâniens assez élevés allant jusqu'à 1400 cm<sup>3</sup>, mais cela n'a pas trop affecté les résultats. Ces résultats montrent que la normalisation de la distance d'asymétrie endocrânienne est assez fiable et nous montre que des sous groupes d'endocrânes sont détectables et nous permettent de mieux comprendre le déroulement de la déformation endocrânienne, que ce soit qu'un point de vue qualitatif ou quantitatif.

Pour les mandibules, la normalisation des distances d'asymétrie n'a pas pu être réalisée du fait de la complexité du mécanisme de déformation mandibulaire et du manque de cohérence de la répartition des zones de déformations mandibulaires.

## **5) Discussion et Résultats annexes**

Au cours de ce stage, différentes manipulations auraient été possibles. En effet, il aurait été intéressant d'étudier les surfaces des cartes de distances pour mieux classer les endocrânes et les états intermédiaires car la surface de ces cartes de distances témoigne du degré de déformation de ces groupes d'endocrânes.

Par curiosité et par l'initiative du Dr Captier, nous avons réalisé les cartes de distances entre les maillages crâniens et endocrâniens (Voir Annexes 16 à 19). On peut voir des différences d'amplitudes entre l'espace crânien et l'espace endocrânien et il serait assez intéressant de pouvoir faire un lien de cause à effet entre déformation crânienne et endocrânienne. Cet espace séparant l'endocrâne et le crâne pourrait nous donner un indice concernant le mécanisme de déformation crânien.

Ce qui serait révélateur de la compréhension du mécanisme de ces DCP c'est d'établir un lien entre les différentes pressions exercées sur l'endocrâne et le crâne. En effet, il pourrait exister des différences de pressions via les différentes zones endocrâniennes et il serait intéressant de calculer ces pressions endocrâniennes et de pouvoir en déduire les pressions ainsi que les résistances des crânes et de pouvoir cette fois quantifier et qualifier l'élasticité de ces crânes et aussi de ces endocrânes, et ce région par région qui régissent la déformation.

On peut évoquer aussi la possibilité de quantifier le volume de déformation des endocrânes afin de mieux cerner l'impact de ces déformations crâniennes en créant un modèle normal de crâne et d'endocrâne et de pouvoir créer un ensemble de points relatif aux degrés de déformation crânienne et endocrânienne, même si cette idée semble difficilement réalisable et aurait été précieuse à titre informatif sur le plan clinique.

## **V) 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 et surtout endocrâniennes. Grâce à la pipeline mise en place 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 mais l'outil pour quantifier l'asymétrie endocrânienne reste la normalisation des distances endocrâniennes qui montrent que les endocrânes PFO ont la distance d'asymétrie la plus importante, suivi des PO et des CONTROLE. Pour rappel, les BP ne présentaient pas réellement d'asymétrie et n'ont pas été pris en compte pour la normalisation des distances d'asymétrie, ce qui montre les limites de cette méthode de normalisation. Les données quantitatives peuvent aider à analyser ces déformations et à déterminer au mieux leur gravité.

D'autres manipulations auraient été viables et possibles pour mieux affiner et pousser plus loin les connaissances sur les mécanismes crâniens et surtout sur les mécanismes endocrâniens de déformation. Cela pourrait être l'objet d'une autre étude de ces Déformations Crâniennes Posturales qui cachent bien des mystères et qui ne demandent qu'à être résolu.

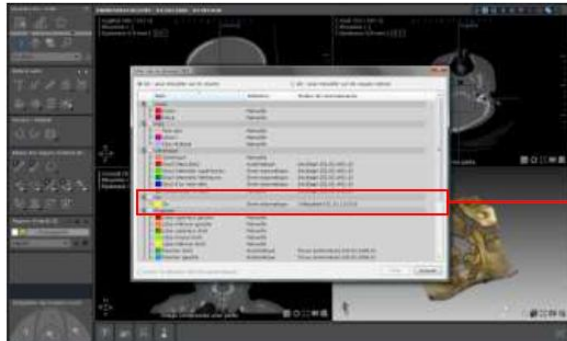
## **Bibliographie**

1. Le Crâne Humain, J. Bories, Y. Coppens, Edition Springer, 3-3(1996)
2. Anonymes. Plagiocephaly and torticollis in young infants. *Lancet*. 1986 (october 4):789-90.
3. Delaire J, Billet J. Considération sur les déformations crâniennes intentionnelles. *Rev Stomatol*. 1964;65:535-41.
4. Littlefield TR, Hess R, Kelly K, Pomatto J. Cranial remodeling: from cultural practice to contemporary treatment of cranial deformities *Biométrie humaine et anthropologie*. 2007;23(1-2):43-52.
5. Captier G, Leboucq N, Bigorre M, Canovas F, Bonnel F, Bonnafe A, et al. Étude clinico-radiologique des déformations du crâne dans les Plagiocéphalies sans synostose. *Archives De Pédiatrie*. 2003;10(3):208-14
6. Spranger J, Benirschke K, Hall J, Lenz W, Lowry R, Opitz J, et al. Errors of morphogenesis: concepts and terms. Recommendations of an international working group. *J Pediatr*. 1982;100:160-5.
7. Graham JM. principles of human biomechanics. Smith's recognizable patterns of human deformation: Elsevier Health Sciences; 2007. p. 311-47.
8. Cussenot O, PereiraDaSilva M, Martin-Bouyer Y. Modifications of the skull base in artificial deformations of the circumference of the head. *Surg Radiol Anat*. 1992;14:43-50.
9. Graham JM, Jr., Kreutzman J, Earl D, Halberg A, Samayoa C, Guo X. Deformational brachycephaly in supine-sleeping infants. *J Pediatr*. 2005;146(2):253-7.
10. Rogers GF, Oh AK, Mulliken JB. The role of congenital muscular torticollis in the development of deformational plagiocephaly. *Plast Reconstr Surg*. 2009 Feb;123(2):643-52.
11. Captier G, Dessauge D, Picot M-C, Bigorre M, Gossard C, El Ammar J, et al. Classification and Pathogenic Models of Unintentional Postural Cranial Deformities in Infants: Plagiocephalies and Brachycephalies. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2011 Jan;22(1):33-41.
12. Topinard M. Sur la Plagiocéphalie. *Bull Soc Anthropol Paris*. 1876:442-56.
13. Ferre JC, Chevalier C, Robert R, Degrez J, Le Cloarec AY, Legoux R, et al. Reflections on the mechanical structure of the base of the skull and on the face. Part 1: Classical theories, observed structures. *Surg Radiol Anat*. 1989;11(1):41-8.
14. Tomlinson JK, Breidahl AF. Anterior fontanelle morphology in unilateral coronal synostosis: a clear clinical (nonradiographic) sign for the diagnosis of frontal plagiocephaly. *Plast Reconstr Surg*. 2007 May;119(6):1882-8.
15. Amélie Simoneau, La plagiocéphalie et le torticolis du nouveau-né (2016) <http://physioquebec.com/physiotherapie-pediatrique-torticollis/>
16. Patrick Villette, Ostéopathie et plagiocéphalie (2014) <http://www.osteopathe-larochelle.fr/osteopathie-plagiocephalie/>
17. Marie Gaubert-Noirot et Audrey Firon, Association Plagiocéphalie Info et Soutien (2011) <http://association-plagiocephalie-info-et-soutien.fr/prevention-traitements/kinesitherapie/>
18. F. Canavese et M. Rousset, Torticolis Congénital (2014) <http://pap.pediatrie.com/orthop%C3%A9diesport/torticollis-cong%C3%A9nital>
19. James J Xia, Kathleen A Kennedy, John F Teichgraber, Kenneth Q Wu, James B Baumgartner, Jaime Gateno, « Nonsurgical treatment of deformational plagiocephaly: a systematic review », *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, vol. 162, n° 8, août 2008, p. 719-727
20. van Wijk RM, van Vlimmeren LA, Groothuis-Oudshoorn CG, Van der Ploeg CP, Ijzerman MJ, Boere-Boonekamp MM, « Helmet therapy in infants with positional skull deformation: randomised controlled trial », *BMJ*, n° 348, 2014, g2741.

21. Singh A, Wacogne I, « *What is the role of helmet therapy in positional plagiocephaly?* » *Arch Dis Child*. 2008;93:809-10
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Collett BR, Aylard EH, Berg J, Davidoff C, Norden J, Cunningham M L., Spelt 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
26. Argenta, L. (2004). "Clinical classification of positional plagiocephaly." *J Craniofac Surg* 15(3): 368-372.

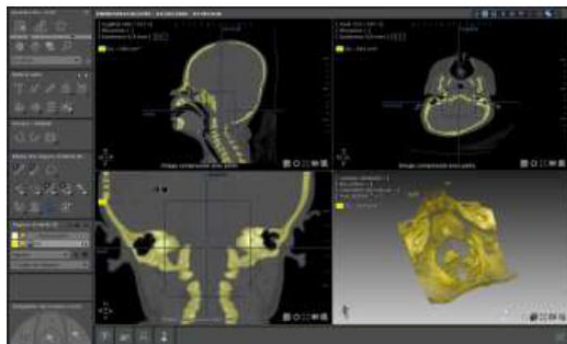
# ANNEXES

## Annexe 1 : Elaboration de la région d'intérêt du crâne

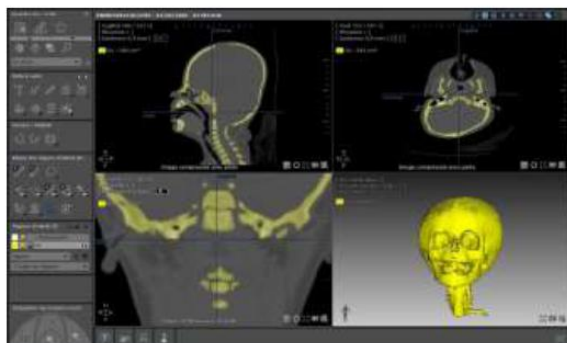


Panneaux de gestion des ROIs

ROI « os »

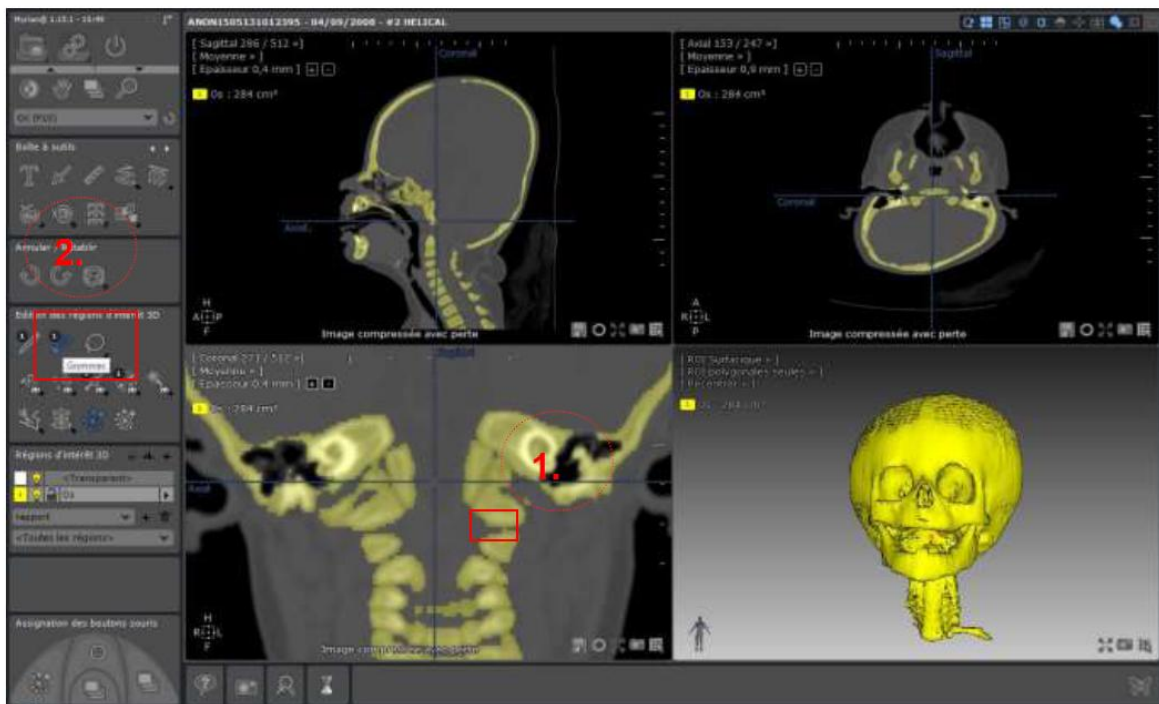


Création de la ROI « os » ( en jaune)

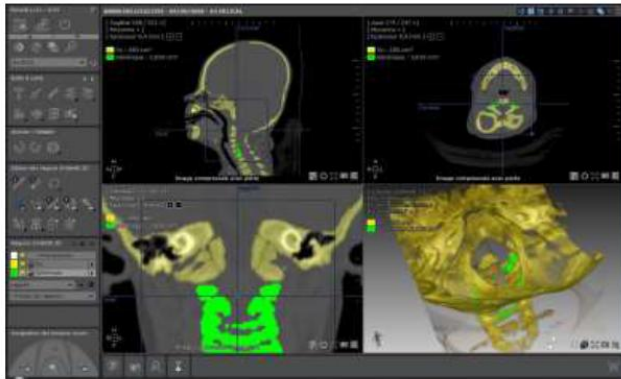


Recherche des voxels des vertèbres qui  
« touchent » les voxels de la base du  
crâne





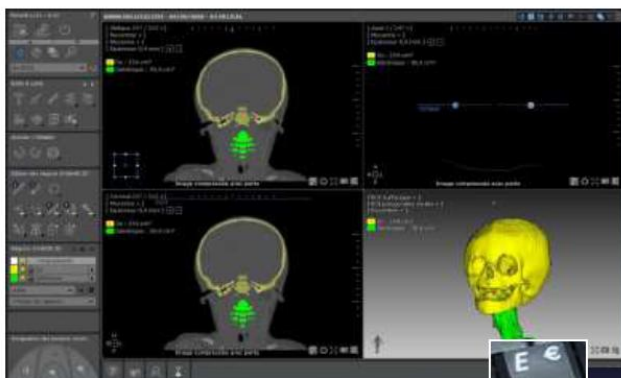
1. Un des voxels qui relie la colonne et le crâne
2. Outils « La gomme »
3. Gommage du voxel pour séparer la colonne du crâne



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

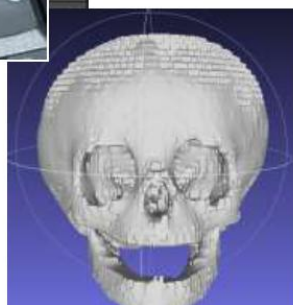


Puis coloration en trois dimensions, une fois que la colonne de touche plus le crâne.



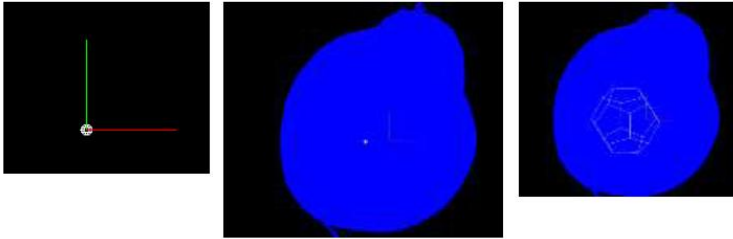
Exportation des ROI avec la touche « E ».

Visualisation avec le logiciel MeshLab.

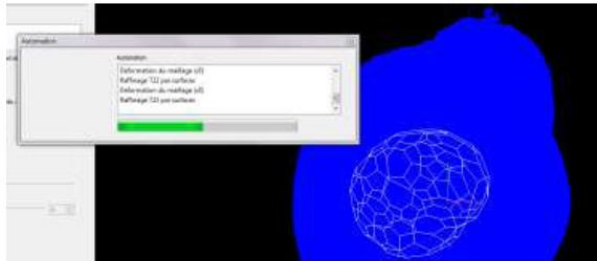




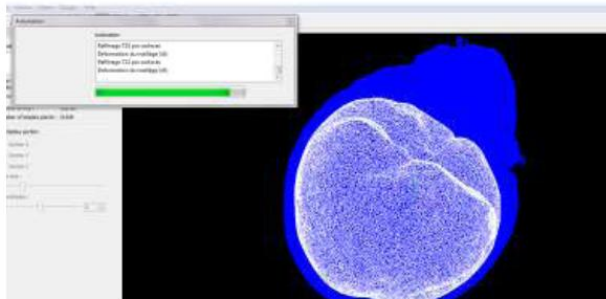
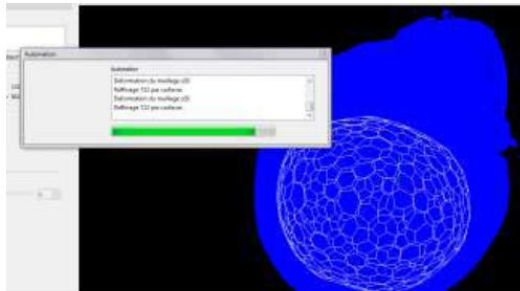
## Annexe 2 : Création de la surface 3D de l'endocrâne à l'aide d'une surface déformable



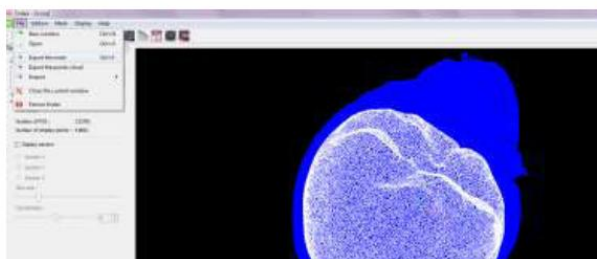
Mise en place du modèle déformable au centre du crâne



Lancement de la procédure de déformation



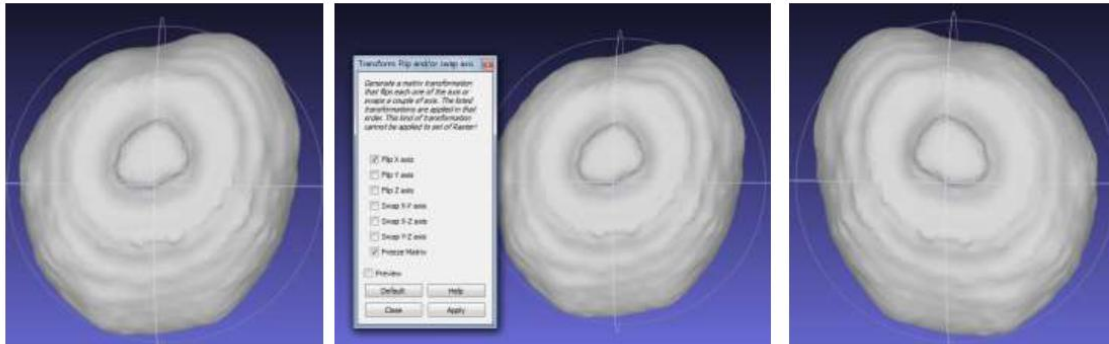
Le modèle déformable « grossit » jusqu'à ce qu'il atteigne les bords osseux.



Maillage de l'endocrâne

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

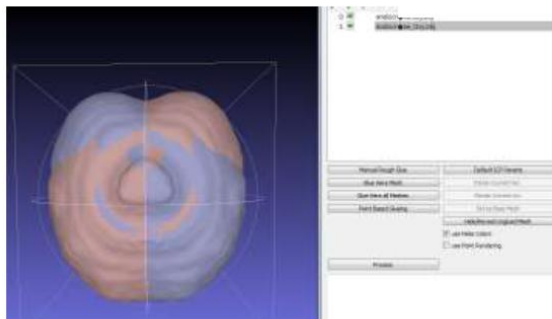
. Exemple de recalage rigide sur un endocrâne (vu du dessus).



Endocrâne

Création du symétrique

Symétrique

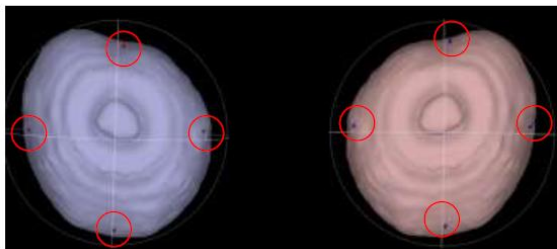


Le maillage original et son symétrique

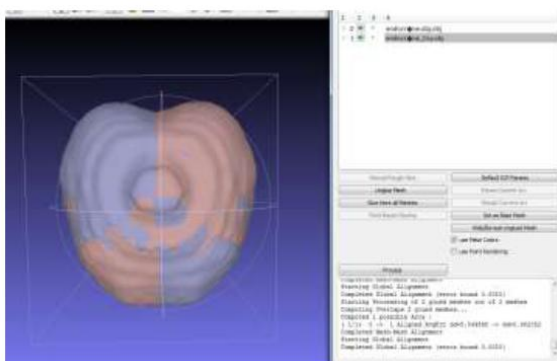
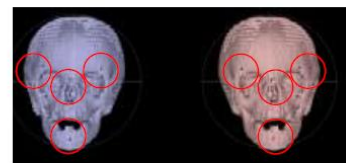
Bleu : endocrâne symétrique recalé

Rouge ; endocrâne original

Recalage rigide :

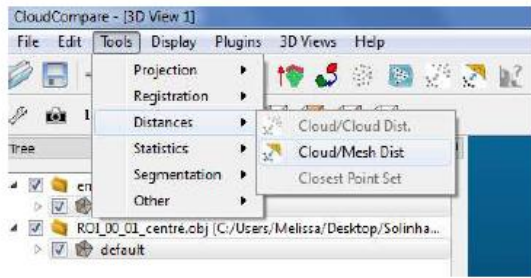


Initialisation du recalage : choix de quatre points éloignés. Pour le crâne choix de ces points sur la face

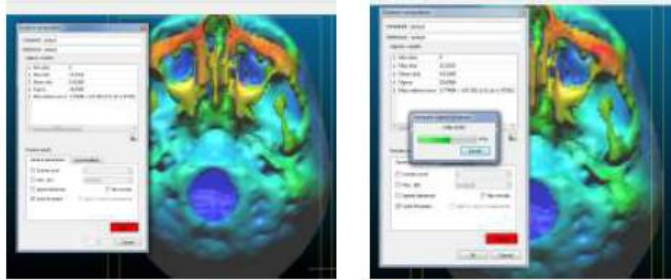


Maillage symétrique recalé.

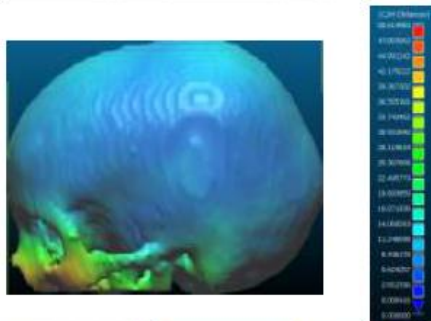
## Annexe 4 : Création des cartes de distances



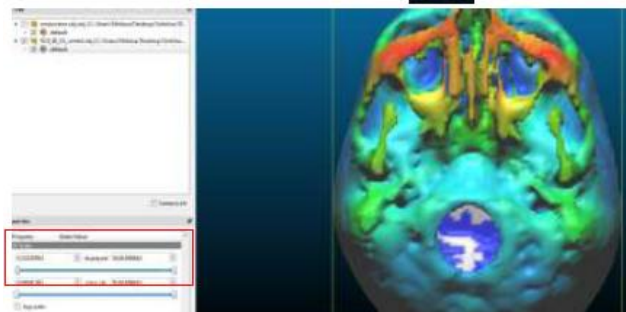
Lancement des calculs de distances entre le maillage du crâne et celui de l'endocrâne



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



Echelle de distances entre le crâne et l'endocrâne



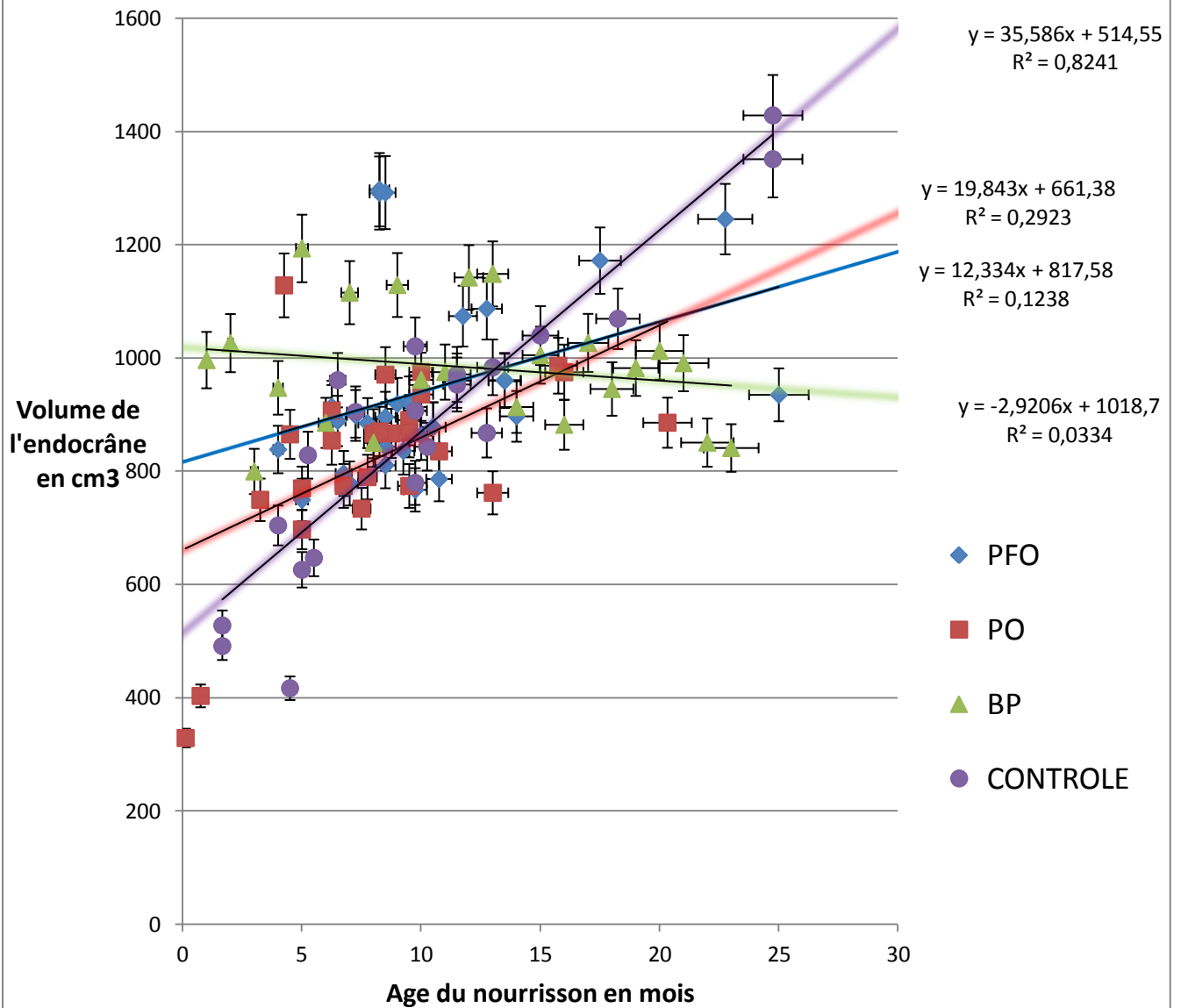
Suppression des voxels les plus proches du crâne = suppression de la partie interne du crâne à l'aide d'une échelle de visualisation disponible dans le logiciel.

## Annexes Base de données

	Moyenne d'âge (mois)	Variance	Ecart-type	Nombre de cas	Nombre de CT	Nombre de MR	Nombre de CT\SR
PO Garçon	9,94	38,88	5,67	22	18	4	0
PFO Garçon	28,97	1878,67	43,34	30	26	4	0
BP Garçon	10,12	56,42	7,51	25	16	9	0
Contrôle Garçon	82,57	10080,56	100,40	41	39	1	1
Autre cas Garçon	6,9	27,27	5,22	5	2	2	1
Total Garçon	27,7	2416,36	32,43	123	101	20	2
PO Fille	9,32	32,15	5,67	10	9	1	0
PFO Fille	46,36	3349,48	57,87	25	21	3	1
BP Fille	10,12	23,18	4,81	10	7	3	0
Contrôle Fille	101,16	34815,62	186,59	27	25	2	0
Autre cas Fille	62,34	9780,14	98,89	16	13	1	2
Total Fille	45,86	9600,11	70,77	88	75	10	3
Total Général	36,78	6008,23	51,6	211	176	30	5

Annexe 5 : Tableau descriptif de la base de données

## Evolution du volume des endocrânes en fonction de l'âge des nourrissons

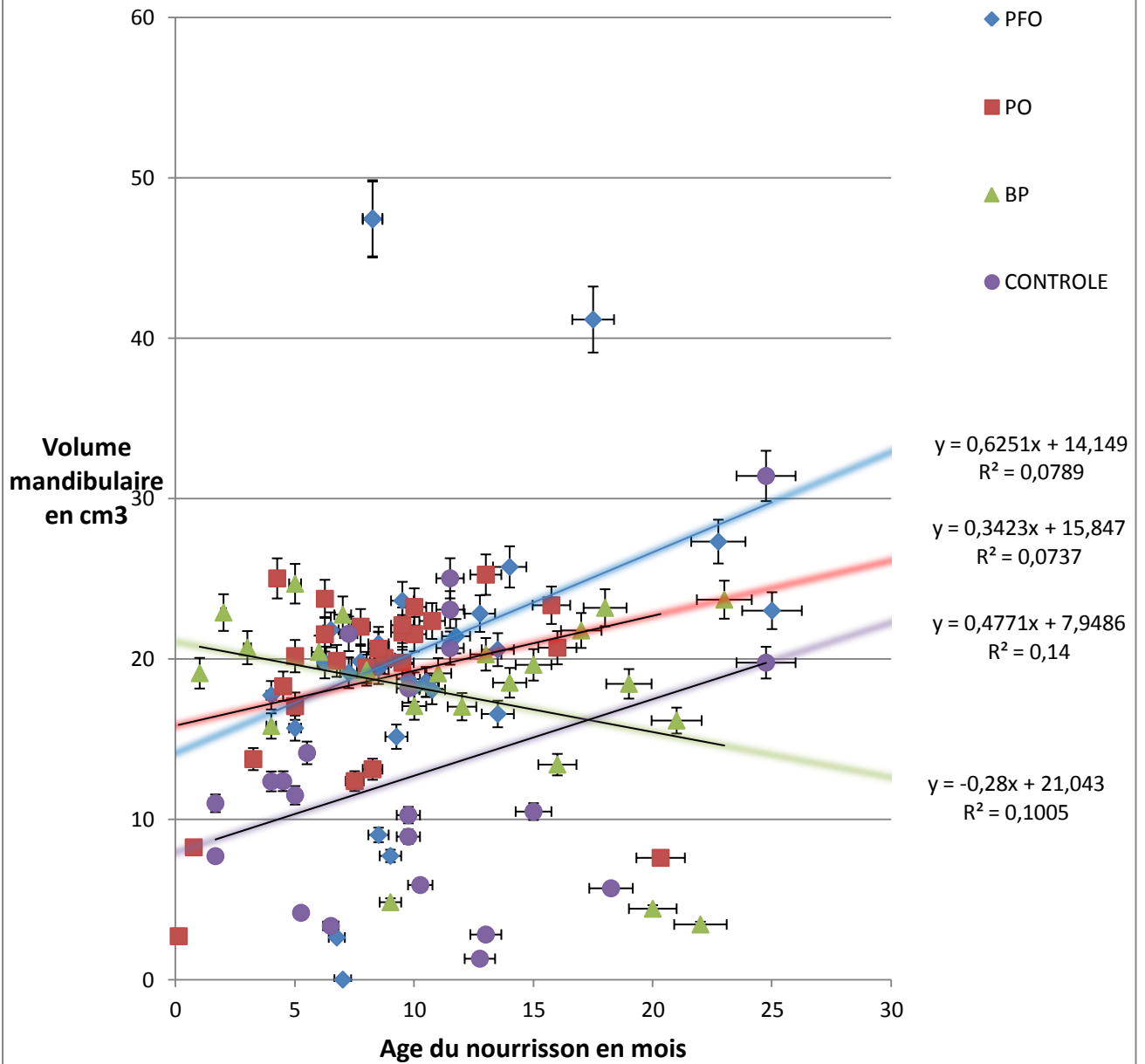


Annexe 6 : Graphe de l'évolution des volumes endocrâniens en fonction de l'âge de nourrissons

	Moyenne Volume Endocrâne (cm <sup>3</sup> )	Variance Volume Endocrâne	Ecart-type Endocrâne	Moyenne Racine cubique Endocrâne	Variance Racine Cubique Endocrâne	Ecart-type Racine Cubique Endocrâne	Nombre de cas
PO	825,62	27579,69	166,07	9,32	0,54	0,73	26
PFO	945,44	26636,93	163,20	9,78	0,29	0,54	30
BP	983,66	11733,68	108,32	9,93	0,13	0,36	23
Contrôle	876,58	61761,55	248,51	9,48	0,87	0,93	22
Total	907,82	31927,96	171,53	9,63	0,46	0,64	101

Annexe 7 : Tableau descriptif de la moyenne des volumes endocrâniens en fonction des différents groupes endocrâniens

## Evolution du volume des mandibules en fonction de l'âge des nourrissons



Annexe 8 : Graphe de l'évolution des volumes mandibulaires en fonction de l'âge de nourrissons

	Moyenne Volume mandibule (cm <sup>3</sup> )	Variance Volume Mandibule	Ecart-type mandibule	Nombre de cas
PO	18,68	32,53	5,70	26
PFO	20,63	107,33	10,36	30
BP	17,68	35,88	5,99	23
Contrôle	12,80	65,33	8,08	22
Total	17,45	60,27	7,53	101

Annexe 9 : Graphe de l'évolution des volumes mandibulaires en fonction de l'âge de nourrissons



## Annexes Amplitudes endocrâniennes et mandibulaires

### Amplitudes endocrâniennes

Numéro d'anonymat	Amplitudes endocrâniennes	Classement
ANON15051312081023	11,197777	1
ANON1905131024225	13,570904	2
ANON22044131520563	14,158286	3
ANON1605131025321	14,545654	4
ANON0208112004579	14,626235	5
ANON15051312144124	16,551738	6
ANON1605131054145	17,188692	7
ANON26031311534412	18,464238	8
ANON2081120061926	20,0868	9
ANON1311150957049	20,874401	10
ANON1311150950265	21,231354	11
ANON1305141455047	21,465041	12
ANON16051311260710	22,01772	13
ANON1405131555509	22,749429	14
ANON1505131425464	23,219176	15
ANON0208112004294	23,39861	16
ANON02081120084857	24,17266	17
ANON1505131025417	24,424046	18
ANON13111510011410	24,436726	19
ANON13111510040611	24,660576	20
ANON1505131421053	24,773837	21
ANON2204131513542	24,812001	22
ANON15051311270314	25,887607	23
ANON1605130935137	26,0189	24
ANON15051316183515	26,060856	25
ANON16051309485610	26,108765	26
ANON1605130945229	26,511839	27
ANON1605131019410	26,647769	28
ANON2204131458500	26,899498	29
ANON1311150948534	27,714225	30
ANON02081120073944	28,055968	31
ANON1802141844230	28,480292	32
ANON02081120091863	28,672246	33
ANON1605130847441	28,748014	34
ANON1505131514498	31,056928	35
ANON15051316102114	32,20901	36
ANON1311150950596	33,884571	37
ANON02081120061223	34,535199	38
ANON1505130948051	34,88246	39
ANON02081120053714	35,671793	40
ANON1802141844230	36,227024	41
ANON02081120062930	37,099302	42
ANON1505131019576	37,184158	43
ANON1311150954208	40,26791	44
ANON2304131518070	48,755655	45

Annexe 10 : Tableau des amplitudes endocrâniennes chez les PFO

Numéro d'anonymat	Amplitudes endocrâniennes	Classement
ANON15051311124113	9,514789	1
ANON1505131431235	13,948125	2
ANON16051311300911	15,332443	3
ANON1605131116028	16,100887	4
ANON16051309561512	16,297395	5
ANON16051309595913	17,460489	6
ANON1605130920575	17,727413	7
ANON1505131526169	19,440246	8
ANON15051316383718	20,231167	9
ANON15051311355915	20,705641	10
ANON1605130906044	21,463011	11
ANON1605131105467	22,023577	12
ANON16051309523011	22,738541	13
<b>ANON1505131007214</b>	23,431764	14
ANON1605130837340	23,558819	15
ANON26031311534412	23,864433	16
ANON15051312020921	25,734173	17
ANON17041309063911	26,790461	18
ANON1704130859474	27,77894	19
ANON02081120071539	28,197795	20
ANON1605130925156	28,718757	21
ANON1505130955512	29,444542	22
ANON02081120050910	32,204489	23
ANON15051311562920	32,412781	24
ANON1605131042074	32,809578	25
ANON15051311445518	51,651808	26

Annexe 11 : Tableau des amplitudes endocrâniennes chez les PO

Numéro d'anonymat	Amplitudes endocraniennes	Classement
ANON15051315523912	8,731802	1
ANON16051312264618	9,617674	2
ANON19081020563811	10,7427	3
ANON15051312220825	10,872893	4
ANON19081020562910	12,11426	5
ANON1704130858142	12,239584	6
ANON1605131429200	12,541031	7
ANON16051311491014	12,654137	8
ANON16051312170317	12,77126	9
ANON19081021011518	12,819906	10
ANON1405131542196	12,997072	11
ANON19081020574512	15,662845	12
ANON19081021025421	16,817811	13
ANON14051316422619	17,084904	14
ANON2908140947457	17,104945	15
ANON19081021020119	17,219311	16
ANON19081021023020	17,25969	17
ANON1405131506494	17,705357	18
ANON1505130913032	17,904751	19
ANON2908140945032	18,161507	20
ANON1505131411501	18,326701	21
ANON1305141444202	18,610461	22
ANON19081021003117	18,918069	23
ANON1505131034599	19,316261	24
ANON2703131221277	19,59612	25
ANON290814947196	20,300082	26
ANON15051315472611	20,428631	27
ANON1505131406420	21,26566	28
ANON2908140948398	21,425397	29
ANON1405131524245	21,470677	30
ANON19081021035922	21,559926	31
ANON140513165114521	21,837746	32
ANON19081020584713	22,136327	33
ANON2908140944351	22,372049	34
ANON19081020595516	23,973965	35
ANON1505130924414	23,986253	36
ANON1305141500128	24,01841	37
ANON2908140945494	24,249826	38
ANON15051316241916	25,450401	39
ANON1908102055408	26,261572	40
ANON2908140947045	26,4136503	41
ANON1704130903508	27,057152	42
ANON15051310441910	27,344253	43
ANON1305141502569	27,634284	44
ANON2908140945173	28,251929	45
ANON19081021045523	28,501041	46
ANON1605131334712	28,679745	47
ANON14051316094413	29,481005	48
ANON19081020585814	32,164006	49
ANON1305141443520	39,456969	50
ANON16051311392213	41,738582	51
ANON1505130943320	46,967427	52
ANON19081020590815	49,212696	53
ANON16051312093316	55,565761	54
ANON1908102055489	66,807102	55

Annexe 12 : Tableau des amplitudes endocrâniennes chez les CONTROLE

## Amplitudes mandibulaires

Numéro d'anonymat	Amplitudes mandibulaires	Classement
ANON02081120061223	7,536505	1
ANON1605130935137	10,375858	2
ANON1605131025321	11,11377	3
ANON15051312081023	11,397726	4
ANON15051316102114	11,526103	5
ANON1605130945229	11,706255	6
ANON15051311270314	12,197689	7
ANON02081120053714	12,685717	8
ANON1505131019576	13,734728	9
ANON15051312144124	13,934766	10
ANON13111510011410	14,179057	11
ANON1905131024225	14,378207	12
ANON1505131425464	15,326382	13
ANON16051311260710	15,351046	14
ANON26031311534412	15,3964939	15
ANON0208112004579	15,520208	16
ANON1605130847441	15,716207	17
ANON1305141455047	16,061295	18
ANON02081120084857	16,596056	19
ANON1311150957049	16,795871	20
ANON2081120061926	16,867517	21
Anon02081120081447	17,9571	22
ANON1311510040611	18,053516	23
ANON1405131555509	18,225877	24
ANON1605131054145	19,287949	25
ANON1311150950265	20,035407	26
ANON2204131513542	20,144239	27
ANON1505131436166	20,7345	28
ANON15051316183515	21,13437	29
ANON02081120091863	21,410403	30
ANON1311150948534	24,536411	31
ANON0208112004294	24,711557	32
ANON1505131514498	24,85952	33
ANON2304131518070	25,397359	34
ANON1505131421053	25,484711	35
ANON1802141844230	25,506469	36
ANON1605131019410	26,926511	37
ANON22044131520563	27,90356	38
ANON2204131458500	30,849927	39
ANON1311150950596	32,400015	40
ANON1802141844230	36,32053	41
ANON02081120073944	41,758402	42
ANON1311150954208	45,203994	43

Annexe 13 : tableau des amplitudes mandibulaires chez les PFO

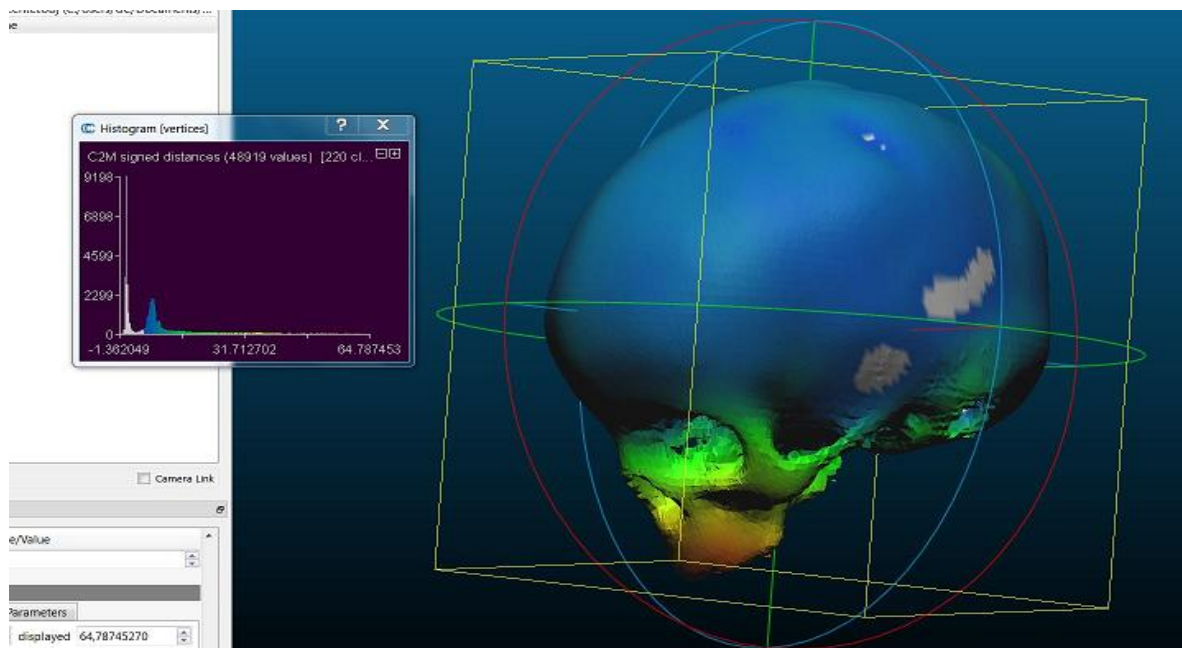
Numéro d'anonymat	Amplitudes mandibulaires	Classement
ANON1605131042074	5,739332	1
ANON16051309523011	9,182509	2
ANON1605130920575	9,28863	3
ANON16051309595913	9,936016	4
ANON1605130837340	10,760942	5
ANON1505131431235	10,880812	6
ANON1505131526169	10,986933	7
ANON15051311355915	11,142109	8
ANON02081120071539	11,281528	9
ANON16051311300911	11,377485	10
ANON1605131116028	12,050235	11
ANON15051316060213	12,364692	12
ANON1605130906044	12,461343	13
ANON15051316383718	13,240211	14
ANON02081120050910	13,378614	15
ANON1605130925156	13,462917	16
ANON16051309561512	13,483584	17
ANON1605131105467	13,497317	18
ANON15051311562920	16,636162	19
ANON15051312020921	17,65731	20
ANON15051311124113	18,528931	21
ANON1505131007214	22,827055	22
ANON1505130955512	24,03278	23
ANON17041309063911	27,90356	24
ANON1704130859474	29,554978	25

Annexe 14 : tableau des amplitudes mandibulaires chez les PO

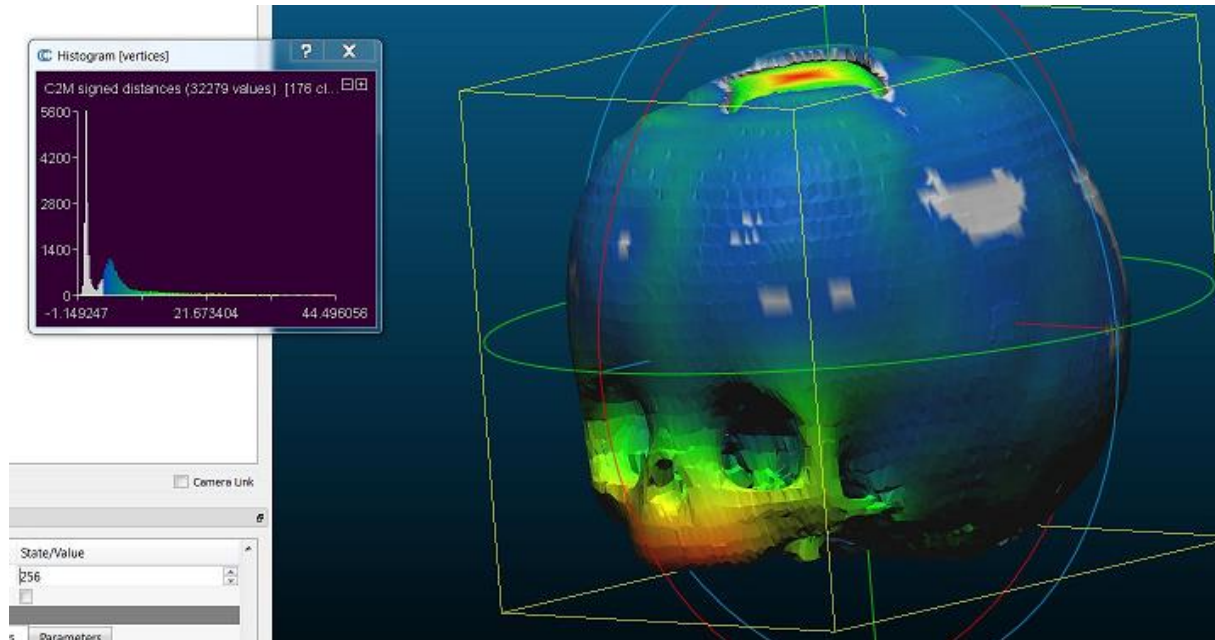
Numéro d'anonymat	Amplitudes mandibulaires	Classement
ANON26031311534412	7,755919	1
ANON15051312220825	8,378153	2
ANON1704130903508	11,437153	3
Anon1605131059516	11,658131	4
ANON15051310520011	12,60854	5
ANON140513165114521	12,88425	6
ANON1704130858142	13,074309	7
ANON15051315523912	14,311406	8
ANON1405131506494	14,377488	9
ANON15051316291917	15,090578	10
ANON1505131034599	16,336791	11
ANON1405131524245	16,429367	12
ANON1405131428220	16,552934	13
ANON16051311491014	18,07786	14
ANON2908140948398	18,173599	15
ANON16051312170317	18,391633	16
ANON1505130913032	18,485429	17
ANON15051315472611	18,953955	18
ANON1305141500128	19,871988	19
ANON2703131221277	20,014996	20
ANON1305141502569	20,017501	21
ANON1305141444202	21,162398	22
ANON1505130924414	22,620913	23
ANON14051316094413	23,234341	24
ANON14051316422619	25,318952	25
ANON1505130918423	26,1821064	26
ANON1605131429200	27,716687	27
ANON1305141443520	29,330552	28
ANON1605131453142	29,410974	29
ANON1605131334712	32,966253	30
ANON1605131441161	49,267287	31

Annexe 15 : tableau des amplitudes mandibulaires chez les CONTROLE

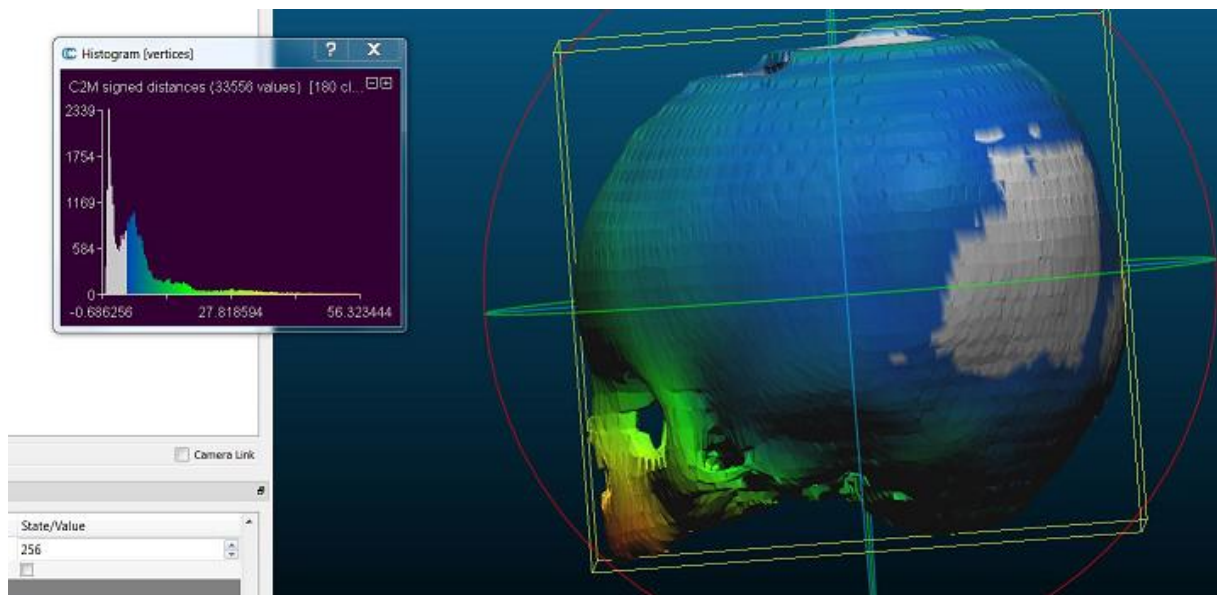
## Annexes Manipulations Complémentaires



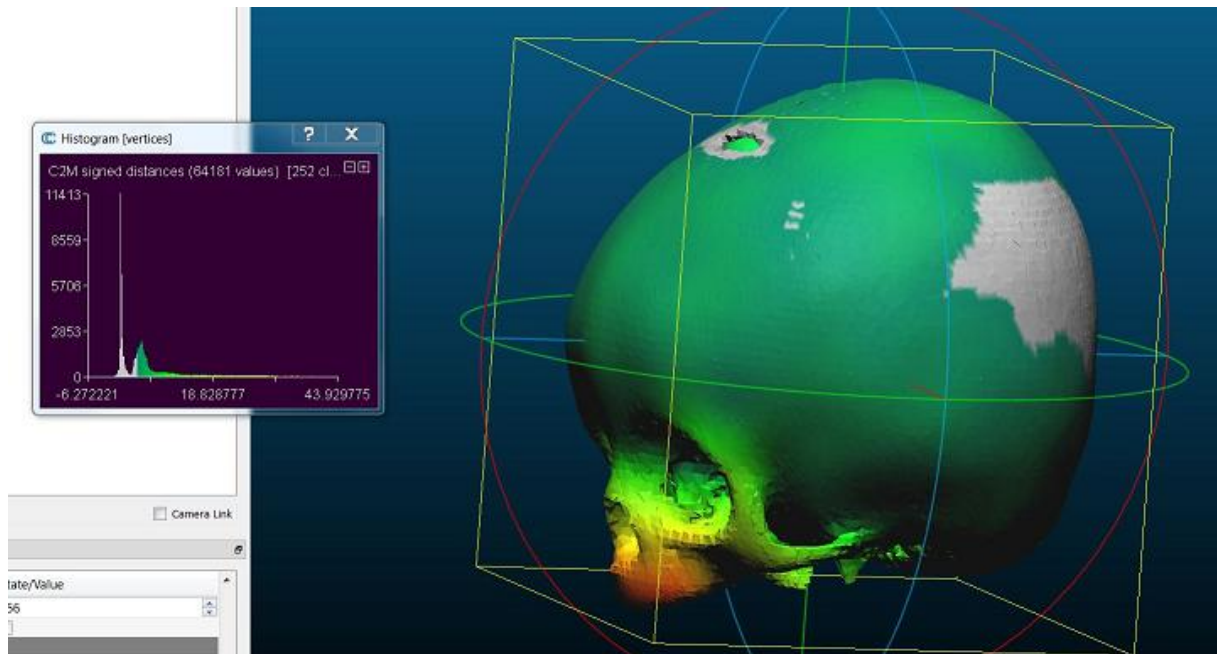
Annexe 16 : Maillage crâne-endocrâne d'un CONTROLE et sa carte de distance associée



Annexe 17 : Maillage crâne-endocrâne d'un CONTROLE et sa carte de distance associée



Annexe 18 : Maillage crâne-endocrâne d'un CONTROLE et sa carte de distance associée



Annexe 19 : Maillage crâne-endocrâne d'un CONTROLE et sa carte de distance associée