

Etude des déformations mandibulaires dans les plagiocéphalies sans synostose

Rapport de stage de Master 1 TIC et Santé- 2012/2013

Etudiant :

M. Salim CHARIF

Tuteurs de stage :

Pr. Guillaume CAPTIER

Pr. Gérard SUBSOL

Responsable pédagogique :

Pr. Emmanuel Le Clézio

Sommaire

Sommaire	3
Remerciements.....	5
INTRODUCTION	6
PARTIE 1 : CONTEXTE MEDICAL DE L'ETUDE.....	7
I- Qu'est-ce que la plagiocéphalie ?.....	7
I-1 Définition.....	7
I-2 Etiologie.....	7
I-3 Classification.....	8
I-4 Diagnostic et traitement.....	9
II- Etat de l'art des déformations mandibulaires dans les plagiocéphalies	10
II-1 Généralités sur les déformations mandibulaires.....	10
II-2 Les déformations mandibulaires dans les plagiocéphalies	11
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES.....	16
I- Vue d'ensemble de l'étude	16
I-1 Intérêts et objectifs de l'étude	16
I-2 Echantillon étudié	17
I-3 Etapes de l'étude	18
II- Segmentation des images de scanner	19
II-1 Le logiciel Myrian®	19
II-2 Segmentation de la mandibule par rapport au crane.....	19
II-3 Segmentation de la mandibule en 2 hémi-mandibules	21
II-4 Calcul des volumes.....	23
III- Recalage des hémi-mandibules droite et gauche	24
III-1 Le logiciel Meshlab.....	24
III-2 Inversion en miroir de l'hémi-mandibule gauche	24
III-3 Le recalage hémi-mandibulaire.....	25
IV- Mesure de l'asymétrie.....	29
IV-1 Le logiciel CloudCompare	29
IV-2 Calcul des distances d'asymétrie	29
IV-3 Choix d'une variable représentative de l'asymétrie.....	30
PARTIE 3 : RESULTATS.....	34
I- Ajustement et organisation des données :.....	34
I-1 Ajustement des distances	34

I-2 Organisation des données	34
II- Analyses statistiques	36
II-1 Tests de normalité des distributions	36
II-2 Tests de comparaison des groupes.....	37
II-3 Tests de corrélation.....	40
DISCUSSION	43
Bibliographie.....	44

Remerciements

J'aimerais remercier mes tuteurs de stage : le Professeur Guillaume Captier de m'avoir sollicité pour ce projet passionnant et pour la confiance qu'il m'a accordé durant ce stage, et le Professeur Gérard Subsol pour son soutien pédagogique précieux.

Je tiens à remercier mon responsable pédagogique le Professeur Emmanuel Le Clézio pour son soutien continu depuis le début de ma double formation STIC Santé-médecine qu'il a rendue possible par ses efforts.

INTRODUCTION

Mon stage de Master 1 STIC et Santé se déroule au sein du service de Chirurgie Orthopédique Pédiatrique au CHRU Lapeyronie. Mes tuteurs de stages sont le Pr Guillaume Captier chef du service où j'effectue mon stage, et son collaborateur le Pr. Gérard Subsol, chercheur au LIRMM de Montpellier.

Mes travaux lors de ce stage se focalisent sur l'étude des déformations mandibulaires dans les déformations crâniennes appelées « plagiocéphalies sans synostose » et concernant majoritairement les nourrissons. Cette étude vient compléter une étude précédente du même type réalisée sur l'étude des déformations crâniennes. L'objectif étant d'établir un lien entre ces déformations crâniennes et d'éventuelles déformations mandibulaires associées afin de les anticiper et de mieux prévenir les complications de ces déformations mandibulaires en pédiatrie, voire même en orthodontie.

L'étude est morphométrique puisque j'effectue des mesures morphologiques par le biais d'outils informatiques sur des images de scanner reconstituées en 3D. Il s'agit donc d'un travail minutieux et sérieux car pouvant faire l'objet d'une publication de recherche dans la littérature médicale.

PARTIE 1 : CONTEXTE MEDICAL DE L'ETUDE

I- Qu'est-ce que la plagiocéphalie ?

I-1 Définition

La plagiocéphalie (du grec "plagios" = oblique et "kephalê" = tête) est une déformation crânienne survenant chez le nourrisson.

Il existe deux grands types de plagiocéphalies ^[1,3,4]:

- Les **plagiocéphalies par synostose**, causées par des fermetures prématurées d'une ou plusieurs sutures crâniennes. Elles sont plus rares et surviennent dès la naissance ^[1,5]. Celles-ci ne feront pas l'objet de notre étude.

- Les **plagiocéphalies sans synostose**, aussi appelées déformations posturales ou positionnelles ^[1,2,3]. Elles sont beaucoup plus fréquentes et souvent bénignes et surviennent dans les premières semaines de la vie tandis que le crâne était normal à la naissance. Elles peuvent alors devenir plus sévères ou s'améliorer avec le temps ^[1,4]. Celles-ci feront l'objet de notre étude.

I-2 Etiologie

Les facteurs de risques des plagiocéphalies sont mal connus, malgré une augmentation de l'incidence.

Certaines études pensent que ces déformations proviennent de forces externes (prénatales ou postnatales ^[2,3,4] ou bien périnatales ^[3]) qui modèleraient le crâne durant les premiers mois de la vie ^[1,5,6,7].

Le facteur de risque le plus probable est la position allongée sur le dos car durant les premiers mois de la vie, le nourrisson bouge très peu sa tête ce qui risque de causer un aplatissement unilatéral de la voute crânienne. La campagne « Back to Sleep » de l'AAP (American Academy of Pediatrics), qui recommande de positionner les bébés sur le dos pour éviter la mort subite du nourrisson, s'est accompagnée d'une forte augmentation de la fréquence des déformations posturales du crane ^[1,3,5]. L'étude du Pr. G. Captier ^[10] conclut que les déformations survenaient in-utero ou chez le nouveau-né et la position allongée aggrave la déformation et la traction et la compression du muscle du cou sont des facteurs mécaniques responsables car chez les enfants atteints de plagiocéphalie, on retrouve souvent des torticolis ^[1,3,4,5,6] par contraction du muscle sterno-cléido -mastoïdien (muscle pair du cou tendu verticalement, entre la clavicule et le sternum en bas et la mastoïde de l'os temporal et l'os occipital en haut).

D'autres facteurs de risques sont aussi évoqués comme les grossesses avec assistance, la gémellité, ou des problèmes intra-utérin.

Ces déformations sont souvent considérées comme des conditions bénignes, ayant des conséquences essentiellement cosmétiques au niveau du crâne et du visage.

I-3 Classification

On distingue trois formes de plagiocéphalies sans synostose (Cf. figure 1) :

1. les **plagiocéphalies occipitales (PO)** : le méplat crânien est localisé unilatéralement à l'arrière du crâne seulement (au niveau de l'os occipital) ce qui résulte en une asymétrie postérieure.

Plagiocéphalie occipitale

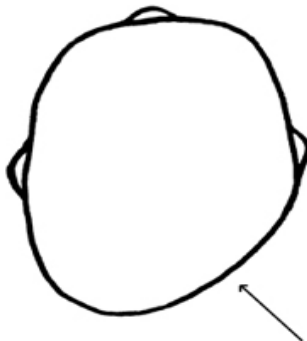
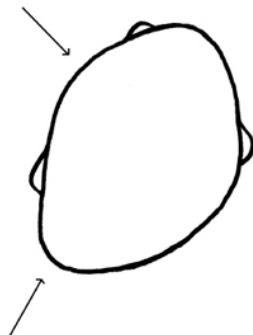


Figure 1

2. les **plagiocéphalies fronto-occipitales (PFO)** : le méplat est localisé unilatéralement à l'arrière du crâne (os occipital) et forme une bosse frontale à l'avant du même côté (os frontal) ce qui résulte en une asymétrie postérieure et antérieure. La déformation est dite en parallélogramme.

Plagiocéphalie fronto-occipitale



3. les **brachycéphalies postérieures (BP ou platycéphalie)** : le méplat est à peu près central à l'arrière du crâne et le crâne reste plus ou moins symétrique ^[1,5].



I-4 Diagnostic et traitement

Chaque déformation a présentes ses caractéristiques sémiologiques spécifiques.

Si le crâne est asymétrique : il s'agit d'une PO ou d'une PFO.

Si le crâne est raccourci et symétrique : il s'agit d'une BP.

Lorsque le crâne est allongé on peut suspecter une craniosténose.

Il faut observer d'abord observer l'asymétrie entre les deux oreilles. Pour les brachycéphalie le crâne est large et proéminent au-dessus des oreilles.

Vu du dessus, il faut chercher une asymétrie entre le côté gauche et le côté droit. Et rechercher le méplat unilatéral à l'arrière du crâne pour les PO, et une déformation frontale homolatérale pour les PFO.

Vu de profil, il faut rechercher un méplat à l'arrière du crâne et éventuellement une protubérance frontale pour les PFO.

Il faut ensuite distinguer les déformations posturales et les craniosténoses, car le traitement est postural pour l'un et chirurgical pour l'autre^[1,2,3,11].

Il est nécessaire d'émettre le diagnostic dès les premiers soins pédiatriques afin de détecter au plus tôt la déformation et mettre en place un traitement efficace^[1].

Il existe différentes thérapies posturales préventives et curatives tel que la thérapie par casque pour laquelle une étude a montré une amélioration de l'asymétrie au cours du temps. Cependant très peu d'études thérapeutiques ont été menées sur le sujet^[9]. Une bonne évaluation de la déformation et de l'asymétrie reste néanmoins indispensable pour choisir le casque le mieux adapté.

II- Etat de l'art des déformations mandibulaires dans les plagiocéphalies

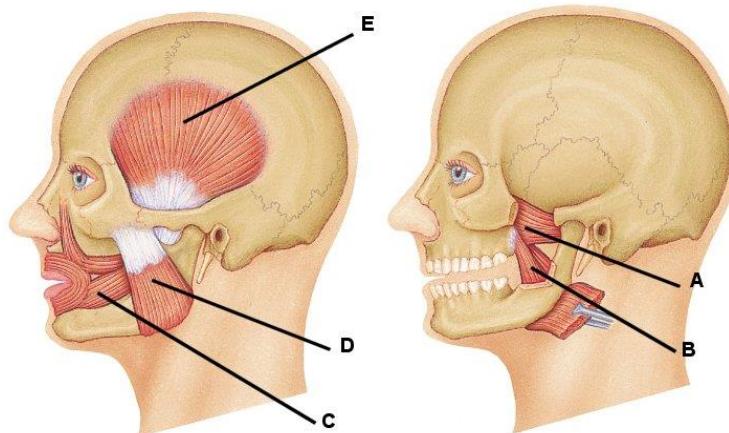
II-1 Généralités sur les déformations mandibulaires

Les déformations mandibulaires sont très communes dans la population, et se manifestent cliniquement par la déviation latérale de la mandibule or elles sont souvent sous-diagnostiquées^[12].



a- Les asymétries idiopathiques

Dans la plupart des cas ces asymétries mandibulaires sont idiopathiques puisqu'il est difficile de leur attribuer une cause. Des études ont montré que la mandibule est un os intrinsèquement asymétrique, donc les déformations mandibulaires auraient une composante physiologique : il s'agirait de variations anatomiques naturelles de la mandibule. La mandibule est sujette à des adaptations fonctionnelles pendant la croissance, répondant à la nécessité de garder une occlusion dentaire symétrique malgré une éventuelle asymétrie dentaire. Ces adaptations physiologiques se réalisent au cours de la croissance par l'intermédiaire des muscles de l'appareil masticateur (muscle temporal, muscle masséter et muscle ptérygoïdien) qui s'insèrent sur la mandibule au niveau du ramus (branche verticale)^[13].



Une étude du Pr. G. Captier a mesuré les asymétries des différentes zones mandibulaires de mandibules prélevées sur les cadavres de sujets sains. Elle a conclu que les asymétries mandibulaires physiologiques étaient localisées sur le ramus^[13], zone d'insertion de l'appareil masticateur, appuyant l'hypothèse de l'asymétrie physiologique due aux adaptations fonctionnelles.

b- Les asymétries pathologiques

Mais il existe parfois des causes pathologiques sous-jacentes aux déformations mandibulaires qu'il est nécessaire d'identifier le cas échéant. Ces causes de déformations ont été classées en deux catégories^[12] :

1- Anomalies du condyle de la mandibule (surface articulaire cranio-mandibulaire)

par exemple : une fracture, une hyperplasie ou une arthrite condylienne.

2- Déformations de la base du crane entraînant un déplacement de l'articulation temporo-mandibulaire, notamment dans les plagiocéphalies.

C'est la catégorie de déformation mandibulaire qu'on cherchera à caractériser au cours de cette étude, plus spécifiquement dans les plagiocéphalies posturales : les plagiocéphalies sans synostose (PSS).

II-2 Les déformations mandibulaires dans les plagiocéphalies

Deux études principales dans la littérature ont été menées pour étudier l'impact des PSS sur l'asymétrie mandibulaire : une étude anthropométrique et une étude morphométrique.

a- L'étude de D. St John [14]

Des mesures anthropométriques cranio-faciales ont été effectués à l'aide d'un compas sur un échantillon de 27 enfants atteints de plagiocéphalie occipitale (PO), afin d'évaluer deux types de déformations mandibulaires :

1. les déformations dites primaires : déformations osseuses intrinsèques des dimensions anatomiques entre les 2 héli-mandibules.



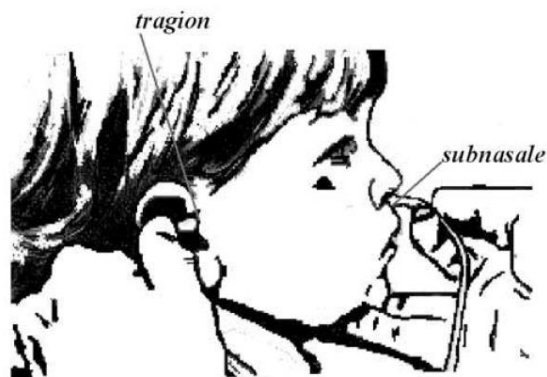
Dans cette optique, 3 dimensions furent mesurées à l'aide du compas (cf. figure ci-dessous) : la hauteur du ramus (branche verticale) par la distance **A** entre le condyle et le gonion, la longueur du corpus (corps horizontal) par la distance **B** entre le gonion et le gnathion, et la distance **C** entre le condyle et le gnathion. Enfin l'angle mandibulaire **C** a été calculé par le théorème d'Al-Kashi (loi des cosinus).

L'analyse statistique a montré qu'aucune de ces mesures n'étaient significativement différentes entre les côtés droit et gauche chez ces PO.

Ceci indique que la PO n'induit pas de déformation intrinsèque osseuse de la mandibule.

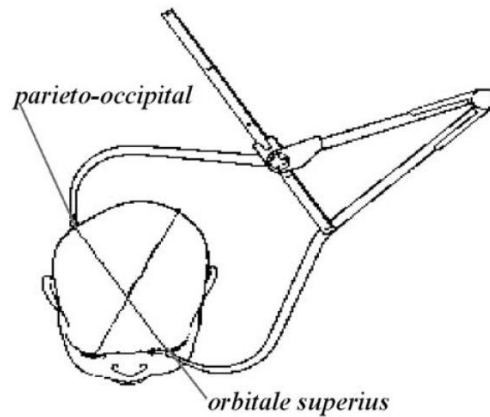
2. Les déformations dites secondaires : des modifications positionnelles de la mandibule comme un déplacement ou décalage.

Le déplacement antérieur des héli-mandibules a été évalué en mesurant la distance entre le tragus (correspondant à la position auriculaire qui représente celle de l'articulation temporo-mandibulaire) et la fosse subnasale.



L'analyse statistique a montré un déplacement antérieur significatif de l'articulation temporo-mandibulaire du côté du méplat crânien par rapport au coté controlatéral.

La sévérité de l'asymétrie crânienne a également été évaluée en mesurant la différence entre 2 distances transversales du crane : la distance entre le milieu du bord supra orbitaire et son point symétrique pariéto-occipital, pour chaque côté droit et gauche. Une corrélation positive significative fut établie entre la sévérité de l'asymétrie crânienne et l'amplitude du déplacement antérieur de l'articulation temporo-mandibulaire.



L'étude suggère donc que la PO induit une asymétrie positionnelle par un déplacement antérieur de la mandibule du côté du méplat, expliquant les observations cliniques d'une déviation mandibulaire latérale vers le côté controlatéral au méplat crânien.

b- L'étude du Pr. G. Captier ^[15]

Des mesures morphométriques ont été effectuées sur 84 scanners tridimensionnels d'enfants atteints de PFO de PO et de BP, afin d'évaluer l'asymétrie intrinsèque et le déplacement de la mandibule par rapport à la base du crane en fonction de l'asymétrie crânienne.

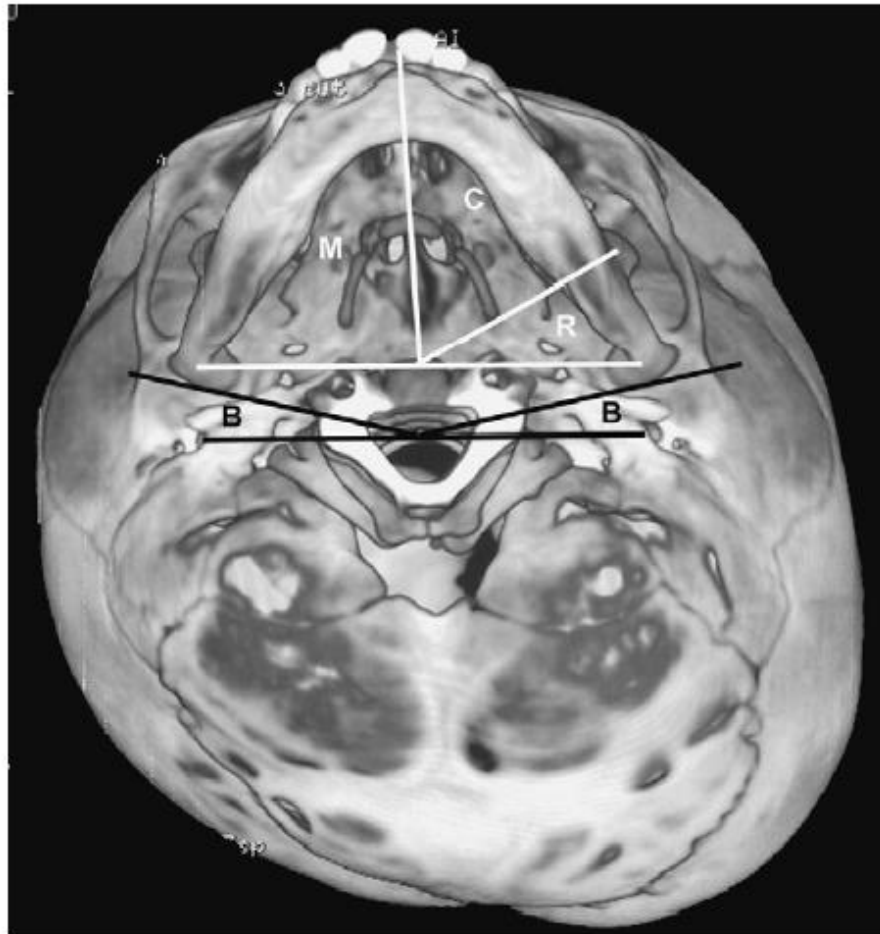


Figure 2. Vue inférieure du crâne montrant les différents angles mesurés : l'angle base du crâne-condyles mandibulaires (B), l'angle du ramus (R), l'angle du corpus (C) et l'angle hémimandibulaire (M).

- L'asymétrie positionnelle de la mandibule par rapport à la base du crane fut évaluée en calculant la différence droite-gauche entre les angles cranio-mandibulaires **B** (entre le condyle mandibulaire et la ligne basicranienne bitympanale).

Cette différence n'était pas significative chez les 3 types de plagiocéphalie, suggérant comme dans l'étude de D. St John que les condyles mandibulaires se déplacent suivant la déformation de la base du crâne donc que l'asymétrie positionnelle de la mandibule correspond à l'asymétrie de la base du crâne (c'est-à-dire un décalage vers l'avant du côté du méplat). Ceci confirme le choix de

la position auriculaire comme un bon marqueur du déplacement mandibulaire dans l'étude de D. St John.

- L'asymétrie intrinsèque fut évaluée en calculant la différence droite-gauche entre les angles hémi-mandibulaires **M** (entre le condyle et le gnathion) puis les angles du Ramus **R** (entre le condyle et le gonion), puis les angles du corpus **C** (entre le gonion et le gnathion).

Cette différence n'était pas significative dans les PO et les BP, donc la mandibule restait symétrique dans les PO et les BP.

Par contre dans les PFO, l'angle hémi-mandibulaire **M** était significativement asymétrique : l'angle du corpus **C** était asymétrique, tandis que l'angle du ramus **R** restait symétrique.

Dans 2/3 de ces PFO, les angles **M** et **C** sont supérieurs du côté controlatéral au méplat : l'asymétrie intrinsèque serait donc de sens opposé à l'asymétrie positionnelle, suggérant qu'il s'agit d'une asymétrie adaptative par un allongement du corpus pour compenser la déviation mandibulaire controlatérale.

Dans 1/3 de ces PFO, les angles **M** et **C** sont supérieurs du côté ipsilatéral, l'asymétrie intrinsèque mandibulaire aggravant l'asymétrie positionnelle.

Ces mécanismes adaptatifs restent difficiles à interpréter.

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

I- Vue d'ensemble de l'étude

I-1 Intérêts et objectifs de l'étude

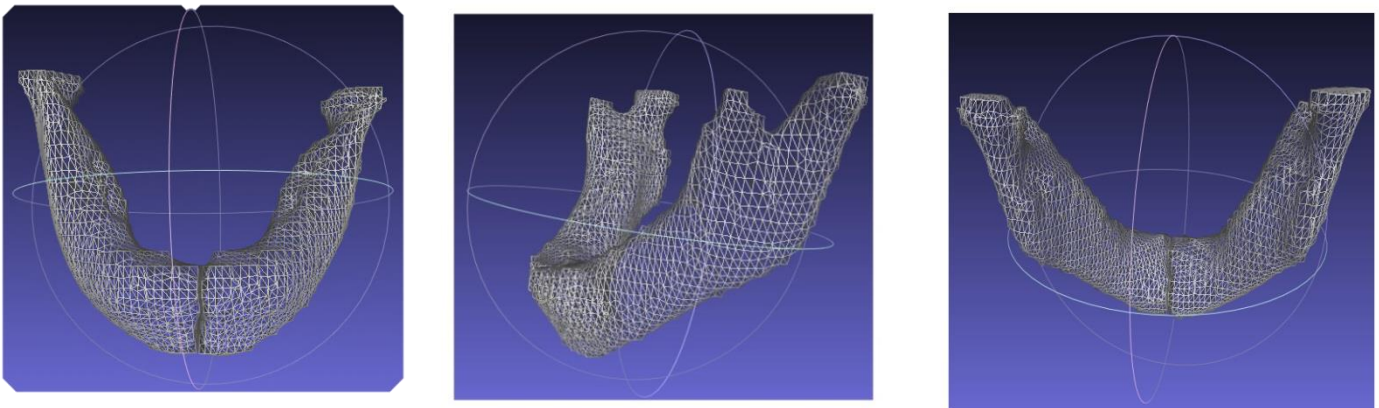
Cette étude applique une nouvelle méthode morphométrique informatique sur un grand échantillon d'enfants plagiocéphaliques et d'enfants sains.

Cette approche informatique permet d'analyser les déformations mandibulaires sur l'intégralité de l'os mandibulaire point par point, et non uniquement en certains points ou pour certaines distances ou angles comme les études précédentes. En outre, un plus grand échantillon est étudié incluant des enfants sains ce qui permet d'effectuer une étude comparative de la mandibule entre les plagiocéphaliques et les sains afin d'évaluer l'impact réel de la plagiocéphalie sur la mandibule.

A partir d'images de scanner tridimensionnelles, un ensemble de logiciels informatiques est utilisé pour extraire un maillage triangulaire de points représentant la mandibule dont les asymétries droite-gauche sont ensuite évaluées point par point.

On étudie donc exclusivement l'asymétrie intrinsèque de la mandibule, non pas l'asymétrie positionnelle.

Le but étant de confirmer ou d'infirmer les résultats des précédentes études, et de les approfondir.



Donc dans un premier temps, des études quantitatives statistiques sur les données d'asymétrie obtenues peuvent permettre de confirmer s'il existe une asymétrie mandibulaire plus marquée chez les plagiocéphaliques que chez les sains. Puis une corrélation avec l'asymétrie crânienne et avec l'âge peuvent être recherchées.

Dans un deuxième temps, une étude qualitative peut évaluer les localisations les plus favorables pour les asymétries le long de la surface mandibulaire afin de tenter de mieux élucider les mécanismes entrant en jeu dans les déformations.

I-2 Echantillon étudié

Mon tuteur de stage le Pr. Guillaume Captier, responsable du service de chirurgie orthopédie plastique pédiatrique à l'hôpital Lapeyronie, a mis à ma disposition une base de données de 169 CT-scans de crânes déformés (résolution d'environ 1mm) réalisés à partir de 1988 et anonymisés. Les dates d'examen et les dates de naissances sont indiquées pour chaque patient, ce qui a permis de déduire leur âge.

A partir de cette base de données, j'ai constitué mon échantillon d'étude selon les critères d'inclusion suivants :

- Les déformations crâniennes diagnostiquées comme une PFO
- Les déformations crâniennes diagnostiquées comme une PO
- Les déformations crâniennes diagnostiquées comme une BP
- Les déformations crâniennes sans aucune déformation
- Les images de scanner faisant apparaître intégralement la mandibule du patient

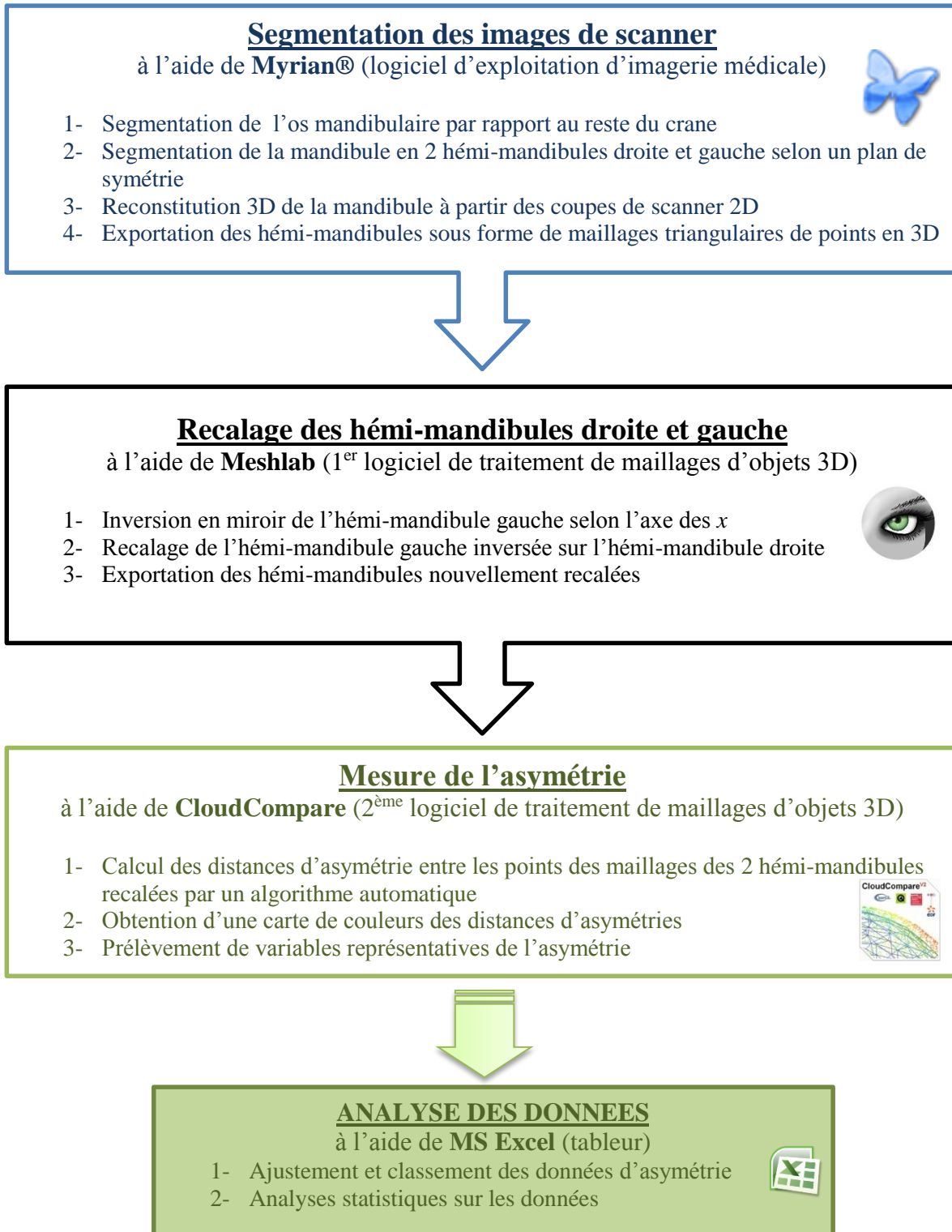
Au total, 89 patients enfants et adultes furent inclus dans l'échantillon dont 26 sains, 27 PFO, 24 PO et 12 BP.

Voici le détail ci-dessous :

Echantillon étudié	SAINS	PFO	PO	BP	TOTAL
0 à 3 ans	15	16	24	10	65
4 à 18 ans	8	11	0	2	21
Adultes	3	0	0	0	3
TOTAL	26	27	24	12	89

I-3 Etapes de l'étude

Le pipeline ci-dessous illustre les différentes étapes d'application des outils informatiques qui m'ont permis d'obtenir mes données d'asymétrie. Cet enchainement sera répété pour chaque patient de l'échantillon, donc 89 fois au total.



II- Segmentation des images de scanner

II-1 Le logiciel Myrian®

Cette étape nécessite Myrian®, un logiciel propriétaire développé par Intrasense®¹ pour l'usage des professionnels de santé dans les hôpitaux.

Il permet notamment de faire des reconstitutions 3D à partir de coupes de scanner, et d'effectuer des segmentations de structures anatomiques.

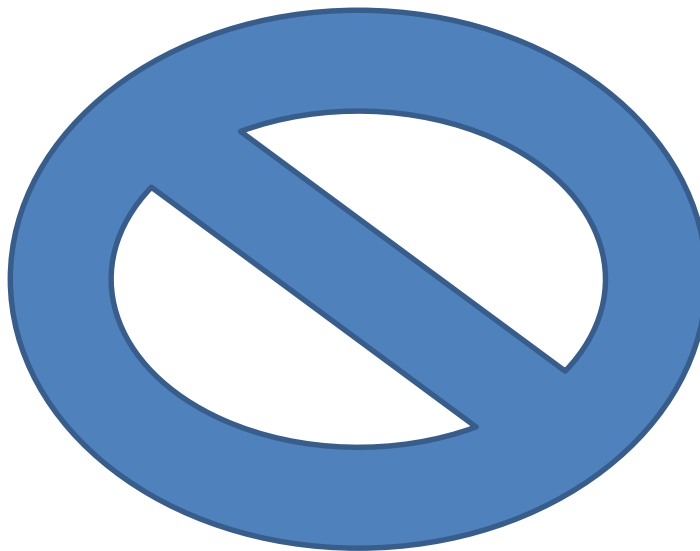
J'y ai eu accès à travers le poste informatique du service hospitalier où j'effectuais mon stage.



II-2 Segmentation de la mandibule par rapport au crane

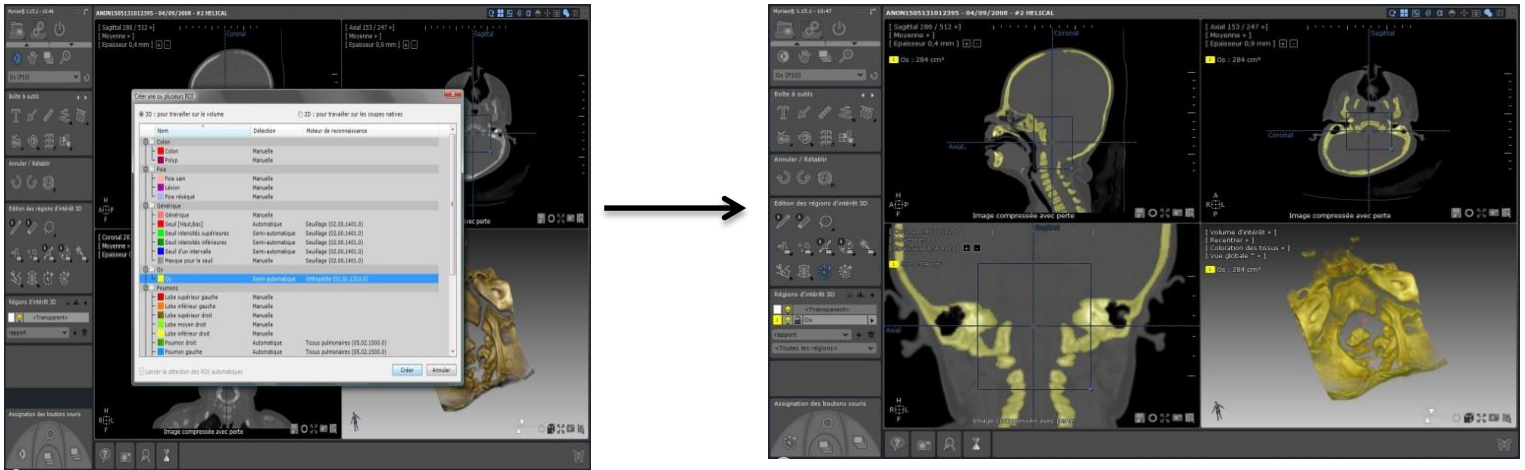
a- Segmentation semi-automatique

Pour travailler sur les coupes de scanner dans Myrian®, il faut tout d'abord se placer en mode de fenêtrage osseux où l'échelle de niveaux de gris serait centrée autour de 1000 UH (Unités Hounsfield). Ceci afin de faire ressortir au mieux les structures osseuses par rapport aux autres structures (tissulaires, liquidiennes, aériennes, etc).



¹ <http://www.intrasense.fr/>

Par la suite, nous pouvons effectuer grâce au logiciel une segmentation par seuillage de la mandibule dite « semi-automatique »: il suffit de sélectionner un point de l'image situé à l'intérieur de l'os mandibulaire et on obtient automatiquement une région d'intérêt (ROI ou Region Of Interest) en 3D incluant tous les voxels (*Volumetric Picture Element*) contigus qui portent le même niveau de gris que le point sélectionné.

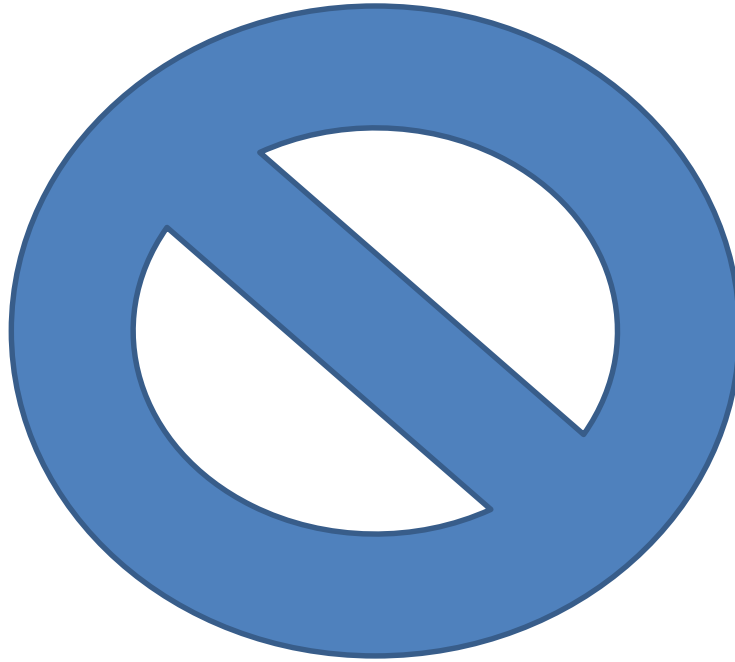


Or l'os de la mandibule et le reste du crâne sont reliés au niveau des articulations temporo-mandibulaires et parfois au niveau des dents si le patient a la bouche fermée. La segmentation par seuillage est incapable d'identifier ces frontières et ressort toujours une ROI englobant la mandibule et le crâne.



b- Segmentation manuelle

Cette segmentation semi-automatique est donc malheureusement insuffisante et il est nécessaire de la compléter manuellement : à l'aide de l'outil « gomme » dans Myrian®, il faut effacer les voxels à la frontière de l'articulation temporo-mandibulaire et de l'occlusion dentaire. Il s'agit d'un travail minutieux qu'il faut effectuer coupe par coupe tout en veillant à préserver



les structures mandibulaires. Le plus pratique est de le faire sur les coupes transversales. Une fois les frontières cranio-mandibulaires gommées, la ROI initiale se trouve alors séparée en deux et l'on se retrouve avec une ROI mandibulaire séparée de reste du crâne. On peut alors avec l'outil « pinceau » la colorier d'une autre couleur pour visualiser la séparation.

II-3 Segmentation de la mandibule en 2 héli-mandibules

Cette étape consiste à séparer la ROI mandibulaire en 2 ROI héli-mandibulaires droite et gauche.

Il est important de les séparer selon un plan de symétrie adapté. Nous avons choisi un plan de symétrie anatomique : le plan de la symphyse mandibulaire (articulation ossifiée entre les deux héli-mandibules au niveau du menton). Deux repères anatomiques ont permis de définir ce plan : il doit passer entre les 2 dents incisives et par le gnathion (épine mentonnaire antérieure).

Myrian a permis de reconstituer un coupe de scanner 2D selon ce plan, et l'outil gomme a ensuite été appliqué pour effacer les voxels se trouvant dans ce plan.



Nous obtenons ainsi une ROI hémi-mandibulaire droite et une ROI hémi-mandibulaire gauche. On les colorie différemment avec l'outil « pinceau » pour vérifier visuellement s'ils ont bien été séparés.

Nous procédons ensuite, grâce à une fonction dans Myrian®, à l'exportation des ROI hémi-mandibulaires sous forme de maillages triangulaires de points.



Ces objets sont au format « .obj » où les coordonnées des sommets et des faces sont codées au format ASCII.

```
v 87.883410 62.187498 -54.967727
v 88.790996 62.187498 -54.849971
v 89.984385 62.187498 -54.759681
v 91.275264 62.187498 -54.742290
v 92.586810 62.187498 -54.803428
```

Coordonnées des points de l'objet

```
vn -0.374785 -0.717396 0.587265
vn -0.137162 -0.805500 0.576504
vn -0.055648 -0.817751 0.572875
vn 0.028811 -0.833915 0.551141
vn 0.410570 -0.761485 0.501570
```

Coordonnées vecteurs normaux aux faces de l'objet
(orientation des faces)

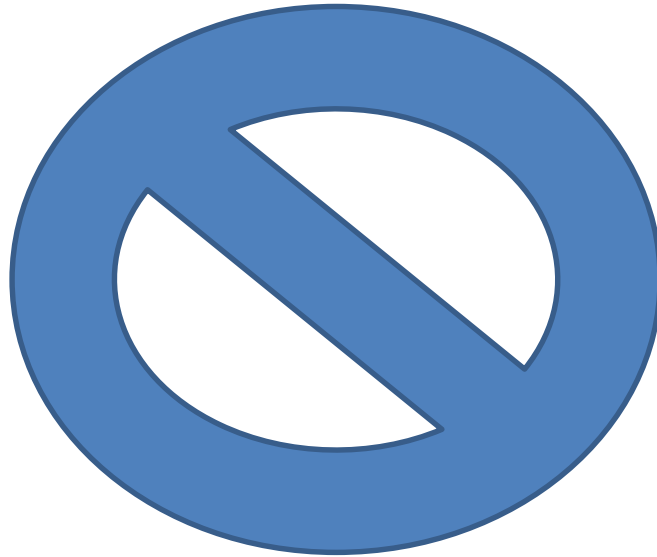
```
f 1//1 2//2 50//50
f 50//50 7//7 1//1
f 1//1 7//7 2//2
f 2//2 3//3 51//51
f 2//2 8//8 3//3
```

Coordonnées des faces de l'objet

II-4 Calcul des volumes

Les volumes des ROI dans Myrian® sont automatiquement calculés, il suffit ensuite de les recueillir pour chaque ROI (pour chaque l'hémi-mandibule gauche et droite).

La mesure des volumes servira à l'ajustement des distances d'asymétrie sur le volume mandibulaire, pour que celles-ci deviennent plus comparables (cf. PARTIE 3 : I-1).



III- Recalage des hémi-mandibules droite et gauche

III-1 Le logiciel Meshlab

Cette étape utilise Meshlab, un logiciel libre gratuitement t l chargeable². Il nous permettra de manipuler des objets 3D sous formes de maillages au format « .obj ».

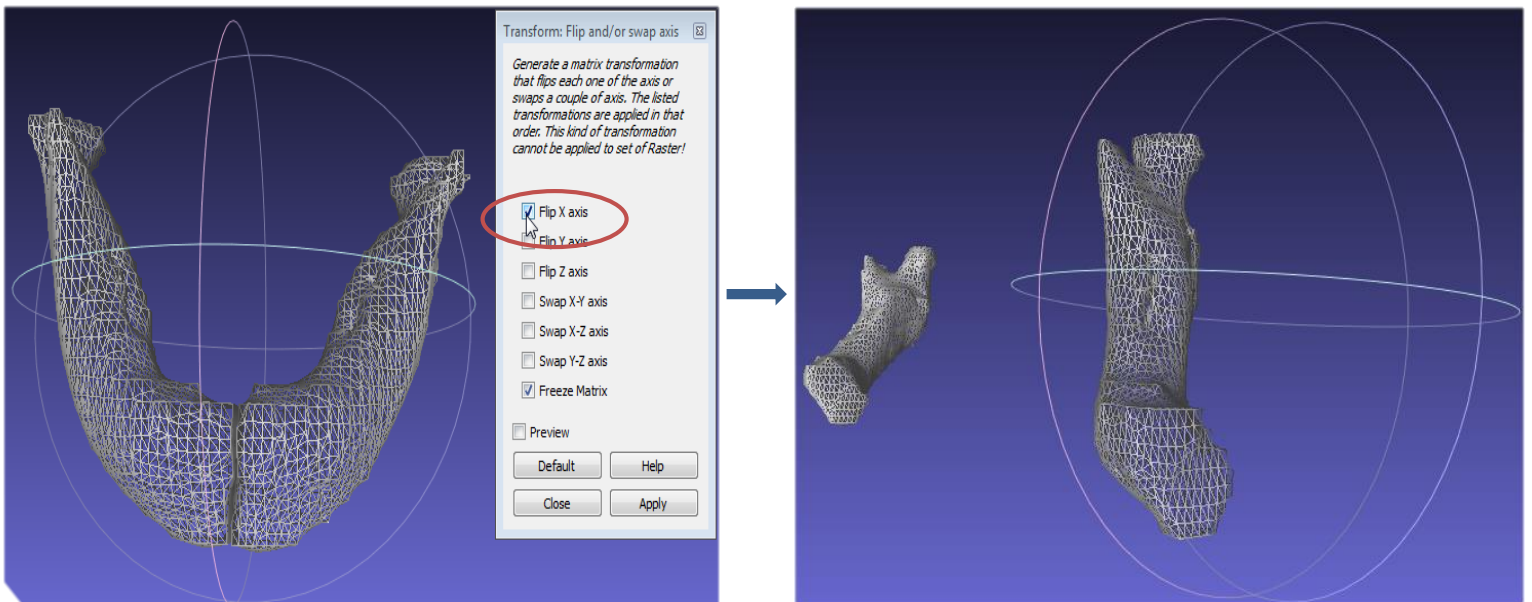


III-2 Inversion en miroir de l'hémi-mandibule gauche

Après importation des maillages hémi-mandibulaires dans Meshlab, avant de pouvoir les recalcr il est nécessaire d'inverser l'orientation de l'une d'entre elles pour qu'elles deviennent superposables.

J'ai décidé de toujours inverser l'hémi-mandibule gauche afin de la recalcr sur l'hémi-mandibule droite qui gardera sa position initiale.

Pour cela, j'ai appliqué une transformation qui inverse le sens de l'axe des abscisses x pour l'hémi-mandibule gauche.



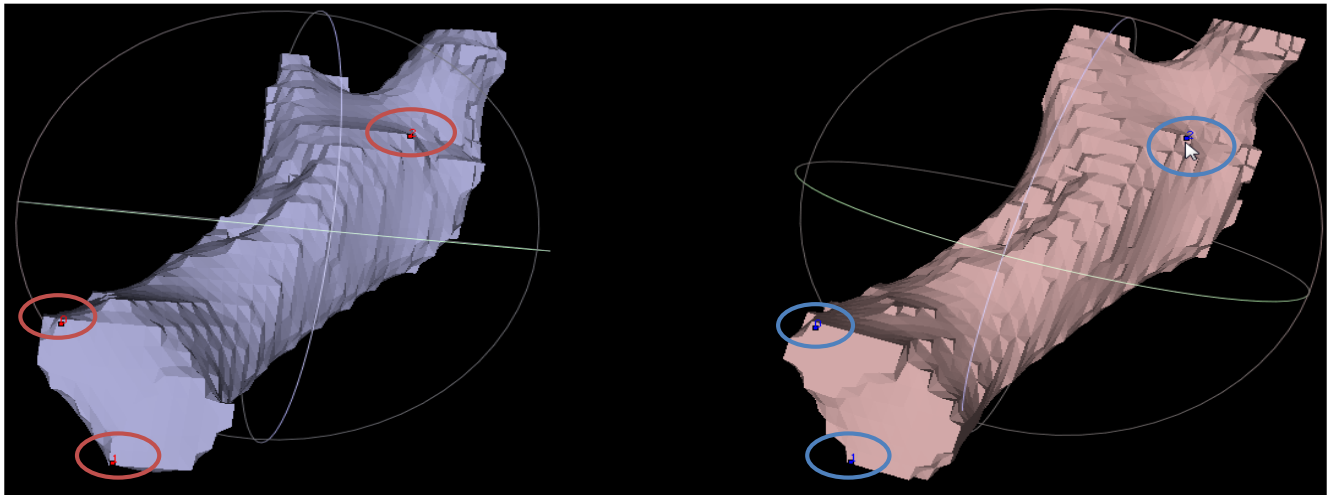
L'hémi-mandibule gauche est dorénavant plus aisément superposable à la droite pour le recalage.

² Téléchargement gratuit au lien suivant : <http://meshlab.sourceforge.net/>

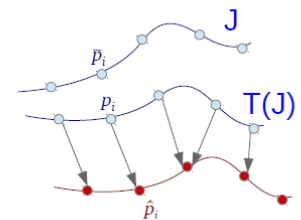
III-3 Le recalage hémi-mandibulaire

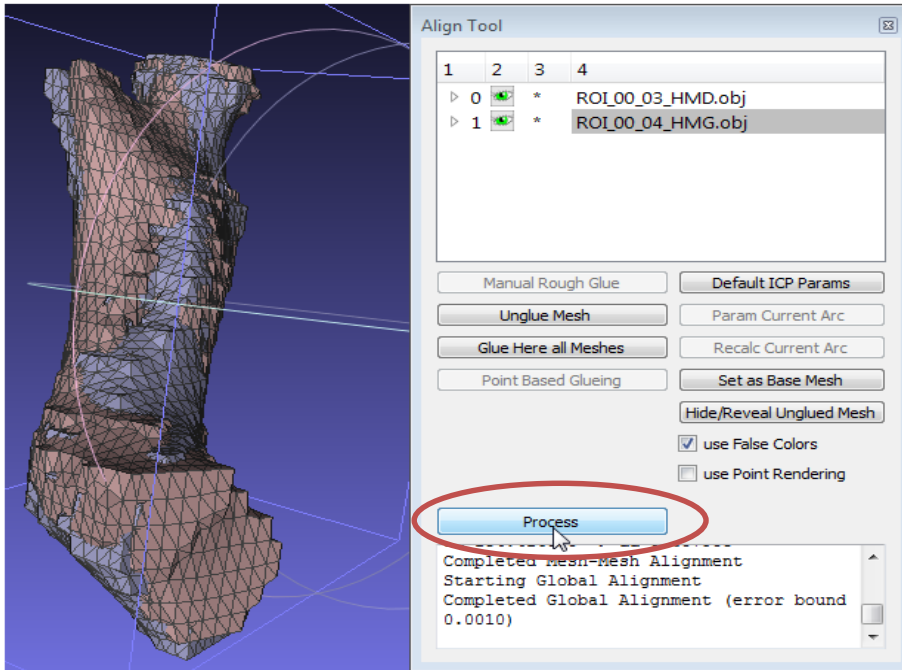
a- le recalage semi-automatique

Pour initialiser le recalage il faut d'abord sélectionner manuellement quelques points correspondants entre les 2 objets à recaler.



On pourra ensuite appliquer répétitivement autant de fois que nécessaire une fonction de Meshlab qui exécute un algorithme de recalage itératif : l'algorithme ICP (Iterative Closest Point algorithm) qui va chercher à minimiser la distance entre une majorité de points les plus proches entre les 2 objets.





N.B : La transformation appliquée est rigide, c'est-à-dire qu'elle n'autorise que la translation et la rotation de l'objet à recaler mais pas sa déformation, de manière à préserver les distances d'asymétrie entre les objets.

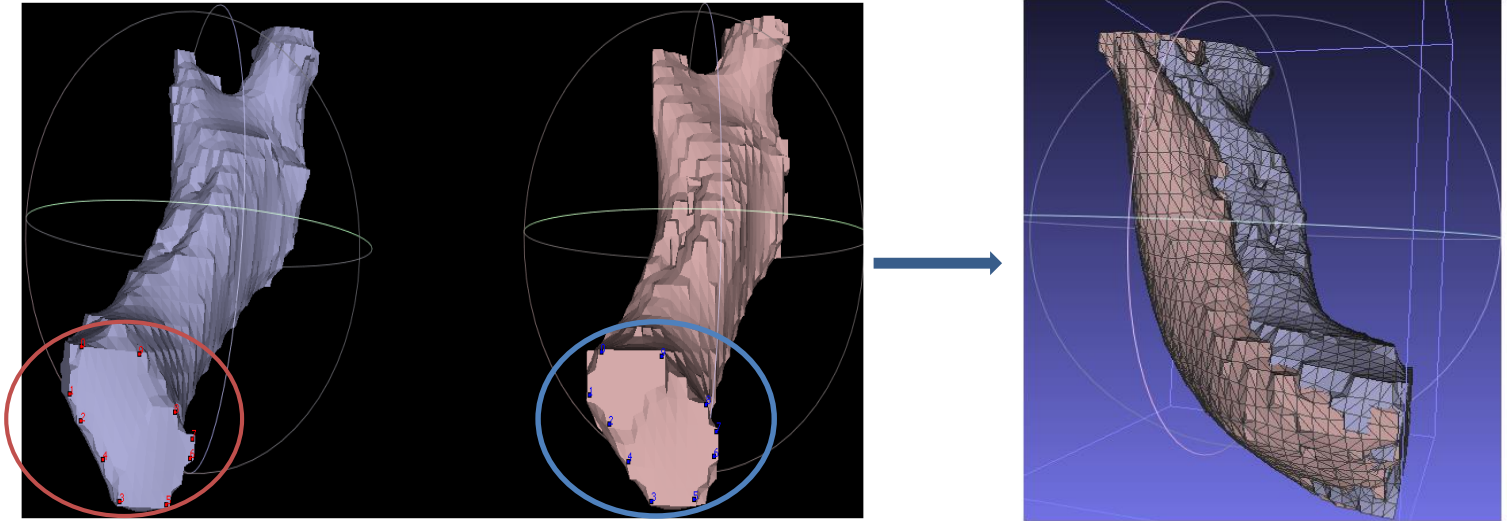
b- les recalages manuels

J'ai souhaité effectuer 2 autres recalages plus locaux en choisissant manuellement les zones à recaler correspondant à des structures stables, en vue d'une étude plus qualitative de l'asymétrie mandibulaire.

1- Recalage symphysaire :

Pour ce recalage j'ai recalé uniquement la symphyse des 2 héli-mandibules. Puisqu'on a considéré que la symphyse était le plan de symétrie de la mandibule c'est donc une surface stable. Ce recalage permettrait d'évaluer le décalage global de l'héli-mandibule gauche par rapport à l'héli-mandibule droite selon le plan symphysaire.

Pour ce faire j'ai sélectionné une multitude de points à recalcer tout autour de la symphyse mandibulaire. L'hémi-mandibule gauche fut recalée sur la droite par alignement de ces points, sans application de l'algorithme ICP.

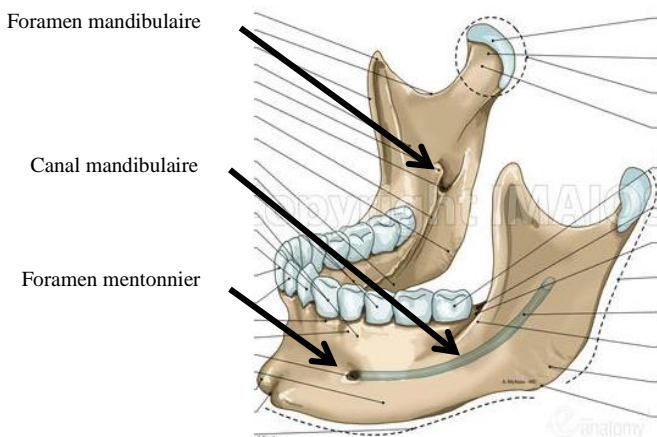


2- Recalage neural :

Pour ce recalage j'ai recalé uniquement le canal mandibulaire des 2 hémi-mandibules : un canal qui traverse chaque hémi-mandibule allant du foramen mandibulaire au foramen mentonnier. Ce canal entoure le nerf alvéolaire inférieur (d'où l'appellation de canal neural).

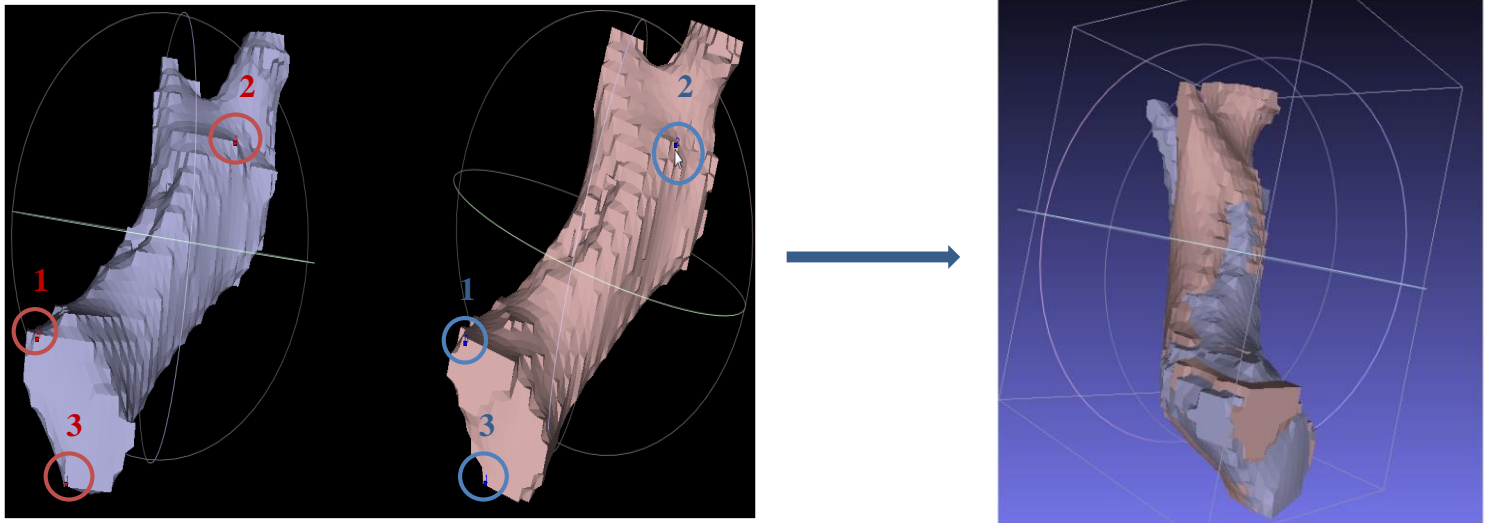
Mon choix se base sur l'étude du Pr. G Captier^[13] stipulant que le canal mandibulaire correspond à une structure neurale stable qui n'est pas sujette à des déformations et qui devrait rester symétrique.

Ce recalage permettrait d'évaluer les asymétries des reliefs osseux de la mandibule par rapport au canal mandibulaire pour identifier les tractions musculaires et ligamentaires entrant en jeu dans la déformation.



J'ai donc sélectionné 3 points à recalcer autour du canal mandibulaire: le foramen mandibulaire, le gnathion et le point inter-incisif.

L'hémi-mandibule gauche fut recalée sur l'hémi-mandibule droite par alignement automatique de ces 3 points, sans application de l'algorithme ICP.



Les coordonnées des héli-mandibules issues du recalage automatique, symphysaire et neural sont ensuite exportées au format « .obj ».

IV- Mesure de l'asymétrie

IV-1 Le logiciel CloudCompare

Cette étape a nécessité CloudCompare, un logiciel libre gratuitement téléchargeable³. Il nous permettra de calculer les distances entre les points des maillages recalés et de produire une carte de couleurs et un histogramme des distances.



IV-2 Calcul des distances d'asymétrie

Après importation des paires hémi-mandibulaires recalées, nous pouvons appliquer une fonction de CloudCompare qui calcule les distances entre les points les plus proches des deux maillages. Le calcul est basé sur la distance de Hausdorff.

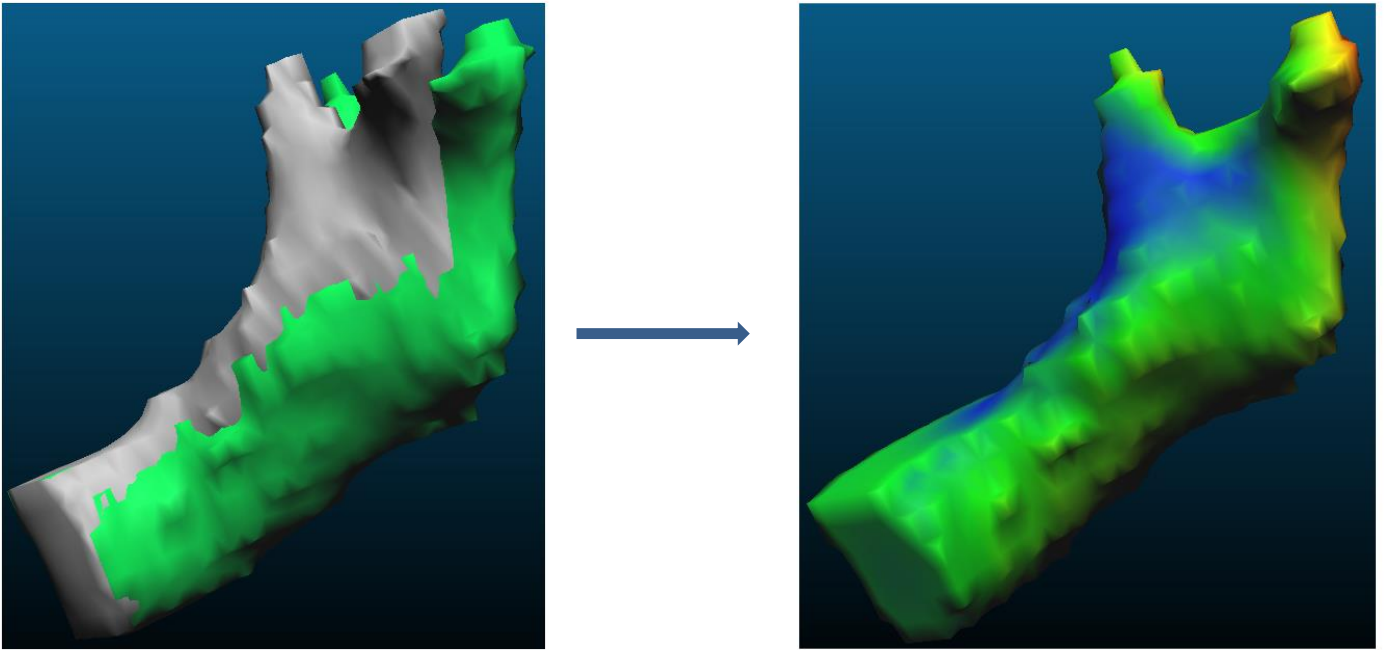
Les distances sont en millimètres et elles sont signées : elles ont pour origine l'hémi-mandibule gauche et pour terminaison l'hémi-mandibule droite. Si cette distance se termine au point le plus proche de l'hémi-mandibule droite sans traverser l'hémi-mandibule droite elle est alors positive. Par contre si elle doit traverser l'hémi-mandibule gauche pour atteindre le point le plus proche de l'hémi-mandibule droite, elle est alors négative.

Les distances sont automatiquement représentées par une échelle de couleurs sur la surface de l'hémi-mandibule droite.



Les couleurs vont du bleu au rouge pour des distances croissantes.

³ Téléchargement gratuit au lien suivant : <http://www.danielgm.net/cc/>



On obtient donc une carte de couleurs représentant l'asymétrie de l'hémi-mandibule droite par rapport à l'hémi-mandibule gauche : en rouge/jaune sont les zones protubérantes et en bleu sont les zones affaissées de l'hémi-mandibule droite par rapport à la gauche. En vert sont les zones symétriques.

Cette représentation visuelle nous permet de faire une étude qualitative des localisations des asymétries mandibulaires.

IV-3 Choix d'une variable représentative de l'asymétrie

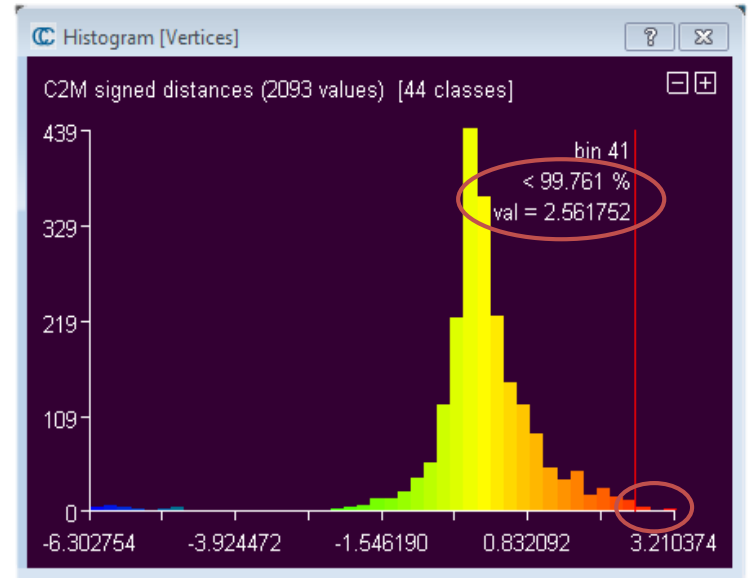
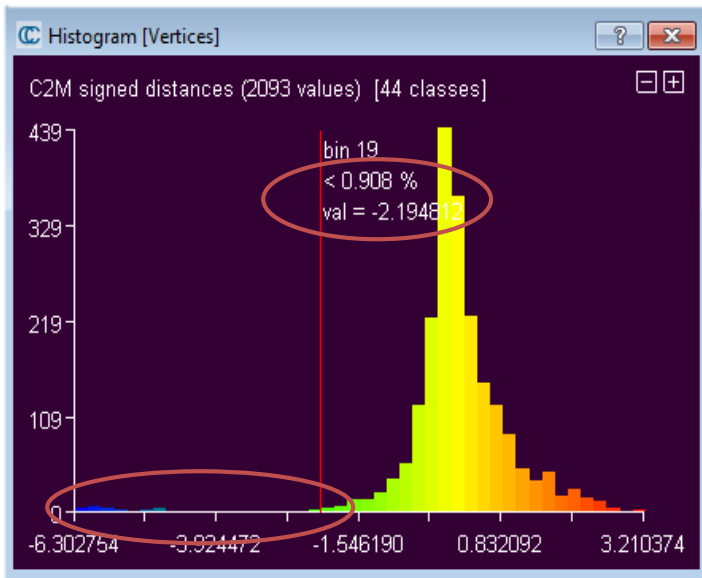
Afin d'effectuer des analyses quantitatives statistiques sur l'asymétrie, il nous faut d'abord choisir une variable quantitative représentative de l'amplitude de l'asymétrie. J'ai choisi de prélever 3 variables différentes : la distance maximale (en valeur absolue), la distance moyenne, et finalement le 3^{ème} quartile (Q3) des distances entre les 2 maillages.

Ces distances concernent uniquement les recalages automatiques car il s'agit du recalage le plus adapté à une analyse quantitative de l'asymétrie.

a- le maximum des distances

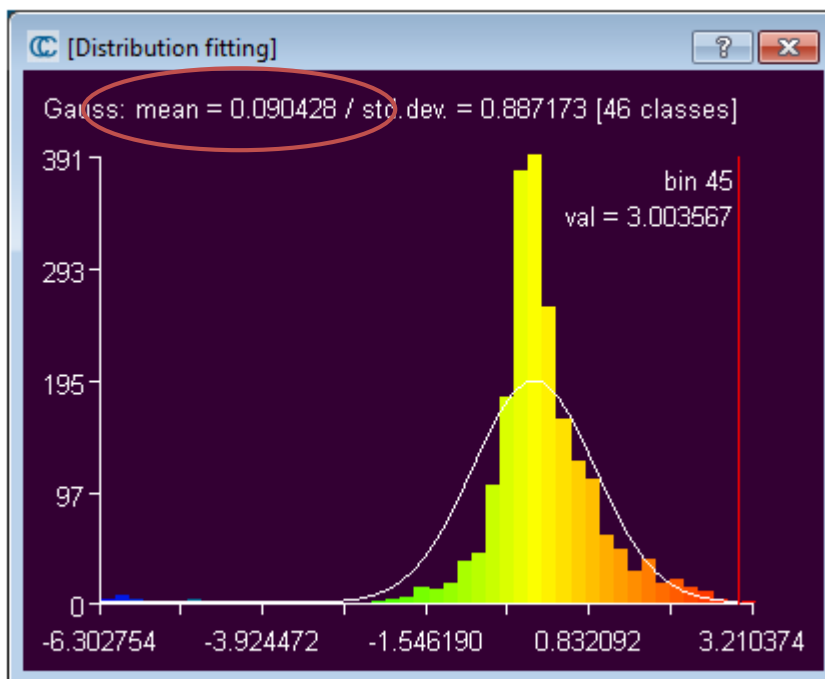
Les distances maximale et minimale sont indiquées dans CloudCompare. Or ces distances aux extrémités peuvent être biaisées car il peut exister des points aberrants (artéfact ou erreur de segmentation notamment) situés à des distances extrêmes.

Pour contourner ce biais j'ai utilisé l'histogramme généré par CloudCompare pour détecter puis ignorer les points aberrants en déplaçant le curseur à environ au-delà et en deca de 1% des 2 extrémités de l'histogramme.



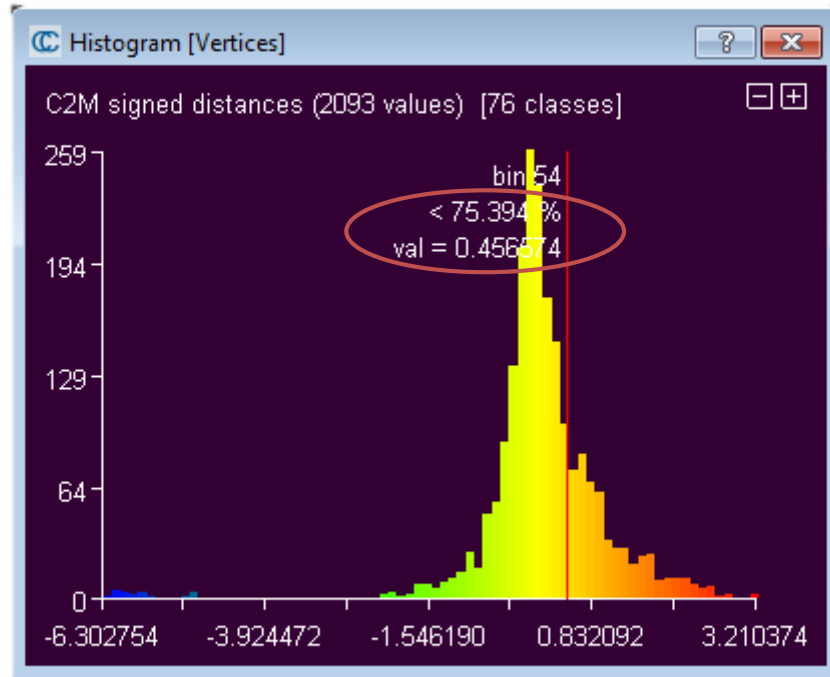
b- la moyenne des distances

La distance moyenne entre les 2 maillages hémi-mandibulaires est calculée dans CloudCompare par la fonction histogramme.



c- le 3^{ème} quartile (Q3) des distances

Le Q3 des distances est retrouvé dans l'histogramme généré par CloudCompare. Il suffit de déplacer le curseur jusqu'au niveau de la distance en deçà de laquelle se trouvent 75% des points.



PARTIE 3 : RESULTATS

I- Ajustement et organisation des données :

I-1 Ajustement des distances

Les distances d'asymétrie mesurées directement en mm ne sont pas comparables entre patients différents, car l'amplitude absolue de l'asymétrie dépend toujours du volume mandibulaire du patient (plus le volume sera gros, plus les distances d'asymétrie seront grandes pour des déformations peu sévères, et inversement).

Les distances d'asymétrie (maximums, moyennes et Q3) ont été normalisées par rapport au volume mandibulaire, en divisant chaque distance par la racine cubique du volume mandibulaire total du patient concerné.

Ainsi nous obtenons en lieu de la distance en mm, un rapport sans unité traduisant l'asymétrie mandibulaire en fonction du volume.

I-2 Organisation des données

Dans un premier temps, j'ai constitué des échantillons avec les variables aléatoires suivantes :

- le maximum ajusté des distances d'asymétrie
- la moyenne ajustée des distances d'asymétrie
- le Q3 ajusté des distances d'asymétrie
- l'âge
- Et pour les cranes déformés uniquement : le maximum ajusté des distances d'asymétrie crâniennes (récupérés d'une étude similaire menée par une stagiaire précédentes sur l'asymétrie crânienne chez ces mêmes patients).

Ces données sont partagées selon plusieurs groupes différents :

- le groupe des Sains
- le groupe des PFO
- le groupe des PO
- le groupe des BP

J'ai donc obtenu des tableaux de données quantitatives suivants :

SAINS	Mandibule			Age (années)
	Max ajusté	Q3 ajusté	Moyenne ajustée	
ANON1505131007214	0.066	0.016	0.006	0.1
ANON1405131428220	0.078	0.017	0.002	0.1
ANON16051311392213	0.209	0.083	0.055	0.1
ANON1704130903508	0.133	0.031	0.010	0.3
ANON1704130858142	0.062	0.014	0.004	0.4
ANON1405131524245	0.105	0.009	0.004	0.4
ANON1405131506494	0.095	0.014	0.003	0.6
ANON16051311491014	0.094	0.022	0.009	0.8
ANON15051312220825	0.112	0.024	0.011	0.8
ANON1505131406420	0.105	0.018	0.003	1.0
ANON14051316094413	0.075	0.011	-0.001	1.0
ANON1505131034599	0.085	0.017	0.004	1.9
ANON16051312093316	0.098	0.017	0.004	2.1
ANON16051312170317	0.124	0.033	0.001	2.1
ANON15051310520011	0.097	0.019	0.004	2.4
ANON1505130943320	0.130	0.016	0.016	3.4
ANON15051315472611	0.092	0.024	0.009	5.7
ANON15051316241916	0.061	0.011	0.003	6.2
ANON15051315523912	0.108	0.024	0.007	6.9
ANON1505130924414	0.086	0.008	-0.004	10.1
ANON1908102055489	0.058	0.011	-0.002	13.1
ANON2703131221277	0.232	0.060	0.029	13.4
ANON02081120050910	0.116	0.022	0.003	13.7
ANON14051316514521	0.080	0.013	0.003	20.2
ANON14051316422619	0.103	0.017	0.003	31.5
ANON1605131429200	0.094	0.023	0.005	34.2
Moyenne	0.104	0.022	0.007	6.630
Variance	0.040	0.016	0.012	9.417

PFO	Mandibule			Crane	
	Max ajusté	Q3 ajusté	Moyenne ajustée	Max Ajusté	Age
ANON1605131019410	0.222	0.037	0.024	0.405	0.3
ANON1605131054145	0.239	0.041	0.026	0.315	0.4
ANON15051311270314	0.268	0.049	0.031	0.312	0.5
ANON1605130935137	0.128	0.027	0.011	0.182	0.5
ANON0208112004294	0.180	0.019	0.006	0.208	0.6
ANON16051311260710	0.181	0.030	0.014	0.254	0.7
ANON2204131513542	0.209	0.032	0.018	0.305	0.8
ANON1505131421053	0.259	0.034	0.023	0.245	0.8
ANON1605130945229	0.146	0.033	0.015	0.360	0.8
ANON15051316183515	0.213	0.044	0.024	0.294	0.8
ANON1405131555509	0.158	0.019	0.010	0.246	0.9
ANON1505131019576	0.287	0.035	0.024	0.372	1.0
ANON0208112004579	0.171	0.014	0.003	0.106	1.1
ANON15051312081023	0.142	0.026	0.006	0.120	1.1
ANON15051316102114	0.191	0.020	0.011	0.300	1.2
ANON02081120053714	0.115	0.025	0.009	0.413	1.9
ANON1605131025321	0.164	0.024	0.010	0.163	4.5
ANON1505131514498	0.194	0.039	0.021	0.109	4.7
ANON2204131520563	0.137	0.016	0.008	0.109	4.7
ANON26031311534412	0.201	0.021	0.005	0.121	4.7
ANON15051312144124	0.152	0.039	0.015		4.7
ANON2204131458500	0.149	0.022	0.008	0.184	4.9
ANON2304131518070	0.266	0.034	0.017	0.537	6.7
ANON02081120061926	0.105	0.015	0.004	0.164	8.9
ANON02081120091863	0.115	0.026	0.031	0.180	10.2
ANON1905131024225	0.128	0.010	0.000	0.085	15.0
ANON02081120084857	0.113	0.054	0.022	0.111	15.8
Moyenne	0.179	0.029	0.015	0.244	3.635
Variance	0.053	0.011	0.009	0.117	4.346

PO	Mandibule			Crane	
	Max ajusté	Q3 ajusté	Moyenne ajustée	Max Ajusté	Age
ANON15051311355915	0.228	0.016	0.009		0.0
ANON1704130859474	0.254	0.017	0.014	0.196	0.4
ANON1605131116028	0.180	0.024	0.011	0.234	0.4
ANON15051311124113	0.162	0.030	0.011	0.121	0.4
ANON15051311013912	0.169	0.029	0.017	0.188	0.5
ANON16051309523011	0.283	0.024	0.015	0.236	0.6
ANON17041309063911	0.121	0.013	0.006	0.101	0.6
ANON1605130847441	0.158	0.034	0.016	0.288	0.6
ANON1505131526169	0.204	0.022	0.013	0.200	0.7
ANON16051311300911	0.125	0.024	0.008	0.157	0.7
ANON1605130925156	0.290	0.035	0.023	0.289	0.7
ANON1605130906044	0.197	0.017	0.004	0.207	0.7
ANON15051316383718	0.123	0.016	0.001	0.140	0.7
ANON1605131105467	0.214	0.022	0.014	0.179	0.8
ANON1605131042074	0.143	0.018	0.006	0.294	0.8
ANON1605130920575	0.153	0.021	0.010	0.138	0.8
ANON1605130837340	0.149	0.022	0.009	0.274	0.8
ANON1505131431235	0.156	0.020	0.006	0.123	0.9
ANON15051312020921	0.133	0.023	0.010	0.235	1.0
ANON16051309595913	0.106	0.025	0.009	0.215	1.1
ANON1505130955512	0.239	0.028	0.021	0.274	1.3
ANON15051311562920	0.203	0.020	0.014	0.189	1.3
ANON16051309561512	0.150	0.025	0.009	0.101	1.4
ANON14051316222816	0.120	0.016	0.003	0.120	1.8
Moyenne	0.177	0.023	0.011	0.199	0.789
Variance	0.052	0.006	0.005	0.062	0.377

BP	Mandibule			Crane	
	Max ajusté	Q3 ajusté	Moyenne ajustée	Max Ajusté	Age
ANON1605131032072	0.179	0.029	0.011	0.182	0.5
ANON1605131037073	0.167	0.030	0.014	0.196	0.5
ANON0208112004496	0.120	0.013	0.004	0.138	0.6
ANON1505131012395	0.150	0.019	0.012	0.228	0.6
ANON1505131418072	0.176	0.023	0.011	0.150	0.7
ANON1505131029398	0.173	0.024	0.009	0.404	0.7
ANON1505131425464	0.148	0.040	0.021	0.189	0.7
ANON15051315354910	0.150	0.021	0.013	0.127	0.7
ANON1704130858001	0.154	0.019	0.009	0.085	0.8
ANON1605131121359	0.155	0.017	0.009	0.196	0.8
ANON1605130942178	0.068	0.007	-0.003	0.103	1.0
ANON15051311503519	0.108	0.011	0.002	0.156	1.1
Moyenne	0.146	0.021	0.009	0.179	0.718
Variance	0.032	0.009	0.006	0.082	0.190

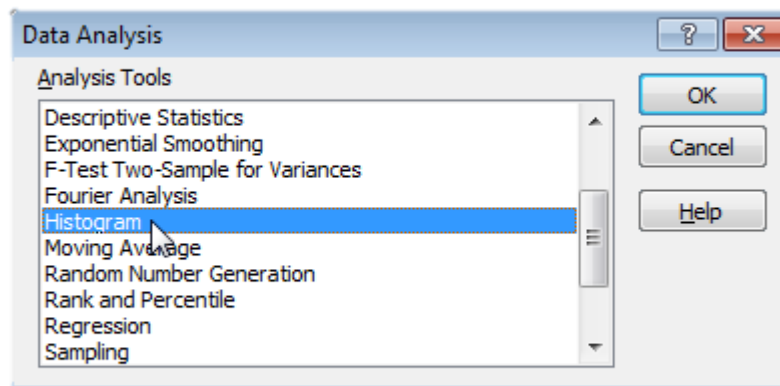
II- Analyses statistiques

II-1 Tests de normalité des distributions

Vu que la taille de nos échantillons est inférieure à 30, afin de savoir s'il faudrait employer des tests statistiques paramétriques ou non paramétriques sur nos échantillons, il faut vérifier si dans chaque échantillon nos variables aléatoires suivaient une loi normale.

Pour cela j'ai effectué un test du Chi-2 d'adéquation entre une distribution observée et une distribution théorique avec un risque alpha de 0.05, en appliquant les étapes suivantes pour chacun des échantillons :

1- Création d'un tableau d'histogramme à partir des échantillons à l'aide de la fonction « histogramme » dans l'Utilitaire d'Analyse de Excel.



2- Calcul des fréquences de distribution normales théoriques pour les intervalles de l'histogramme obtenu grâce à la formule NORMDIST de Excel.

3- Calcul du paramètre du Chi-2 pour l'écart entre la distribution théorique normale et la distribution observée, puis calcul de la p-value grâce à la formule CHIDIST de Excel.

Si $p > 0.05$ notre distribution suit donc une loi normale

Si $p < 0.05$ notre distribution ne suit donc pas une loi normale

CONCLUSION :

Les résultats obtenus étaient hétérogènes : toutes les distributions ne suivaient pas une loi normale, donc pour des raisons pratiques nous nous contenterons par la suite d'appliquer des tests non-paramétriques pour analyser nos données.

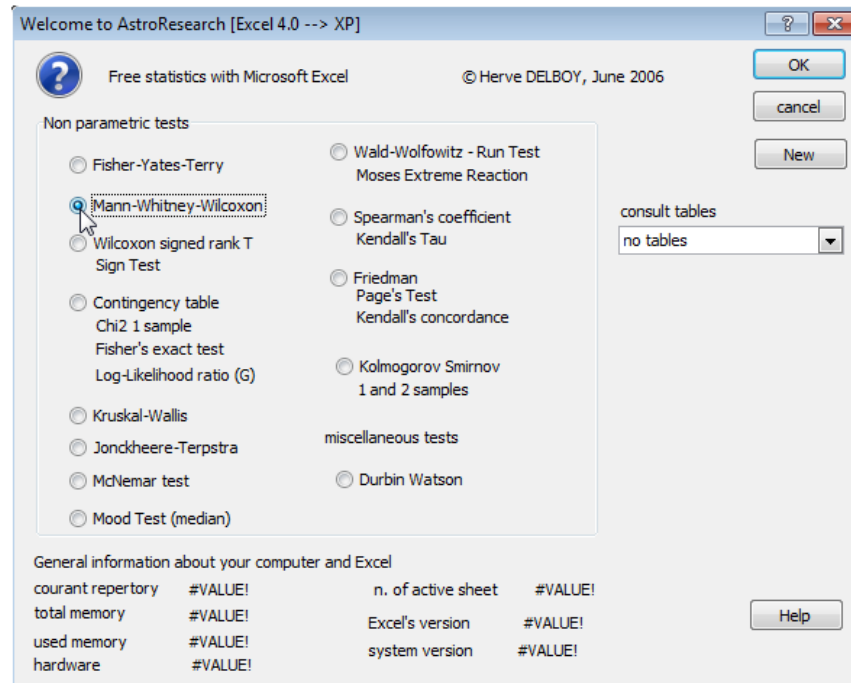
II-2 Tests de comparaison des groupes

a- la Macro "free"

On cherche à comparer les distributions des distances d'asymétrie (max, moyennes et Q3) entre les Sains, les PFO, les PO et les BP afin de savoir si les asymétries mandibulaires suivent des distributions significativement différentes en fonction de la déformation crânienne.

Le test non-paramétrique le plus adapté pour cela est le test de Mann-Whitney de comparaison de 2 distributions pour un risque alpha de 0,1.

Ce test a été appliqué à mes données à l'aide d'une Macro « free » comprenant un ensemble de tests non-paramétriques conçus pour Excel, développée par un universitaire et gratuitement disponible sur internet⁴.



Si $p > 0.1$ alors les distributions ne sont pas différentes

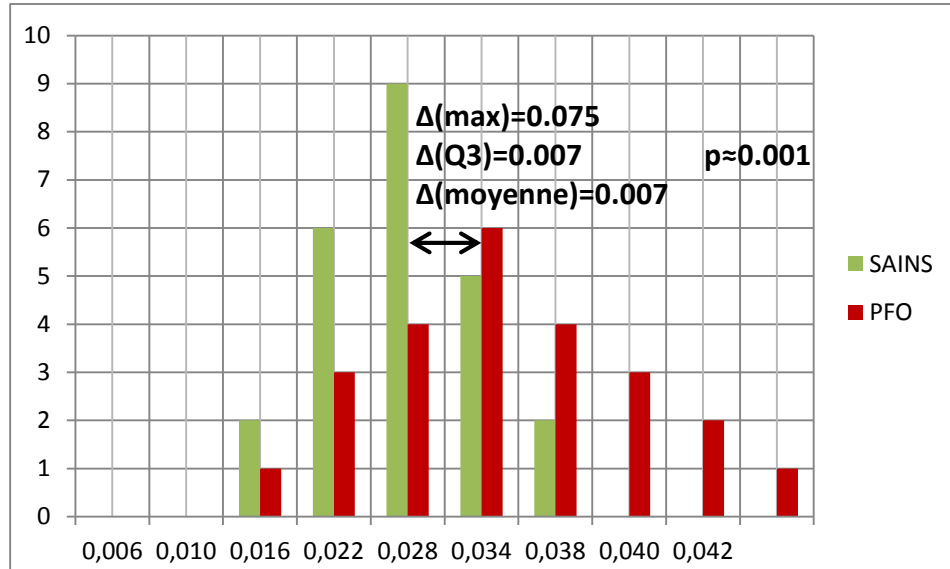
Si $p < 0.1$ alors les distributions sont significativement différentes

⁴ Téléchargement gratuit au lien suivant : <http://herve.delboy.perso.sfr.fr/Nonparam.htm>

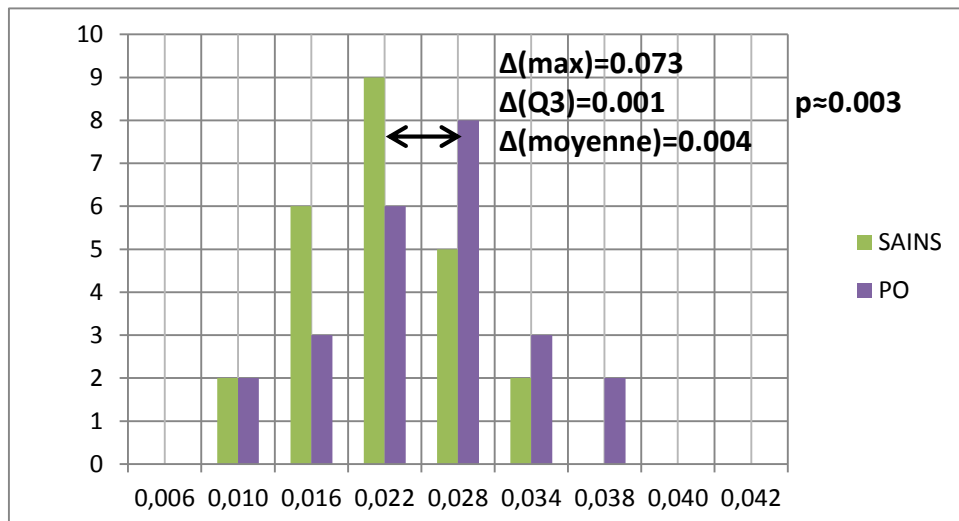
b- comparaison entre les sains et les déformés

Dans un premier temps j'ai comparé les mandibules du groupe des sains aux différents groupes déformés pour les 3 variables : maximum, moyenne et Q3 des distances d'asymétrie.

-Il existe une différence significative entre les asymétries mandibulaires des sains et des PFO pour les 3 variables :



- Il existe une différence significative entre les asymétries mandibulaires des sains et des PO pour les 3 variables :

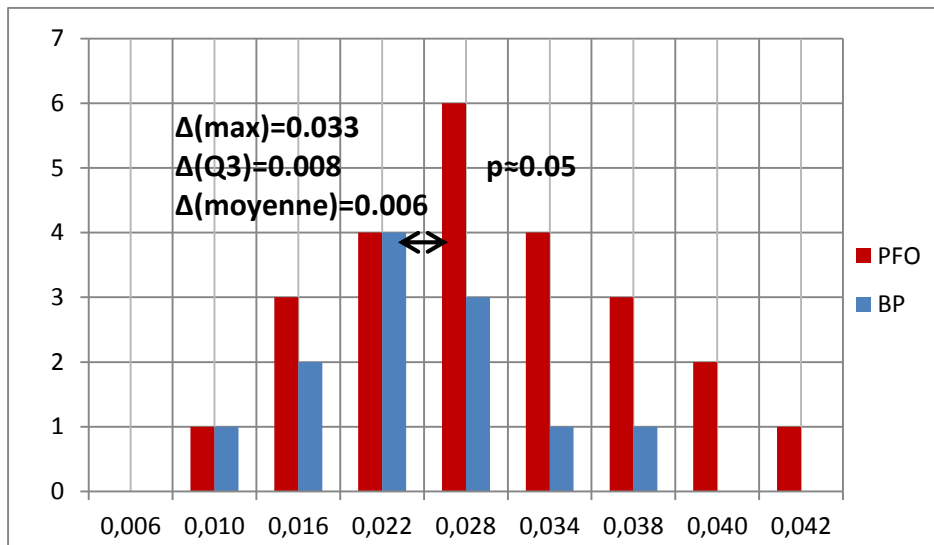


- Enfin, la différence entre les mandibules des sains et des BP est ambiguë : les distributions des distances maximales ($\Delta=0.042$) et des distances moyennes ($\Delta=0.002$) sont significativement différentes ($p\approx 0.001$) or la distribution des Q3 ne l'est pas du tout ($p>0.3$; $\Delta=0.001$).

c- comparaison des groupes déformés entre eux

Dans un second temps j'ai comparé les distributions des PFO, PO et BP entre elles afin de vérifier si les asymétries mandibulaires se comportent différemment en fonction du type de déformation mandibulaire.

- Il y a une différence significative entre les mandibules des **PFO** et des **BP** pour les 3 variables :



-La différence entre les mandibules des **PFO** et des **PO** est ambiguë : les distributions des maximums sont pareilles ($p \approx 0.5$ $\Delta = 0.002$), or les distributions des moyennes ($p = 0.015$ $\Delta = 0.002$) et des Q3 ($p = 0.08$ $\Delta = 0.002$) sont différentes.

- La différence entre les mandibules des **PO** et des **BP** est ambiguë : les distributions des maximums sont différentes ($p \approx 0.07$ $\Delta = 0.031$), or les distributions des moyennes et des Q3 ($p \approx 0.25$ $\Delta = 0.002$) sont pareilles.

N.B : Pour résoudre les cas ambigus de discordance entre les 3 variables il y a deux possibilités :

1- On peut se fier au résultat majoritaire : le résultat de 2 variables concordantes s'imposerait sur celui d'une seule variable discordante.

2- Le lecteur peut en fonction de sa subjectivité, favoriser la variable qu'il pense être la plus pertinente.

Je ferais cependant remarquer que dans ces 3 cas d'ambiguïtés, le résultat des moyennes des distances est constamment majoritaire et ne se retrouve jamais isolé (contrairement aux 2 autres variables), serait-ce donc la variable la plus représentative?

II-3 Tests de corrélation

Pour les tests de corrélation on s'intéresse uniquement aux groupes déformés (PFO, PO et BP) et à la distribution des maximum des distances (pour la mandibule et le crane).

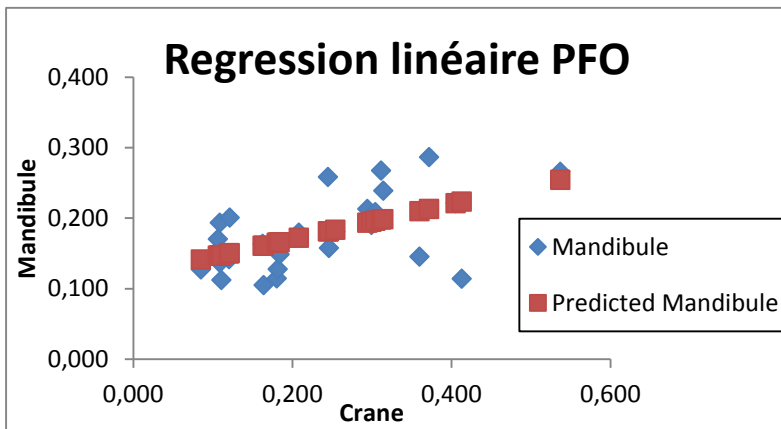
On effectuera le test de corrélation non-paramétrique de Spearman à l'aide de la Macro « free » pour un risque alpha de 0.1 .

Il s'agit d'un test qui évalue la corrélation des rangs, non pas des valeurs numériques.

a- corrélation entre l'asymétrie mandibulaire et l'asymétrie crânienne

On cherche s'il existe une corrélation positive entre l'asymétrie mandibulaire et l'asymétrie crânienne chez les différents groupes de déformation.

A l'aide du test de Spearman, on retrouve une corrélation positive significative entre l'asymétrie mandibulaire et l'asymétrie crânienne chez les PFO et dans une moindre mesure chez les PO. Des régressions linéaires ont été tentées pour illustrer la corrélation :

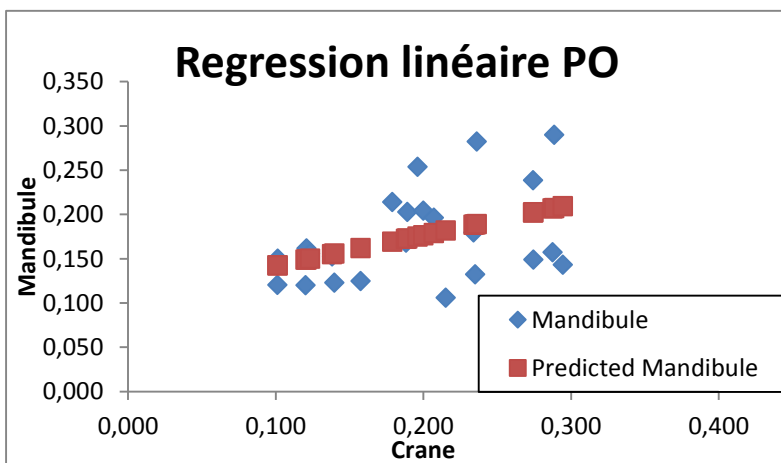


PFO :

Coefficient de corrélation :

$\rho(\text{Spearman}) = 0.51$

$p < 0.01$



PO :

Coefficient de corrélation :

$\rho(\text{Spearman}) = 0.37$

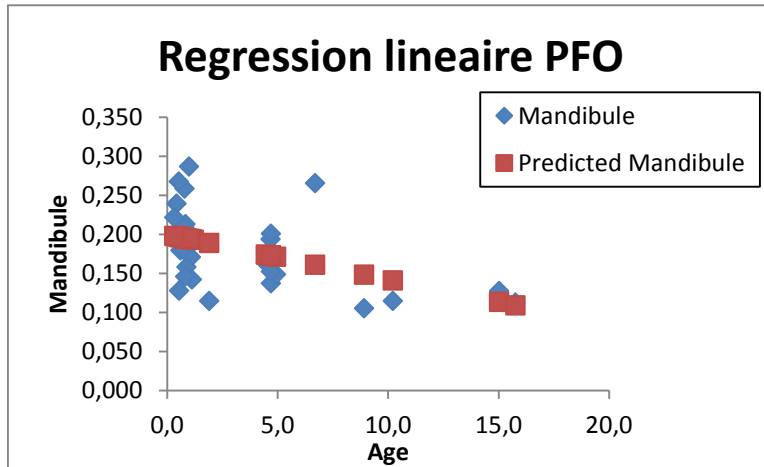
$0.05 < p < 0.1$

- Chez les BP il n'y a pas de corrélation significative entre l'asymétrie mandibulaire et l'asymétrie crânienne ($0.1 < p < 0.2$).

b- corrélation entre l'asymétrie mandibulaire et l'âge

On cherche une corrélation entre l'asymétrie mandibulaire et l'âge des patients, pour savoir si globalement la déformation mandibulaire évolue avec l'âge.

A l'aide du test de Spearman, on retrouve une corrélation négative significative entre l'asymétrie mandibulaire et l'âge chez les PFO, les PO et dans une moindre mesure chez les BP. Les régressions linéaires permettent d'illustrer la corrélation :

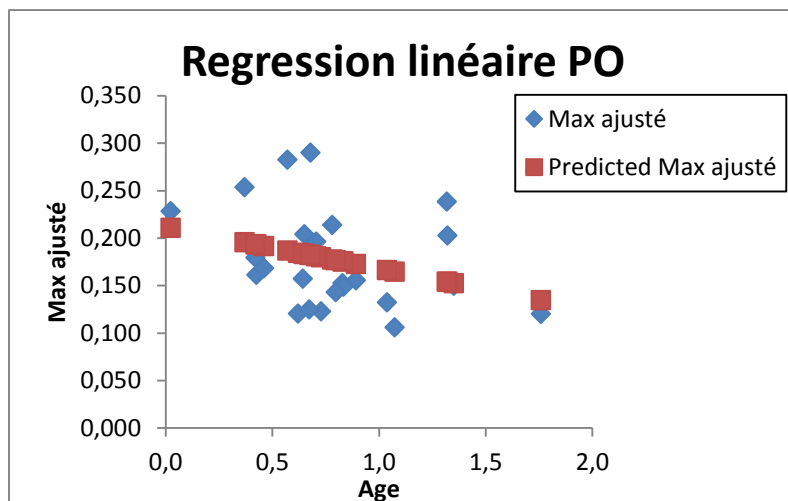


PFO :

Coefficient de corrélation :

$\rho(\text{Spearman}) = - 0.53$

$p=0.005$

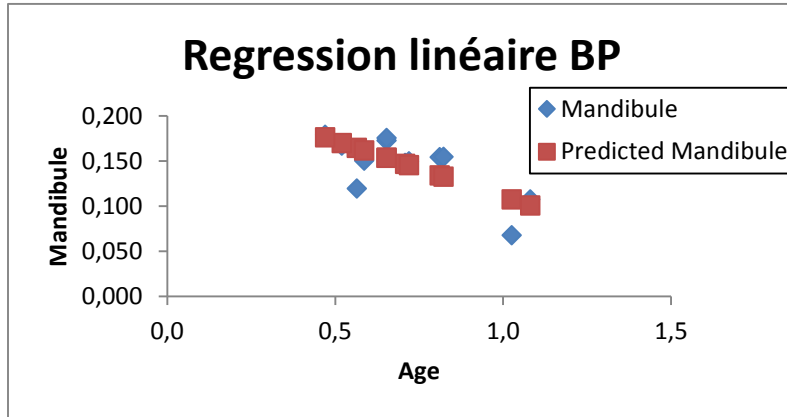


PO :

Coefficient de corrélation :

$\rho(\text{Spearman}) = - 0.41$

$0.02 < p < 0.05$



BP :

Coefficient de corrélation :

$\rho(\text{Spearman}) = - 0.58$

$0.05 < p < 0.1$

DISCUSSION

Cette étude a quantifié l'asymétrie mandibulaire intrinsèque dans les plagiocéphalies sans synostose. Les études précédentes avaient conclu qu'une asymétrie intrinsèque marquée de la mandibule ne se retrouvait que dans les PFO.

Grace à notre approche comparative entre les sains – ayant une asymétrie mandibulaire physiologique naturelle – et les plagiocéphaliques, nous avons pu conclure, grâce à des tests statistiques non-paramétriques, que l'asymétrie mandibulaire était non seulement significativement plus grande dans les PFO mais également dans les PO mais avec un Δ plus petit, ce qui pourrait expliquer pourquoi cette asymétrie n'a pas été détectée par les mesures anthropométriques ou morphométriques imprécises (tel que la mesure d'angles) des études précédentes. En outre, nous avons montré que cette asymétrie intrinsèque est positivement corrélée à celle du crâne de manière significative pour ces 2 groupes.

Nous n'avons pas pu trancher dans le cas des BP, ceci conforte en partie les résultats des études précédentes n'ayant pas retrouvé d'asymétrie mandibulaire dans les BP. Néanmoins l'ambiguïté pourrait aussi s'expliquer par le fait que le méplat crânien des BP est souvent quelque peu asymétrique et pourrait légèrement déformer la mandibule par rapport à un crâne normal, cependant la corrélation entre l'asymétrie crânienne des BP et l'asymétrie mandibulaire n'a pas été retrouvée significative ce qui corrobore les résultats d'une asymétrie mandibulaire proche de l'asymétrie saine chez les BP. Il faut aussi garder à l'esprit que l'échantillon des BP n'était composé que de 12 patients donc 2 fois moins nombreux que les autres groupes, ce qui diminue la puissance des tests statistiques effectués.

Une comparaison de l'asymétrie mandibulaire entre les différents groupes déformés a révélé que l'asymétrie mandibulaire chez les PFO était significativement plus grande que chez les BP, appuyant encore l'hypothèse que l'asymétrie mandibulaire des BP serait proche de l'asymétrie des sains. Or nous n'avons pas pu conclure quant au PO si leur asymétrie mandibulaire était significativement différente de celle des PFO ou des BP. Il semblerait qu'il y ait un gradient continu de sévérité croissante des asymétries mandibulaires entre sains < BP < PO < PFO, et que les frontières entre ces catégories soient floues. Ceci expliquerait pourquoi il est plus difficile de trancher pour les déformations intermédiaires (BP et PO) que pour les extrêmes (sains et PFO).

Finalement, nous avons mis en évidence une corrélation négative significative entre l'âge et la déformation mandibulaire pour les 3 catégories de PSS. Cela soutient l'idée d'une compensation physiologique de l'asymétrie mandibulaire au cours de la croissance mais il s'agit d'une compensation par réduction de l'asymétrie mandibulaire intrinsèque et non par accentuation de l'asymétrie intrinsèque comme l'avait stipulé l'étude précédente du Pr. G Captier^[15]. Cette correction de l'asymétrie pourrait être liée à la correction naturelle de l'asymétrie crânienne avec l'âge or nous savons déjà par l'étude de D St John^[14] qu'une correction thérapeutique de la déformation crânienne ne corrige pas l'asymétrie positionnelle de la mandibule. Sinon la compensation avec l'âge peut être liée à la physiologie mandibulaire elle-même : apparition de la dentition, influence de l'appareil masticateur par l'occlusion dentaire et la mastication, etc.

Bibliographie

- [1] Looman WS, Flannery AB, Evidence-Based Care of the Child with Deformational Plagiocephaly, Part 1: Assessment and Diagnosis. *Journal of Pediatric Health Care*, 2012, Jul-Aug;26(4):242-50; quiz 251-3. doi: 10.1016/j.pedhc.2011.10.003.
- [2] Flannery AB, Looman WS, Kemper K, Evidence-Based Care of the Child with Deformational Plagiocephaly, Part II: Management, 2012, Sept-Oct; 26(5):320-31. doi: 10.1016/j.pedhc.2011.10.002.
- [3] Bialocerkowski AE, Vladusic SL, Wei Ng C, Prevalence, risk, factors and natural history of plagiocephaly; a systematic review, *Dev Med Child Neurol*, 2008 Aug;50(8):577-86. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03029.x.
- [4] Miller RI, Clarren SK, Long-Term Developmental Outcomes in Patients with Deformational Plagiocephaly, *Pediatrics* 2000 Feb; 105(2):E26.
- [5] Collett B, Breiger D, King D, Cunningham M, Speltz M, Neurodevelopmental Implication of "Deformational Plagiocephaly", *J Dev Behav Pediatr*. 2005 Oct;26(5):379-89.
- [6] Collett BR, Starr JR, Kartin D, Heike CL, Berg J, Cunningham ML, Speltz ML, Development in toddlers with deformational plagiocephaly, *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2011 Jul;165(7):653-8. doi: 10.1001/archpediatrics.2011.92.
- [7] Speltz ML, Collett BR, Scott-Miller M, Starr JR, Heike C, Wolfram-Aduan AM, King D, Cunningham ML, Case-Control Study of Neurodevelopment in Deformational Plagiocephaly, *Pediatrics*, 2010, March;125(3):e537-e542. doi:10.1542/peds.2009-0052.
- [8] Collett BR, Aylard EH, Berg J, Davidoff C, Norden J, Cunningham M L., Spelt ML, Brain volume and shape in infants with deformational plagiocephalie, *Childs Nerv Syst*. 2012 Jul; 28(7):1083-90. doi: 10.1007/s00381-012-1731-y. Epub 2012 Mar 25
- [9] Collett BR, Heike CL, Atmosukarto I, Starr JR, Cunningham ML and Speltz ML, Longitudinal, Three-Dimensional Analysis of Head Shape in Children with and without Deformational Plagiocephaly or Brachycephaly, *J Pediatr*. 2012 Apr;160(4):673-678.e1. doi: 10.1016/j.jpeds.2011.09.059. Epub 2011 Nov 13
- [10] Captier G, Leboucq N, Bigorre M, Canovas F, Bonnel F, Bonnafé A et Montoya P, Etude clinico-radiologique des déformations du crâne dans les plagiocéphalies sans synostose, *Arch Pediatr*. 2003 Mar;10(3):208-14
- [11] Stéphanie Lanche, Tron A. Darvann, Hildur Olafsdottir, Nuno V. Hermann, Andrea E. Van Pelt, Daniel Govier, Marissa J. Tenenbaum, Sybill Naidoo, Per Larsen, Sven Kreiborg, Rasmus Larsen, and Alex A. Kane, A Statistical Model of Head Asymmetry in Infants with Deformational Plagiocephaly, *Proceeding*, 2007, Pages 898-907 ISBN: 978-3-540-73039-2
- [12] Henry K. Kawamoto, Sarah S. Kim, Reza Jarrahy, James P. Bradley, *Differential Diagnosis of the Idiopathic Laterally Deviated Mandible*, Los Angeles, Calif.
- [13] Guillaume Captier, Julien Lethuillier, Mohamed Oussaid, Francois Canovas, Francois Bonnel, Neural symmetry and functional asymmetry of the mandible
- [14] Dane St. John, BSN, John B. Mulliken, MD, Leonard B. Kaban, DMD, MD, and Bonnie L. Padwa, DMD, MD *Anthropometric Analysis of Mandibular Asymmetry in Infants With Deformational Posterior Plagiocephaly*
- [15] G. Captier, C. Baumler, N. Leboucq, *Etude de l'asymétrie mandibulaire dans les plagiocéphalies sans synostose, Mandibular asymmetry in plagiocephaly without synostosis*