

# Sorbonne Université

Faculté de Médecine Sorbonne Université

## Les effets squelettiques et alvéolo-dentaires du Propulseur Universel Light chez des patients en croissance

Mémoire présenté par Mounia Benhallou

En vue de l'obtention du Diplôme Inter Universitaire

d' Orthopédie Dento Maxillo Cranio Faciale

## Résumé

L'objectif de cette étude rétrospective est basé sur l'analyse de téléradiographie de profil de 27 patients présentant une classe II squelettique traitée avec un propulseur universel light (PUL) afin d'évaluer la correction de la classe II par ses effets squelettiques et/ou alvéolo-dentaires ainsi que les éventuelles modifications morphologiques des voies aériennes supérieures dépendamment de leur stade de croissance. Le groupe a été divisé en deux sous-groupes dépendamment de leur degré de maturation cervicale, le premier étant constitué de 15 patients avec un cervical stage CS1-CS2 et le deuxième de 12 patients présentant un cervical stage CS3-CS4.

## Méthode analytique

L'étude porte sur 27 patients (F = 16 ; M= 11). Ils présentent tous une classe II squelettique et alvéolo-dentaire avec une rétromandibulie ce groupe a été divisé en deux sous-groupes dépendamment de leur *cervical stage*. Le groupe I est composé de 15 patients présentant un stade de maturation CS1 et CS2 (F =8 ; M =7) en début de traitement et le groupe II est composé de 12 patients présentant un stade de maturation CS3 et CS4 (F =8 ; M =4) en début de traitement. Ils ont tous été traités avec le dispositif PUL pour une durée de 12 +/-6 mois. Deux téléradiographies de profil ont été réalisées chez chaque patient à des temps définis comme T1 : avant traitement et T2 (12 +/- 6 mois) : après traitement par PUL. Une analyse de Delaire a été réalisée à chaque temps par le même opérateur à l'aide du logiciel d'analyse Delaire 2015 Evolution. Toutes les téléradiographies ont été réalisées en occlusion en utilisant la technique standard de radiologie avec un céphalostat respectant les normes latérales de positionnement et un rayon incident central perpendiculaire au film passant par le méat acoustique externe. Les clichés ont été réalisés au niveau du profil droit de chaque patient avec une posture céphalique droite, relâchée et dents en occlusion. Toutes les téléradiographies ont été calibrées afin que les valeurs puissent être converties en taille réelle grâce au même logiciel d'analyse.

## Mesures analysées

Un ensemble de 30 valeurs ont été évaluées avant (T1) et après (T2) traitement par PUL.

**Mesures fonctionnelles :** Le territoire (mm<sup>2</sup>) occupé par la lumière pharyngée délimité par le mur postérieur du pharynx et le bord postérieur de la fosse palatine, du palais mou et de la langue jusqu'au niveau de la quatrième vertèbre cervicale. Le positionnement sagittal et verticale de l'os hyoïde en fonction de Hy-V3, V Atlas-Hy (positionnement sagittal de l'os hyoïde par rapport à l'atlas) et Hy-Pti.

**Mesures faciales :** dans le sens sagittal, position de la partie postérieure de la tête du condyle (Arp) par rapport à F3, Positionnement de la tête du condyle Ara par rapport Atlas, angle C1/f1M (l'orientation maxillaire par rapport à la base du crâne), angle C1/f1m (l'orientation mandibulaire par rapport à la base du crâne), angle f1M/f1m (le décalage maxillo-mandibulaire squelettique).

**Dans le sens vertical :** longueur des segments N-ENA + ENA-Me, la hauteur faciale inférieure ENA-Me, le niveau de la partie postérieure du plan palatin par rapport à F4, le niveau du plan occlusal molaire, Pts- Pto par rapport à Cp-Go (la dimension verticale postérieure), le positionnement de la tête du condyle niveau Od par rapport à Ara, le positionnement du condyle par rapport à C1 : C1-Arp, C1-Ara, le positionnement du condyle par rapport à F4 passant par Od : Niveau NvOd-ara ; NvOd-Arp.

*Mesures mandibulaires* : longueur du ramus (Cp-Go), Angle mandibulaire (Arp-Rp/No-Me), longueur du corps mandibulaire (No-Me) et la Longueur mandibulaire totale (Cp-Me)

*Mesures alvéolaires* : longueur d'arcade maxillaire (distance du point A- Plan postérieur maxillaire) et longueur d'arcade mandibulaire (distance du point B- Ligne Ra-No). AoBo

*Mesures incisives* : la position de l'apex de l'incisive maxillaire par rapport à d1, l'inclinaison de l'incisive maxillaire par rapport à d1, la position de l'apex de l'incisive mandibulaire par rapport à d2 et l'Inclinaison de l'incisive mandibulaire par rapport à d2.

### **Analyse statistique**

Les analyses statistiques de corrélation sont faites à l'aide de logiciel « XLstat ». Avec ce modèle statistique, une corrélation est significative si le coefficient de *pearson* (*p*) est inférieur à 0.05. Un t-test de Student pour échantillons appariés et échantillons indépendants ont été réalisés ainsi, qu'un test de Wilcoxon pour les valeurs ne suivant pas la loi de la normalité.

### **Résultats**

Le PUL permet une diminution de la classe II squelettique et alvéolo-dentaire. Il induit un freinage de la croissance maxillaire associé à une bascule horaire du plan palatin ainsi qu'une ascension de l'os hyoïde chez les patients ayant débuté le traitement juste avant le pic de croissance. De plus, on observe dans les deux groupes une élongation mandibulaire résultant d'une augmentation de la hauteur du Ramus et de la longueur du corps mandibulaire. La position du condyle ne montre pas de changement après traitement. D'un point de vue dentaire, on a pu observer une palato-version de l'incisive maxillaire dans les deux groupes ainsi qu'une vestibuloversion de l'incisive mandibulaire, statistiquement significative, dans le groupe II et non dans le groupe I. D'un point de vue fonctionnel, on a pu constater une augmentation du périmètre des voies aériennes supérieures chez les patients du groupe II.

### **Conclusion**

Le PUL semble être un outil de choix dans le traitement des classes II permettant des modifications squelettiques, alvéolo-dentaire et fonctionnel.

### **Mots clés**

*Classe II, PUL, traitement orthopédique, l'os hyoïde, espace pharyngé.*

## Remerciements

Au Docteur *Elie Callabe*, je vous remercie pour votre disponibilité et votre aide forte utile pour l'accomplissement de cette étude.

Au Professeur *Jean Delaire*, je vous remercie de m'avoir partagé votre passion et de toutes les connaissances que vous avez pu me transmettre lors de la formation passée à vos côtés.

Au Professeur *Patrick Goudot*, je vous remercie pour les enseignements que vous nous avez transmis concernant la prise en charge personnalisée des patients afin de répondre à leurs attentes singulières plutôt qu'à des valeurs céphalométriques.

Au Docteur *Anthony Ibghei*, je vous remercie pour vos conseils avisés, votre disponibilité et votre implication au cours de toutes ces années de stages cliniques.

Au Docteur *Jean-Baptiste Kerbrat*, je vous remercie de nous avoir éclairés sur la prise en charge globale des patients pour que nous soyons en mesure de prendre en compte, dans notre pratique, l'ensemble des facteurs sous-jacents aux dysmorphoses.

Au Docteur *Sophie Pierre-Butruille*, je vous remercie pour avoir mis à disposition vos cas et m'avoir fait part de votre regard avisé.

Au Docteur *Thomas Schouman*, je vous remercie pour les enseignements concernant les techniques chirurgicales et vos explications fortes enrichissantes partagées lors de l'intervention à laquelle j'ai pu assister.

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	4
<b>Introduction</b> .....	8
<b>I. La classe II</b> .....	9
1.1 La classification.....	9
1.2 Les formes cliniques .....	10
1.1.2 Les formes squelettiques.....	10
1.1.3 Les formes dentaires .....	10
1.1.4 Les formes positionnelles.....	11
1.3 Les facteurs de la classe II.....	12
<b>II. La croissance mandibulaire</b> .....	13
2.1 Les types de croissance.....	13
2.2 Le cartilage condylien .....	14
2.3 La direction de croissance .....	16
2.4 Les signes du turfiste selon Delaire .....	17
<b>III. Le système manducateur</b> .....	19
3.1 La dynamique masticatoire.....	19
3.2 Les muscles masticateurs.....	20
3.2.1 L'activité musculaire .....	20
3.2.2 La composition moléculaire.....	20
3.2.3 Les effets des contraintes mécaniques : étirement/compression.....	21
3.2.4 La fonction endocrine et paracrine des muscles .....	22
3.3 La posture .....	22
<b>IV. Les activateurs de croissance</b> .....	23
4.1 Généralités .....	23
4.1.1 Le principe d'action des activateurs de type : hyperpropulseurs .....	23
4.1.2 La théorie de la viscoélasticité des tissus et la force de transduction .....	23
4.1.3 Les effets biomécaniques des activateurs .....	24
4.2 Le système PUL.....	25
4.2.1 La description de l'appareil.....	25
4.2.2 Le mode d'action dépendamment de la typologie .....	27
4.2.3 Les effets promis.....	28

4.2.4 L'application clinique .....	29
<b>V. Méthode analytique</b> .....	36
5.1 Population .....	36
5.1.1 Critères d'inclusion et d'exclusion .....	36
5.1.2 Échantillons.....	37
5.2 Mesures.....	39
5.2.1 Analyse de Delaire .....	40
5.2.2 Mesures évaluées .....	41
5.3 Analyse statistique .....	42
<b>VI. Résultats</b> .....	43
6.1 Statistiques intra-groupe .....	43
6.2 Statistiques inter-groupes .....	47
<b>VII. Discussion</b> .....	51
7.1 Effets squelettiques .....	51
7.2 Espaces pharyngés .....	52
7.3 Effets dento-alvéolaires .....	53
<b>VIII. Conclusion</b> .....	54
<b>Bibliographie</b> .....	55
<b>Annexe 1</b> .....	59
<b>Annexe 2</b> .....	60

## Table des figures

Figure 1 : La classe II division 1 et la classe II division 2 (12) .....	9
Figure 2: Les facteurs de la classe II selon Delaire (4) .....	12
Figure 3 : Visualisation des 6 unités microsquelettiques de la mandibule selon Moss (4).....	13
Figure 4 : Différents types d'anomalies squelettiques chez de vrais jumeaux (1).....	14
Figure 5 : A gauche, un cartilage de conjugaison des os long - A droite, un cartilage condylien. D'après A. Petrovic et J. Stutzmann. (4) .....	14
Figure 6 : Les différentes formes de croissance condylienne (2).....	15
Figure 7: Les directions de croissance mandibulaire (4).....	16
Figure 8 : Composante transversale de la croissance en longueur d'Enlow (2).....	17
Figure 9 : Mandibule avec un potentiel auxiologique excessif de typologie brachyfaciale (4)17	
Figure 10 : Mandibule avec un potentiel auxiologique insuffisant de typologie dolichofaciale (4) .....	18
Figure 11 : A droite : coté non-travaillant - A gauche : côté travaillant (5).....	19
Figure 12 : Immunohistochimique coloration des MyHC (chaîne lourde de myosine).(1) .....	21
Figure 13 : Le système de forces résultant de l'action des activateurs sur le complexe maxillo-mandibulaire (4) .....	24
Figure 14 : Vue transversale du PUL 1 (6) .....	25
Figure 15 :Vue sagittale et système de propulsion du PUL 1 (6) .....	25
Figure 17 : Système d'articulation des gouttières similaire à l'ATM (6).....	26
Figure 16 : Vue sagittale et système de propulsion du PUL 2 (6) .....	26
Figure 18 : Superposition de la courbe de croissance avec le « cervical stage » associé (17). 37	
Figure 19: Représentation anatomique des différents « cervical stage » (18).....	37
Figure 20 : Repères anatomiques de l'analyse de Delaire .....	40
Figure 21 : Analyse topographique des tissus mous et espaces aériens.....	41

## Introduction

Le corps humain est considéré comme un appareil multifonctionnel qui s'autorégule. « Tout système ayant une origine et localisation commune est interconnecté formant ainsi un complexe. De ce fait, le système squelettique et ses constituants, organes et système musculaire, sont tous connectés en un système unique musculosquelettique. » Ainsi tous, les constituants du système cervico-maxillo-facial ont une interrelation morphogénique pouvant induire une dysmorphie si l'un de ses éléments se retrouve altéré. (32)

De ce fait, nous avons tenté d'analyser les interrelations pouvant altérer l'état morphologique de la mandibule. En effet, un déficit de croissance mandibulaire sagittal est le diagnostic le plus fréquent des classes II dont la prévalence peut atteindre jusqu'à 30% de la population. Les études cliniques ont montré que les traitements fonctionnels des classes II montrent une efficacité lorsqu'ils sont entrepris pendant le pic pubertaire, mais sans grand intérêt clinique lorsqu'ils sont entrepris plus précocement. (3) C'est pourquoi cette étude a pour objectif d'évaluer les effets du PUL dépendamment du stade de croissance.

L'intérêt principal d'utilisation des appareils fonctionnels amovibles est la rééquilibration musculaire, la suppression des dysfonctions et la coordination de la croissance maxillaire et mandibulaire. Plusieurs études ont été réalisées afin d'évaluer les modifications morphogéniques mandibulaires associées à l'utilisation d'appareils fonctionnels induisant une propulsion mandibulaire. (10) C'est pour ces raisons que cette étude a pour objectif d'évaluer les répercussions morphologiques d'un traitement par propulseur. Mais la réussite clinique ne peut être déterminée par la simple augmentation des dimensions mandibulaire, d'autres paramètres doivent être pris en considération tels que le résultat esthétique, la correction des para-fonctions et les modifications fonctionnelles. (10) C'est dans cette optique que l'analyse des espaces pharyngés ainsi que le positionnement du massif lingual appendu à l'os hyoïde ont été évalués. En effet, une étude portant sur 4.422 patients a confirmé la présence de facteurs de risque au cours de la croissance pouvant aggraver la classe II chez des sujets âgés entre 2 et 7 ans. (14) Il est donc important de chercher à diminuer la prévalence de facteurs de risques principaux qui sont la ventilation buccale, la succion du pouce, la supraclusion (>5mm), les béances (>2mm), l'hyperplasie maxillaire et l'hypoplasie mandibulaire (résultant en un surplomb entre 3-6 mm). (14)

## I. La classe II

### 1.1 La classification

Selon la classification de Ballard, classification squelettique qui définit les relations des bases osseuses maxillaire et mandibulaire par rapport à la base du crâne. La classe II squelettique est définie par un décalage sagittal lié soit à une promaxillie, soit à une rétromandibulie, soit à l'association des deux. (12) (4)

Selon la définition d'Angle, les malocclusions de classe II se caractérisent par une position distale de l'arcade mandibulaire par rapport à sa position normale, l'arcade maxillaire est prise comme référence. Elle est définie comme l'occlusion distale de plus d'une demi-cuspide de la première molaire mandibulaire par rapport à la première molaire maxillaire, de chaque côté, ce qui oblige les autres dents, dont les canines à se placer dans la même relation.

- Classe II division 1 : caractériser par une vestibulo-version des incisives centrales supérieures.
- Classe II division 2 : caractériser par une palato-version des incisives centrales supérieures.
- Si un des côtés est en classe I, la classe II est dite classe II subdivision (droite ou gauche). (11)

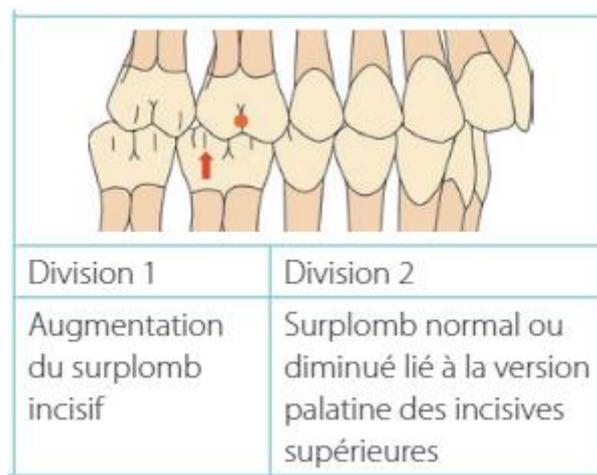


Figure 1: La classe II division 1 et la classe II division 2 (12)

## 1.2 Les formes cliniques

Les formes cliniques peuvent se diviser en trois catégories dépendamment de leur étiologie : squelettiques, dentaires ou positionnelles. (4)

### 1.1.2 Les formes squelettiques

Elles regroupent différentes formes dépendamment de leur origine. (4)

D'une part, les prognathies maxillaires dues à :

- un excès de développement sagittal du maxillaire ;
- un allongement du champ craniofacial ;
- un angle de la base du crâne ouvert ;
- une bascule anti-horaire du plan palatin ;
- un excès de développement vertical du maxillaire.

D'autre part, les rétrognathies mandibulaires dues à :

- un corps mandibulaire court ;
- un ramus court ;
- un angle goniale ouvert ;
- un champ cranio-rachidien diminué ;
- une bascule postérieure du ramus ;
- une rotation horaire mandibulaire due à un excès vertical maxillaire.

### 1.1.3 Les formes dentaires

Elles sont la conséquence d'un trouble localisé au niveau de l'arcade alvéolo-dentaire comme (4) :

- la protusion de l'arcade alvéolo-dentaire maxillaire ;
- la rétrusion de l'arcade alvéolo-dentaire mandibulaire ;
- le développement vertical en excès des procès alvéolaires postérieurs.

#### 1.1.4 Les formes positionnelles

Elles consistent en une position rétruse de la mandibule due à (4) :

- un verrouillage mécanique (défaut transversal, canines verticales ou occlusion croisée) ;
- une antéposition du disque articulaire avec dislocation postérieure du condyle ;
- un trouble postural.

Cependant Jean Delaire, condamne la catégorisation statistique et ainsi recommande une approche architecturale. Du fait des origines multiples de la classe II (squelettique par promaxillie ou rétromandibulie ou les deux, classe II/1 ou II/2 dentaires avec ou sans subdivision, décalage de l'arcade alvéolo-dentaire maxillaire mandibulaire ou les deux, excès ou insuffisance verticale de l'étage inférieur de la face) portant à un nombre infini de variétés de classe II rendant cette dernière propre à chaque individu. (4)

En effet, Izard (1950) a mis en évidence que « la malocclusion n'est qu'un symptôme ; son diagnostic, malgré son importance ne constitue qu'une partie du diagnostic général. Les seules variations de l'occlusion molaire ne peuvent à elles seules servir de base au diagnostic orthodontique. Elles en constituent seulement un élément » (4)

Ainsi l'analyse architecturale proposée par le professeur Jean Delaire permet de mettre en évidence ces anomalies occlusales comme symptômes des différents syndromes propres à chaque individu.

### 1.3 Les facteurs de la classe II

Selon Delaire, *les facteurs spécifiques favorisant la classe II* sont : la diminution de la hauteur de la voûte, la fermeture de l'angle antérieur, l'allongement de la longueur de la base du crâne et l'ouverture de l'angle postérieur.

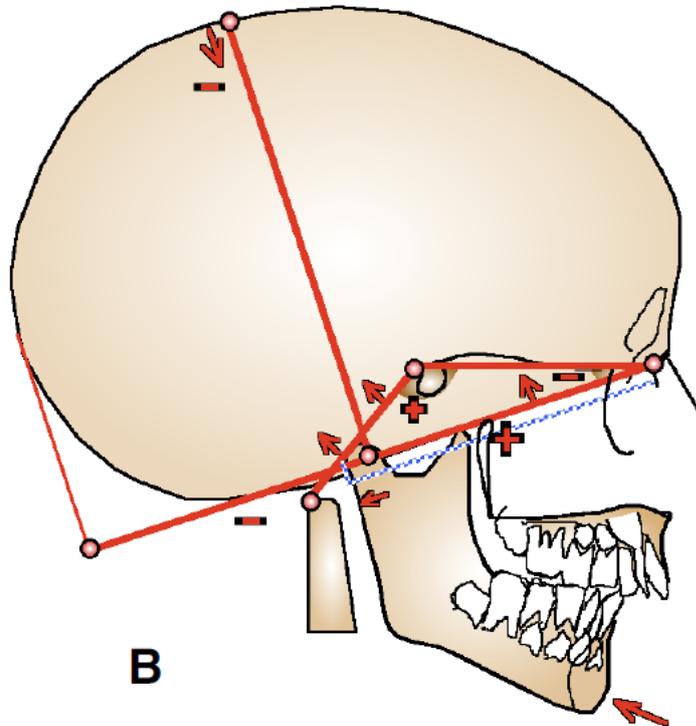


Figure 2: Les facteurs de la classe II selon Delaire (4)

## II. La croissance mandibulaire

### 2.1 Les types de croissance

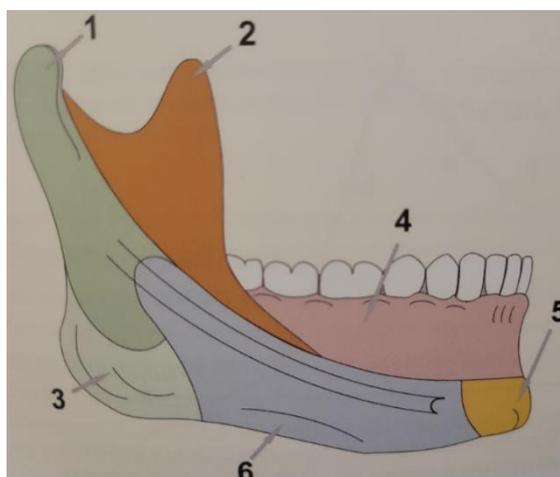
La mandibule présente une croissance mixte *enchondrale* (*condyle principalement*) et *membraneuse* (*corps*) dépendant de : la génétique (polymorphisme du gène MATN1 associé à la rétromandibulie), la dynamique crânienne, du système neuromusculaire, du système alvéolo-dentaire et des fonctions. (2)(1) En effet, Rizet généticien a démontré que l'être vivant hérite génétiquement non pas de caractères, mais de potentialités (5), rejoignant les résultats d'une étude menée chez de vrais jumeaux montrant une différence de croissance morphologie du squelette maxillo-facial chez ces deux sujets suggérant ainsi la présence d'un cofacteur environnemental. (Figure 4) (1)

La croissance enchondrale correspond à une croissance prédéfinie par une maquette cartilagineuse au niveau du cartilage coronoidien et symphysaire, disparaissant toutes deux avant la fin de la première année de vie. (2)

La croissance modelante : elle résulte de la capacité propre de croissance du tissu conjonctif squelettogène constituant la mandibule dépendamment des contraintes environnantes (principalement musculaires). (2)

Selon la théorie de Moss, les différentes unités micro-squelettiques représentées dans le schéma ci-dessous sont soumises à leurs propres matrices fonctionnelles remodelantes. (2) (8) :

- Le coroné est associé aux tractions du temporal ;
- L'angle mandibulaire est soumis aux forces exercées par le complexe massetero-pterigoidien medial et le ligament stylo-mandibulaire ;
- La symphyse est soumise aux contraintes exercées par les muscles de la mimique (triangulaire des lèvres et carré du menton) ;
- La zone basale dépend de la fonction du système musculaire hyoïdien ;
- La zone alvéolaire soumise au système dentaire en éruption et en fonction.



1. Le condyle
2. Le coroné
3. L'angle Goniaque
4. L'unité alvéolo-dentaire
5. La symphyse
6. La zone basale

Figure 3 : Visualisation des 6 unités microsquelettiques de la mandibule selon Moss (4)



Figure 4 : Différents types d'anomalies squelettiques chez de vrais jumeaux (1)

A : téléradiographie de profil de l'aîné présentant un prognathisme mandibulaire symétrique.  
B : le cadet présentant une asymétrie mandibulaire.

## 2.2 Le cartilage condylien

La spécificité du cartilage condylien : il est défini comme un cartilage secondaire présentant une histologie et physiologie différente du cartilage de conjugaison des os longs (primaire). (2)

Il est constitué de quatre couches : *fibreuse* (fibres de collagène), *cellulaire* (cellules conjonctives indifférenciées se différenciant en préchondroblastes), un *cartilage hyalin* (couche de chondroblastes désorganisés) et une *couche d'ossification enchondrale* (os spongieux). (2)

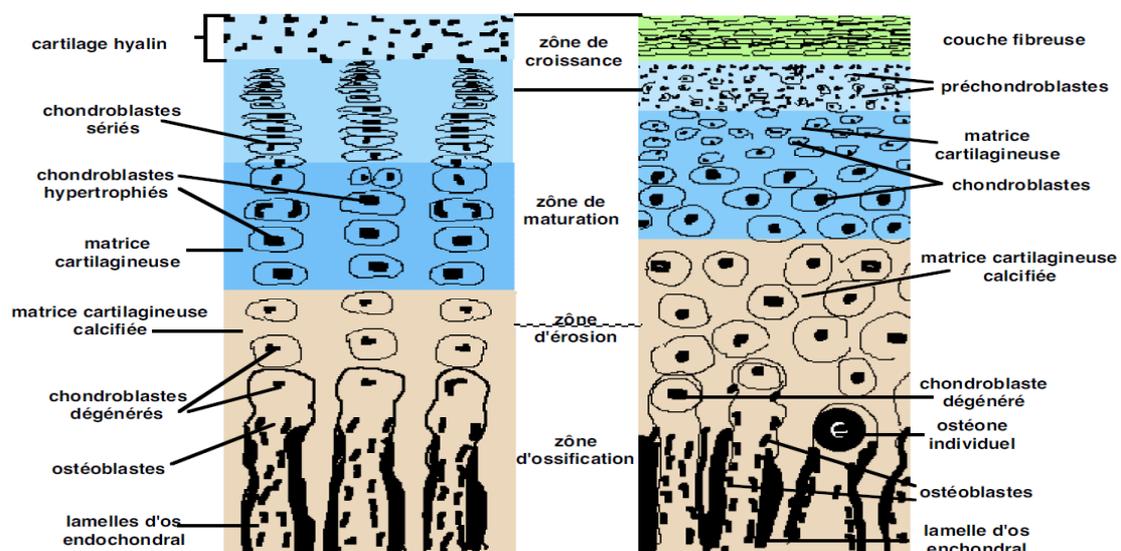
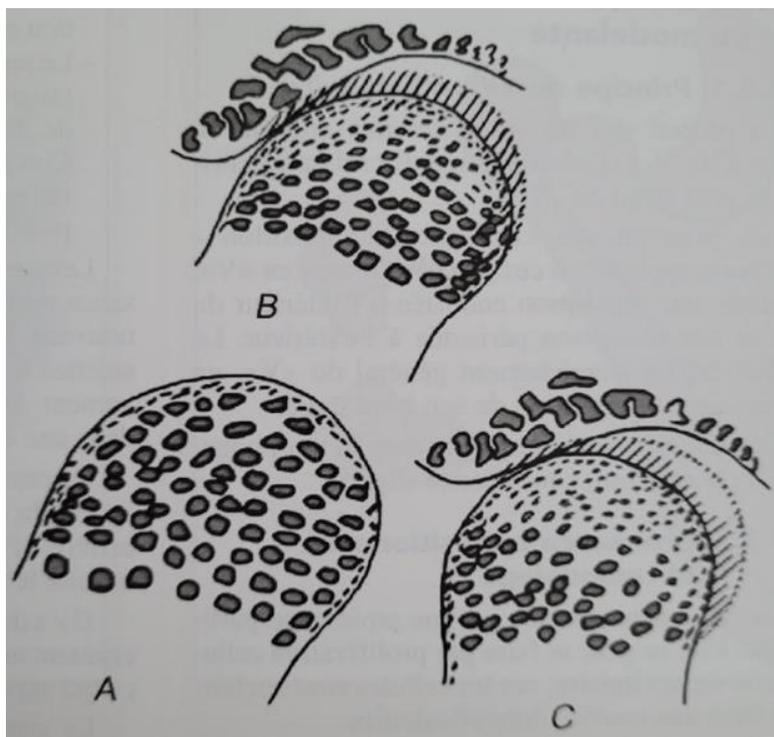


Figure 5 : A gauche, un cartilage de conjugaison des os long - A droite, un cartilage condylien. D'après A. Petrovic et J. Stutzmann. (4)

Selon Petrovic, les forces orthopédiques peuvent modifier *la quantité et la direction* de la croissance condylienne contrairement au cartilage primaire des os longs dont l'effet est uniquement directionnel. (2) En effet, une étude réalisée chez des primates et des humains soumis à une *propulsion progressive* par le biais d'un activateur de type bielle, a mis en évidence, une croissance condylienne majoritairement vers le haut et l'arrière. Une importante prolifération des préchondroblaste et chondroblaste a été observée chez les sujets étudiés résultant en la création d'un os enchondrale. Cette augmentation de population cellulaire est âge-dépendante, elle n'a pas été mise en évidence chez des sujets plus âgés. (11) (21)



A - Conditions normales : la croissance du condyle a lieu en haut et en arrière.

B - Arrêt de la fonction articulaire : arrêt de la croissance condylienne, l'ossification envahit l'ensemble du condyle

C- Sollicitation articulaire postérieure (ex. : ventilation buccale) : la zone de production cartilagineuse migre dans la zone postérieure.

Figure 6 : Les différentes formes de croissance condylienne (2)

Dans les conditions normales, le condyle grandit en haut et en arrière (Figure 6 : A). Une étude a mis en évidence, la présence d'un remodelage condylien dans la zone postérosupérieure du condyle après un traitement par bielle de Herbst suivant ainsi la direction de croissance condylienne physiologique. (22). En effet, la *direction* de croissance condylienne semble dépendre des sollicitations mécaniques environnantes. De plus, la *quantité* de croissance condylienne va dépendre de la population en cellules précurseurs (squelettoblastes) présentes au sein même de son cartilage, mais aussi des cellules sanguines provenant d'organes hématopoïétiques. La circulation sanguine semble, de ce fait, impacter le phénomène de remodelage osseux (apposition/resorption osseuse). (2)

Nous pouvons conclure que la mandibule comme l'ensemble du squelette cranio-facial est soumise à « la loi universelle de l'équivalence de la matière et l'énergie ; c'est-à-dire que l'état de tous les objets présents dans l'univers est la matérialisation des forces qui s'exercent sur eux » (4) (21)

### 2.3 La direction de croissance

Selon Jean Delaire, le corps mandibulaire (ainsi que son arcade alvéolo-dentaire) se développe à partir du point d'insertion des ligaments sphéromandibulaires par le bord postérieur des branches horizontales. Les branches montantes s'accroissent principalement par leurs parties supérieures (coroné, condyle) et postérieures. Sous l'action des forces de propulsion, la mise sous tension du ligament sphéromandibulaire induit une ossification périostée au niveau de son insertion spigienne comparable à celle produite au niveau du bord supérieur et postérieur du condyle. (4) De ce fait, Delaire considère que la croissance mandibulaire dépend autant de la *croissance du corps sollicité par la matrice fonctionnelle* que par *l'accroissement condylien*. (2) (Figure 7)

Selon Bjork, la croissance mandibulaire et la hauteur de l'étage inférieur sont déterminées par la quantité et la direction de croissance du condyle. (8)

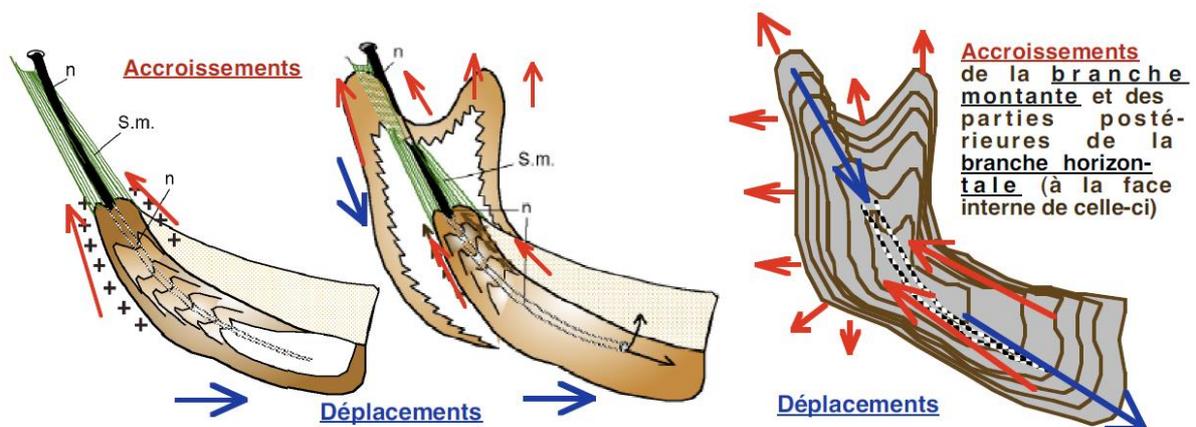


Figure 7: Les directions de croissance mandibulaire (4)

La composante transversale de la croissance mandibulaire en longueur suit la théorie du V d'Enlow résultant en un recul et une augmentation de la distante transversale entre les deux branches montantes.

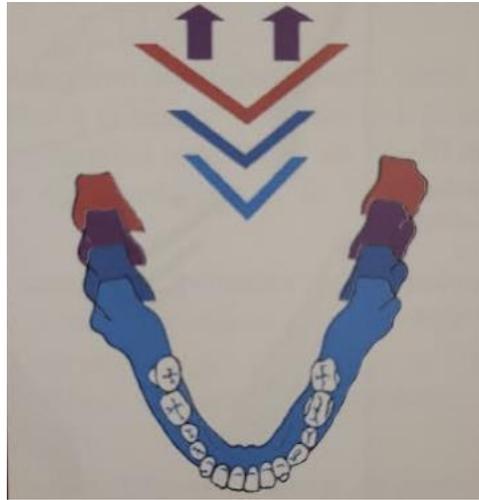


Figure 8 : Composante transversale de la croissance en longueur d'Enlow (2)

#### 2.4 Les signes du turfiste selon Delaire

Les signes du turfiste consistent en un ensemble de caractéristiques anatomiques permettant d'évaluer le potentiel de croissance mandibulaire. Il se définit comme potentiel auxiologique. (4)

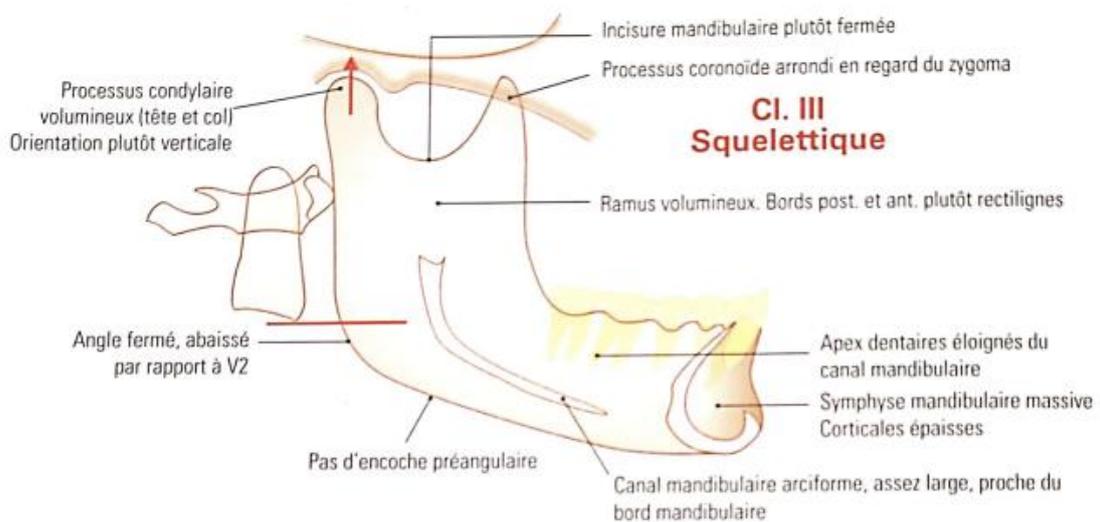


Figure 9 : Mandibule avec un potentiel auxiologique excessif de typologie brachyfaciale (4)

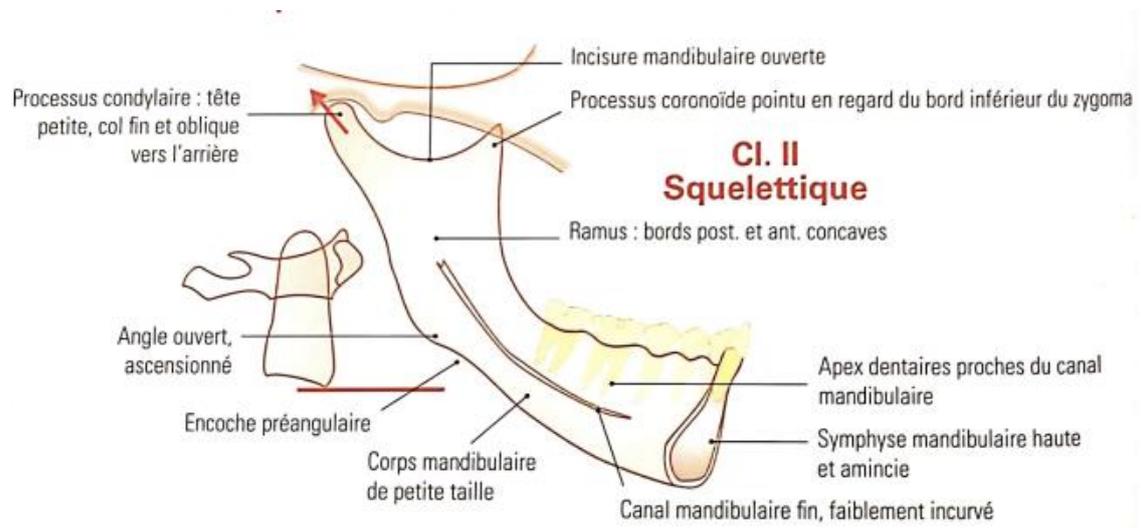


Figure 10 : Mandibule avec un potentiel auxiologique insuffisant de typologie dolichofaciale (4)

### III. Le système manducateur

#### 3.1 La dynamique masticatoire

La mandibule est un os impair, médian, mobile, s'articulant avec la base du crâne par le biais de l'articulation temporo-mandibulaire et avec le complexe maxillo-nasale par le jeu de l'occlusion statique (au repos) et dynamique au cours de la déglutition et mastication. (2)

Les travaux de Deffez j-p et al., Gaspard M et Raymond ont mis en évidence que les mouvements réalisés chez les nourrissons lors de la tétée sont symétriques par rapport au plan sagittal médian pour devenir, par la suite, avec l'introduction d'une alimentation plus solide, unilatérale alternée. De plus, une étude, réalisée toujours par Gaspard M et al., a montré que les forces délivrées au cours de la mastication unilatérale alternée étaient beaucoup plus importantes que lors de la mastication bilatérale. De ce fait, l'action de la mastication unilatérale alternée semble avoir une action importante sur la morphogénèse. Ce phénomène repose sur l'activation de mécanorécepteurs présents au niveau des dents, du parodonte et de l'ATM (Articulation Temporo-Mandibulaire) qui transmettent les forces masticatrices résultant en une croissance suturale. Ces résultats vont dans le sens de *la loi de la dimension verticale minimale* observé par Planas. (5)

En effet, plusieurs auteurs tels que Planas, Eschler, Lagaida et White ont mis en évidence les répercussions morphologiques d'une mastication unilatérale dominante comme étant les suivantes (5) :

- une ascension du plan occlusion du côté mastiquant ;
- une déviation du milieu interincisif mandibulaire du côté mastiquant ;
- une modification de la forme du condyle ; avec un condyle plus plat et une pente condylienne plus douce côté non travaillant.

Planas, a de plus, observé un *allongement du condyle et du corpus* coté non travaillant.

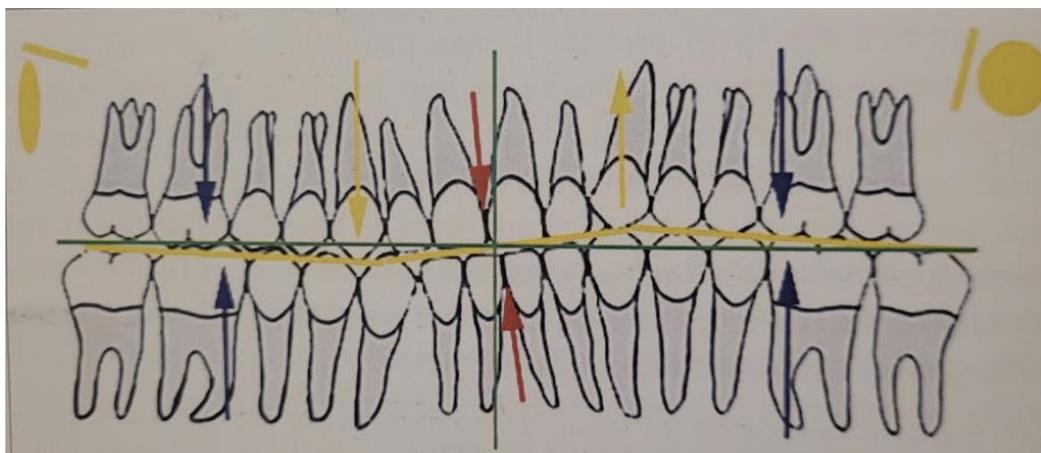


Figure 11 : A droite : côté non-travaillant - A gauche : côté travaillant (5)

Ainsi, nous pouvons conclure que la *dynamique des mouvements mandibulaire* à un impact sur la morphogenèse de cette dernière.

### 3.2 Les muscles masticateurs

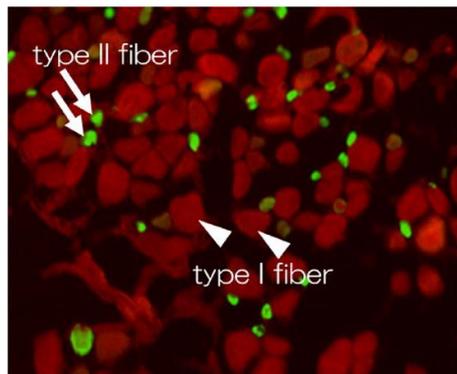
#### 3.2.1 L'activité musculaire

La mastication fonction maîtresse de l'appareil manducateur découle de l'activité des muscles masticateurs. L'interrelation entre la forme ainsi que la taille des os de la face et la force de contraction des muscles masticateurs est de nos jours connue. Ainsi, un déséquilibre de l'activité des muscles masticateurs peut altérer la forme de la mandibule. (1) Comme Avis a pu le mettre en évidence par son étude consistant en l'excision unilatérale du masséter et du ptérygoïdien médian chez des rats résultants en une atrophie unilatérale de l'angle mandibulaire. (7). En effet, on observe de ce fait une perte osseuse locale chez les patients présentant une paralysie régionale. (1)

Ainsi, l'équilibre de l'activité des muscles masticateurs semble maintenu par les traitements fonctionnels (type Sander) comme a pu le montrer une étude réalisée chez 10 adolescents à l'aide d'un EMG (électromyogramme) mettant en évidence une bonne stabilisation et coordination de l'activité musculaire après traitement fonctionnel. (20) En effet, la raison principale d'utilisation d'un dispositif fonctionnel est le rétablissement de l'équilibre musculaire, l'élimination des dysfonctions afin de permettre une croissance favorable des unités squelettiques. (29)

#### 3.2.2 La composition moléculaire

Il a été mis en évidence que les caractéristiques de la *chaîne lourde de la myosine* influent sur la forme de l'os. En effet, les patients brachycéphales présentent une prédominance de fibres rapides de type II contrairement aux patients dolichocéphales qui présentent une prédominance de fibres de type I. Les proportions de ces fibres sont déterminées génétiquement, mais peuvent être modifiées par l'environnement. (1) En effet, une étude menée sur les masséters d'un groupe de 50 patients divisé en deux sous-groupes, les premiers présentant une asymétrie mandibulaire et le second représentant le groupe contrôle, a mis en évidence (à l'aide d'anticorps spécifiques à un type d'isoforme de myosine) la présence d'une proportion de  *fibre de type II plus importante au niveau du masséter du côté dévié* (18.4%) de la mandibulaire par rapport au côté non dévié (10.6%). (9) Ainsi, bien que les caractéristiques musculaires soient majoritairement déterminées génétiquement, elles sont soumises à l'influence environnementale (des fonctions, parafonctions). (1)



*Masséter d'un sujet prognathe  
présentant une prédominance de  
fibre de type I (1)*

*Figure 12 : Immunohistochimique coloration  
des MyHC (chaîne lourde de myosine).(1)*

Enfin, le masséter humain présenterait une prédominance de fibre de type I (70%). Néanmoins, il est caractérisé par la présence *de fibres hybrides* avec différents types *d'isoformes embryonnaires* notamment lui conférant ainsi une excellente capacité régénérative. (1)

### 3.2.3 Les effets des contraintes mécaniques : étirement/compression

Une modification de l'intensité des contraintes mécaniques induite au niveau musculaire va résulter en un remaniement des chaînes de myosine. En effet, lors de l'application d'une contrainte d'intensité élevée une reconversion des fibres de type II en fibres de type I se produit et inversement dans le cas de contraintes faibles. (1) L'estimation de *l'effet mécanique* d'un muscle au niveau de son unité squelettique sous-jacente est déterminée par la force maximale qu'il exerce sur celle-ci. Cette force est proportionnelle à la largeur du muscle. (8). Nous pouvons ainsi constater que les unités squelettiques et musculaires sont interdépendantes. Il semblerait ainsi éventuellement possible de traiter les anomalies squelettiques par le biais de thérapies biomécaniques. (1)

En effet, une étude réalisée sur 50 rats a mis en évidence que la portion méniscale du muscle ptérygoïdien latéral contient, à la fois des fibres à contraction lente (type I) et des fibres à contraction rapide (type IIA, IIB et IIC). La portion condylienne du muscle ptérygoïdien latéral ne contient que des fibres rapides (type IIA et IIB). Pendant la phase de traitement orthopédique par *l'hyperpropulseur*, la proportion de fibres IIA (à contraction rapide et peu fatigable) augmente par rapport à celle de fibres IIB (à contraction rapide et fatigable). Le muscle, devenu moins fatigable, assure mieux le maintien de la mandibule en position avancée, même pendant les heures où le dispositif n'est pas porté. (14)

*La chirurgie orthognatique* peut aussi favoriser la prédominance de fibres de type II (rapide) dépendamment du type d'ostéotomies. Cependant, un étirement musculaire excessif peut avoir un effet inverse favorisant, par la sécrétion plus importante de médiateurs inflammatoires, une augmentation de la proportion de fibre de type I (lentes). (1) Il a été mis en évidence, au niveau

des masséters, une reconversion des fibres de type I en type II à l'issue de la chirurgie orthognatique, celle-ci coïncide avec le nombre de dents en occlusion. Ce phénomène semble être dû à la diminution des contraintes pendant la période de stabilisation intermaxillaire. De plus, il a été observé une augmentation de la transcription des isoformes de myosine embryonnaire à la suite de chirurgies orthognatiques. (1)

Les causes majeures de récurrence post-chirurgicale semblent être dues à une *occlusion instable* ou un *défaut d'adaptation musculaire*. L'adaptation musculaire semble, elle, étroitement liée à la quantité d'étirement du muscle modifiant ainsi le rapport M/F (Moment/Force), ce rapport se retrouvant augmenté dans le cas d'une avancée mandibulaire et diminué lors d'une ostéotomie de recul mandibulaire. (1) En effet, d'après une méta-analyse, bien que ce ne soit pas cliniquement significatif, il semblerait que la propulsion mandibulaire graduelle induit des modifications squelettiques avec moins de compensation dento-alvéolaire qu'une propulsion en un temps. (22)

En conclusion, les muscles masticateurs sont la principale origine des contraintes mécaniques modifiant ainsi la morphologie de l'os. C'est pourquoi la rééducation active des muscles a été suggérée afin d'améliorer la morphologie des unités squelettiques. (1)

#### 3.2.4 La fonction endocrine et paracrine des muscles

Les muscles assurent une fonction endocrine par leur capacité à sécréter des substances solubles telles que les interleukines *IL6/IL15*, mais aussi les myokines de type *irisin* et *myostatin* qui augmentent ou diminuent respectivement la masse musculaire et osseuse. De ce fait, les muscles sont considérés comme essentiels dans le processus de *cicatrisation des fractures* osseuses. (1)

### 3.3 La posture

La mandibule participe à la posture de la tête en contrebalançant la posture nucale avec ses multiples attaches musculo-tendineuses. (2) Du fait de la verticalité de la position de la tête, une *hypotonie* (fonctionnelle ou structurale comme chez les patients présentant une dystrophie congénitale) des muscles masséters et ptérygoïdiens médiaux résulterait en une ouverture de l'angle mandibulaire. Inversement, une hypertonie de ces muscles résulterait en la fermeture de cet angle. (1)(8) Talmant définissait la mandibule comme une structure vitale de soutien et maillon terminal de l'axe viscéral cervico-thoracique. (2)

En conclusion, bien que 40 à 80% du phénotype squelettique soit génétiquement programmé, les facteurs environnementaux tels que la dynamique masticatoire, la tonicité musculaire, la composition moléculaire, les contraintes mécaniques, la fonction endocrine et paracrine des muscles masticateurs et la posture impactent la morphologie squelettique. (1)

## IV. Les activateurs de croissance

### 4.1 Généralités

#### 4.1.1 Le principe d'action des activateurs de type : hyperpropulseurs

Les hyperpropulseurs sont des dispositifs intraoraux qui propulsent la mandibule lors de la fermeture, ils stimulent la prolifération des chondroblastes et simultanément augmente la longueur mandibulaire chez ces mêmes animaux. Ces dispositifs agissent en stimulant l'activité des masséters et des ptérygoïdiens latéraux afin que la mandibule acquière une position plus antérieure. Il semblerait que la corrélation observée entre la taille des muscles et l'accroissement mandibulaire serait induite par l'effet de ces muscles protracteurs sur la croissance condylienne. Leur effet peut être, d'une part, direct par la traction du condyle via le ptérygoïdien latéral. D'autre part, indirect par la propulsion du condyle contre l'éminence articulaire induisant un mouvement de l'articulation diriger en arrière. (8)

*Au niveau du disque articulaire* : sous l'action de la propulsion, la partie postérieure du disque articulaire va remplir l'espace postérieur créé par le déplacement du condyle. Ce tissu fibreux est constitué de fibroblastes actifs et de capillaires sanguins. (11) (22) Ces résultats confortent ceux de Franco Bruno pour qui le déplacement vers l'avant du condyle induit une aspiration postérieure du liquide nutritionnel au niveau du vide créé. Le repositionnement du condyle lors de la déglutition va induire une compression diffusant ainsi les éléments nutritifs au niveau des cellules de croissance environnante. (6)

*Au niveau de la fosse glénoïde* : on observe une apposition osseuse au niveau du bord postérieur et une résorption osseuse au niveau antérieur. La quantité d'os créée au niveau de la cavité glénoïde semble être directement corrélée à la durée du traitement. En effet, plus la durée du traitement augmente, plus la formation osseuse augmente. (11)

#### 4.1.2 La théorie de la viscoélasticité des tissus et la force de transduction

Une étude réalisée chez des primates et des humains soumis à une *activation progressive* par le biais d'un activateur de type bielle a mis en évidence que la cavité glénoïde avait une capacité de remodelage en réponse à la propulsion. (11)

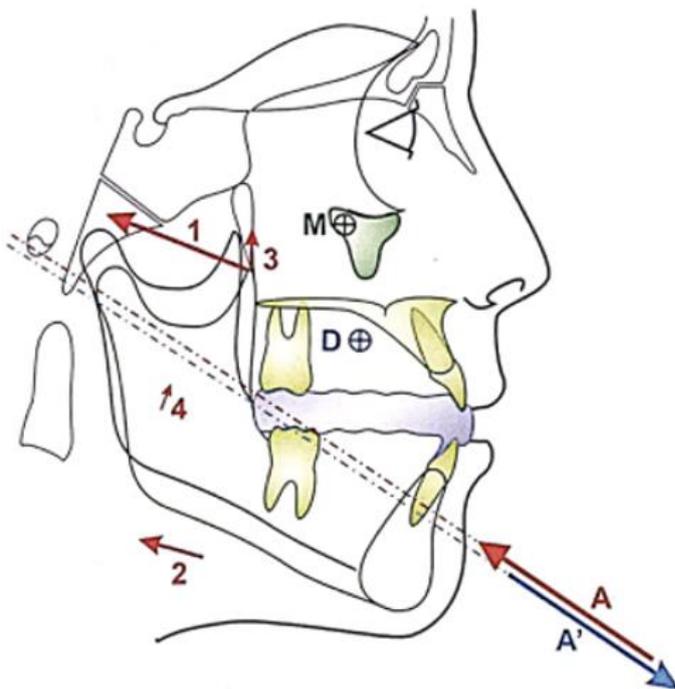
Il a été admis depuis des décennies que la croissance condylienne résulterait majoritairement de l'hyperactivité du ptérygoïdien latéral. Cependant, les tissus rétrodiscaux mis sous tension entre le condyle déplacé antérieurement et la cavité glénoïde contribueraient aussi à la régénération osseuse. (11) En effet, il a été observé une concordance entre la formation osseuse, l'accroissement mandibulaire et la diminution de l'activité musculaire des muscles masticateurs à EMG (l'électromyogramme) au niveau de la partie supérieure et inférieure du ptérygoïdien externe, du masséter et du digastrique antérieur. Ainsi les facteurs à l'origine semblent être la *viscoélasticité des tissus et la force de transduction*. Cette dernière correspond à la force

transmise au condyle par les tissus rétrodiscaux à travers le cartilage condylien induisant le mécanisme de remodelage osseux. (11)

En conclusion, la formation osseuse aurait ainsi deux étiologies, la force de viscoélasticité des tissus (résultant de l'étirement du tissu rétrodiscal, la capsule fibreuse du fluide synoviale) et la force de transduction (l'attachement du tissu rétrodiscal à la partie antérieure de la fosse glénoïde) de la contrainte induite par le mouvement de propulsion forcée. (11)

#### 4.1.3 Les effets biomécaniques des activateurs

Afin de déterminer l'effet des activateurs, Teuscher représente le centre de résistance de l'arcade alvéolo-dentaire au niveau du point D représenté dans la figure 13 ci-dessous entre la première et deuxième prémolaire maxillaire. Ainsi que, le centre de résistance du maxillaire par le point M se situant au niveau du versant postérosupérieur de la suture zygomatoco-maxillaire. (4)



*M : centre de résistance du maxillaire.*

*D : centre de résistance de l'arcade alvéolo-dentaire maxillaire.*

*Vecteur A : résultante des forces induites par l'action des muscles rétracteurs (temporaux postérieurs, sus-hyoïdiens) et élévateurs (temporaux moyens, masséter superficiel et ptérygoïdien médian).*

*Vecteur A' : force de réaction se créant au niveau de la mandibule.*

Figure 13 : Le système de forces résultant de l'action des activateurs sur le complexe maxillo-mandibulaire (4)

Ainsi en raison du point d'application de la force induite par l'action des activateurs un ensemble d'effets parasite en découle, tel que : (4)

- la bascule horaire du plan bi-spinal et du plan d'occlusion ;
- le recul du point A ;
- la palato-version des incisives maxillaires ;
- la vestibuloversion des incisives mandibulaire.

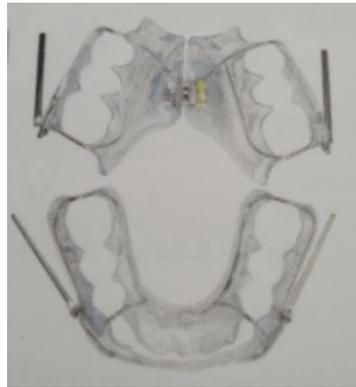
## 4.2 Le système PUL

### 4.2.1 La description de l'appareil

Le système PUL (Propulseur Universel Light) est défini par son auteur comme un harmonisateur 4D pour le traitement des syndromes de Classe I, Classe II et de Classe III.(6)

L'harmonisateur 4D permettrait la correction des rapports maxillo-mandibulaires dans les trois sens de l'espace sagittal, transversal, vertical ainsi que la rééquilibration fonctionnelle.

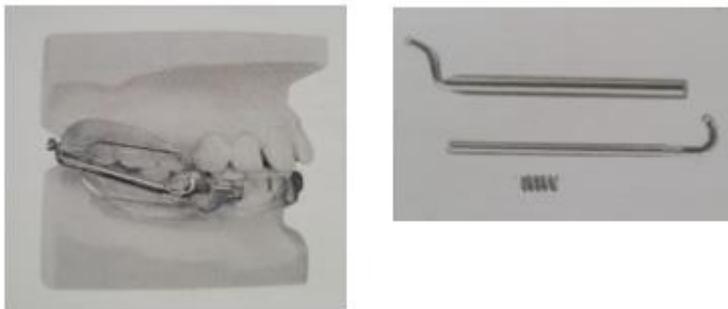
Le PUL est constitué d'une gouttière maxillaire et mandibulaire thermoformée laissant les bords occlusaux et incisals des dents libres. Une armature en alliage de type Farmalloy noyée dans les gouttières vient renforcer la structure. Un tube est soudé sur ces armatures. Ces deux gouttières sont solidarifiées par un système de propulsion métallique en titane et acier inoxydable.



*Haut : gouttière maxillaire*

*Bas : gouttière mandibulaire*

Figure 14 : Vue transversale du PUL 1 (6)



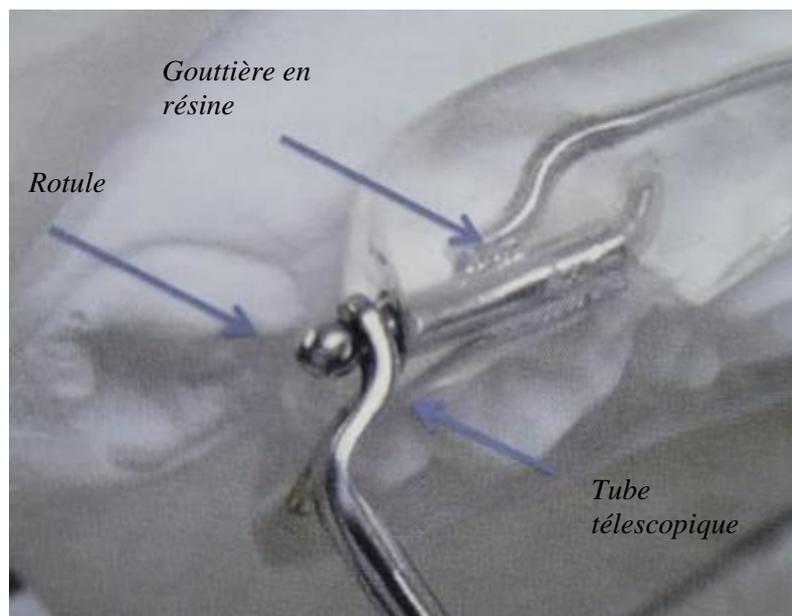
*La partie maxillaire composée de l'élément femelle coulisse avec l'élément mâle mandibulaire ; elles peuvent être ainsi désolidarisées.*

Figure 15 : Vue sagittale et système de propulsion du PUL 1 (6)



*Les parties maxillaire et mandibulaire sont solidarisées entre elles de manière fixe par le système de propulsion.*

*Figure 17 : Vue sagittale et système de propulsion du PUL 2 (6)*



*Figure 16 : Système d'articulation des gouttières similaire à l'ATM (6)*

Le système de rotule permettant l'articulation entre les deux gouttières ainsi que les ressorts amortisseurs confèrerait une liberté fonctionnelle à l'ATM dans tous les sens de l'espace même en rétroposition au cours de la déglutition. Ce mouvement de retrusion semble favorable à la croissance du condyle et de la cavité glénoïde. (Figure 17) (11)(6)

### Activation du dispositif

L'auteur recommande une activation douce de (2 mm) pour ce faire le système de propulsion est constitué de ressort amortisseur respectant l'enveloppe musculaire et l'ATM. En effet, une propulsion de 1 mm induit une force de contraction des muscles repulseurs de 100 gr en réponse à leur étirement. En cas d'asymétrie les forces seront réparties inégalement.

#### 4.2.2 Le mode d'action dépendamment de la typologie

Le principe d'action du PUL repose sur « la fonction crée la forme » de Linder Arosen ainsi l'effet orthopédique est la conséquence de l'effet fonctionnel. Son action dépendamment de la typologie faciale (6)(4) :

Chez l'hyperdivergent avec béance : la propulsion mandibulaire résulte en un contact postérieur précoce induisant une contraction proprioceptive réflexe des fibres musculaires temporo-masseterines se traduisant en une rotation antérieure de la mandibule et une ingression molaire. La diminution du surplomb et la mobilité de la plaque palatine vont favoriser un contact bilabial et un positionnement de la base de la langue en haut et en arrière permettant ainsi une rééducation de la ventilation, de la déglutition et la normalisation de l'activité des muscles masticateurs.

Chez l'hypodivergent avec supraclusion : la propulsion mandibulaire résulte en une desocclusion postérieure et le rétablissement d'un guide incisif antérieur. L'absence de contact occlusal postérieur va induire une neutralisation provisoire des fibres musculaires temporo-massétéries (effet Aikido) et des forces occlusales résultant en une égression molaire. Le déverrouillage mandibulaire réalisé par la restauration d'un guide incisif antérieur va favoriser la correction de la classe II par des effets squelettiques ou dento-alvéolaires dépendamment de l'âge du patient. Enfin, la suppression du surplomb va permettre la rééducation de la ventilation et de la déglutition.

#### 4.2.3 Les effets promis

Les effets du PUL répondent aux 7 harmonies de ricketts, elles sont les suivantes (6) :

- Harmonisation fonctionnelle et nutritionnelle : avec une normalisation de la ventilation, la déglutition et du tonus musculaire.
- Harmonie de L'ATM : grâce au ressort d'amortissement et la liberté de mouvement.
- Harmonisation faciale, psychologique et comportementale : cercle vertueux de l'automotivation avec l'amélioration de l'estime de soi.
- Harmonisation occlusale dento-squelettique :
  - correction des asymétries fonctionnelles et occlusales.
  - Sagittale: redressement ou vestibuloversion des incisives supérieures et inférieures, distalisation des secteurs postérieurs maxillaire, et reformage et normalisation mandibulaire.
  - Transversale : expansion du maxillaire ou reformage en cas d'exomaxillie.
  - Verticale : guidage de l'évolution des dents permanentes après la chute des dents lactéales.
- Harmonisation temporelle : correction stable dans le temps avec une durée minimum de traitement de 12 mois sous condition de normalisation des fonctions et du port nocturne d'un PUL anti-récidive tout le long de la période de croissance.

#### 4.2.4 L'application clinique

Patiente âgée de 13 ans et 9 mois (CS4) présentant une classe 2/1 avec un décalage squelettique de  $5.5^\circ$  sur un schéma facial mesodivergent traité par une première phase orthopédique de 12 mois à l'aide d'un PUL 1 avec verin médian maxillaire.

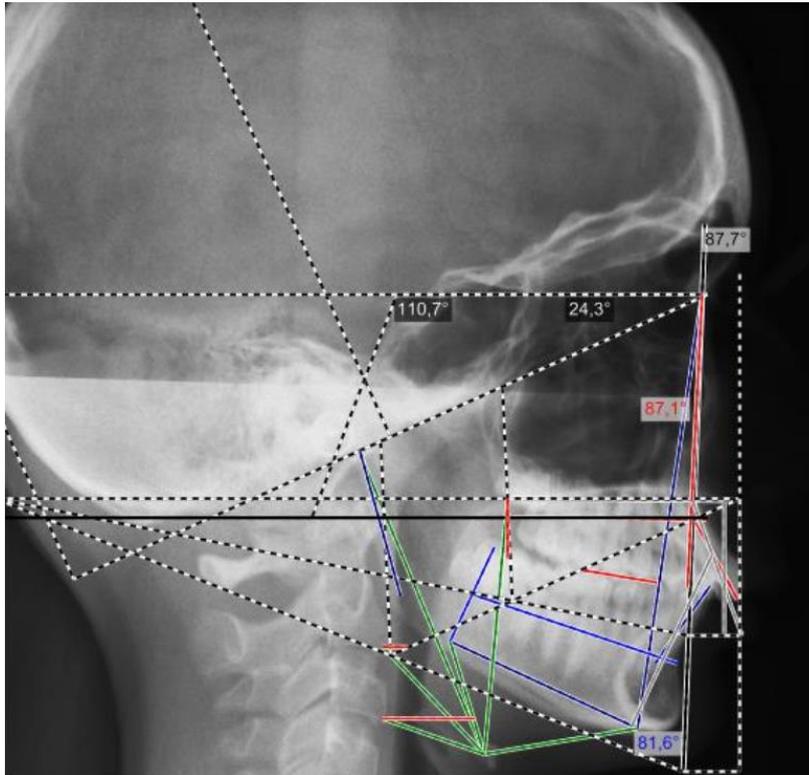
Photographies du visage avant traitement (02/2017)



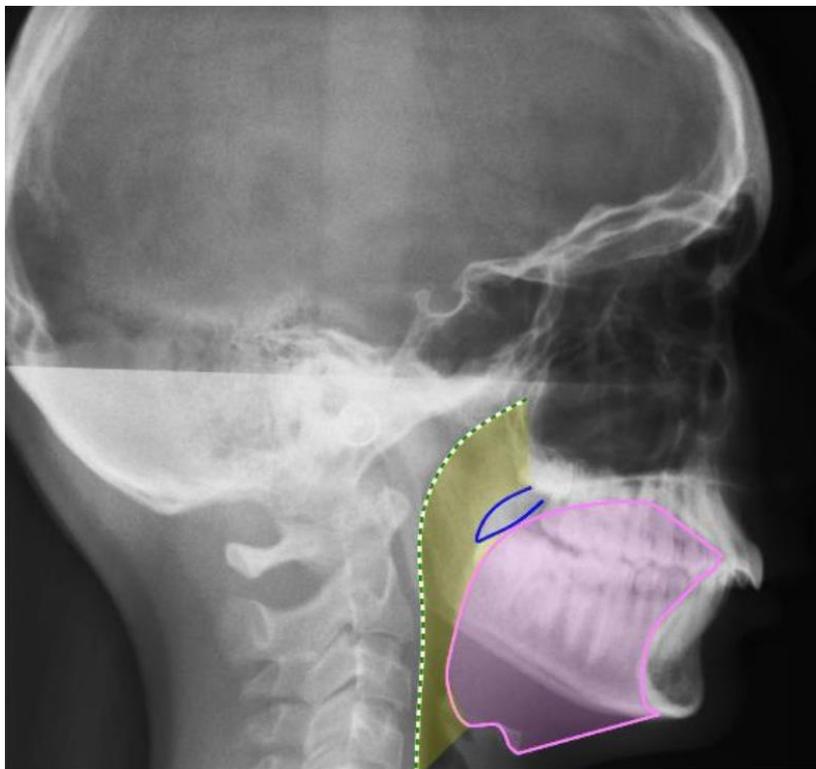
Photographies endo-buccales avant traitement (02/2017)



## Téléradiographie de profil avant traitement – T1 (02/2017)



	T1
Lumière pharyngée	861
Hy-Pti	55
Hy-V3	23
Hy-Vatlas	19
ARA-Vatlas	3
ENA-ME	51,5
NVOd-Ara	18
ENA-ME	51,5
NVOd-Arp	13
C1-ARA	30
C1-ARP	35
Arp-F3	-4,9
C1F1M	87,1
C1F1m	81,6
F1M/F1m	5,5
N-Ena/Ena-Me	51,7
HRamus/N-ENA	73,7
Cp-Go	35,9
Pts-Pto/Cp-Go	-10
Na-Me	44,1
Cp-Me	84
Cp-Go/Go-Me	133,8
Pti-F4	-0,1
Msup-F8	-9,3
PMaxP-A	42
LRaNo-B	46
AoBo	1
Apex-l	-1,1
Axe-l	8,4
Apex-i	-1,1
Axe-i	10,1



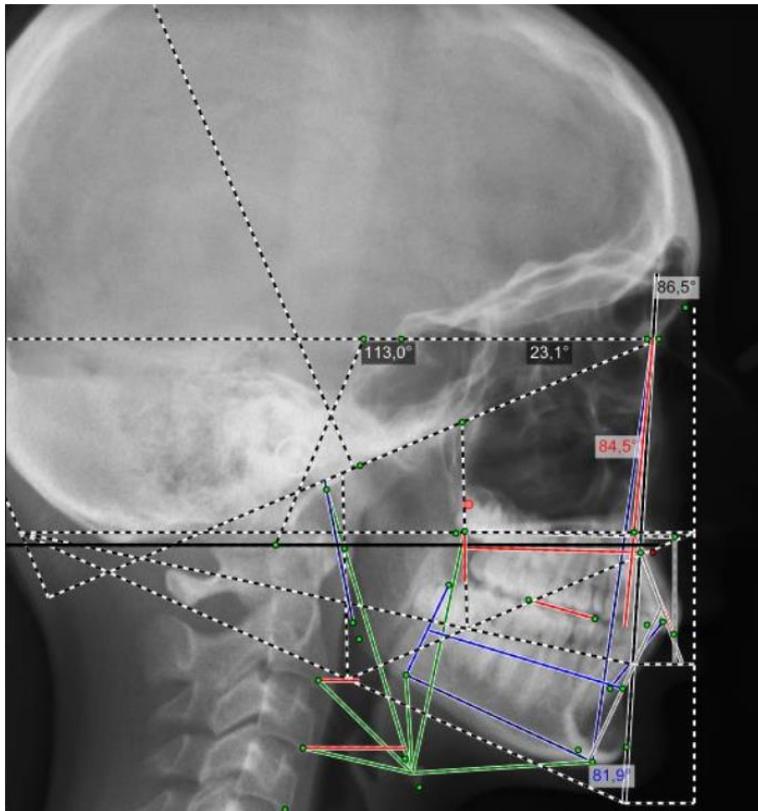
*Analyse topographique des tissus mous et espaces aériens – T1*

Photographies endo-buccales (08/2018)

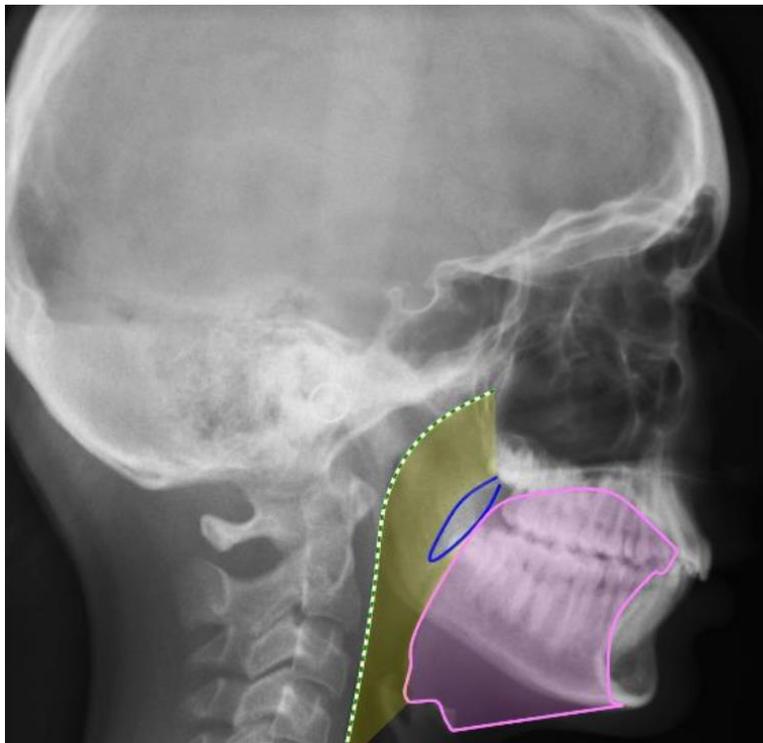


*Photographies réalisées après traitement par PUL de 18 mois, le jour de la pose du multi-attaches inférieur (12 mois de port continu + 6 mois de port nocturne).*

## Téléradiographie de profil après traitement par PUL – T2 (08/2018)



	T2
<i>Lumière pharyngée</i>	1124
<i>Hy-Pti</i>	57
<i>Hy-V3</i>	25
<i>Hy-Vatlas</i>	14
<i>ARA-Vatlas</i>	4
<i>ENA-ME</i>	54,2
<i>NVod-Ara</i>	18
<i>ENA-ME</i>	54,2
<i>NVod-Arp</i>	13
<i>C1-ARA</i>	29
<i>C1-ARP</i>	34
<i>Arp-F3</i>	-4,4
<i>C1F1M</i>	84,5
<i>C1F1m</i>	81,9
<i>F1M/F1m</i>	2,6
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	51,1
<i>HRamus/N-ENA</i>	74,1
<i>Cp-Go</i>	37,1
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-10,1
<i>No-Me</i>	46,7
<i>Cp-Me</i>	87,9
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	130,2
<i>Pti-F4</i>	-0,2
<i>Msup-F8</i>	-9,1
<i>PMaxP-A</i>	43
<i>LRaNo-B</i>	46
<i>AoBo</i>	1
<i>Apex-I</i>	-0,2
<i>Axe-I</i>	2
<i>Apex-i</i>	-2,1
<i>Axe-i</i>	12,8



*Analyse topographique des tissus mous et espaces aériens – T2*

## Comparatif des valeurs avant/après traitement par PUL (T1/T2)

	T1	T2
<i>Lumière pharyngée</i>	861	1124
<i>Hy-Pti</i>	55	57
<i>Hy-V3</i>	23	25
<i>Hy-Vatlas</i>	19	14
<i>ARA-Vatlas</i>	3	4
<i>ENA-ME</i>	51,5	54,2
<i>NVOd-Ara</i>	18	18
<i>ENA-ME</i>	51,5	54,2
<i>NVOd-Arp</i>	13	13
<i>C1-ARA</i>	30	29
<i>C1-ARP</i>	35	34
<i>Arp-F3</i>	-4,9	-4,4
<i>C1F1M</i>	87,1	84,5
<i>C1F1m</i>	81,6	81,9
<i>F1M/F1m</i>	5,5	2,6
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	51,7	51,1
<i>HRamus/N-ENA</i>	73,7	74,1
<i>Cp-Go</i>	35,9	37,1
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-10	-10,1
<i>No-Me</i>	44,1	46,7
<i>Cp-Me</i>	84	87,9
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	133,8	130,2
<i>Pti-F4</i>	-0,1	-0,2
<i>Msup-F8</i>	-9,3	-9,1
<i>PMaxP-A</i>	42	43
<i>LRaNo-B</i>	46	46
<i>AoBo</i>	1	1
<i>Apex-l</i>	-1,1	-0,2
<i>Axe-l</i>	8,4	2
<i>Apex-i</i>	-1,1	-2,1
<i>Axe-i</i>	10,1	12,8

Conclusion

À la fin du traitement orthopédique, la patiente présente d'un point de vue fonctionnel :

- une augmentation du périmètre des voies aériennes supérieures de 263 mm<sup>2</sup>.

À la fin du traitement orthopédique, la patiente présente d'un point de vue squelettique :

- une classe II de 2.6 °, soit une diminution de 2.9° de l'angle F1Mf1m associée à une diminution de l'angle C1F1M et une augmentation de l'angle C1F1m ;
- un accroissement mandibulaire Cp-Me 3.9 résultant d'une augmentation de la longueur du ramus Cp-Go de 1.2 mm et du corps mandibulaire No-Me de 2.6 mm.

À la fin du traitement orthopédique, la patiente présente d'un point de vue dentaire :

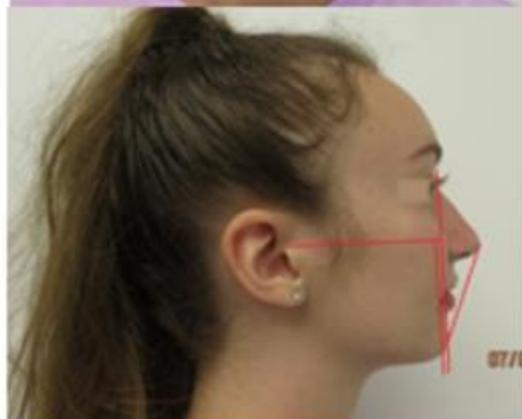
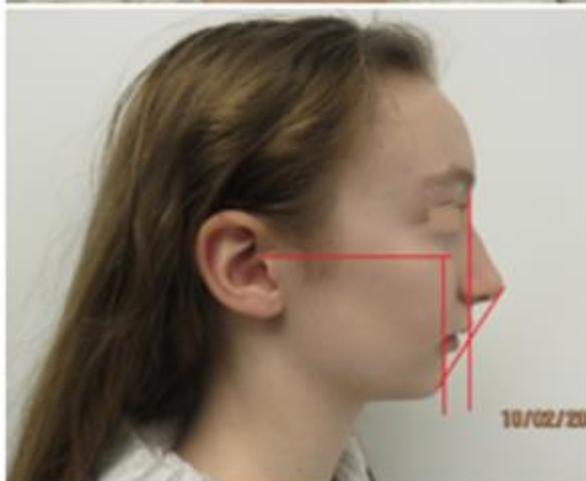
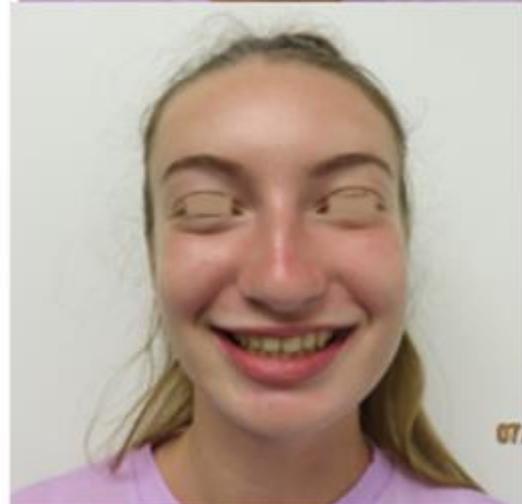
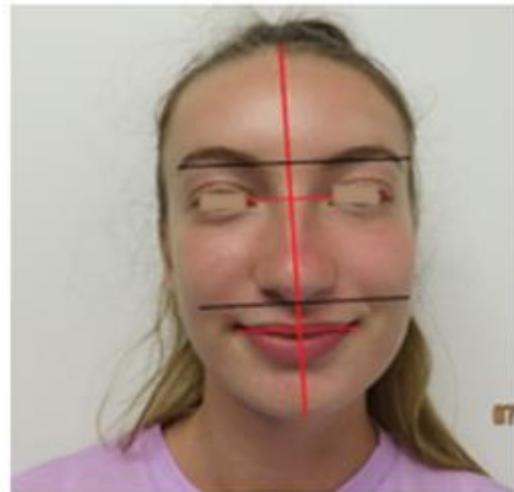
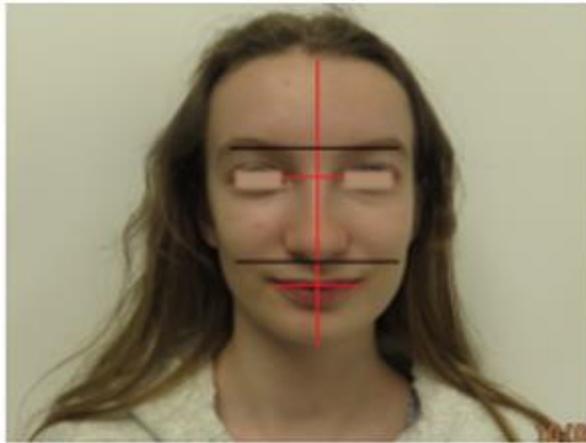
- une classe 1 molaire et une classe 2 canine avec exclusion de la 15 et 24 ;
- une diminution de la supraclusion associée à une augmentation de l'étage inférieur Ena-Me de 3.3 mm et une vestibuloversion de l'incisive mandibulaire de 2.7°.

## Photographies intra-buccales après traitement par multi-attaches (01/2020)



*Après traitement par multiattaches d'alignement, de nivellement et d'intercuspidation, la patiente présente une classe I dentaire avec correction de la supraclusion.*

Photographies du visage de début et de fin de traitement (01/2020)



## V. Méthode analytique

### 5.1 Population

L'étude porte sur 27 patients (F = 16 ; M= 11). Les patients proviennent de 3 cabinets différents, dont 18 du cabinet du Docteur Callabe Elie, 8 du cabinet du Docteur Pierre Butruille Sophie et 1 du cabinet du Docteur Benhallou Mounia. Ils présentent tous une classe II squelettique et alvéolo-dentaire, ce groupe a été divisé en deux sous-groupes dépendamment de leur stade de maturation vertébrale selon la CVMI.

Le groupe 1 est composé de 15 patients présentant un stade de maturation CS1 et CS2 (F =8 ; M =7). Les patients sont âgés de 7 ans et 1 mois à 11 ans et 8 mois en début de traitement. Ils ont tous été traités avec le dispositif PUL pour une durée de 12 à 18 mois.

Le groupe 2 est composé de 12 patients présentant un stade de maturation CS3 et CS4 (F =8 ; M =4). Les patients sont âgés de 9 ans et 1 mois à 13 ans et 8 mois en début de traitement. Ils ont tous été traités avec le dispositif PUL pour une durée de 12 à 18 mois.

#### 5.1.1 Critères d'inclusion et d'exclusion

Les patients inclus dans l'étude présentent :

- une classe II alvéolo-dentaire et squelettique ;
- une rétromandibulie ;
- un angle F1MF1m supérieur ou égal à  $1.9^\circ$  ;
- un stade cervical entre CS1 et CS4 ;
- des téléradiographies graduées avant et après le traitement par PUL.

Les patients non inclus dans l'étude sont ceux :

- qui ont terminé leur croissance ;
- dont les téléradiographies ne sont pas graduées ;
- ne présentant pas une rétromandibulie ;
- dont l'angle F1MF1m est inférieur à  $1.9^\circ$

### 5.1.2 Échantillons

Selon la classification de Lamparski, la période pubertaire peut être divisée en différents stades nommés *Cervical Stage (CS)* dépendamment de la taille et de la morphologie des corps vertébraux des six premières vertèbres cervicales. (18)

L'échantillon a été réparti en deux groupes dépendamment de leur stade de croissance. Le premier groupe est constitué de 15 sujets présentant un stade CS1-CS2 et le deuxième de 12 sujets au stade CS3-CS4.

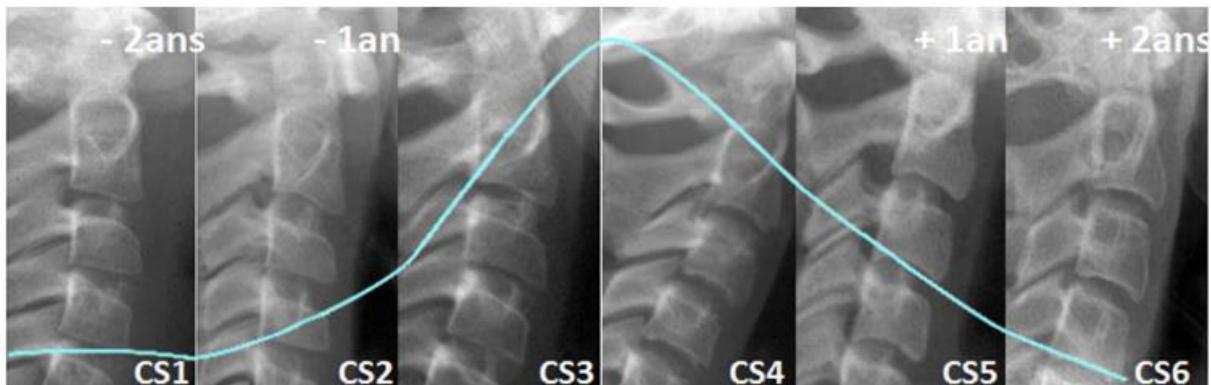


Figure 18 : Superposition de la courbe de croissance avec le « cervical stage » associé (17)

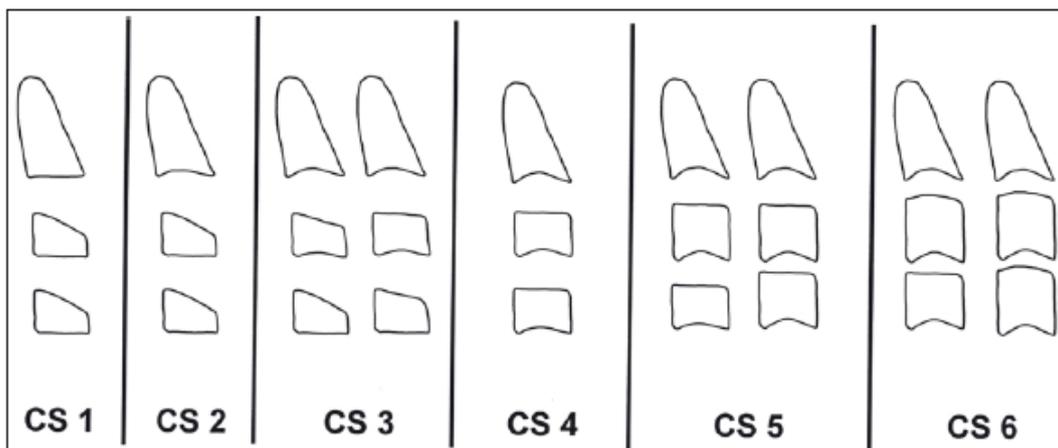


Figure 19: Représentation anatomique des différents « cervical stage » (18)

Les « Cervical stage » se définissent comme suit (17) :

- Cervical stage 1 (CS1) : 2 ans avant le pic pubertaire, les bords inférieurs des vertèbres C2 à C4 sont plats. Les bords supérieurs de C3 à C4 sont déclives de l'arrière vers l'avant.
- Cervical stage 2 (CS2) : 1 an avant le pic pubertaire, le bord inférieur de C2 présente une concavité. Les corps de C3 et C4 restent inchangés.
- Cervical stage 3 (CS3) : au cours de la première année du pic pubertaire, le bord inférieur de C2 et C3 présente une concavité. Les corps vertébraux de C3 et C4 se développent, ils peuvent être soit trapézoïdes ou rectangulaires avec un bord supérieur de moins en moins déclive.
- Cervical stage 4 (CS4) : 1 à 2 ans après le pic pubertaire, les bords inférieurs C2, C3 et C4 présentent une concavité. Les corps vertébraux de C3 et C4 sont rectangulaires avec le bord supérieur plus long que haut.
- Cervical stage 5 (CS5) : 1 an après la fin du pic pubertaire, les corps vertébraux de C2, C3 et de C4 sont concaves. Au moins un des corps de C3 ou de C4 est carré avec une diminution de l'espace intervertébral.
- Cervical stage 6 (CS6) : 1 an après la fin du pic pubertaire, les concavités des bords inférieurs de C2 à C4 se sont approfondies. Les corps vertébraux de C3 et de C4 sont tous deux carrés ou rectangulaires, ils sont plus hauts que larges.

#### 5.1.2.1 Échantillon Groupe 1

Identité	Nom	Genre	Âge	CVM	F1M/F1m
1	<i>F E.</i>	F	10,11	Cs2	6,4
2	<i>LM.</i>	M	7,1	cs1	3,4
3	<i>C A.</i>	F	9,9	cs1	3,9
4	<i>B L.</i>	F	7,8	cs1	8,3
5	<i>B N. A.</i>	M	11,8	cs2	1,9
6	<i>C N.</i>	M	10,1	cs1	4,6
7	<i>T A.</i>	M	8,3	cs1	11,3
8	<i>B R.</i>	F	8,8	cs1	6,9
9	<i>K M.</i>	M	9,11	cs2	7,3
10	<i>P C.</i>	M	10,9	cs1	3,8
11	<i>Q A.</i>	F	9,9	cs2	5,4
12	<i>R A.</i>	F	9,6	cs2	7,1
13	<i>V E.</i>	F	8,7	cs2	6,1
14	<i>W A.</i>	F	9,1	cs2	4,7
15	<i>D T.</i>	M	9,1	cs1	3,3

## 5.1.2.2 Échantillon Groupe 2

Identité	Nom	Genre	Âge	CVM	F1M/F1m T1
16	Augusto P.	F	13,4	cs4	2,1
17	Dufour C.	F	13,8	cs4	5,5
18	Bourdu T.	M	10,11	cs3	4,6
19	Baptista G.	M	13,8	cs3	2,3
20	Deruytere N.	F	11,11	cs4	1,9
21	Hameau L.	M	13,7	cs4	2
22	Pasdeloup L.	F	9,9	cs3	3,7
23	Potin A.	F	10,11	cs3	9,1
24	Rose L.	F	13,8	cs4	6,7
25	Rabotain A.	F	11,7	cs4	4,9
26	Cognaux L.	M	13,8	cs4	6,5
27	Fossy J.	F	9,1	cs4	4,2

## 5.2 Mesures

Pour chaque patient, deux téléradiographies de profil ont été prises à T1 (avant traitement) et à T2 (12+/-6 mois) après traitement par PUL. Une analyse de Delaire a été réalisée pour chacune des téléradiographies par le même opérateur à l'aide du logiciel d'analyse *Delaire 2015 Evolution*. Toutes les téléradiographies ont été réalisées en occlusion en utilisant la technique standard de radiologie avec un céphalostat respectant les normes latérales de positionnement et un rayon incident central perpendiculaire au film passant par le méat acoustique externe. Les clichés ont été réalisés au niveau du profil droit de chaque patient avec une posture céphalique droite, relâchée et dents en occlusion. Toutes les téléradiographies ont été calibrées afin que les valeurs puissent être converties en taille réelle grâce au même logiciel d'analyse.

L'ensemble des repères sont décrits dans les figures suivantes (Figures 20-21).

## 5.2.1 Analyse de Delaire

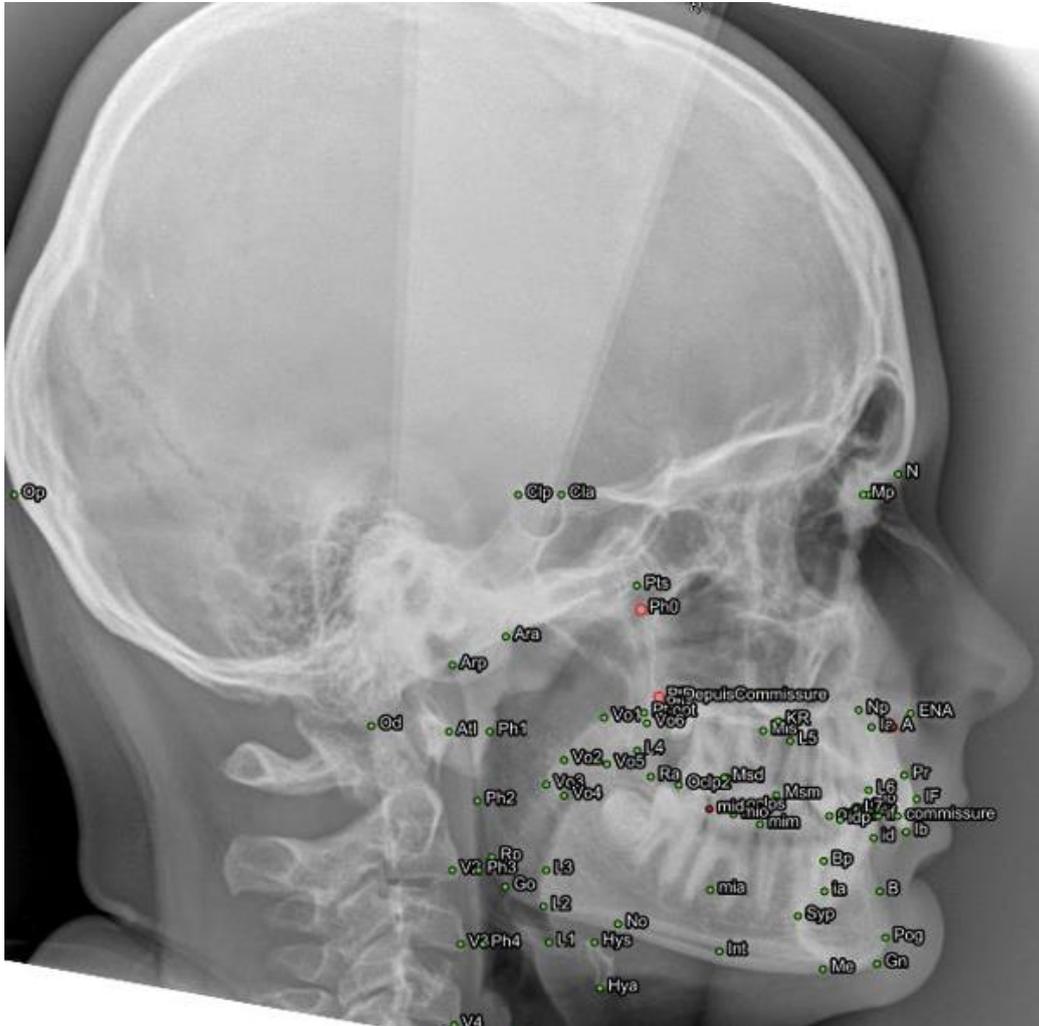
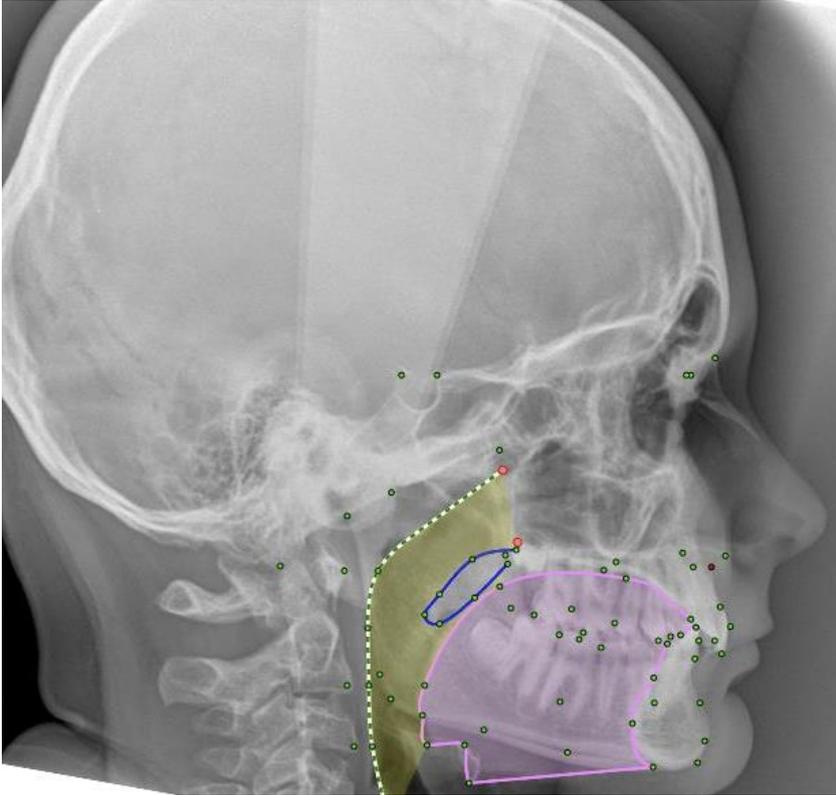


Figure 20 : Repères anatomiques de l'analyse de Delaire

**N** :Nasion; **M** : métanasion; **Mp** : métanasion postérieur; **Cla** : clinoïde antérieure; **Clp**: clinoïde postérieur; **Op** : occipital postérieur; **SC** : sommet du crâne; **Ara** :articulaire antérieur; **Arp** : articulaire postérieur; **Od** : odontoïdien; **Atl** : atlas; **Pts** : ptérygoïdien supérieur; **Pti** : ptérygoïdien inférieur; **Ena** : épine nasale antérieure, **NP** : point nasopalatin; **A** : point le plus déclive du bord antérieur de l'arcade alvéolaire maxillaire ; **B** : point le plus déclive du bord antérieur de l'arcade alvéolaire mandibulaire ; **Ra** : ramus antérieur; **Rp**: ramus postérieur; **Go**: gonion; **Gn**: Gnathion; **No**; échancrure pré-angulaire; **Ia**: apex de l'incisive maxillaire; **Ib**: bord libre de l'incisive maxillaire; **ia**: apex de l'incisive mandibulaire; **ib**: bord libre de l'incisive mandibulaire; **Msd/Msm** : Molaire supérieur distale/Molaire supérieur mésiale ; **Mid/Mim** : Molaire inférieur distale/Molaire inférieur mésiale **Pr** : Prosthion ; **IF** : Bombé de la face vestibulaire incisive supérieure ; **If** : Bombé de la face vestibulaire de l'incisive inférieur ; **Occla**: point d'occlusion antérieur; **Occlp**: point d'occlusion postérieur; **Pog**: pogonion; **Syp**: symphyse postérieure; **Me**: menton osseux; **Hy**: os hyoïde; **V2**:angle inférieur de la 2eme vertèbre; **V3**:angle inférieur de la 3eme vertèbre. **V4** : angle inférieur de la 4eme vertèbre **V5** : angle inférieur de la 5eme vertèbre. **Vo1**: voile palatin point 1; **Vo2**: voile palatin point 2; **Vo3**: voile palatin point 3; **Vo4**: voile palatin point 4; **Vo5**: voile palatin point 5; **L1** : Lanque 1 ; **L2** : Lanque 2 ; **L3** : Lanque 3 ; **L4** : Lanque 4 ; **L5** : Lanque 5 ; **L6** : Lanque 6. **Ph1** : pharynx point ; **Ph2** : pharynx point 2 ; **Ph3** : pharynx point 3 ; **Ph4** : pharynx point 4 ; **Ph5** : pharynx point 5 ; **Ph6** : pharynx point 6 ; **Hya** : hyoïdien antérieur. **Hys** : hyoïdien supérieur.



*Selon l'analyse de Delaire, le territoire jaune représente la lumière pharyngée et le territoire en rose, le massif lingual. Ils s'expriment en mm<sup>2</sup>.*

Figure 21 : Analyse topographique des tissus mous et espaces aériens

### 5.2.2 Mesures évaluées

Pour chacun des 27 patients de l'étude, les 30 valeurs suivantes ont été mesurées avant et après traitement par PUL (T1 et T2).

#### Mesures du périmètre des espaces pharyngés

Le territoire (mm<sup>2</sup>) occupé par la lumière pharyngée délimité par le mur postérieur du pharynx et le bord postérieur de la fosse palatine, du palais mou et de la langue jusqu'au niveau de la quatrième vertèbre cérébrale.

#### Mesures squelettiques

Dans le sens sagittal :

- Position de la tête du condyle par rapport à F3 : Arp-F3 ;
- Angle C1/f1M donnant l'orientation maxillaire par rapport à la base du crâne ;
- Angle C1/f1m donnant l'orientation mandibulaire par rapport à la base du crâne ;
- Angle f1M/f1m mesurant le décalage maxillo-mandibulaire squelettique ;
- Longueur du corps mandibulaire (No-Me) ;

- Longueur mandibulaire totale (Cp-Me) ;
- Positionnement de l'os hyoïde : Hy-V3 ; Hy-Vatlas ;
- Positionnement du condyle par rapport à l'Atlas : Ara- Vatlas.

Dans le sens vertical :

- Longueur des segments N-ENA par rapport ENA-Me ;
- Longueur ENA-Me ;
- Longueur du ramus (Cp-Go)
- Angle mandibulaire (Cp-Go/Go-Me)
- Niveau du plan occlusal molaire par rapport à F8 : Msup-F8 ;
- Hauteur faciale postérieure : Proportion hauteur du ramus par rapport Pts-Pto /Cp-Go ;
- Niveau de la partie postérieure du plan palatin par rapport à F4 : Pti-F4 ;
- Positionnement du condyle par rapport à C1 : C1-Arp, C1-Araè
- Positionnement du condyle par rapport à F4 passant par Od : Niveau NvOd-ara NvOd-Arp ;
- Positionnement de l'os hyoïde : Hy-Pti.

#### Mesures alvéolaires

- AoBo
- Longueur de l'arcade alvéolo-dentaire maxillaire (Ligne Ra-No au point B)
- Longueur de l'arcade alvéolo-dentaire mandibulaire (Plan postérieur maxillaire\* au point A). Il se définit comme le plan traversant la fente ptérygopalatine et longeant la face postérieure de la tubérosité maxillaire.

#### Mesures incisives

- Position de l'apex de l'incisive maxillaire par rapport à d1 ;
- Inclinaison de l'incisive maxillaire par rapport à d1 ;
- Position de l'apex de l'incisive mandibulaire par rapport à d2 ;
- Inclinaison de l'incisive mandibulaire par rapport à d2.

L'ensemble des mesures de l'analyse de Delaire sont figurées dans les annexes (1 et 2).

### 5.3 Analyse statistique

Les analyses statistiques de corrélation sont faites à l'aide du logiciel « *XLstat* ». Avec ce modèle statistique, une corrélation est significative si le coefficient de *pearson* (*p*) est inférieur à 0.05. Un t-test de Student a été réalisé pour deux échantillons appariés ainsi que pour deux échantillons indépendants. Enfin, un test de Wilcoxon a été réalisé pour les valeurs ne suivant pas la loi de normalité.

## VI. Résultats

### 6.1 Statistiques intra-groupe

#### Groupe 1

Les résultats statistiques sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

	T1 Groupe 1		T2 Groupe 1		P value
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<i>Lumière pharyngée</i>	921.2	229.422	938.6	198.482	0.605
<i>Hy-Pti</i>	53.333	4.047	51.4	4.501	0.01*
<i>Hy-V3</i>	27.6	3.355	28.133	3.962	0.383
<i>Hy-Vatlas</i>	16.8	5.267	18.8	6.625	0.154
<i>ARA-Vatlas</i>	8.133	2.973	7.333	3.039	0.125
<i>Ena-Me</i>	57.44	5.042	58.273	4.745	0.008**
<i>NVOd-Ara</i>	17.333	2.526	17.267	3.011	0.917
<i>NVOd-Arp</i>	14.133	2.722	14.067	2.963	0.919
<i>C1-ARA</i>	27.4	2.063	27.733	1.710	0.290
<i>C1-ARP</i>	30.533	2.264	30.667	2.193	0.719
<i>Arp-F3</i>	-0.180	3.213	-0.967	3.066	0.270
<i>C1F1M</i>	85.320	3.042	84.013	2.950	0.004**
<i>C1F1m</i>	79.653	2.663	80.920	2.715	0.001**
<i>F1M/F1m</i>	5.627	2.380	3.113	2.068	<0.0001**
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	55.880	2.272	55.160	2.287	0.003**
<i>HRamus/N-ENA</i>	85.160	7.525	87.080	6.458	0.084
<i>Cp-Go</i>	39.607	4.320	41.753	3.604	0.002**
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-5.113	4.076	-4.287	3.959	0.209
<i>No-Me</i>	41.733	2.820	44.263	2.190	<0.0001**
<i>Cp-Me</i>	87.240	6.146	90.513	5.922	0**
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	128.353	3.780	127.907	4.202	0.375
<i>Pti-F4</i>	-1.187	1.792	-1.613	1.683	0.006**
<i>Msup-F8</i>	-3.353	1.608	-3.727	1.880	0.280
<i>PmaxP-A</i>	42.467	3.204	43.333	2.870	0.027*
<i>LraNo-B</i>	43.867	2.748	45.6	2.324	0.001**
<i>AoBo</i>	2.933	2.017	1.667	1.397	0.021*
<i>Apex-l</i>	-1.067	1.453	0.553	1.522	<0.0001**
<i>Axe-l</i>	2.567	5.037	-2.927	4.690	0**
<i>Apex-i</i>	-1.640	1.209	-2.467	1.469	0.012*
<i>Axe-i</i>	9.487	5.591	10.520	5.531	0.409

La comparaison des mesures céphalométriques selon l'analyse de Delaire montre, entre T1 et T2, de façon significative.

Squelettiques :

- Une élévation du positionnement de l'os hyoïde :  $1.933 \pm 0.46^*$  mm ( $p=0,01$ )
- Une diminution de l'angle C1FM :  $1.307^\circ \pm 0.09^{**}$
- Une augmentation de l'angle C1Fm :  $1.267^\circ \pm 0.05^{**}$
- Une diminution de l'angle F1MF1m :  $-2.514^\circ \pm 0.31^{**}$
- Une élévation postérieure du plan palatin :  $-0.426 \pm 0.17^{**}$  mm
- Une augmentation de la longueur du corps mandibulaire :  $2.53 \pm 0.63^{**}$  mm
- Une augmentation de la hauteur du Ramus Cp Go :  $2.146 \pm 0.72^{**}$  mm
- Une augmentation de la longueur totale mandibulaire Cp Me :  $3.273 \pm 0.22^{**}$  mm
- Une augmentation de la hauteur inférieure :  $0,83 \pm 0,29$  mm \*\*

Alvéolo-dentaire :

- Une augmentation de la longueur d'arcade maxillaire :  $0.886 \pm 0.33^*$  mm
- Une augmentation de la longueur d'arcade mandibulaire  $1.733 \pm 0.42^{**}$  mm
- Une diminution de l'AoBo :  $-1.266 \pm 0.62^{**}$  mm

Dentaires :

- Une palatoversion de l'incisive maxillaire :  $-5.494^\circ \pm 0.34^{**}$
- Une avancée de l'apex de l'incisive maxillaire :  $+1.62 \pm 0.07^{**}$  mm
- Un recul de l'apex de l'incisive mandibulaire :  $-0.827 \pm 0.26^*$  mm

Groupe 2

Les résultats statistiques sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

	T1 Groupe 2		T2 Groupe 2		P value
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<i>Lumière pharyngée</i>	994.5	281.293	1105.750	322.427	0.021*
<i>Hy-Pti</i>	58.417	5.807	57.667	5.614	0.494
<i>Hy-V3</i>	29.750	4.475	30.667	5.466	0.427
<i>Hy-Vatlas</i>	15.667	5.348	16.167	6.887	0.663
<i>ARA-Vatlas</i>	5.833	2.980	5.917	2.610	0.908
<i>Ena-Me</i>	58.975	4.410	60.375	4.494	0.002**
<i>NVOd-Ara</i>	18	3.015	18.667	3.339	0.087
<i>NVOd-Arp</i>	13.417	2.678	14.083	2.843	0.136
<i>C1-ARA</i>	28.917	3.088	28.917	2.746	1
<i>C1-ARP</i>	33.5	3.261	33.583	3.232	0.795
<i>Arp-F3</i>	-1.833	3.142	-1.967	2.766	0.787
<i>C1F1M</i>	85.067	2.329	84.5	2.987	0.304
<i>C1F1m</i>	80.567	2.461	82.258	3.279	0.003**
<i>F1M/F1m</i>	4.458	2.246	2.225	1.967	<0.0001**
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	54.683	1.283	54.958	1.632	0.250
<i>HRamus/N-ENA</i>	84.433	7.716	87.917	9.339	0.023*
<i>Cp-Go</i>	42.133	4.552	44.108	5.537	0.007**
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-5.950	3.945	-4.017	4.325	0.070
<i>No-Me</i>	45.5	4.872	47.192	4.083	0.029*
<i>Cp-Me</i>	91.908	6.034	95.017	6.752	0**
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	126.667	6.520	125.725	5.679	0.197
<i>Pti-F4</i>	-1.717	1.629	-2.058	1.662	0.242
<i>Msup-F8</i>	-4.950	2.391	-4.358	2.416	0.353
<i>PMaxP-A</i>	45	4.112	45.083	3.801	0.874
<i>LRaNo-B</i>	46.083	4.461	46.583	3.260	0.438
<i>AoBo</i>	3.917	2.353	3.333	1.826	0.349
<i>Apex-l</i>	-0.142	1.724	1.042	1.633	0.008**
<i>Axe-l</i>	3.583	6.083	-3.108	6.030	0.003**
<i>Apex-i</i>	-2.358	2.405	-3.399	2.525	0.045*
<i>Axe-i</i>	7.056	11.894	10.517	8.876	0.038*

La comparaison des mesures céphalométriques selon l'analyse de Delaire montre, entre T1 et T2, de façon significative.

Pharyngée :

- Une augmentation de l'espace pharyngé de  $111.25 \pm 41^* \text{ mm}$

Squelettiques :

- Une augmentation de l'angle C1Fm :  $1.691^\circ \pm 0.49^{**}$
- Une diminution de l'angle F1MF1m :  $-2.223^\circ \pm 0.28^{**}$
- Une augmentation de la hauteur faciale postérieure Hramus/N-ENA  $+3.484\% \pm 1.6^*$
- Une augmentation de la longueur du corps mandibulaire No-Me :  $1.692 \pm 0.79 \text{ mm}^*$
- Une augmentation de la hauteur du Ramus Cp Go :  $1.975 \pm 0.98^{**} \text{ mm}$
- Une augmentation de la longueur totale mandibulaire Cp Me :  $3.109 \pm 0.72^{**} \text{ mm}$
- Une augmentation de la hauteur de l'étage inférieur  $1.4 \pm 0,08^{**} \text{ mm}$

Dentaires :

- Une palatoversion de l'incisive maxillaire :  $-6.691^\circ \pm 0.05^{**}$
- Une avancée de l'apex de l'incisive maxillaire :  $+1.184 \pm 0.09^{**} \text{ mm}$
- Un recul de l'apex de l'incisive mandibulaire :  $-1.041 \pm 0.12^* \text{ mm}$
- Une vestibuloversion de l'incisive mandibulaire :  $+3.461^\circ \pm 2.4^*$

## 6.2 Statistiques inter-groupes

Les comparaisons inter-groupe, à T1, pour les deux groupes, sont représentées dans les tableaux ci-dessous :

	T1 Groupe 1		T1 Groupe 2		P value
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<i>Lumière pharyngée</i>	921.2	229.422	994.5	281.293	0.516
<i>Hy-Pti</i>	53.333	4.047	58.417	5.807	0.013*
<i>Hy-V3</i>	27.6	3.355	29.750	4.475	0.166
<i>Hy-Vatlas</i>	16.8	5.267	15.667	5.348	0.586
<i>ARA-Vatlas</i>	8.133	2.973	5.833	2.980	0.057
<i>Ena-Me</i>	57.440	5.042	58.975	4.410	0.414
<i>NVOd-Ara</i>	17.333	2.526	18	3.015	0.537
<i>NVOd-Arp</i>	14.133	2.722	13.417	2.678	0.5
<i>C1-ARA</i>	27.400	2.063	28.917	3.088	0.139
<i>C1-ARP</i>	30.533	2.264	33.5	3.261	0.01*
<i>Arp-F3</i>	-0.180	3.213	-1.833	3.142	0.192
<i>C1F1M</i>	85.320	3.042	85.067	2.329	0.814
<i>C1F1m</i>	79.653	2.663	80.567	2.461	0.369
<i>F1M/F1m</i>	5.627	2.380	4.458	2.246	0.251
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	55.880	2.272	54.683	1.283	0.117
<i>HRamus/N-ENA</i>	85.160	7.525	84.433	7.716	0.807
<i>Cp-Go</i>	39.607	4.320	42.133	4.552	0.153
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-5.113	4.076	-5.950	3.945	0.596
<i>No-Me</i>	41.733	2.820	45.500	4.872	0.019*
<i>Cp-Me</i>	87.240	6.146	91.908	6.034	0.059
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	128.353	3.780	126.667	6.520	0.407
<i>Pti-F4</i>	-1.187	1.792	-1.717	1.629	0.434
<i>Msup-F8</i>	-3.353	1.608	-4.950	2.391	0.049*
<i>PMaxP-A</i>	42.467	3.204	45	4.112	0.084
<i>LRaNo-B</i>	43.867	2.748	46.083	4.461	0.125
<i>AoBo</i>	2.933	2.017	3.917	2.353	0.255
<i>Apex-l</i>	-1.067	1.453	-0.142	1.724	0.143
<i>Axe-l</i>	2.567	5.037	3.583	6.083	0.639
<i>Apex-i</i>	-1.640	1.209	-2.358	2.405	0.322
<i>Axe-i</i>	9.487	5.591	7.056	11.894	0.489

L'étude des valeurs des deux groupes à T1 montre des différences significatives, selon l'analyse de Delaire, pour :

- une position plus caudale de l'os hyoïde dans le groupe II de  $5.084 \pm 1.76^*$  mm
- une position plus caudale du condyle dans le groupe II de  $2.97 \pm 0.9^*$  mm
- une élévation du plan occlusal postérieur légèrement plus important chez le groupe II de  $-1.597 \pm 0.78^*$  mm
- un corpus mandibulaire plus long dans le groupe II de  $3.767 \pm 2.05^*$  mm

Les comparaisons inter-groupe, à T2, pour les deux groupes, sont représentées dans les tableaux ci-dessous :

	T2 Groupe 1		T2 Groupe 2		P value
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<i>Lumière pharyngée</i>	938.6	198.482	1105.75	322.427	0.103
<i>Hy-Pti</i>	51.4	4.501	57.667	5.614	0.004**
<i>Hy-V3</i>	28.133	3.962	30.667	5.466	0.175
<i>Hy-Vatlas</i>	18.80	6.625	16.167	6.887	0.323
<i>ARA-Vatlas</i>	7.33	3.039	5.917	2.610	0.212
<i>Ena-Me</i>	58.273	4.745	60.375	4.494	0.253
<i>NVOd-Ara</i>	17.267	3.011	18.667	3.339	0.263
<i>NVOd-Arp</i>	14.067	2.963	14.083	2.843	0.988
<i>C1-ARA</i>	27.733	1.710	28.917	2.746	0.182
<i>C1-ARP</i>	30.667	2.193	33.583	3.232	0.010*
<i>Arp-F3</i>	-0.967	3.066	-1.967	2.766	0.388
<i>C1F1M</i>	84.013	2.950	84.500	2.987	0.675
<i>C1F1m</i>	80.920	2.715	82.258	3.279	0.257
<i>F1M/F1m</i>	3.113	2.068	2.225	1.967	0.306
<i>N-Ena/Ena-Me</i>	55.160	2.287	54.958	1.632	0.799
<i>HRamus/N-ENA</i>	87.080	6.458	87.917	9.339	0.786
<i>Cp-Go</i>	41.753	3.604	44.108	5.537	0.194
<i>Pts-Pto/Cp-Go</i>	-4.287	3.959	-4.017	4.325	0.867
<i>No-Me</i>	44.260	2.190	47.192	4.083	0.025*
<i>Cp-Me</i>	90.513	5.922	95.017	6.752	0.077
<i>Cp-Go/Go-Me</i>	127.907	4.202	125.725	5.679	0.262
<i>Pti-F4</i>	-1.613	1.683	-2.058	1.662	0.499
<i>Msup-F8</i>	-3.727	1.880	-4.358	2.416	0.452
<i>PMaxP-A</i>	43.333	2.870	45.083	3.801	0.185
<i>LRaNo-B</i>	45.600	2.324	46.583	3.260	0.369
<i>AoBo</i>	1.667	1.397	3.333	1.826	0.010*
<i>Apex-l</i>	0.553	1.522	1.042	1.633	0.430
<i>Axe-l</i>	-2.927	4.690	-3.108	6.030	0.930
<i>Apex-i</i>	-2.467	1.469	-3.399	2.525	0.241
<i>Axe-i</i>	10.520	5.531	10.517	8.876	0.999

L'étude des valeurs des deux groupes à T2 montre des différences significatives, selon l'analyse de Delaire, pour :

- Une position plus caudale de l'os hyoïde chez le groupe II de  $6.267 \pm 1.1^{**}$  mm
- Une position plus caudale du bord postérieur du condyle chez le groupe 2  $2.916 \pm 1^{*}$  mm
- Une longueur du corps mandibulaire plus importante dans le groupe 2 de  $2.932 \pm 1.9^{*}$  mm
- Un décalage Alvéole dentaire plus important dans le groupe 2  $1.667 \pm 0.43^{*}$  mm

## VII. Discussion

Cette étude met évidence des effets du PUL, à la fois squelettiques et alvéolaires.

### 7.1 Effets squelettiques

#### Sens sagittal

Il a été constaté une diminution significative du décalage des bases osseuses. L'analyse de Delaire montre en effet, une diminution de l'angle F1MF1m de  $2.51^{\circ} \pm 0.31$  ( $p < 0.01$ ) chez le groupe I et de  $2.22^{\circ} \pm 0.28$  ( $p < 0.01$ ) chez le groupe II.

Ces résultats concordent avec des études montrant une diminution de l'angle ANB de l'ordre de  $1.8^{\circ}$  à  $2.6^{\circ}$  après traitement par PUL. (28) (29) Cette diminution s'explique à la fois par une réduction de l'angle C1F1M de  $1.3^{\circ}$  et par une augmentation de l'angle C1Fm de  $1.27^{\circ}$  dans le groupe I. Ces résultats coïncident avec plusieurs études, dont une réalisée par Pancherz, chez des sujets en croissance traités par bielle de Herbst, mettant en évidence un freinage ou une redirection de la croissance maxillaire et une diminution de l'angle SNA. (25) (24)(28)

Cependant, dans le groupe II la réduction du décalage squelettique incombe seulement à l'augmentation de l'angle C1Fm de  $1.69^{\circ}$  ( $p < 0.01$ ). Plusieurs études ont mis en évidence une augmentation de l'angle SNB après traitement par propulseur chez des sujets en croissance. (24) (25) (28)

L'augmentation des angles C1Fm s'explique par la croissance observée, grâce au PUL, au niveau de la mandibule. Elle concerne :

- le corpus mandibulaire : nous observons dans le groupe I une augmentation de sa longueur de  $2.53 \pm 0.63$  mm ( $p < 0,01$ ) et dans le groupe II une augmentation de  $1.69 \pm 0.79$  mm ( $p < 0.05$ )
- le ramus : nous observons dans le groupe I une augmentation de sa longueur de  $2.15 \pm 0.72$  mm ( $p < 0.01$ ) et dans le groupe II une augmentation de  $1.97 \pm 0.98$  mm ( $p < 0.01$ ).

Le PUL a donc engendré une croissance globale de la mandibule chez le groupe I de  $3.27 \pm 0.22$  mm ( $p < 0.01$ ) et chez le groupe II de  $3.11 \pm 0.72$  mm ( $p < 0.01$ ). Ces résultats coïncident avec plusieurs études, dont celle réalisée par Pancherz mettant en évidence un accroissement mandibulaire de l'ordre de 2.2 mm chez des adolescents après traitement par bielle de Herbst. (24) (25) (28)

Il n'a pas été observé de modification statistiquement significative de la position du condyle (défini par les distances suivantes Arp-F3, Ara-Vatlas, NVOd-Arp et NVOd-Ara) après traitement par PUL. Ces résultats concordent avec une revue de la littérature n'observant pas de changement de la position du condyle après traitement par bielle de Herbst. (22) et conforte ainsi les résultats obtenus de croissance propre de la mandibule. Cependant, Pancherz a constaté une ante-position du condyle après traitement par bielle. (24)

Concernant le positionnement sagittal de l'os hyoïde dépendamment des distances Hy-V3 et V Atlas-Hy, les résultats ne montrent pas une modification statistiquement significative de la position de l'os hyoïde. Ces résultats ne coïncident pas avec des études mettant en évidence une avancée de la position de l'os hyoïde après traitement par twin-block et mono-block. (26) (27)

### Sens vertical

Il a été observé une augmentation, statistiquement significative, de la hauteur de l'étage inférieur dans le groupe I de l'ordre de  $0.83 \pm 0.29$  mm ( $p < 0.01$ ) et dans le groupe II de  $1.4 \pm 0.08$  mm ( $p < 0.01$ ) entre T1 et T2. Ce résultat coïncide avec ceux obtenus par Pancherz après traitement par bielle de Herbst. (25) Ainsi qu'une augmentation de la hauteur postérieure chez le groupe II de  $3.48 \pm 1.6\%$  ( $p < 0.01$ ) entre T1 et T2.

De plus, il a été constaté une ascension de l'os hyoïde de  $1.93 \pm 0.46$  mm ( $p = 0.01$ ) ainsi qu'une élévation postérieure du plan palatin de  $0.43 \pm 0.17$  mm dans le groupe I et non dans le groupe II. La migration crâniale de l'os hyoïde concorde avec les résultats obtenus après le traitement par twin-block de 40 patients présentant une classe II division 1. (26) Cependant, une autre étude a mis en évidence une migration caudale de la position de l'os hyoïde après traitement par mono-block. (27)

Enfin, aucun des deux groupes n'a présenté de modifications significatives de l'angle mandibulaire. Ceci rejoint les résultats obtenus par plusieurs études après traitement réalisé par bielle de Herbst et par PUL. (25) (29)

## 7.2 Espaces pharyngés

Il a été mis en évidence chez le groupe II une augmentation du périmètre pharyngé de  $111.25 \pm 41$  mm ( $p < 0.05$ ) entre T1 et T2. Ce résultat concorde avec ceux d'une étude réalisée sur 62 filles au stade CS3 avec l'analyse volumétrique à l'aide d'un cône beam mettant en évidence une augmentation de volume post-traitement fonctionnel avec des twin-block. (15) Ainsi que les résultats obtenus par une revue systématique évaluant le changement de dimension des voies aériennes supérieures. (16) (19) (23) (26) (27) Néanmoins, ces résultats doivent être pris avec précaution, car les enregistrements à l'aide de cône beam ont montré que les dimensions des voies aériennes supérieures étaient très dépendantes de la posture céphalique, de la position de la langue et de la phase ventilatoire. (19)

### 7.3 Effets dento-alvéolaires

Il a été observé, chez le groupe I, une diminution significative du décalage alvéolaire de  $1,27 \pm 0,62$  mm ( $p < 0,05$ ). Ce résultat coïncide avec une étude réalisée chez 26 patients mettant en évidence une diminution significative de l'AoBo de l'ordre de 2.38 mm après traitement par PUL. (29) Ainsi, qu'une augmentation de la longueur d'arcade maxillaire et mandibulaire de  $0,89 \pm 0,33$  mm ( $p < 0,05$ ) et  $1,73 \pm 0,42$  mm ( $p < 0,01$ ), respectivement.

De plus, la diminution du surplomb dans le groupe I incombe significativement à la palato-version de l'incisive maxillaire de  $5,49 \pm 0,34^\circ$  ( $p < 0,01$ ). Tandis que dans le groupe II, elle résulte de l'association de la palato-version de l'incisive maxillaire de  $6,691 \pm 0,05^\circ$  ( $p < 0,01$ ) et de la vestibuloversion de l'incisive mandibulaire  $3,46 \pm 2,4^\circ$  ( $p < 0,05$ ). Ces résultats concordent avec ceux observés chez des patients traités à l'aide du dispositif PUL (31) ainsi que ceux traités avec un dispositif d'avancement mandibulaire. En effet, l'étirement des muscles et des tissus mous a tendance à vouloir repositionner la mandibule dans sa position initiale induisant ainsi une force en direction palatine au niveau des incisives maxillaires accentuant leur palato-version. (30) (24)

## VIII. Conclusion

L'objectif de cette étude est de définir les effets du PUL dépendamment de la phase de croissance du patient afin de comprendre son niveau d'action et ainsi mieux poser son indication.

Cette étude a démontré l'efficacité significative du PUL dans la diminution du décalage de classe II squelettique et alvéolo-dentaire chez les deux groupes. Il en résulte une augmentation de la croissance propre mandibulaire par un accroissement au niveau du corpus et du ramus. De plus, un ralentissement de la croissance maxillaire a été observé chez les patients traités avant le pic pubertaire. Et enfin, une augmentation de la hauteur de l'étage inférieur chez les deux groupes.

Sur le plan dentaire, il a pu être observé, chez les deux groupes, une palato-version de l'incisive maxillaire tandis que la vestibuloversion des incisives mandibulaires est statistiquement significative seulement dans le groupe traité pendant le pic pubertaire.

D'un point de vue fonctionnel, les résultats de cette étude ont montré une élévation de la position de l'os hyoïde chez les patients traités avant le pic pubertaire, ainsi qu'une augmentation de l'espace pharyngé chez les patients traités au moment de leur pic pubertaire.

Le PUL s'avère donc être un outil permettant de faciliter le traitement des classes II.

Il serait intéressant de compléter cette étude :

- avec des échantillons plus importants ;
- en divisant les échantillons selon leur typologie dolichocéphale ou brachycéphale ;
- en évaluant l'impact de l'âge et du sexe des patients ;
- en évaluant le volume des voies aériennes supérieures à l'aide d'un CBCT avant et après traitement.
- en réalisant une étude fonctionnelle en association avec un kinésithérapeute avant et après PUL.
- en réalisant des téléradiographies de surveillance à long et moyen terme.

## Bibliographie

1. Yamada, T., Sugiyama, G., & Mori, Y. (2020). Masticatory muscle function affects the pathological conditions of dentofacial deformities. *The Japanese dental science review*, 56(1), 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.12.001>
2. Aknin, J-J. (2007). *La croissance cranio-faciale*. Edition SID
3. Perinetti, G., & Contardo, L. (2017). Reliability of Growth Indicators and Efficiency of Functional Treatment for Skeletal Class II Malocclusion: Current Evidence and Controversies. *BioMed research international*, 2017, 1367691. <https://doi.org/10.1155/2017/1367691>
4. Patti, A. (2011). *Traitement des classes II, de la prévention à la chirurgie*. Quintessence International.
5. Raymond J-L (2014). *Complexité du système masticateur*. Empresa.
6. Callabe, E (2018). *Le concept PUL*. Parresia.
7. Avis V. (1961). The significance of the angle of the mandible: an experimental and comparative study. *American journal of physical anthropology*, 19(1), 55–61. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330190106>
8. Weijs, W. A., & Hillen, B. (1986). Correlations between the cross-sectional area of the jaw muscles and craniofacial size and shape. *American journal of physical anthropology*, 70(4), 423–431. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330700403>
9. Raoul, G., Rowlerson, A., Sciote, J., Codaccioni, E., Stevens, L., Maurage, C. A., Duhamel, A., & Ferri, J. (2011). Masseter myosin heavy chain composition varies with mandibular asymmetry. *The Journal of craniofacial surgery*, 22(3), 1093–1098. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e3182107766>
10. Santamaría-Villegas, A., Manrique-Hernandez, R., Alvarez-Varela, E., & Restrepo-Serna, C. (2017). Effect of removable functional appliances on mandibular length in patients with class II with retrognathism: systematic review and meta-analysis. *BMC oral health*, 17(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0339-8>
11. Voudouris, J. C., Woodside, D. G., Altuna, G., Angelopoulos, G., Bourque, P. J., Lacouture, C. Y., & Kuflinec, M. M. (2003). Condyle-fossa modifications and muscle interactions during Herbst treatment, Part 2. Results and conclusions. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics* : official publication of the American

- Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics, 124(1), 13–29. [https://doi.org/10.1016/s0889-5406\(03\)00150-1](https://doi.org/10.1016/s0889-5406(03)00150-1)
12. Zunzarren, R (2014). Guide clinique d'odontologie. Elsevier Masson
  13. Canal P, Goudot P (2012). Dymorphie maxillo-mandibulaire traitement orthodontico-chirurgical. Elsevier Masson.
  14. Grippaudo, M. M., Quinzi, V., Manai, A., Paolantonio, E. G., Valente, F., La Torre, G., & Marzo, G. (2020). Orthodontic treatment need and timing: Assessment of evolutive malocclusion conditions and associated risk factors. *European journal of paediatric dentistry*, 21(3), 203–208. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.03.09>
  15. Alhammadi, M. S., Elfeky, H. Y., Fayed, M. S., Ishaq, R., Halboub, E., & Al-Mashraqi, A. A. (2019). Three-dimensional skeletal and pharyngeal airway changes following therapy with functional appliances in growing skeletal Class II malocclusion patients : A controlled clinical trial. Dreidimensionale Veränderungen der skelettalen und pharyngealen Atemwege nach Therapie mit funktionellen Geräten bei heranwachsenden Patienten mit einer skelettalen Klasse-II-Malokklusion : Eine kontrollierte klinische Studie. *Journal of orofacial orthopedics = Fortschritte der Kieferorthopadie : Organ/official journal Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopadie*, 80(5), 254–265. <https://doi.org/10.1007/s00056-019-00185-7>
  16. Bidjan, D., Sallmann, R., Eliades, T., & Papageorgiou, S. N. (2020). Orthopedic Treatment for Class II Malocclusion with Functional Appliances and Its Effect on Upper Airways: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Journal of clinical medicine*, 9(12), 3806. <https://doi.org/10.3390/jcm9123806>
  17. Elhaddaoui, R., Benyahia, H., Azaroual, F., & Zaoui, F. (2014). Intérêt de la méthode de maturation des vertèbres cervicales (CVM) en orthopédie dento-faciale : mise au point [Contribution of the cervical vertebral maturation (CVM) method to dentofacial orthopedics: update]. *Revue de stomatologie, de chirurgie maxillo-faciale et de chirurgie orale*, 115(5), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.revsto.2014.09.003>
  18. Baccetti T. (2010). Malocclusions de classe II: bien choisir le moment du traitement pour optimiser l'effet orthopédique des appareils fonctionnels [Improving the effectiveness of functional jaw orthopedics in Class II malocclusion by appropriate treatment timing]. *L' Orthodontie française*, 81(4), 279–286. <https://doi.org/10.1051/orthodfr/2010026>
  19. Isidor, S., Di Carlo, G., Cornelis, M. A., Isidor, F., & Cattaneo, P. M. (2018). Three-dimensional evaluation of changes in upper airway volume in growing skeletal Class II

- patients following mandibular advancement treatment with functional orthopedic appliances. *The Angle orthodontist*, 88(5), 552–559. <https://doi.org/10.2319/083117-587.1>
20. Di Palma, E., Tepedino, M., Chimenti, C., Tartaglia, G. M., & Sforza, C. (2017). Effects of the functional orthopaedic therapy on masticatory muscles activity. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 9(7), e886–e891. <https://doi.org/10.4317/jced.53986>
  21. Perinetti, G., Primožič, J., Franchi, L., & Contardo, L. (2015). Treatment Effects of Removable Functional Appliances in Pre-Pubertal and Pubertal Class II Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Studies. *PloS one*, 10(10), e0141198. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141198>
  22. Wangsrimgkol, T., Manosudpravit, M., Pisek, P., Chowchuen, P., & Chantaramungkorn, M. (2012). Temporomandibular joint growth adaptation and articular disc positional changes in functional orthopedic treatment: magnetic resonance imaging investigation. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet thangkaet*, 95 Suppl 11, S106–S115.
  23. Aksu, M., Gorucu-Coskuner, H., & Taner, T. (2017). Assessment of upper airway size after orthopedic treatment for maxillary protrusion or mandibular retrusion. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 152(3), 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.027>
  24. Pancherz H. (1982). The mechanism of Class II correction in Herbst appliance treatment. A cephalometric investigation. *American journal of orthodontics*, 82(2), 104–113. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(82\)90489-4](https://doi.org/10.1016/0002-9416(82)90489-4)
  25. Pancherz H. (1979). Treatment of class II malocclusions by jumping the bite with the Herbst appliance. A cephalometric investigation. *American journal of orthodontics*, 76(4), 423–442. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(79\)90227-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90227-6)
  26. Verma, G., Tandon, P., Nagar, A., Singh, G. P., & Singh, A. (2012). Cephalometric evaluation of hyoid bone position and pharyngeal spaces following treatment with Twin block appliance. *Journal of orthodontic science*, 1(3), 77–82. <https://doi.org/10.4103/2278-0203.103863>
  27. Pavoni, C., Cretella Lombardo, E., Lione, R., Bollero, P., Ottaviani, F., & Cozza, P. (2017). Orthopaedic treatment effects of functional therapy on the sagittal pharyngeal dimensions in subjects with sleep-disordered breathing and Class II malocclusion.

Effetti del trattamento ortopedico-funzionale sulle dimensioni sagittali faringee in soggetti con disturbi respiratori del sonno e malocclusione di Classe II. *Acta otorhinolaryngologica Italica : organo ufficiale della Societa italiana di otorinolaringologia e chirurgia cervico-facciale*, 37(6), 479–485.

<https://doi.org/10.14639/0392-100X-1420>

28. FRAYEMAN M. Etude rétrospective des modifications dento-alvéolaires et squelettiques à la suite d'un traitement d'interception par PUL chez des patients en CL II division 1. Mémoire : Certificat d'Etudes Cliniques Spéciales Mention Orthodontie, Paris V
29. Migliorati, M., Drago, S., Calzolari, C., Gallo, F., Dalessandri, D., Orsini, A., & Silvestrini-Biavati, A. (2020). Long-term dentoskeletal changes of class II growing patients' treatment with the propulseur universal light appliance. A prospective controlled study. *Minerva stomatologica*, 69(2), 79–86.  
<https://doi.org/10.23736/S0026-4970.19.04283-3>
30. Alessandri-Bonetti, G., D'Antò, V., Stipa, C., Rongo, R., Incerti-Parenti, S., & Michelotti, A. (2017). Dentoskeletal effects of oral appliance wear in obstructive sleep apnoea and snoring patients. *European journal of orthodontics*, 39(5), 482–488.  
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjw078>
31. GEYSELINCK H. Le Propulseur Universel Light et le traitement des classes II : étude d'efficacité. Mémoire : Certificat d'Etudes Cliniques Spéciales Mention Orthodontie, Lille, 2009.
32. POSTARU, Cristina, MALKINA, Victoria, PANKRATOVA, Natalia, POSTNIKOV, Mihail. Complex treatment of children with distal malocclusions and osteopathy problems. In: The Moldovan Medical Journal. 2018, vol. 61, no 3, pp. 10-14. ISSN 2537-6373.

## Annexe 1

Tableaux des valeurs analysées du groupe I à T1 et T2 :

Nom	Genre	Age	CVM	F1M/F1m	lumière p	lumière p	Hy-Pti T1	Hy-Pti t2	Hy-V3 T1	Hy-V3 t2	Hy-Vatlas	Hy-Vatlas	ARA-Vatlas	ARA-Vatlas	Ena-Me t1	Ena-Me t2
Farnier Els	F	10,11	cs2	6,4	732	897	56	56	29	32	23	21	9	7	55,8	57,9
Lemaire M	M	7,1	cs1	3,4	690	561	47	43	22	22	19	22	10	5	46,5	47,5
Carion Ali	F	9,9	cs1	3,9	983	1026	45	45	26	29	15	17	9	10	55,3	54,4
Botton Lei	F	7,8	cs1	8,3	921	711	51	51	27	25	18	19	8	7	62,4	62,9
Boutet Na	M	11,8	cs2	1,9	1082	968	58	57	27	28	21	32	4	6	61	61,2
Chabassie M	M	10,1	cs1	4,6	1232	1159	55	49	32	34	20	18	16	16	65,8	65,6
Tanguy Ax	M	8,3	cs1	11,3	766	851	55	53	23	25	12	22	7	6	57,3	58,2
Blaauber f	F	8,8	cs1	6,9	782	903	49	47	26	26	16	16	10	8	54,9	57,7
Karahme M	M	9,11	cs2	7,3	631	847	59	55	35	36	24	16	9	9	64	64,3
Phillipon M	M	10,9	cs1	3,8	1485	1447	57	58	32	28	17	14	6	5	53,8	55,9
Quennoy F	F	9,9	cs2	5,4	699	902	53	56	27	30	21	24	4	5	57	59,3
Romero A	F	9,6	cs2	7,1	1065	987	53	48	26	22	14	20	6	3	58,4	58,2
Villate Em	F	8,7	cs2	6,1	924	1000	57	52	28	30	4	2	6	8	62,2	62,6
Wateau A	F	9,1	cs2	4,7	966	992	53	51	27	28	10	14	10	9	51,9	52,6
Delfosse T	M	9,1	cs1	3,3	860	828	52	50	27	27	18	25	8	6	55,3	55,8

Nom	NVod-Ar	NVod-Ar	NVod-Ar	NVod-Ar	C1-ARA T1	C1-ARA t2	C1-ARP T1	C1-ARP T2	Arp-F3 T1	Arp-F3 t2	C1F1M T1	C1F1M t2	C1F1m T1	C1F1m t2	F1M/F1m	F1M/F1m
Farnier Els	13	11	10	9	28	29	31	32	-1,9	-2,7	86,2	85,5	79,9	82,1	6,4	3,4
Lemaire M	18	16	16	13	26	26	27	29	0,2	-1,2	83,1	83,7	79,7	82	3,4	1,7
Carion Ali	21	21	17	18	26	26	31	29	1,5	-4,2	85	83,9	81,2	81,3	3,9	2,6
Botton Lei	22	15	19	12	31	30	34	32	-4,9	0,7	91,7	90,4	83,3	84,5	8,3	5,9
Boutet Na	17	18	14	15	30	30	32	33	-3,8	-2,6	82,4	84,1	80,5	83,7	1,9	0,4
Chabassie M	20	22	18	21	27	27	29	28	8,6	7,1	81,6	78,8	76,2	75,8	4,6	3
Tanguy Ax	16	17	13	12	25	27	29	31	-1,3	-0,8	89,2	88,2	77,9	81	11,3	7,2
Blaauber f	15	14	12	12	23	25	26	27	1,6	2,1	84,5	84,2	77,6	79,2	6,9	5,1
Karahme M	19	21	16	17	29	30	32	33	0,6	-0,4	84,8	83,3	77,6	79,2	7,3	4,1
Phillipon M	18	20	14	16	27	27	31	30	-1,3	-5,2	87,6	84,5	83,7	83,8	3,8	0,7
Quennoy F	15	18	10	13	29	30	34	35	-2,8	-2,5	88,9	85,2	83,5	84	5,4	1,1
Romero A	18	17	14	13	29	28	32	32	-1,1	-4,5	86,4	85	79,3	80,4	7,1	4,6
Villate Em	17	17	14	14	28	26	31	29	-1,3	0,2	81	79,2	74,9	75,6	6,1	3,9
Wateau A	14	14	11	12	26	28	29	29	3,1	0,9	82,8	82,5	78,1	79,8	4,7	2,7
Delfosse T	17	18	14	14	27	27	30	31	0,1	-1,4	84,6	81,7	81,4	81,4	3,3	0,3

Nom	N-Ena/En	N-Ena/En	N-Ena/En	HRamus/N	HRamus/N	Cp-Go T1	Cp-Go t2	Pts-Pto/C	Pts-Pto/C	No-Me T1	No-Me t2	Cp-Me T1	Cp-Me t2	Cp-Go/Go	Cp-Go/Go	Pti-F4 T1	Pti-F4 t2
Farnier Els	53,5	53	79,6	81,6	39,7	42,8	-4,9	-4,4	40,6	43,7	84,8	91,9	124,9	123,3	-3,5	-3,8	
Lemaire M	52,2	51,9	76,9	86,9	33,5	38,7	-6,8	-1,7	42,8	44,7	79,4	86,9	127,2	129,1	-1,3	-1,4	
Carion Ali	55,4	53,8	74,1	73	33	34,5	-11,3	-12,7	44,5	45,6	84,2	86,1	132,7	133,4	-1,9	-2,7	
Botton Lei	60,2	60,2	90,2	94,6	38,6	40,4	-1,5	0,4	39,3	43,1	86,3	86,8	130,1	127,4	3,6	2,7	
Boutet Na	54,3	54,1	92,1	94,1	47,9	48,9	-0,2	0,9	45,2	48,1	99,7	100,5	125,9	128	-1,9	-2,1	
Chabassie M	58,3	57,7	90,5	86,9	43,7	42,5	-3,4	-5,7	45,1	44,6	89,3	89,9	125,3	126,3	0,1	-1,2	
Tanguy Ax	58,9	57,3	90	91,6	38	41,2	-3,1	-1,2	39,6	42,7	78,9	85,1	128,8	127,9	-2,3	-2,7	
Blaauber f	56,4	56,9	100,6	98,8	44,3	44,3	2,7	0,6	35,7	39,2	83,9	86,5	128,1	123,2	-3,1	-3,4	
Karahme M	57,1	54,9	85,1	84,8	42,9	45,2	-7,5	-7	43,7	44,1	93,2	95	124	123,1	0	-0,8	
Phillipon M	53,7	53	84,4	91,5	40	45,9	-5,8	-2	43	47,3	96,7	100,8	129,9	128,4	-2,3	-2,3	
Quennoy F	55,5	54,2	89,9	86,4	42	43,8	-1,8	-2,9	43,5	46,2	93,4	100,9	134,5	133,1	-0,2	-0,4	
Romero A	57,3	56,6	84,4	85,7	37,9	38,2	-4,7	-4,7	42,2	45,2	86,2	86,5	128,4	128,3	0,6	0,6	
Villate Em	56,7	56,7	81,3	82,9	39,7	40,3	-9,5	-7,5	40	43	87,6	88,1	131	132,8	-1,7	-1,2	
Wateau A	53,2	53,2	86,1	87,2	40,3	41	-7	-9,2	37,6	42	81,5	84,5	120,9	120,3	-1,3	-2,7	
Delfosse T	55,5	53,9	72,2	80,2	32,6	38,6	-11,9	-7,2	43,2	44,4	83,5	88,2	133,6	134	-2,6	-2,8	

Nom	Msup-F8 T	Msup-F8 t	PMaxP-A	PMaxP-A	LraNo-B T	LraNo-B t	AoBo T1	AoBo t2	Apex-I T1	Apex-I t2	Axe-I T1	Axe-I t2	Apex-i T1	Apex-i t2	Axe-i T1	Axe-i t2
Farnier Els	-3,1	-3	41	42	41	42	5	5	-1,7	-0,2	-2,1	-6,7	-2,1	-5,3	8,9	10,6
Lemaire M	-5,5	-4,3	41	44	47	45	2	3	0	2,4	6,8	-7,3	-1,6	-3,3	16,4	17,3
Carion Ali	-4,5	-7,2	39	41	44	45	1	2	0,7	1	-6,4	-3,1	-3,4	-3,4	7,9	5,7
Botton Lei	0,8	-0,3	41	42	42	44	2	1	-3,4	-0,9	7,1	3,7	-1,7	-3,7	7,2	9,9
Boutet Na	-2,1	-1,9	49	49	48	49	3	2	0,2	1,4	4,9	3,8	-2,1	-1,9	19,7	13,9
Chabassie M	-2,3	-4,5	41	44	46	46	2	0	-2,6	-2,4	2,3	-2,1	-1,8	-2,8	0	5,5
Tanguy Ax	-3,8	-3	41	41	42	44	5	2	-2,9	-1,6	4	0,2	-0,5	-1,9	8,2	10,1
Blaauber f	-3,3	-2,8	41	42	40	43	1	1	0	1,3	-0,6	-3,2	-2,3	-1,9	14,5	23,9
Karahme M	-3	-5,1	48	48	46	47	7	4	-1,9	2,1	-1,3	-7,9	-1,1	-1,2	5,8	14,1
Phillipon M	-3,9	-4,4	44	46	44	48	1	1	-0,3	1,4	9,6	-1,3	-2,3	-3,4	13,8	10,2
Quennoy F	-2,4	-1,5	47	47	45	48	4	0	-1,7	1	10,1	0,2	-3,2	-2,6	6,2	10,3
Romero A	-2,7	-2,8	43	41	47	49	3	1	0,7	2,2	4,7	-3,5	0,2	0,8	11	4,3
Villate Em	-3,8	-3,4	41	41	39	42	6	1	-2,9	-1,4	-5,5	-14,3	-2,6	-3,7	1,9	4,2
Wateau A	-5,1	-6,9	38	40	42	46	1	1	-0,8	0,2	4,2	-2,2	1,1	-0,7	15,7	13,7
Delfosse T	-5,6	-4,8	42	42	45	46	1	1	0,6	1,8	0,7	-0,2	-1,2	-2	5,1	4,1

## Annexe 2

Tableaux des valeurs analysées du groupe II à T1 et T2 :

Nom	Genre	Age	CVM	F1M/F1m	lumière p	lumière p	Hy-Pti T1	Hy-Pti T2	Hy-V3 T1	Hy-V3 T2	Hy-Vatlas	Hy-Vatlas	ARA-Vatla	ARA-Vatla	ENA-ME T	ENA-ME T
Augusto P F		13,4	cs4	2,1	969	1013	63	64	31	30	10	8	9	8	62	63,6
Dufour Ch F		13,8	cs4	5,5	861	1124	55	57	23	25	19	14	3	4	51,5	54,2
Bourdu Tc M		10,11	cs3	4,6	952	991	62	60	32	31	16	25	5	8	62,1	63,6
Baptista G M		13,8	cs3	2,3	947	891	56	54	29	28	22	27	3	3	58,2	56,7
Deruytere F		11,11	cs4	1,9	750	723	54	57	27	28	8	10	3	3	53,8	56,1
Hameau L M		13,7	cs4	2	1231	1405	68	68	32	33	19	19	9	3	65,4	67,5
Pasdelouç F		9,9	cs3	3,7	809	735	60	50	28	23	17	20	6	7	56	56,9
Potin Axe F		10,11	cs3	9,1	692	1130	48	48	26	36	9	8	1	4	56,1	58
Rose Lisa F		13,8	cs4	6,7	976	1059	63	59	29	30	14	13	10	8	58,1	57,6
Rabotain J F		11,7	cs4	4,9	1212	1292	58	58	34	40	14	10	9	11	62,5	64,6
Cognaux L M		13,8	cs4	6,5	1720	1913	63	62	40	39	26	25	7	7	65	66,4
Fossy Jade F		9,1	cs4	4,2	815	993	51	55	26	25	14	15	5	5	57	59,3

Nom	NVod-Ara	NVod-Ara	NVod-Ara	NVod-Ara	C1-ARA T1	C1-ARA T2	C1-ARP T1	C1-ARP T2	Arp-F3 T1	Arp-F3 T2	C1F1M T1	C1F1M T2	C1F1m T1	C1F1m T2	F1M/F1m	F1M/F1m
Augusto P	18	20	14	16	31	31	35	35	4,1	1,8	83,4	85,6	81,3	84,2	2,1	1,5
Dufour Ch	18	18	13	13	30	29	35	34	-4,9	-4,4	87,1	84,5	81,6	81,9	5,5	2,6
Bourdu Tc	18	18	14	14	31	31	35	36	-2,8	-1,6	83,8	82,6	79,2	82	4,6	0,5
Baptista G	19	19	13	14	32	31	38	36	-4,1	-5,8	87,3	88,5	85	88,9	2,3	0
Deruytere	14	14	10	10	25	26	29	29	-4,5	-6,1	83	81,3	81	80,5	1,9	0,9
Hameau L	22	23	18	19	31	32	35	37	-2,2	-3,4	83,3	82,8	80,9	82,6	2	0,2
Pasdelouç	12	14	8	10	27	28	31	32	-1,3	-2	83,4	84,3	79,7	83,9	3,7	0,4
Potin Axe	18	20	12	15	27	28	33	33	-6,6	-2,7	86,3	82,5	77,1	77,7	9,1	4,8
Rose Lisa	16	14	13	11	24	25	28	28	1,9	1,2	83	83,4	76,3	77,8	6,7	4,8
Rabotain J	23	24	16	18	29	30	36	35	1	1	87	87,2	82,1	83,5	4,9	3,7
Cognaux L	19	21	16	15	34	32	37	38	0,3	1,2	89,9	90,6	83,4	85,5	6,5	5,2
Fossy Jade	19	19	14	14	26	24	30	30	-2,9	-2,8	83,3	80,7	79,2	78,9	4,2	1,8

Nom	N-Ena/En	N-Ena/En	HRamus/H	HRamus/H	Cp-Go T1	Cp-Go T2	Pts-Pto/C	Pts-Pto/C	No-Me T1	No-Me T2	Cp-Me T1	Cp-Me T2	Cp-Go/Go	Cp-Go/Go	Pti-F4 T1	Pti-F4 T2
Augusto P	55,1	57	68,9	79,7	35,4	38,7	-15	-8	52,6	51,7	92,8	96,1	139	135,9	-1,4	-0,9
Dufour Ch	51,7	51,1	73,7	74,1	35,9	37,1	-10	-10,1	44,1	46,7	84	87,9	133,8	130,2	-0,1	-0,2
Bourdu Tc	55,7	55,9	88,4	89,8	44,8	45,5	-3,3	-1,8	47,4	47,2	97	98,8	128,2	127,9	-1,1	-2,2
Baptista G	54,7	55,6	93,1	101,6	45,6	46,3	-3,2	0,3	52,1	55,3	98	98,1	123,7	119,7	-0,6	0
Deruytere	52,7	53,7	89	88,8	43,4	43,4	-2,8	-6,4	39,3	42,1	88	88,9	125,9	123	-3,2	-4
Hameau L	55	54,5	84,2	92,5	45,7	52,6	-6,6	1,3	48,4	47,9	97,2	103,2	119,8	120,3	-0,4	-0,2
Pasdelouç	54,5	53,5	78,3	77,4	37,3	38,5	-9,5	-9,8	44,5	44,6	87,2	92,9	126,4	127,8	-2	-1,1
Potin Axe	54,3	54,2	79,1	80,2	38,8	40,5	-7,8	-7	39,8	43,3	84,6	86,7	126,9	124,5	-1,2	-3,2
Rose Lisa	55,8	56,1	89,7	91,3	42,7	42,5	-2,6	-2,2	39,5	46,8	87,6	88,5	122,5	120,8	-5,2	-4,8
Rabotain J	55,8	56,1	91,3	96	46,6	49,3	-3,7	-3,3	50,8	51,2	98,5	103	122,3	125,4	0,2	-1,7
Cognaux L	55,2	55,7	90,8	99,7	49,3	53,9	-2,2	3	46,1	48,4	100,5	105,9	116,6	118,8	-1,7	-2,3
Fossy Jade	55,7	56,1	86,7	87,2	40,1	41	-4,7	-4,2	41,4	41,7	87,5	90,2	134,9	134,4	-3,9	-4,1

Nom	Msup-F8 T	Msup-F8 T	PMaxP-A	PMaxP-A	LRaNo-B T	LRaNo-B T	AoBo T1	AoBo T2	Apex-I T1	Apex-I T2	Axe-I T1	Axe-I T2	Apex-i T1	Apex-i T2	Axe-i T1	Axe-i T2
Augusto P	-4,9	-1,3	40	42	46	47	3	3	-0,3	-1,2	4,9	3,7	-6,9	-6,6	-17	-2,6
Dufour Ch	-9,3	-9,1	42	43	46	46	1	1	-1,1	-0,2	8,4	2	-1,1	-2,1	10,1	12,8
Bourdu Tc	-0,2	-1,3	47	46	50	48	5	1	-0,3	0,3	-1,4	-0,3	-1,5	-3,19	9,17	11,6
Baptista G	-5,7	-4,1	47	45	50	50	3	3	-0,5	-0,2	-1,3	-2,9	-6	-8,2	14	12,7
Deruytere	-4,8	-7,1	41	41	36	39	6	3	-2,2	0,5	9,9	-13,7	-4,9	-5,7	-10,9	-3,1
Hameau L	-6,9	-3,4	48	45	51	50	2	3	-1	0,7	14,9	6,3	-1,2	-1,9	20	18,4
Pasdelouç	-4,4	-6,1	40	42	45	44	3	3	-2,7	-0,1	4,4	-2,3	-0,9	-2,5	-5,8	-1,4
Potin Axe	-6,4	-6,7	44	47	44	47	3	2	0,5	4	-2,5	-8,3	-0,6	0,5	18,4	17
Rose Lisa	-3,2	-2,7	45	44	42	47	6	6	-0,6	0,4	2,5	-6	-0,9	-2,1	14,7	14,6
Rabotain J	-2,5	-4,1	50	50	50	50	9	5	1,9	2,6	4,1	-4,7	-3,7	-4,2	12,9	17,8
Cognaux L	-7,1	-3,7	53	54	50	48	5	7	3,6	3,5	6,4	0,3	0,7	-4,3	13,2	23
Fossy Jade	-4	-2,7	43	42	43	43	1	3	1	2,2	-7,3	-11,4	-1,3	-0,5	5,9	5,4