



BU bibliothèque Lyon 1

<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON I
U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2017

THESE N° 2017 LYO 1D 075

T H E S E
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 16 novembre 2017

par

DENIS Patrice

Né le 1^{er} juillet 1990, à Saint-Etienne (42)

**Expansion maxillaire rapide orthopédique ou assistée chirurgicalement :
évolution, intérêts et limites de l'ancrage utilisé**

Revue de littérature

JURY

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN	Président
Monsieur le Professeur Jean-Jacques MORRIER	Assesseur
Madame le Docteur Sarah CHAUTY	Assesseur
<u>Madame le Docteur Claire PERNIER</u>	<u>Assesseur</u>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur F. FLEURY
Président du Conseil Académique	M. le Professeur H. BEN HADID
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. le Professeur D. REVEL
Vice-Président de la Commission Recherche du Conseil Académique	M. F. VALLEE
Vice-Président de la Commission Formation Vie Universitaire du Conseil Académique	M. le Professeur P. CHEVALIER

SECTEUR SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est	Directeur : M. le Professeur G. RODE
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud Charles Mérieux	Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON
Faculté d'Odontologie	Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directrice : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. X. PERROT, Maître de Conférences
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme la Professeure A.M. SCHOTT

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Faculté des Sciences et Technologies	Directeur : M. F. DE MARCHI, Maître de Conférences
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. Y. VANPOULLE, Professeur Agrégé
Institut Universitaire de Technologie Lyon 1	Directeur : M. le Professeur C. VITON
Ecole Polytechnique Universitaire de l'Université Lyon 1	Directeur : M. E. PERRIN
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. N. LEBOISNE, Maître de Conférences
Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education (ESPE)	Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE
Observatoire de Lyon	Directrice : Mme la Professeure I. DANIEL
Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique	Directeur : M. G. PIGNAULT

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyen	:	M. Denis BOURGEOIS, Professeur des Universités
Vice-Doyen	:	Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités
Vice-Doyen	:	M. Stéphane VIENNOT, Maître de Conférences
Vice-Doyen	:	Mlle DARNE Juliette

SOUS-SECTION 56-01:

PEDODONTIE

Professeur des Universités :
Maître de Conférences :
Maître de Conférences Associée

M. Jean-Jacques MORRIER
M. Jean-Pierre DUPREZ
Mme Christine KHOURY

SOUS-SECTION 56-02 :

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER,

SOUS-SECTION 56-03 :

PREVENTION - EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités
Maître de Conférences

M. Denis BOURGEOIS
M. Bruno COMTE

SOUS-SECTION 57-01 :

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences :
Maître de Conférences Associée

Mme Kerstin GRITSCH, M. Philippe RODIER,
Mme Nina ATTIK

SOUS-SECTION 57-02 :

CHIRURGIE BUCCALE - PATHOLOGIE ET THERAPEUTIQUE ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION

Maîtres de Conférences :

Mme Anne-Gaëlle CHAUX-BODARD, M. Thomas FORTIN,
M. Arnaud LAFON

SOUS-SECTION 57-03 :

SCIENCES BIOLOGIQUES

Professeur des Universités :
Maîtres de Conférences :

M. J. Christophe FARGES
Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE, M. François VIRARD

SOUS-SECTION 58-01 :

ODONTOLOGIE CONSERVATRICE - ENDODONTIE

Professeurs des Universités :
Maîtres de Conférences :

M. Pierre FARGE, M. Jean-Christophe MAURIN, Mme Dominique SEUX
M. Thierry SELLI, M. Cyril VILLAT

SOUS-SECTION 58-02 :

PROTHESE

Professeurs des Universités :
Maîtres de Conférences :
Maîtres de Conférences Associés

M. Guillaume MALQUARTI, Mme Catherine MILLET
M. Maxime DUCRET M. Christophe JEANNIN, M. Renaud NOHARET,
M. Gilbert VIGUIE, M. Stéphane VIENNOT
M. Hazem ABOUELLEIL,

SOUS-SECTION 58-03 :

SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES OCCLUSODONTIQUES, BIOMATERIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Professeurs des Universités :
Maîtres de Conférences :

Mme Brigitte GROSGOGEAT, M. Olivier ROBIN
M. Patrick EXBRAYAT, Mme Sophie VEYRE-GOULET

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	1
2. RAPPELS.....	3
2.1. Effets squelettiques de l'EMR.....	3
2.1.1. <i>Au niveau de la suture médio-palatine.....</i>	<i>3</i>
2.1.2. <i>Au niveau des autres sutures.....</i>	<i>3</i>
2.1.3. <i>Au niveau du maxillaire.....</i>	<i>4</i>
2.1.4. <i>Au niveau de la mandibule.....</i>	<i>4</i>
2.2. Effets dento-alvéolaires maxillaires de l'EMR.....	4
2.3. Effets iatrogènes de l'EMR.....	5
3. ANCRAGE DENTO-MUQUEUX.....	6
3.1. Ancrage sur la muqueuse palatine et sur 4 bagues scellées : distracteur de Haas.....	6
3.2. Différentes variantes.....	7
3.2.1. <i>Distracteur ancré sur 6 bagues scellées.....</i>	<i>7</i>
3.2.2. <i>Distracteur ancré uniquement sur les dents de lait.....</i>	<i>7</i>
3.2.3. <i>Distracteur ancré sur une attelle scellée sur les dents de lait.....</i>	<i>9</i>
3.2.4. <i>Distracteur vestibulaire (Changing-P).....</i>	<i>9</i>
3.2.5. <i>Distracteur modifié en cas de première molaire permanente incluse.....</i>	<i>10</i>
3.2.6. <i>Distracteur modifié en cas de nécessité de distalisation de l'arcade maxillaire</i>	<i>11</i>
4. ANCRAGE DENTAIRE SUR BAGUES SCELLEES.....	12
4.1. Ancrage dentaire sur 4 bagues scellées : distracteur d'Hyrax.....	12
4.2. Ancrage dentaire sur 2 bagues scellées : distracteur d'Hyrax simplifié.....	15
4.3. Différentes variantes.....	16
4.3.1. <i>Distracteur modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs.....</i>	<i>16</i>
4.3.2. <i>Transverse Sagittal Maxillary Expander.....</i>	<i>17</i>
4.3.3. <i>Distracteur modifié en cas d'infraclusion antérieure.....</i>	<i>19</i>
4.3.4. <i>Butterfly Maxillary Expander.....</i>	<i>20</i>
4.3.5. <i>Fan-Type Maxillary Expander.....</i>	<i>20</i>
4.3.6. <i>Differential Opening Expander.....</i>	<i>23</i>
5. ANCRAGE DENTAIRE SUR GOUTTIERE COLLEE : DISTRACTEUR DE MC NAMARA.....	24
5.1. Ancrage symétrique.....	24
5.2. Ancrage asymétrique.....	27

6. ANCRAGE OSSEUX.....	28
6.1. Ancrage sur mini-plaques.....	28
6.1.1. <i>Transpalatal Distractor</i>	28
6.1.2. <i>Différentes variantes</i>	33
a) <i>Magdeburg Palatal Distractor et Palatal Distractor Device</i>	33
b) <i>Maxillary Widening Device</i>	34
c) <i>Rotterdam Palatal Distractor</i>	35
6.2. Ancrage sur mini-vis.....	37
6.2.1. <i>Dresden Distractor</i>	37
6.2.2. <i>Différentes variantes</i>	39
7. ANCRAGE OSTEO-DENTAIRE.....	43
7.1. Ancrage sur 2 mini-implants antérieurs et sur 2 bagues scellées sur les M1.....	43
a) <i>Hybrid-Hyrax</i>	43
b) <i>Hybrid Hyrax Distalizer</i>	45
7.2. <i>Ancrage sur 4 mini-vis para-médianes et sur 4 bagues scellées : le Miniscrew-Assisted Rapid Maxillary Expander</i>	46
8. ANCRAGE OSTEO-MUQUEUX : Mini-Implant Supported Maxillary Expander (ou C-Expander).....	48
9. CONCLUSION.....	50
10. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	52
11. BIBLIOGRAPHIE.....	54

1. INTRODUCTION

L'obtention d'une dimension transversale maxillaire adéquate est un pré-requis indispensable à l'établissement d'une occlusion fonctionnelle stable et à l'amélioration de l'esthétique faciale. En effet, il existe fréquemment une inter-relation entre la présence d'une arcade maxillaire étroite et/ou en forme de V, d'un encombrement dentaire, d'une occlusion inversée postérieure (OIP), de corridors buccaux inesthétiques lors du sourire et l'existence d'une insuffisance transversale maxillaire (ITM)¹. Ainsi, en présence d'une telle anomalie, la réalisation d'une expansion maxillaire est nécessaire. Celle-ci correspond à l'augmentation de la dimension transversale de l'arcade dentaire maxillaire et a été réalisée pour la 1^{ère} fois par Lefoulon en 1841^{2,3}.

Les moyens thérapeutiques actuellement disponibles pour la réaliser sont les suivants :

- L'expansion maxillaire orthopédique : elle représente la séparation plus ou moins rapide des maxillaires droit et gauche au niveau de la suture médio-palatine (SMP) par un procédé orthopédique et a été réalisée pour la 1^{ère} fois par Angell en 1860^{3,4}. Cette procédure n'est cependant efficace qu'avant l'âge de 12-15 ans, c'est à dire avant que la SMP ne devienne mature et que la rigidité des structures osseuses environnantes n'empêche son succès⁵. A l'heure actuelle, nous distinguons 3 possibilités d'expansion maxillaire orthopédique : ultra-rapide (en 3 séances, avec pré-médication et sous anesthésie locale), rapide (réalisée en 3 semaines, donc moins traumatisante que la précédente ; c'est à celle-ci que nous nous intéresserons dans ce travail) et lente (mise en oeuvre sur 3 mois)⁶ ;
- L'expansion maxillaire rapide assistée chirurgicalement (EMRAC), en 2 temps : réalisée chez les patients plus âgés, après corticotomies des zones de résistance squelettique maxillaires (orifice piriforme, piliers zygomatiques, sutures ptérygo-maxillaires et médio-palatine) et mise en place de forces contrôlées⁵. La capacité de l'os à former un nouveau tissu est sollicitée au niveau de la solution de continuité, progressivement augmentée sous de strictes conditions par le distracteur (dispositif permettant l'application de forces en vue d'une distraction progressive), conformément aux principes décrits par Illizarov en 1956³ ;
- La chirurgie segmentaire, en 1 temps : des études cliniques ont démontré la supériorité de l'EMRAC en termes de stabilité au long terme, de moindre morbidité et de meilleure efficacité pour augmenter la largeur maxillaire antérieure⁵.

Suite aux travaux réalisés par Angell, l'expansion maxillaire rapide (EMR) a reçu une complète désapprobation à cause du manque de confirmation radiologique d'ouverture de la SMP. Cette vérification a été faite en 1908 par Landsberg. Cependant, ce n'est pas avant la moitié du 20^{ème} siècle que l'EMR a pu être largement établie et ré-introduite aux Etats-Unis. Aujourd'hui, l'EMR est considérée comme étant une distraction ostéogénique de la SMP⁷.

En 2010, Romanyk *et al.*⁸ ont proposé une classification des différents systèmes d'activation permettant de réaliser l'EMR. Il est ainsi possible d'utiliser différents types de vérins, ressorts ou alliages à mémoire de forme ou d'avoir recours à un système d'aimants en répulsion.

Dans notre travail, nous avons décidé de nous intéresser uniquement aux systèmes d'expansion à vérin, en les classant selon leur ancrage (dento-muqueux, dentaire sur bagues, dentaire sur gouttière, osseux, ostéo-dentaire, ostéo-muqueux). Nous avons ainsi réalisé une revue de littérature rigoureuse pour décrire leur évolution et analyser leurs intérêts et limites.

2. RAPPELS

2.1. Effets squelettiques de l'EMR

2.1.1. Au niveau de la SMP

- Dans le plan transversal :

D'après Haas (1980)⁹, l'ouverture de la SMP se fait de façon parallèle. Or, la majorité des auteurs¹⁰⁻¹³ a décrit une ouverture sous la forme d'un triangle à base antérieure, en forme de « V », correspondant à la zone de moindre résistance squelettique (Figure 1).

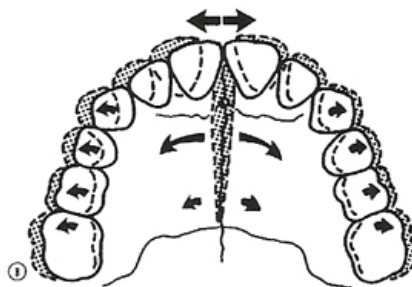


Figure 1 : Effets de l'EMR sur les structures dento-squelettiques dans le plan transversal¹¹

- Dans le plan frontal :

Les auteurs^{10, 11, 14} décrivent un élargissement triangulaire à base inférieure (Figure 2).

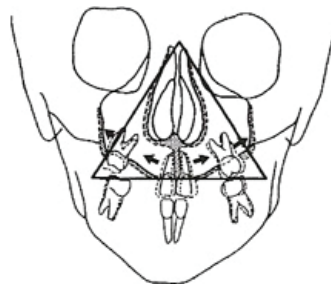


Figure 2 : Effets de l'EMR sur les structures dento-squelettiques dans le plan frontal¹¹

2.1.2. Au niveau des autres sutures

L'EMR n'affecte pas uniquement la SMP mais aussi les structures squelettiques et sutures environnantes. En effet, Chiari *et al.* (2009)¹⁵ ont mis en évidence une légère mobilisation et mise sous tension des sutures maxillo-nasale, maxillo-frontale, maxillo-ethmoïdale, maxillo-malaire, naso-frontale et zygomatiko-temporale.

2.1.3. Au niveau du maxillaire

Dans le plan frontal, l'ouverture triangulaire de la SMP provoque une bascule segmentaire des héli-maxillaires en direction vestibulaire¹⁶. Haas (1980)⁹ situe le centre de rotation de cette bascule au niveau de la cavité nasale alors que pour Wertz (1970)¹⁰, il serait situé à proximité de la suture fronto-nasale. Enfin, les travaux de Braun *et al.* (2000)¹⁷ ont mis en évidence que le mouvement d'ouverture de la suture comporte une composante de translation et une composante rotationnelle. Le centre de la composante rotationnelle serait situé en arrière de la SMP, à hauteur des dents de sagesse.

D'autre part, la majorité des auteurs^{11, 12, 18} s'accorde à décrire un déplacement du maxillaire en bas et en avant. Selon Wertz (1970)¹⁰, l'amplitude de ce déplacement vers le bas est d'environ 1-2 mm alors que le déplacement vers l'avant est inconstant et rarement supérieur à 1,5 mm.

2.1.4. Au niveau de la mandibule

Haas (1980)⁹, Chung et Font (2004)¹⁹ ont établi que la mandibule effectuait une rotation horaire, autour de son axe charnière, suite à la version des dents d'ancrage et à la descente du maxillaire. D'après Da Silva *et al.* (1995)¹², cette rotation pourrait faire apparaître une infraclusion antérieure ainsi qu'une bascule du plan d'occlusion. Cependant, d'après les travaux réalisés par Velazquez *et al.* (1996)²⁰, ces effets semblent être compensés ou corrigés au long terme (environ 3 ans), au cours du traitement multi-attache. De plus, pour Wertz (1970)¹⁰, cette ouverture est d'environ 2° et une récurrence de 50% pendant la période de stabilisation aboutirait à une ouverture de seulement 1°. Il semble donc que l'EMR n'ait pas d'effet significatif au long terme sur les dimensions verticale et sagittale de la face.

2.2. Effets dento-alvéolaires maxillaires de l'EMR

Ils se traduisent par :

- L'ouverture rapide d'un diastème inter-incisif objectivant l'écartement de la SMP et se fermant spontanément en quelques semaines²¹ ;
- Une augmentation du périmètre d'arcade, égale à 0,7 fois le gain de largeur obtenu au niveau des 1^{ères} prémolaires maxillaires (PM1) selon Adkins (1990)¹⁸ ;
- Une flexion des procès alvéolaires suite aux forces compressives qu'ils subissent²² ;
- Une vestibulo-version des dents d'ancrage^{12, 18, 23-26} ;
- Une expansion d'arcade en V inversé dans le plan transversal, c'est à dire que le gain de largeur inter-molaire est supérieur au gain de largeur inter-canine. Ce phénomène est expliqué par de nombreux auteurs par l'augmentation progressive des résistances squelettiques d'antérieur en postérieur, augmentant ainsi les effets dentaires au détriment des effets squelettiques^{18, 25-27}.

Selon Ciambotti *et al.* (2001)²⁴, l'élargissement squelettique obtenu suite à une EMR représente 40-58% de celle obtenue au niveau de l'arcade. Dans l'étude menée par Garrett *et al.* (2008)¹³, l'effet orthopédique était de 55% au niveau des PM1 alors qu'il était de 38% au niveau des 1^{ères} molaires maxillaires (M1). Enfin, Krebs (1964)²⁸ a montré que la part des effets orthopédiques de l'EMR sont en moyenne de 50% chez l'enfant, lorsque le traitement est réalisé entre 8 et 12 ans.

2.3. Effets iatrogènes de l'EMR

Au cours de leurs travaux, Langford et Sims (1982)²⁹ ont relevé des résorptions radiculaires (essentiellement vestibulaires) ainsi que l'apparition de déhiscences osseuses, fenestrations et récessions parodontales vestibulaires au niveau des dents d'ancrage.

3. ANCORAGE DENTO-MUQUEUX

3.1. Ancrage sur la muqueuse palatine et sur 4 bagues scellées : distracteur de Haas (DHa)

Initialement introduit par Derichsweiler en 1954³⁰, il a été préconisé et popularisé par Haas à partir de 1961³¹⁻³².

- Description (Figure 3) :

Des bagues scellées sur les PM1 ou 1^{ères} molaires temporaires (m1) et sur les M1 sont reliées en vestibulaire et palatin par des bras en acier soudés. Un cadre en acier, soudé à un vérin d'expansion positionné le plus haut possible au niveau de la voûte palatine (afin de se rapprocher du centre de résistance du maxillaire et des M1 et pour améliorer le confort du patient) est noyé dans de la résine prenant appui sur la muqueuse palatine (afin de favoriser l'effet orthopédique de l'appareil)³¹⁻³³.



Figure 3 : Distracteur de Haas³¹

- Intérêt :

- L'ancrage de ce dispositif, à travers ses 3 surfaces de distribution des forces (palais, ligament parodontal et corticale osseuse vestibulaire), est maximal³⁴.

- Limite :

- Des ulcérations douloureuses de la muqueuse palatine peuvent être causées par l'accumulation d'aliments sous la plaque en résine³⁵.

3.2. Différentes variantes

3.2.1. Distracteur ancré sur 6 bagues scellées

Afin d'augmenter l'ancrage du dispositif et de **favoriser son effet orthopédique**, Ribeiro *et al.* (2009)³⁶ ont remplacé le bras de connexion reliant les PM1 et M1 par une bague scellée sur les 2^{èmes} prémolaires (PM2) et ont rajouté une extension en palatin des 2^{èmes} molaires permanentes (M2), lorsqu'elles sont présentes. Ces modifications requièrent toutefois un temps clinique plus long, par l'adaptation en 2 séances des bagues sur les 6 dents.



Figure 4 : Distracteur ancré sur 6 bagues scellées³⁶

3.2.2. Distracteur ancré uniquement sur les dents de lait

- Justification :

En cours de croissance, la présence d'une OIP est un obstacle au développement des arcades dentaires et une ITM peut aboutir à un manque de place pour l'éruption des incisives latérales permanentes. Dans ce cas, l'EMR doit être **réalisée le plus précocement** possible, même en l'absence des M1. Aussi, en début de denture mixte, afin d'**éviter l'apparition d'effets indésirables sur les dents permanentes** pendant l'EMR, il est préférable de ne s'ancrer que sur les dents de lait^{37, 38}.

- Description (Figure 5) :

Cozzani *et al.* (2003)³⁹ ont présenté un dispositif similaire au DHa, ancré sur des bagues scellées sur les 2^{èmes} molaires temporaires (m2) et dont l'extrémité des bras palatins est collée sur les canines temporaires. Mohamad *et al.* (2016), quant à eux, noient les extrémités des bras palatins qui prennent appui sur les dents de lait dans de la résine recouvrant la muqueuse palatine et les soudent à des bagues scellées sur les m2⁴⁰.

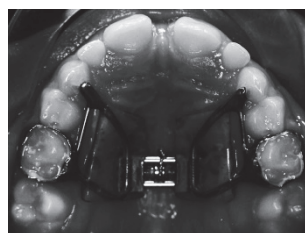


Figure 5 : Distracteurs ancrés uniquement sur les dents de lait^{39, 40}

- Analyse de littérature :

Cozzani *et al.* (2003)³⁹ ont évalué l'effet sur les M1 d'une EMR ancrée uniquement sur les dents de lait chez des patients présentant une OIP. L'expansion obtenue au niveau des M1 représentait alors approximativement la moitié de celle obtenue au niveau des dents de lait. Les auteurs suggèrent que les M1 ont été entraînées par le déplacement de l'os basal alors que les dents de lait auraient été soumises à la fois à des forces orthopédique et orthodontique, ce qui explique l'absence de récurrence observée au niveau des M1 après le retrait du dispositif. En effet, Cozzani *et al.* (2006)⁴¹ ont retrouvé que l'expansion obtenue au niveau des M1 était stable en moyenne 2 ans et 4 mois après le traitement, alors que celle qui a été obtenue au niveau des dents de lait a partiellement récidivé. De plus, Ugolini *et al.* (2015)⁴² ont retrouvé qu'en s'ancrant sur les m2, plutôt que sur les M1, cela permettait de minimiser la vestibulo-version des M1 obtenue pendant la phase d'expansion ainsi que leur redressement pendant la période de stabilisation. L'augmentation de la distance intercanine obtenue serait également plus stable 5 mois après la dépose de l'appareil.

Enfin, dans une étude réalisée par Cerruto *et al.* (2017)⁴³, l'alignement et la rétraction spontanée des incisives maxillaires étaient significativement plus prononcés lorsque l'ancrage se faisait sur les m2 plutôt que sur les M1. En effet, l'expansion était plus importante dans la zone antérieure de l'arcade maxillaire et la pression de la lèvre supérieure était plus accentuée. De plus, la disto-rotation des M1 était significativement plus importante lorsque le DHA modifié était utilisé. Les auteurs expliquent que, par le fait que les M1 ne soient pas baguées, celles-ci sont libres de s'adapter à la meilleure situation occlusale. Ils n'ont cependant pas retrouvé de différence en terme de variables squelettiques.

- Intérêts :

- L'utilisation des dents de lait comme ancrage pour l'EMR ne provoque pas leur exfoliation prématurée et empêche l'apparition d'effets indésirables sur les dents permanentes⁴¹ ;
- Les dents de lait peuvent supporter les forces lourdes développées lors de l'EMR si la longueur de leurs racines est supérieure à celle de leur couronne^{39,42} ;
- La réalisation d'une EMR précoce permet d'obtenir des dimensions d'arcade stables jusqu'en denture adolescente⁴⁴.

- Inconvénients :

- Il existe un risque important de fracture de l'appareil ;
- L'anatomie coronaire des m2 ne permet pas d'obtenir une rétention suffisante de l'appareil ;
- Il existe une possibilité de détachement du bras palatin collé aux canines⁴⁵.

3.2.3. Distracteur ancré sur une attelle scellée sur les dents de lait

- Justification et description (Figure 6) :

Afin de palier les inconvénients de l'appareil précédent, Cozzani *et al.* (2010, 2011)^{45, 46} ont proposé de s'ancrer sur une attelle en métal coulé, scellée et adaptée à la morphologie des canines et molaires temporaires et recouvrant leurs surfaces occlusales.



Figure 6 : Distracteur ancré sur une attelle scellée sur les dents de lait^{45, 46}

- Intérêts :
 - La réalisation de cet appareil nécessite une empreinte simple, sans essayage de bague préalable (gain de temps opératoire et pose de l'appareil facilitée) ;
 - La **stabilité** et la **rétenion** sont **améliorées** par l'adaptation parfaite des attelles ;
 - Le recouvrement occlusal partiel permet d'obtenir une surélévation de l'occlusion^{45, 46}.

3.2.4. Distracteur vestibulaire (Changing-P)

- Justification :

Afin de faciliter l'accès au vérin lors de son activation et pour optimiser son action transversale, un distracteur vestibulaire, le "Changing-P", a été développé par Porseo *et al.* (2016)⁴⁷.

- Description (Figure 7) :

Le vérin, placé dans le vestibule en regard des incisives maxillaires, est relié à 2 bras en acier .059 qui épousent la courbure de l'arcade maxillaire et qui sont soudés sur des bagues scellées sur les M1 ou m2. Ces bras sont recouverts d'un pare-choc en résine, éloigné de la muqueuse, permettant d'annihiler les forces musculaires centripètes et de rendre l'appareil plus rigide. Deux patins en résine sont en appui sur la muqueuse palatine afin de favoriser l'action orthopédique du dispositif⁴⁷.



Figure 7 : Distracteur vestibulaire : le Changing-P⁴⁷

- Intérêts :
 - Sa bonne **accessibilité** facilite l'hygiène et son activation ;
 - Dans les cas d'ITM sévères, il est possible d'installer un vérin d'expansion large dès le début ;
 - Aucune sur-correction n'est nécessaire (absence de version dentaire empêchant toute récurrence) ;
 - La langue change spontanément de posture car la **place au niveau du palais est libérée**⁴⁷.

- Limites :
 - Etant plus éloigné du point d'application de la force, le vérin doit être activé plus rapidement que s'il s'agissait d'un distracteur palatin ;
 - Il est déconseillé de l'utiliser chez les patients qui présentent un vestibule étroit (frein court, lèvre supérieure courte) car le système d'activation peut entraîner une irritation de la muqueuse⁴⁷.

3.2.5. Distracteur modifié en cas de première molaire permanente retenue

- Justification et description (Figure 8) :

En cas de M1 retenue, Fontana *et al.* (2010)⁴⁸ rajoutent à l'appareil présenté plus haut (3.2.3.) une extension en métal soudée sur la partie vestibulaire ou palatine de l'attelle coulée. Cette extension présente une boucle terminale qui permet d'accrocher une chaînette élastomérique, reliée à un bouton collé sur la molaire retenue. Le bord distal de la bague ne doit pas interférer avec la face occlusale de la molaire retenue. Après dégageement, le bras en métal est supprimé et l'EMR commence.



Figure 8 : Distracteur modifié en cas de M1 incluse⁴⁸

- Intérêts :
 - Solution simple et rapide ;
 - **Évite** la nécessité d'**extraction de la m2**, donc permet de préserver l'espace de dérive mésiale et d'obtenir une meilleure stabilité⁴⁸.

- Limites :
 - L'approche palatine nécessite la réalisation d'une surélévation occlusale pour éviter toutes interférences avec l'arcade antagoniste ;
 - L'approche vestibulaire peut provoquer des irritations jugales ou des lésions muqueuses (48).

3.2.6. Distracteur modifié en cas de nécessité de distalisation de l'arcade maxillaire

- Justification :

Afin d'éviter la construction de 2 appareils différents, Wang *et al.* (2015)⁴⁹ ont présenté un appareil permettant de réaliser simultanément une EMR et une distalisation de l'arcade maxillaire. Une série de constructions et modifications à différents stades du traitement est réalisée dans l'objectif de renforcer l'ancrage antérieur.

- Description (Figure 9) :

Le dispositif comprend un vérin transversal, 2 vérins sagittaux, une plaque en résine divisée en 4 parties et une attelle coulée qui recouvre les prémolaires. Après la réalisation de l'EMR, par l'activation du vérin transversal, la distalisation des M1 peut être débutée par l'activation des vérins sagittaux (0,2 mm/semaine). Des espaces sont alors obtenus entre les PM2 et les M1 et l'alignement des dents antérieures peut commencer au moyen d'un appareil multi-attache. La 1^{ère} modification, réalisée au laboratoire, consiste à désolidariser les PM2 de l'attelle afin de pouvoir les distaler secondairement. Une fois que celles-ci ont été distalées, la partie antérieure de l'appareil est alors retirée et sa partie postérieure est conservée afin de stabiliser la position des molaires distalées⁴⁹.



Figure 9 : Distracteur modifié en cas de nécessité de distalisation de l'arcade maxillaire⁴⁹

- Intérêts :

- Absence de rotation des PM et M1 (force d'expansion couplée à la force distalante) ;
- Absence d'extrusion des incisives, PM et M1 (mouvement vertical empêché par le recouvrement occlusal de l'attelle coulée) ;
- Ancre augmenté (solidarisation des PM et recouvrement du palais)⁴⁹.

4. ANCRAGE DENTAIRE SUR BAGUES SCELLEES

- Justification et description (Figure 10) :

Le DHa a été modifié par Biederman⁵⁰, en 1968, par la suppression de l'appui en résine sur la muqueuse palatine, lui valant l'appellation « d'appareil hygiénique » (plus communément appelé « distracteur d'Hyrax » ; abréviation de « hygienic rapid palatal expander appliance »).

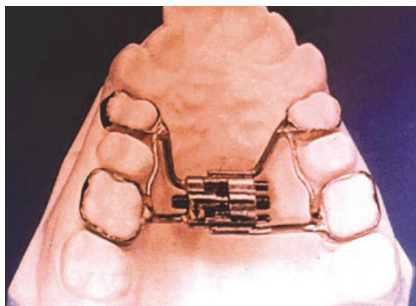


Figure 10 : Distracteur d'Hyrax⁵⁰

4.1. Ancrage dentaire sur 4 bagues scellées : distracteur d'Hyrax (DHy)

- Analyse de littérature : DHy vs DHa

Selon diverses études réalisées sur téléradiographies de profil et frontales ainsi que sur modèles, les **effets des 2 appareils sont similaires**⁵¹⁻⁵⁵, exceptées l'**augmentation de la dimension verticale faciale** qui est **légèrement supérieure avec le DHa** (Praskins, 1985)⁵⁶ et l'**augmentation de la distance inter-molaire** qui est **plus importante avec le DHy** (Erverdi *et al.*, 1993)⁵⁷.

En rapportant l'augmentation de la distance inter-molaire à la quantité d'activation du vérin, Rodrigues *et al.* (2012)⁵⁸ ont retrouvé un ratio similaire entre les 2 appareils. Cependant, l'**augmentation de la distance entre les apex des incisives centrales** était proportionnellement **plus grande avec le DHy** (0,7:1,0) qu'avec le DHa (0,4:1,0).

Dans une étude réalisée chez des patients présentant une fente labio-alvéolo-palatine (FLAP) unilatérale complète, Façanha *et al.* (2014)⁵⁹ n'ont trouvé aucune différence significative entre les 2 appareils concernant l'augmentation des distances inter-canine et inter-molaire alors que Mundstock (2006)⁶⁰ avait retrouvé une augmentation plus importante de ces mesures avec le DHy. Weissheimer (2008)⁶¹ avait quant à lui constaté une **plus grande tendance à la vestibulo-version des M1 avec le DHa**.

D'après les travaux réalisés par Fastuca *et al.* (2017)⁶², la présence d'un recouvrement palatin en résine ne semble pas influencer les changements observés dans la région nasale après l'EMR.

En utilisant la méthode d'analyse tri-dimensionnelle des éléments finis, Ralph (1998)⁶³ a observé une **vestibulo-version des dents d'ancrage 2,5 à 3 fois plus importante avec le DHy** alors que le **DHa** a permis d'obtenir 26% d'expansion d'arcade supplémentaire et une **expansion suturale**

plus importante. L'auteur justifie ces résultats par le fait que le DHy s'est déformé de manière plus importante, les forces agissant sur les sutures étaient alors plus faibles. De plus, d'après Oliveira *et al.* (2004)⁶⁴, l'appui muqueux permettrait d'obtenir des forces dont le vecteur se rapproche du centre de résistance maxillaire et favorise donc son action orthopédique. A l'inverse, en ne s'ancrant que sur les dents, les forces se dissiperaient à travers les procès alvéolaires et cela favoriserait son action dento-alvéolaire. Toutefois, dans leur étude, le ratio effets dentaires / effets squelettiques était similaire pour les 2 appareils. Ils conclurent cependant, qu'ayant été plus efficace que le DHy pour obtenir un gain de largeur inter-molaire, le DHa est indiqué dans les cas d'ITM sévères.

Garib *et al.* (2005)⁶⁵ ont quant à eux réalisé leur étude sur CBCT et standardisé la quantité d'activation du vérin mais ont retrouvé que les 2 appareils produisaient des effets orthopédiques similaires, contre-disant la théorie d'Oliveira *et al.* (2004)⁶⁴. Cependant, le résultat obtenu a pu être influencé, selon eux, par le fait que les mesures ont été réalisées au niveau du plancher nasal (ce qui implique une sous-estimation de l'interprétation à cause de la rotation des segments osseux maxillaires) et par la faible taille des échantillons (n=4). Ainsi, les auteurs soulignent le fait que l'absence de différence statistique n'indique pas nécessairement qu'il n'y en a pas. D'autre part, le DHa a entraîné, dans leur étude, une version des dents d'ancrage plus importante que le DHy, particulièrement des PM1. Ces résultats peuvent refléter la différence de système de délivrance des forces entre les 2 appareils. En effet, Braun *et al.* (2000)⁶⁶ ont établi que la connexion entre le vérin et les dents par de la résine était moins rigide que celle réalisée avec un bras en acier soudé. Enfin, il est intéressant de noter que, dans les 2 groupes, les PM2 se sont plus vestibulo-versées que les dents d'ancrage. En effet, l'appui sur les PM2 se fait en un point éloigné de leur centre de résistance, à la différence des PM1 et M1, sur lesquelles des bagues ont été fermement scellées.

Dans une autre étude évaluant le même échantillon, Garib *et al.* (2006)⁶⁷ retrouvent que le DHa entraîne moins d'augmentation de l'épaisseur osseuse palatine des dents postérieures alors que le DHy entraîne plus de réduction de hauteur de la crête alvéolaire vestibulaire des PM1. Ces résultats suggèrent que la plus grande concentration des forces sur les dents d'ancrage observée avec le DHy empêche toute apposition osseuse vestibulaire compensatrice. L'appui en résine, quant à lui, permettrait de diminuer le risque de déhiscence osseuse vestibulaire et stimulerait la résorption osseuse du côté palatin des procès alvéolaires par la pression qu'il exerce. L'auteur note cependant que, dans son étude, aucune récession parodontale n'a été observée après 3 mois de stabilisation et qu'il n'est pas exclu que la corticale osseuse vestibulaire puisse se recouvrir avec le temps.

Dans une étude clinique prospective randomisée, dans laquelle les fréquence et quantité d'activation ont été standardisées, Weissheimer *et al.* (2011)⁶⁸ ont retrouvé que le **DHy** produisait **plus d'effets orthopédiques immédiats**, pour 3 des 5 valeurs squelettiques étudiées, ainsi que **moins de vestibulo-version des M1** que le DHa. En effet, le rapport élargissement squelettique / quantité d'activation du vérin était de 38,5-39,2% en postérieur et de 37,5-54,7% en antérieur avec le DHy et de 27,2-32,7% et 32,7-45,2% avec le DHa, respectivement. Cependant, les différences constatées

étaient inférieures à 0,5 mm par côté et n'étaient donc pas cliniquement significatives.

D'autre part, Odenrick *et al.* (1991)⁶⁹ ont comparé les effets des 2 appareils en terme de résorption radiculaire et ont retrouvé que l'appui en résine permettait de minimiser la fréquence, l'étendue et la profondeur des résorptions radiculaires vestibulaires observées au niveau des dents d'ancrage, notamment des prémolaires. Erverdi *et al.* (1994)⁷⁰ n'ont pour leur part pas observé de différence entre les 2 méthodes si ce n'est la situation plus coronaire des résorptions radiculaires avec le DHy. En effet, en entraînant plus de version dentaire, ce dernier provoquerait une force de compression marginale, sur une surface restreinte de la racine et dans une zone où la densité osseuse est importante. Enfin, Dindaroglu *et al.* (2016)⁷¹ ont observé, indépendamment de l'effet squelettique, **plus de résorptions au niveau des PM1, PM2 et M1 avec le DHy**. Cependant ces résultats étaient statistiquement non significatifs. Ils n'ont également pas observé de différence significative après 6 mois de stabilisation en termes de signe de résorption ou de cicatrisation entre les 2 méthodes.

Enfin, Bretos *et al.* (2007)⁷² et Hino *et al.* (2008)⁷³ ont comparé les effets des 2 distrateurs dans le cadre d'une EMRAC et ont retrouvé que le maxillaire se déplaçait vers l'avant uniquement lorsque le DHa était utilisé et que chacun d'entre eux entraînaient des valeurs similaires de déplacement sagittal et vertical du maxillaire. Dans le plan transversal, le ratio gain de largeur maxillaire / quantité d'activation du vérin était de 69% avec le DHa et de 74,5% avec le DHy et les M1 se sont vestibulo-versées d'une manière similaire. Cependant, l'absence d'appui palatin du DHy a permis la récurrence du gain transversal squelettique pendant la période de stabilisation, alors qu'elle est restée stable, ainsi que la distance inter-molaire, avec le DHa. Ainsi, les effets squelettiques et dentaires observés 4 mois après l'EMR étaient similaires avec les 2 appareils.

- Intérêts :
 - Irritations gingivales supprimées ;
 - Plus simple de fabrication ;
 - Plus facilement accepté par les patients (confort et hygiène plus simples)²³.

- Limites :
 - Sa construction et son insertion restent difficiles ;
 - Inconfort du patient ;
 - L'hygiène orale reste également difficile⁷⁴ ;
 - Fractures occasionnelles pouvant résulter d'une soudure inadéquate³⁵ ;
 - L'absence d'appui en résine permet la récurrence de l'effet orthopédique pendant la période de contention. Ainsi, seule l'expansion de l'arcade dentaire est maintenue ;
 - Effet squelettique limité³⁴ ;
 - Manque de rigidité⁷⁵.

4.2. Ancrage dentaire sur 2 bagues scellées : distracteur d'HyraX simplifié (DHYS)

- Justification et description (Figure 11) :

D'autres modifications ont été réalisées par la suite par Schneidman *et al.* (1990)⁷⁶, notamment par le retrait des 2 bagues et bras antérieurs. Il devient ainsi un distracteur ancré sur les 2 M1 uniquement.

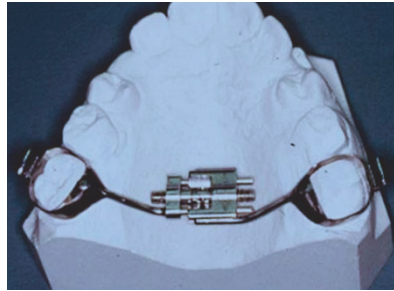


Figure 11 : Distracteur d'HyraX simplifié⁷⁶

- Analyse de littérature : DHYS vs DHY

Schneidman *et al.* (1990)⁷⁶ ont observé un élargissement similaire au niveau des dents postérieures maxillaires avec les 2 appareils chez des patients de 7 à 15 ans. Cependant, les **M1** se sont vestibulo-versées avec le DHY alors qu'elles se sont **palato-versées avec le DHYS**. Le vecteur des forces exercées par ce dernier serait alors dirigé plus apicalement. De plus, le **gain de largeur obtenu au niveau des dents antérieures maxillaires ainsi que des dents mandibulaires était plus important lorsque le DHY était utilisé.**

Ils indiquent alors le DHYS :

- En denture mixte tardive, lorsque seules 2 dents d'ancrage sont présentes ;
- Chez les patients présentant un encombrement ;
- En cas de difficultés d'insertion du DHY ;
- Lorsqu'une expansion postérieure est recherchée, sans nécessité d'effets sur la partie antérieure du maxillaire ou sur les dents mandibulaires.

Lamparski *et al.* (2003)⁷⁴ ont quant à eux retrouvé que, pour une activation donnée, le **DHY** permettait d'obtenir une séparation de la **SMP d'amplitude 16% plus importante** que le DHYS mais n'ont noté aucune différence significative d'augmentation des largeurs inter-molaire et inter-canine et d'ouverture du diastème inter-incisif. Cependant, **sur le long terme**, le DHY a permis de maintenir le **gain de périmètre d'arcade** alors que celui-ci a **récidivé avec le DHYS**, notamment au niveau des canines, pendant la période de stabilisation. Davidovitch *et al.* (2005)⁷⁷ ont noté que, dans cette étude, les effets du remodelage osseux au niveau de la SMP et de l'âge du patient n'ont pas été pris en compte.

Ainsi, en accord avec Schneidman *et al.* (1990)⁷⁶ et Lamparski *et al.* (2003)⁷⁴ l'expansion suturale obtenue dans leur étude affectait la forme d'un V avec les 2 appareils. Cependant, un taux d'échec significatif d'ouverture de la SMP a été retrouvé avec le DHyS chez les patients âgés de plus de 12 ans alors que l'effet du DHy était indépendant de l'âge, chez des sujets âgés de 9 à 17 ans. D'autre part, l'expansion suturale obtenue avec le DHy était 2,5 plus grande qu'avec le DHyS et le gain de périmètre d'arcade l'était 6 fois plus. Le ratio expansion squelettique / expansion dentaire était de 9:1 et 1:1 en regard des canines avec le DHy (les canines lui étant immédiatement adjacentes) et le DHyS, respectivement. En regard des molaires, ce rapport, obtenu avec le DHyS, représentait le double de celui obtenu avec le DHy (les M1 étant ses seuls points d'ancrage). En effet, lorsque la résistance squelettique était minimale (région incisive), le DHyS a permis d'obtenir des réponses squelettique et suturale significatives (90%), avec une quasi absence de compensation dentaire, alors que lorsque la résistance squelettique était augmentée (régions prémolaire et molaire), la réponse squelettique était de 52% et 16%, respectivement, avec des compensations dentaires maximales.

Un an après la dépose de l'appareil, la diminution de la largeur de la SMP, attribuée à sa reminéralisation, était de 47% et 75% avec le DHy et DHyS, respectivement, mais la récurrence squelettique était de seulement 3% et 5%. Aussi, la version des M1, qui était respectivement de 20° et 14° pendant la phase d'expansion, est retournée à sa valeur pré-expansion dans les 2 groupes.

En se basant sur ces données, les auteurs recommandent l'utilisation du DHyS en denture mixte, dans les cas d'encombrement faible, d'OIP unilatérale ou d'EMRAC et indiquent le DHy chez les patients âgés de plus de 12 ans, dans les cas d'insuffisance sévère de périmètre d'arcade, d'OIP bilatérale ou de forme d'arcade étroite.

- Intérêts :
 - Plus simple de construction et d'insertion ;
 - Moins onéreux ;
 - Plus confortable, plus simple à nettoyer et moindre gêne du langage ;
 - Améliore la coopération du patient⁷⁴.

4.3. Différentes variantes

4.3.1. Distracteur modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs

- Justification :

En denture mixte, la perte prématurée d'une canine temporaire peut avoir comme conséquence la migration des incisives permanentes du côté affecté, réduisant ou fermant ainsi l'espace disponible pour la canine permanente et entraînant une asymétrie de l'arcade maxillaire avec une déviation significative des milieux inter-incisifs^{78, 79}.

- Description (Figure 12) :

Farronato *et al.* (2009, 2014)^{78, 79} ont présenté un distracteur auquel ont été soudés 2 bras palatins s'étendant des bagues molaires jusqu'aux faces mésiales des canines ainsi qu'un bras vestibulaire présentant une boucle terminale s'étendant de la bague molaire jusqu'à la surface vestibulaire de l'incisive centrale (sur laquelle elle sera collée), située du côté opposé à la déviation du milieu inter-incisif maxillaire.



Figure 12 : Distracteur modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs^{78, 79}

- Analyse de littérature :

Farronato *et al.* (2012)⁸⁰ ont comparé les effets de cet appareil à ceux d'un DHy et n'ont retrouvé aucune différence 6 mois après l'expansion, exceptés le déplacement plus important des incisives et le meilleur gain de place obtenue entre les incisives latérales et les m1.

- Intérêts :

- Augmentation de la longueur d'arcade et amélioration de la forme d'arcade ;
- Déplacement de l'hémi-arcade contro-latérale à la déviation du milieu inter-incisif, permettant une **distribution optimale de l'espace obtenu par l'EMR** ;
- Gain de place pour la canine permanente de 7-9 mm ;
- Permet de résoudre une déviation du milieu inter-incisif de 5-6 mm ;
- Facilite et réduit la durée du traitement multi-attache futur, réduisant la nécessité d'extractions^{78, 79}.

4.3.2. *Transverse Sagittal Maxillary Expander (TSME)*

- Justification :

Lorsque son utilisation est combinée à celle d'un masque facial (MF), le DHy agit surtout dans le plan transversal. Cependant, il est parfois nécessaire d'**augmenter la dimension sagittale du maxillaire**, particulièrement dans les cas d'encombrement⁸¹.

- Description (Figure 13) :

Ainsi, le TSME, présenté par Farronato *et al.* (2007)⁸¹, est un distracteur auquel ont été rajoutés 2 bras palatins en acier .045 s'étendant jusqu'aux faces palatines des incisives centrales ainsi que 2 vérins sagittaux de 8 mm positionnés de chaque côté, entre les M1 et les incisives.

La 1^{ère} phase du traitement correspond à l'EMR classique, par l'activation du vérin transversal. Ensuite, les vérins sagittaux sont activés d'1/4 de tour / semaine pendant 6-8 mois. Une augmentation progressive du périmètre d'arcade maxillaire est ainsi obtenue jusqu'à la sur-correction du surplomb incisif.

Similairement à l'appareil présenté en 4.3.1., Maspero *et al.* (2015)⁸² ont modifié le TSME dans les cas de déviation des milieux inter-incisifs.



**Figure 13 : Transverse Sagittal Maxillary Expander conventionnel⁸¹
et modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs⁸²**

- Analyse de littérature :

En comparant les effets du TSME à ceux du DHy sur téléradiographies de profil, Farronato *et al.* (2011)⁸³ ont retrouvé que le TSME était plus efficace pour augmenter la longueur de l'arcade maxillaire (augmentation de la distance ENP-A et des angles I/SNa et I/F). En effet, Maspero *et al.* (2015)⁸⁴ ont attribué cet effet comme étant le résultat de l'ouverture de la SMP, de la flexion des procès alvéolaires antérieurs et de la version des incisives. Cet effet est autant bénéfique dans les cas de classe III que dans les cas de classe II division 2 car l'expansion de l'arcade maxillaire et la vestibulo-version des incisives maxillaires ont permis de déverrouiller la croissance mandibulaire, aboutissant à une diminution de l'angle ANB par augmentation de l'angle SNB. D'autre part, son utilisation est possible chez les patients présentant un schéma de croissance vertical^{83, 85}.

Maspero *et al.* (2012)⁸⁵ ont quant à eux comparé les effets du TSME à ceux de la combinaison DHy/MF et ont retrouvé que l'utilisation du TSME était bénéfique dans les cas de malocclusion de classe III par rétro-maxillie légère grâce à son action sur les procès alvéolaires maxillaires. La combinaison DHy/MF serait quant à elle préférable chez les sujets présentant une tendance de croissance horizontale et permettrait d'obtenir une avancée significative du maxillaire et une correction de l'angle ANB (surtout due à la rotation mandibulaire anti-horaire).

Farronato *et al.* (2007)⁸¹ indiquent donc le TSME :

- Dans les cas de classe III squelettique légères associées à un encombrement maxillaire ;
- D'hypoplasie maxillaire (dimensions transversale et sagittale réduites) ;
- Chez les enfants en cours de croissance normodivergents ou légèrement hypodivergents.

- Intérêts :

- **Augmentation du périmètre d'arcade maxillaire** ;
- Facilité d'utilisation (mise en œuvre similaire à celle d'un distracteur conventionnel) ;
- Confort et coopération du patient satisfaisants (appareil fixe) ;
- Efficace dans les cas de malocclusion de classe III légère avec encombrement maxillaire⁸¹.

4.3.3. Distracteur modifié en cas d'infraclusion antérieure

- Justification :

Lorsqu'une infraclusion antérieure, causée par une posture linguale anormale ou des habitudes de succion du pouce, est associée à une ITM, les malocclusions des **sens vertical et transversal peuvent être traitées simultanément**⁸⁶.

- Description (Figure 14) :

En effet, Anhoury (2006) rajoute une extension palatine en acier .045, sectionnée au niveau médian, reliant les 2 bagues et à laquelle sont solidarisés 6 à 8 éperons dirigés en bas et en arrière.

Après 3 mois de stabilisation de la correction transversale, le vérin peut être retiré en maintenant que l'arc muni des éperons pour permettre la correction de l'infraclusion en environ 4-8 mois⁸⁶.

- Limite :

- Le patient et les parents doivent être informés que les éperons entraîneront initialement des difficultés pour manger, déglutir et parler, mais ces problèmes se résolvent généralement en 2-3 semaines⁸⁶.



Figure 14 : Distracteur modifié en cas d'infraclusion antérieure⁸⁶

4.3.4. Butterfly Maxillary Expander (BME)

- Justification et description (Figure 15) :

Afin de **maximiser l'effet orthopédique du distracteur et de minimiser ses effets dentaires** indésirables, Cozza *et al.* (1999)⁸⁷ augmentent sa rigidité en utilisant un cadre en acier en forme de papillon.

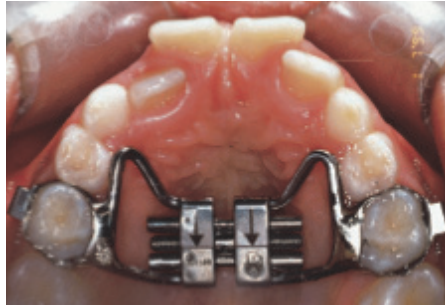


Figure 15 : Butterfly Maxillary Expander⁸⁷

- Analyse de littérature :

Dans l'étude de Cozza *et al.* (2001)⁸⁸, les changements minimes observés dans les sens sagittal et vertical leur ont permis de conclure que le BME pouvait être utilisé dans les cas de croissance à tendance verticale et de malocclusion de classe II.

- Intérêts :

- La rigidité de l'appareil et son emplacement haut situé dans la voûte palatine permettent de délivrer la force transversale plus près du centre de résistance des dents postérieures maxillaires ;
- La conception du BME minimise ainsi la version et l'égression des dents d'ancrage et améliore les effets orthopédique et biomécanique de l'appareil par rapport au distracteur conventionnel⁸⁷.

4.3.5. Fan-Type Maxillary Expander (FTME)

- Justification :

Dans les cas où l'**ITM** ne se manifeste que dans la **région antérieure**, notamment chez les patients atteints de FLAP, l'utilisation d'un distracteur conventionnel, dont le vecteur de force est limité à une seule direction (le long du grand axe du vérin), peut aboutir à une occlusion de Brodie (exocclusion molaire) difficile à traiter et pouvant avoir des conséquences parodontales indésirables. Ainsi, chez ces patients, le vérin d'Hyrax peut être positionné très en avant afin de favoriser son action antérieure. Ce positionnement est toutefois impossible dans les cas de palais très profond. Divers appareils ont alors été conçus pour essayer d'obtenir une expansion uniquement dans la région canine sans entraîner d'exocclusions molaires. Cependant, ces dispositifs sont amovibles et ne permettent d'obtenir une action qu'uniquement dentaire⁸⁹.

- Description (Figure 16) :

Ainsi, en s'inspirant des travaux de Townend (1980)⁹⁰ et Suzuki et Takahama (1989)⁹¹, Schellino *et al.* (1996)⁹² ont conçu le « vérin Ragno », qui a été ensuite utilisé par Levrini et Filippi (1999)⁸⁹ pour créer le FTME.

Ce **vérin** présente **3 charnières** : 1 postérieure, qui permet d'obtenir une ouverture "en éventail", et 2 antérieures, qui neutralisent les forces de version produites lors de l'expansion. Aussi, 4 bras, 2 mésiaux et 2 distaux, sont soudés au vérin et aux bagues. Il est important de positionner le vérin de sorte que les charnières antérieures soient alignées avec le centre des cuspidés palatines des PM1 ou entre les PM1 et PM2. La longueur des bras postérieurs est réduite pour rendre l'appareil plus petit et plus confortable.

Le type d'expansion produite dépend de la longueur et de l'angulation des bras. Si les bras sont inclinés mésialement (angles antérieurs aigus par rapport au vérin), le gain de largeur se fera à la fois en avant et en arrière lors de l'expansion, mais plus dans la région antérieure. Si les bras sont perpendiculaires, le gain de largeur sera uniquement antérieur, sans modification postérieure. Enfin, si les bras sont dirigés distalement (angles antérieurs obtus par rapport au vérin), la distance entre les bras postérieurs sera réduite, sans modification antérieure. La réduction de la dimension des bras entraînera une diminution de ces effets⁸⁹.

Cozza *et al.* (2003) ont par la suite repris la rigidité de la conception « en forme de papillon » de leur distracteur en substituant le vérin d'HyraX par un vérin Ragno⁹³.

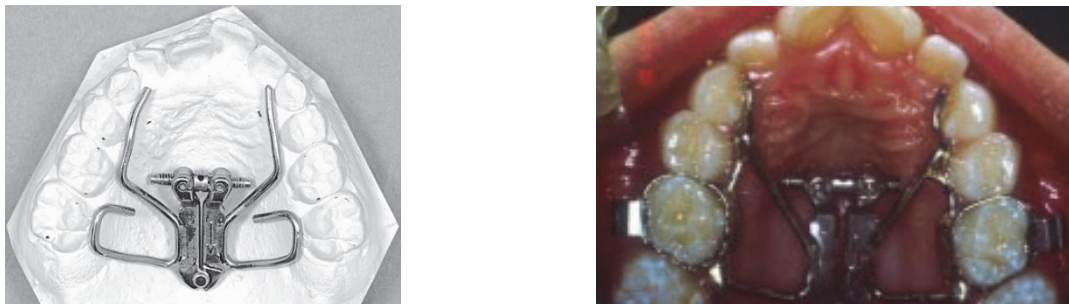


Figure 16 : Fan-Type Maxillary Expander⁸⁹ et Butterfly Maxillary Expander modifié⁹³

- Analyse de littérature :

De nombreux auteurs ont comparé les effets du FTME à ceux du DHy et ont retrouvé les éléments suivants :

- **L'ouverture de la SMP se fait de forme plus parallèle dans les plans frontal et transversal avec le DHy qu'avec le FTME^{27, 94} ;**
- Le DHy permet d'obtenir une plus grande expansion des cavités nasales et du maxillaire que le FTME. En effet, la force appliquée par le FTME s'effectue à un plus bas niveau dans le plan frontal qu'avec le DHy. Il induit donc **plus d'expansion au niveau dento-alvéolaire** et le DHy induit **plus d'expansion au niveau squelettique^{27, 95}**. Sökücü *et al.* (2010)⁹⁶, ont quant à eux

retrouvé que les augmentations de volume nasal et de la surface de section transversale minimale obtenues avec le FTME étaient similaires à celles observées avec le DHy. Cependant, tous les auteurs s'accordent à dire que le gain de largeur squelettique est plus stable lorsque le DHy est utilisé^{27, 95, 96} ;

- Le vérin Ragno permet d'obtenir une **moindre expansion molaire** ainsi qu'une **expansion canine similaire**^{27, 94-99}. En effet, le ratio expansion inter-canine / expansion inter-molaire obtenu par Gopalakrishnan et Sridhar (2017)⁹⁴ était de 4:1 avec le FTME et de 0,75:1 avec le DHy ;
- Le DHy provoque une palato-version des incisives maxillaires alors que le FTME entraîne leur vestibulo-version^{27, 95} ainsi que leur déplacement latéral. En effet, l'ouverture angulaire de la SMP obtenue avec le FTME est plus rotationnelle qu'avec le DHy²⁷. Gopalakrishnan et Sridhar (2017)⁹⁴ ont cependant retrouvé que les incisives maxillaires étaient palato-versées d'une manière similaire avec les 2 appareils ;
- En **empêchant la vestibulo-version des dents postérieures maxillaires**, le FTME permet de **minimiser le déplacement vertical de la mandibule**^{27, 99}.

D'autre part, Fonseca *et al.* (2014)¹⁰⁰ utilisent un petit vérin d'Hyrax (seulement 2 bras) positionné en antérieur et ancré sur les PM1 en association avec un arc transpalatin scellé sur les M1 (mini-Hyrax inversé antérieur). Celui-ci permettrait selon eux d'obtenir une **expansion dans la région antérieure du maxillaire et un maintien de la distance inter-molaire**, de manière similaire au FTME, mais entraînerait significativement **moins de vestibulo-version des dents antérieures d'ancrage**. Mordente *et al.* (2016)¹⁰¹ ont quant à eux retrouvé que seul le mini-Hyrax inversé antérieur n'entraînait pas de gain significatif de largeur maxillaire postérieure. En effet, dans leur étude, le DHy et le mini-Hyrax postérieur (petit vérin d'Hyrax positionné en antérieur et ancré sur les M1) ont entraîné le plus d'expansion postérieure ainsi qu'une augmentation significative du volume aérien nasal. Ils ne retrouvèrent cependant une différence significative qu'entre le FTME et le mini-hyrax postérieur (Figure 17).

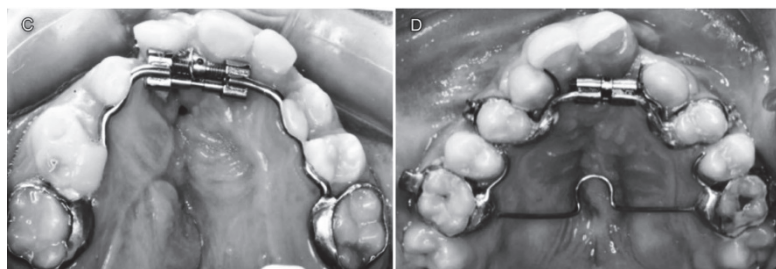


Figure 17 : Mini-Hyrax inversés postérieur et antérieur¹⁰¹

- Intérêt :
- Permet d'agrandir, réduire ou conserver les dimensions transversales antérieure ou postérieure du maxillaire. Ces effets différentiels peuvent également être utilisés pour corriger les rotations molaires, souvent rencontrées dans ces cas⁸⁹.

4.3.6. Differential Opening Expander (DOE)

- Justification

L'expansion antérieure obtenue avec les distracteurs conventionnels est souvent trop importante par rapport aux besoins, d'autant plus que la gestion du diastème inter-incisif pendant plusieurs mois a un impact social non négligeable. Les vérins en éventails utilisés en distraction angulaire ne permettent pas de positionner l'axe de la distraction exactement au niveau de la papille inter-incisive, le risque étant une compression antérieure de l'os alvéolaire et une rotation axiale compensatoire des molaires^{102, 103}.

- Description (Figure 18) :

Le système d'activation du DOE, décrit par Leyder *et al.* (2012, 2014)^{102, 103} et Garib *et al.* (2014)¹⁰⁴, est composé de 2 vérins d'expansion transversaux reliés par 2 barres de support perpendiculaires. Une barre transversale de stabilisation (ou une clavette) positionnée parallèlement entre les 2 vérins permet d'empêcher le déplacement vers l'avant ou vers l'arrière du distracteur et des dents d'appui.

Ainsi, si les parties antérieure et postérieure du vérin sont activées à quantité égale, le distracteur s'ouvre de façon parallèle. Lorsqu'il est nécessaire d'obtenir plus d'expansion antérieure, le vérin antérieur est plus activé que le vérin postérieur, pour créer en divergence antérieure.

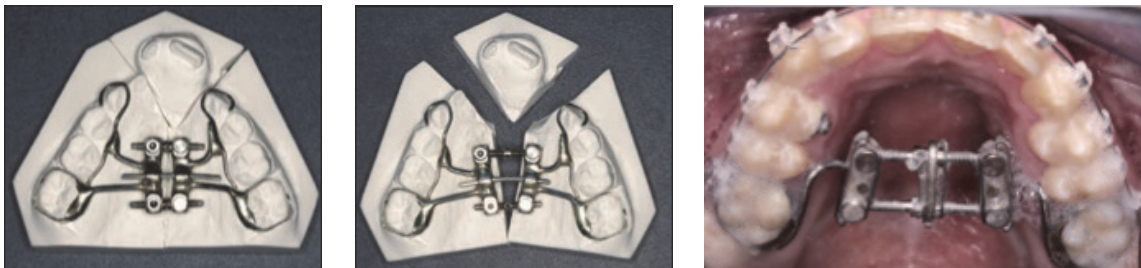


Figure 18 : Distracteur modulable^{102, 103} / Differential Opening Expander¹⁰⁴

- Analyse de littérature :

Dans l'étude de Garib *et al.* (2016)¹⁰⁵, comparant les effets du DOE à ceux du DHy chez des patients présentant une FLAP bilatérale, les effets squelettiques retrouvés étaient similaires mais le DOE a entraîné une augmentation significativement plus importante de la distance inter-canine (différence de 3,63 mm) et une moindre vestibulo-version des canines que le DHy.

- Intérêts :

- La répartition de l'expansion et la gestion des forces est facilitée et n'est plus limitée par la position en bouche du distracteur. L'axe charnière de la distraction pourra être positionné sur l'arcade pour les **distractions angulaires** ou en avant de l'arcade pour les **distractions parallèles** ou mixtes, parallèles puis angulaires, en fonction des besoins^{102, 103}.

5. ANCRAGE DENTAIRE SUR GOUTTIERE COLLEE : DISTRACTEUR DE MC NAMARA

5.1. Ancrage symétrique

- Justification :

L'égression des dents postérieures maxillaires ainsi que le déplacement vers le bas du maxillaire associés à l'EMR, aboutissent à une augmentation de la dimension verticale qui est un effet souvent indésirable, notamment chez les patients présentant un schéma de croissance vertical. En effet, ce déplacement vers le bas du maxillaire participe à l'ouverture de l'angle mandibulaire et favorise l'apparition d'une infraclusion antérieure^{10, 12, 23, 106}. De plus, le déplacement antérieur du maxillaire, souvent associé à cette thérapeutique, peut compliquer la correction d'une malocclusion de classe II¹⁰⁷. Enfin, les interférences cuspidiennes observées suite à une EMR pourraient aboutir à une expansion d'un côté alors que l'autre côté reste en occlusion inversée, aboutissant à une expansion asymétrique¹⁰⁸.

Différents appareils ont ainsi été développés pour essayer d'éliminer les effets indésirables précédemment décrits^{35, 109-111}. En effet, l'interposition inter-occlusale de résine au niveau des dents postérieures, en intégrant l'espace libre d'inocclusion, favoriserait un **contrôle de la dimension verticale** ainsi qu'un **déplacement symétrique** et plus **en translation des segments osseux maxillaires** par la diminution de l'intercuspitation¹¹²⁻¹¹⁴. Le concept d'« effet bite-block » a été décrit par Graber et Neumann (1977)¹¹⁵, qui pensaient qu'en intégrant l'espace libre d'inocclusion, une force passive était constamment exercée sur le maxillaire et la mandibule. Ainsi, Ahlgren (1970)¹¹⁶ suggère que, par son étirement passif au-delà de sa longueur de repos, la musculature élévatrice transfère à l'appareil une force dirigée apicalement sur les dents maxillaires et mandibulaires. L'appareil devrait donc limiter les changements de dimension verticale en agissant comme un appareil fonctionnel. D'autre part, en augmentant la surface de collage, la rigidité de l'appareil augmente. Or, plusieurs auteurs ont montré que l'augmentation de la rigidité d'un appareil d'EMR diminue la composante rotationnelle le long du grand axe des dents d'ancrage, leur extrusion devrait donc être limitée^{75, 111, 117}.

Il est à noter qu'en alternative à l'interposition inter-occlusale de résine, certains auteurs ont également suggéré l'utilisation d'appareils extra-oraux tels que des forces extra-orales à direction haute ou l'appui mentonnier pour permettre le contrôle du sens vertical pendant l'EMR¹¹⁸⁻¹²².

- Description (Figure 19) :

Les distracteurs ancrés sur une gouttière collée sont caractérisés par un recouvrement complet des surfaces occlusales des dents postérieures maxillaires et d'un recouvrement partiel de leurs surfaces vestibulaires et palatines par de la résine. La rétention de l'appareil se fait par une adaptation parfaite de la résine aux surfaces dentaires et par l'utilisation d'un ciment de scellement.

Ces appareils ont été rendus populaires depuis les études de McNamara et Brudon (1993), d'où l'appellation de « distracteur de Mc Namara » (DMN)¹⁴.

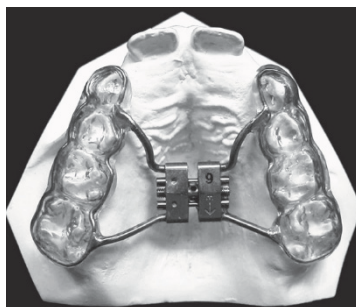


Figure 19 : Distracteur de Mc Namara¹⁴

- Analyse de littérature : DMN vs DHy

Dans une étude réalisée sur téléradiographies de profil, Sarver et Johnston (1989)¹⁰⁷ ont obtenu une rotation horaire du maxillaire par une légère remontée de l'ENP et un déplacement en bas et arrière de l'ENA. Ainsi, en accord avec Asanza *et al.* (1997)¹⁰⁸, le DMN permettrait de **minimiser voire d'annuler l'augmentation de la dimension verticale** observable pendant une EMR réalisée avec un DHy. Cependant, ces derniers n'ont **pas observé de différence en termes de version des dents d'ancrage et de gain de largeur inter-molaire**. Enfin, ils retrouvèrent que le DMN entraînait souvent un **recul du point A**, sous l'influence de la palato-version des incisives maxillaires, en contraste avec la légère avancée du maxillaire obtenue avec le DHy. Il est important de noter que les observations faites dans les études précédentes étaient limitées à une période de stabilisation de 3 mois. Ainsi, selon De Rossi *et al.* (2011)¹²³, les **changements verticaux** obtenus **6 mois** après un traitement réalisé avec le DMN sont **légers et transitoires**, donc similaires à ceux d'un DHy.

Olmez *et al.* (2007)¹²⁴ ont pour leur part retrouvé une vestibulo-version des PM1 et M1 plus importante avec le DHy, directement après l'expansion. En effet, l'inclinaison des dents postérieures obtenue avec le DMN a été attribuée à la rotation latérale des héli-maxillaires plutôt qu'à une réelle version dentaire, ce qui est plus favorable à la stabilité des résultats. Ces observations sont en accord avec celles de l'étude de Kılıç *et al.* (2008)¹²⁵, réalisée 1 an après la fin de la phase d'expansion, ainsi qu'avec celles de l'étude de Pangrazio-Kulbersh *et al.* (2012)¹²⁶, réalisée sur CBCT directement après la phase d'expansion, qui ont retrouvé une action squelettique transversale similaire avec les 2 dispositifs. La différence de résultats retrouvés par rapport à l'étude d'Asanza *et al.* (1997)¹⁰⁸ serait la conséquence d'une différence de moyenne d'âge et de taille des échantillons, ainsi que d'une méthode d'investigation différente. Enfin, Christie *et al.* (2010)¹²⁷ ont mis en évidence une vestibulo-version significative des M1 immédiatement après l'expansion avec le DMN ainsi qu'une **ouverture de la SMP en forme de V dans le plan frontal et parallèle dans le plan transversal**.

Reed *et al.* (1999)¹²⁸ ont quant à eux comparé les effets des 2 distracteurs en fin de traitement multi-attache (environ 2 ans après la phase d'expansion). Ils ont ainsi retrouvé que l'expansion obtenue au niveau des M1 était plus importante lorsque le DMN était utilisé, mais cela n'a pas semblé influencer la quantité de leur égression ni celle du déplacement vers le bas du plan palatin, qui étaient similaires entre les 2 appareils. De plus, la quantité d'égression des M1 était indépendante du temps pendant lequel le distracteur était resté en place. En effet, cela aurait pu influencer l'« effet bite-block » du dispositif. Les auteurs ont donc conclu que le temps de port de l'appareil avait peut être été insuffisant ou que, si le contrôle de l'égression des M1 avait été effectif directement après l'expansion, celle-ci aurait été diminuée par l'effet de l'appareil multi-attache (par la suppression des interférences occlusales), de l'assise de l'occlusion ou de la croissance. Enfin, le déplacement vertical de la mandibule était comparativement plus élevé lorsque le DHy était utilisé. Cependant, les changements obtenus étaient inférieurs à 1° ou 1 mm et n'étaient donc pas cliniquement significatifs.

En analysant également leurs résultats en fin de traitement multi-attache, Memikoglu et Iseri (1999)¹²⁹ ont retrouvé que la vestibulo-version des M1 et la diminution du recouvrement pouvaient être minimisées avec le DMN, comparées aux résultats obtenus avec le DHa. Cependant, malgré les résultats précédemment décrits, De Rossi *et al.* (2008)¹³⁰ ont conclu, dans leur **revue systématique**, **en l'absence de preuves suffisantes disponibles dans la littérature permettant de recommander l'utilisation du DMN afin d'éviter les effets indésirables de l'EMR.**

D'autre part, en comparant les effets des 2 distracteurs (9-12 mois après la fin de l'expansion) sur les dimensions de l'arcade mandibulaire, Miller *et al.* (2014)¹³¹ ont retrouvé que le DMN ne produisait **aucun gain de largeur d'arcade mandibulaire** alors que le DHy permettait d'obtenir un redressement et un gain de largeur au niveau des dents postérieures mandibulaires. Wertz (1970)¹⁰ et Haas (1980)⁹ avaient attribué ce phénomène à l'inclinaison des cuspides palatines des dents postérieures maxillaires permettant « d'entraîner » l'arcade mandibulaire pendant l'expansion. Ainsi, le DMN, en éliminant les interférences occlusales, ne contribuerait pas à ce phénomène.

Enfin, Lione *et al.* (2016)¹³² n'ont pas retrouvé de différence significative entre les 2 distracteurs lorsqu'ils sont associés à l'utilisation d'un masque facial.

- Intérêts :
 - Absence d'essayage de bagues orthodontiques ;
 - Facilité de fabrication de l'appareil¹⁴.

- Limites :
 - Le recouvrement occlusal rend l'hygiène impossible et est une source d'inconfort pour le patient³⁹.

5.2. Ancrage asymétrique

- Justification :

Le traitement d'une OIP unilatérale d'origine fonctionnelle nécessite la réalisation d'une expansion maxillaire symétrique¹³⁴ alors que, dans les cas d'OIP unilatérale vraie, l'**expansion doit être réalisée de façon asymétrique**, en agissant uniquement sur l'hémi-maxillaire situé du côté de l'occlusion inversée et en évitant de réaliser une sur-expansion du côté de l'occlusion normale¹³⁵. De tels dispositifs ont été présentés tels que le « removable Nord appliance »¹³⁶, l'AMEX¹³⁷, l'ancrage d'élastiques de cross-bite inversés sur un arc lingual du côté de l'occlusion normale¹³⁶, l'utilisation d'une rampe fonctionnelle¹³⁸ ou d'un arc palatin à ancrage asymétrique après l'EMR¹³⁹. Cependant, ces appareils ont une action majoritairement dento-alvéolaire plutôt qu'osseuse voire entraînent une expansion bilatérale non désirée¹³⁶.

- Description (Figure 20):

L'appareil d'expansion maxillaire asymétrique (AEMA), présenté par Marshall *et al.* (2005)¹³⁶, est composé d'un vérin noyé dans de la résine qui s'étend jusqu'au tiers moyen des faces vestibulaires des dents postérieures maxillaires. Du côté de l'occlusion normale, un mécanisme occlusal de blocage est réalisé par une extension en résine qui s'étend verticalement en palatin et lingual des dents postérieures maxillaires et mandibulaires et jusqu'au tiers moyen des surfaces vestibulaires de ces dernières après avoir recouvert leurs faces occlusales.

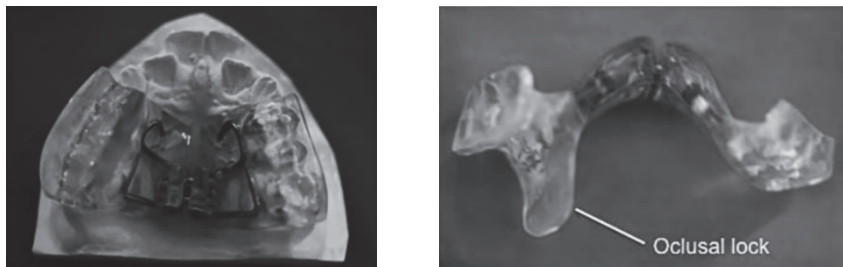


Figure 20 : Appareil d'expansion maxillaire asymétrique¹³⁶

- Analyse de littérature :

Selon Baka *et al.* (2015)¹⁴⁰ et Ileri et Basciftci (2015)¹⁴¹, l'AEMA entraîne une augmentation asymétrique des dimensions transversales du nez, du maxillaire et des arcades maxillaire et mandibulaire. De plus, dans une étude réalisée sur CBCT¹⁴¹, il a été retrouvé que la vestibulo-version des dents postérieures maxillaires du côté de l'occlusion inversée était de 5° mais négligeable du côté de l'occlusion normale (1°). Ainsi, d'après les analyses sur CBCT réalisées par Akin *et al.* (2015)¹⁴², la hauteur et l'épaisseur de l'os alvéolaire vestibulaire sont réduites pendant les périodes d'expansion et de stabilisation uniquement du côté de l'occlusion inversée. L'importance et l'incidence des déhiscences et fenestrations concerne particulièrement les canines et PM1. Il est important de noter que, dans ces 3 études, les effets de l'AMEA ont été évalués au court terme (3 mois).

6. ANCRAGE OSSEUX

- Justification :

Au cours des dernières années, les mini-implants se sont développés en orthodontie du fait de leur facilité d'utilisation, de leur caractère polyvalent, minimalement invasif et peu onéreux. Un changement de paradigme est alors apparu concernant l'ancrage, les mini-vis étant utilisées comme moyen d'ancrage orthodontique absolu¹⁴³.

Les appareils d'EMR à ancrage osseux ont ainsi été développés de façon à ce que les forces exercées par le vérin d'expansion s'appliquent directement sur les héli-maxillaires, dans le but de **maximiser leur effet orthopédique** et d'éviter leur application directement sur les dents. Cela permettrait d'obtenir une expansion suturale plus physiologique, pourrait **réduire les effets dentaires indésirables** et réaliserait une mécanique plus efficace¹⁴⁴.

Historiquement, des dents ankylosées et des implants en oxyde d'aluminium avec un revêtement en bio-céramique ont été utilisés chez des animaux. Depuis, différentes conceptions de distracteurs à ancrage osseux ont été développées¹⁴⁵⁻¹⁴⁷.

6.1. Ancrage sur mini-plaques

6.1.1. *Transpalatal Distractor (TPD)*

- Description (Figure 21) :

Introduit par Mommaerts en 1999¹⁴⁸, le TPD est un module de distraction télescopique qui prend appui sur 2 mini-plaques en titane fixées sous anesthésie générale, après la réalisation des ostéotomies préalables à la disjonction chirurgicale et après décollement de la fibromuqueuse palatine, avec 2 vis en titane positionnées à une distance de 8 mm l'une de l'autre.

Afin de raccourcir le temps opératoire et d'éviter les difficultés inhérentes à la procédure chirurgicale de la mise en place du TPD, Sari *et al.* (2007)¹⁴⁹ ont élaboré le TPD Transporter. Il s'agit d'une gouttière en résine intégrant 2 crochets, en mésial et distal des PM2 et ligaturés aux 2 mini-plaques préalablement positionnées sur le moulage en plâtre.

Après avoir respecté une période de latence de 5-7 jours, le module de distraction est placé dans une gorge horizontale située sur l'extension présente sur chaque mini-plaque. Le module n°1 mesure 12 mm de longueur et peut s'élargir jusqu'à 21 mm, le module suivant s'élargit de 15 à 29 mm, le module n°3 de 21 à 49 mm et le module n°4 de 25 à 58 mm. Les modules n°2 et 3 sont les plus fréquemment utilisés.

En fin d'activation, le module de distraction est utilisé comme dispositif de contention par l'insertion d'une vis de blocage.

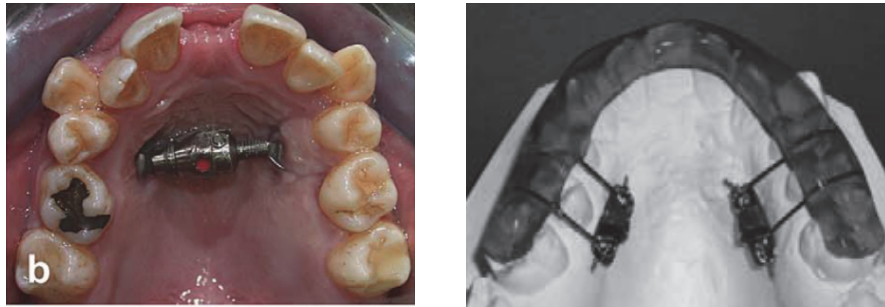


Figure 21 : Transpalatal Distractor¹⁴⁸ et TPD Transporter¹⁴⁹

- Analyse de littérature :

Dans la technique décrite initialement par Mommaerts (1999)¹⁴⁸, la disjonction ptérygo-maxillaire n'est pas réalisée préalablement à l'EMRAC et le TPD est placé en regard des PM2. Le centre de résistance des segments osseux maxillaires est alors situé postérieurement et l'expansion squelettique présente une dominante antérieure, similaire à celle d'une EMR conventionnelle ou d'une EMRAC à ancrage dentaire. De plus, avec l'utilisation d'un dispositif à ancrage osseux, le point d'application de la force est plus haut situé dans la voûte palatine qu'avec un ancrage dentaire, ce qui permet d'obtenir une **expansion parallèle dans le plan frontal**, d'autant plus que, dans les cas de procédure chirurgicale, le centre de résistance se déplace plus bas dans le plan frontal¹⁵⁰. Cependant, dans l'étude de Günbay *et al.* (2008)¹, la quantité d'expansion obtenue en fin de période de consolidation était décroissante depuis le niveau alvéolaire jusqu'au niveau basal puis nasal, indiquant une **expansion en forme de V dans le plan frontal**.

Au niveau de l'arcade, les augmentations des distances inter-canine et inter-molaire retrouvées dans l'étude de Pinto *et al.* (2001)¹⁵⁰, immédiatement après la phase d'expansion, ont été respectivement de 35,7% et 22,7%, soit un rapport de 0,6. Ce ratio, comparé à celui d'une EMR conventionnelle¹⁵¹ et d'une EMRAC à ancrage dentaire¹⁶, respectivement de 2,01 et 1,12, prouve que **l'expansion obtenue au niveau occlusal est inversée** avec le TPD. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus en fin de période de consolidation par Günbay *et al.* (2008)¹ et Asscherickx *et al.* (2016)¹⁵². De plus, Laudemann *et al.* (2010)¹⁵³ ont retrouvé que la quantité globale d'expansion obtenue au niveau de l'arcade avec le TPD était symétrique et supérieure à celle obtenue avec un DHy. Cependant, celle-ci s'est produite au prix d'une plus grande perte d'attache vestibulaire au niveau des dents antérieures, alors que le DHy a permis d'obtenir une expansion moins importante, asymétrique et de forme parallèle, mais au prix d'une plus grande perte d'attache vestibulaire au niveau des PM et M1. Malgré l'absence de force transmise sur les dents, une **vestibulo-version minime des dents d'ancrage** peut être observée avec le TPD^{150, 152-154}. Toutefois, Landes *et al.* (2009)¹⁵⁴ ont attribué ce phénomène au changement d'angulation des segments osseux maxillaires plutôt qu'à une réelle version des dents au sein de leur alvéole.

Par la suite, Matteini et Mommaerts (2001)¹⁵⁵ ont modifié la technique originale en réalisant une **disjonction ptérygo-maxillaire** pendant la procédure chirurgicale et en plaçant le **TPD** plus postérieurement, **en regard des M1**. Le point d'application de la force se rapproche alors du centre de résistance maxillaire, lequel se déplace plus antérieurement, **l'expansion suturale observée dans le plan axial se fait de façon parallèle^{156, 157} mais en forme de V dans le plan frontal¹⁵⁷**. Certains auteurs ont mis en évidence une expansion squelettique similaire¹⁵⁷ voire plus importante^{154, 158} que celle obtenue avec un DHy. D'autre part, en ne réalisant qu'une séparation partielle des procès ptérygoïdes, Kunz *et al.* (2016)¹⁵⁹ ont obtenu un modèle d'expansion en forme de V au niveau de l'arcade avec le TPD alors qu'il s'est effectué selon une forme plus parallèle et avec une plus grande quantité d'expansion globale avec le DHy. La vestibulo-version observée en regard des PM1 et M1 était donc significativement inférieure avec le TPD par rapport à celle observée avec DHy, en accord avec Landes *et al.* (2009)¹⁵⁴, ainsi que Seeberger *et al.* (2015)¹⁵⁸, qui n'ont par contre pas constaté de différence significative en regard des PM1. Le détachement ptérygoïdien n'a donc pas entièrement éliminé les effets indésirables sur les M1. Cependant, dans une revue systématique, Verstraaten *et al.* (2010)¹⁶⁰ insistent sur le fait que ces interprétations sont basées sur une preuve de faible niveau. De plus, en réalisant une disjonction ptérygo-maxillaire complète, Nada *et al.* (2012)¹⁵⁶ n'ont pas retrouvé de différence significative en terme d'expansion d'arcade, à 22 mois post-expansion, par rapport au DHy.

Malgré ses meilleurs résultats, la technique de Matteini et Mommaerts (2001)¹⁵⁵ est parfois difficilement applicable. En effet, la corticale osseuse présente dans la zone des M1 est plus fine et plus fragile que dans la zone des PM2, il est ainsi parfois nécessaire de positionner les mini-plaques de façon plus angulée dans le plan axial, ce qui prédispose au glissement du module de distraction. D'autre part, certains chirurgiens préfèrent ne pas réaliser de disjonction ptérygo-maxillaire à cause du risque de lésion du plexus ptérygoïdien pendant l'ostéotomie. Enfin, Landes *et al.* (2009)¹⁵⁴ ont établi que plus le maxillaire était mobilisé pendant l'ostéotomie (réalisation d'une disjonction ptérygo-maxillaire et/ou d'une ostéotomie para-médiane bilatérale), plus la bascule vestibulaire des segments osseux maxillaires et la récurrence squelettique étaient élevées dans le sens transversal. Cependant, l'absence de réalisation d'une disjonction ptérygo-maxillaire et la réalisation d'un simple clivage médian se fait, selon eux, au prix d'une version dentaire et de l'apparition de déhiscences osseuses vestibulaires plus importantes. Matteini et Mommaerts (2001)¹⁵⁵ réservent donc cette technique aux patients qui présentent une ITM avec OIP, avec ou sans encombrement antérieur alors qu'ils indiquent la technique originale chez les patients qui présentent un maxillaire étroit, un encombrement antérieur et une absence d'OIP.

D'autre part, dans les travaux réalisés par Nada *et al.* (2013)¹⁶¹, un **repositionnement de la partie centrale de la lèvre supérieure**, en rapport avec le remodelage alvéolaire de la région antérieure (88%) et **une projection antérieure de la joue**, en rapport avec l'expansion latérale réalisée (32%) ont été retrouvés après l'utilisation du TPD, sans différence significative avec DHy.

Ces résultats sont partiellement en accord avec l'étude de Ramieri *et al.* (2008)¹⁶² qui a également rapporté une projection des surfaces jugales et para-nasales mais qui n'a pu mettre en évidence de modification de la lèvre supérieure. Les auteurs ont insisté sur le fait que bien qu'elles soient de faible amplitude, certaines modifications faciales peuvent ne pas être négligeables.

Au niveau ventilatoire, Aras *et al.* (2010)¹⁶³ ont trouvé, à 1 an post-expansion, que la surface minimale de section transversale nasale et que le volume des régions nasales antérieure et postérieure augmentaient significativement avec le TPD. Les **valeurs, retrouvées, par rhinométrie acoustique étaient supérieures à celles obtenues dans d'autres études réalisées dans le cadre d'EMRAC à ancrage dentaire**. En effet, cette étude était réalisée chez des patients présentant une obstruction nasale totale ou partielle, contrairement à celles de Babacan *et al.* (2006)¹⁶⁴ et Wriedt *et al.* (2001)¹⁶⁴. Dans les travaux d' Akay *et al.* (2014)¹⁶⁶, réalisés chez des patients adultes présentant une obstruction nasale, une augmentation des dimensions sagittales naso-pharyngiennes de 1,19 mm a été retrouvée et serait le résultat de l'expansion squelettique et du repositionnement antérieur du maxillaire. La posture de la langue est ainsi devenue plus haute, aboutissant à une augmentation significative de la distance minimale rétro-basi-linguale. Cependant, Nada *et al.* (2013)¹⁶⁷ n'ont **pas retrouvé de différence significative à 22 mois** post-expansion en termes d'augmentations du volume nasal et des voies aériennes nasales après une EMRAC réalisée avec le TPD comparées au DHy.

Enfin, il est intéressant de noter que, dans le cadre du traitement des FLAP unilatérales, Swennen *et al.* (2003)¹⁶⁸, Scolozzi *et al.* (2007)¹⁶⁹ et Roelofs *et al.* (2010)¹⁷⁰ mettent en place le module d'activation du TPD de manière asymétrique et ne réalisent une disjonction ptérygo-maxillaire que du côté affecté afin de permettre d'obtenir une rotation du segment ostéotomisé. Cependant, le placement asymétrique des mini-plaques est limité à cause du manque de place disponible et du risque de glissement pendant la phase de distraction.

- Intérêts :
- Les forces sont directement appliquées au niveau squelettique, près du centre de résistance maxillaire, ce qui favorise son action orthopédique et diminue la version dentaire et la bascule des segments osseux maxillaires¹⁴⁸ ;
- L'absence d'ancrage dentaire diminue l'incidence des résorptions radiculaires, déhiscences osseuses vestibulaires, fenestrations et récessions parodontales⁵ ;
- La distraction ostéogénique de la SMP assure une ossification plus rapide et de type similaire à celui de l'os maxillaire, réduisant le risque de récurrence transversale. Aucune sur-expansion n'est ainsi nécessaire ;
- Le TPD n'interfère pas avec le traitement orthodontique car toutes les dents sont disponibles, la phase de nivellement peut ainsi débuter rapidement après la fin de l'expansion, ce qui permet de raccourcir la durée totale du traitement ;
- Le TPD peut être transformé en dispositif de contention rigide¹⁴⁸ ;

- Il s'agit d'une procédure utile en cas de traitement multi-attache lingual car elle n'oblitére pas l'accès palatin des molaires maxillaires, l'absence de bras au niveau du distracteur ne gêne pas l'accès aux faces palatines des dents et l'absence d'appui au niveau des surfaces dentaires permet la pose du système multi-attache lingual de façon concomitante sans interférence des systèmes¹⁷¹ ;
- L'absence de transmission de forces aux structures dentaires est particulièrement utile chez les patients qui présentent une denture réduite ou un terrain parodontal fragile¹⁷² ;
- N'entraîne pas de résorption significative de l'os palatin. Farhangfar *et al.* (2012)¹⁷³ recommandent cependant de ne pas réaliser de sur-expansion, l'appui des mini-plaques se faisant sur une surface limitée ;
- En se basant sur leur expérience chez 50 patients, Adolph *et al.* (2014)¹⁷⁴ affirment l'efficacité du TPD pour la correction des ITM ;
- Adolphs *et al.* (2015)¹⁷⁵ le recommandent chez certains patients pédiatriques sélectionnés.
 - Limites :
 - L'insertion et le retrait d'un tel distracteur nécessitent une procédure chirurgicale invasive et augmentent le risque d'infection¹⁷² ;
 - Risque de lésion radiculaire¹⁷² (l'insertion des mini-vis doit donc se faire le plus verticalement possible) ou de dommages des vaisseaux sanguins environnants⁵ pendant la fixation du dispositif ;
 - Contre-indication dans les cas de palais profond à cause de la difficulté ou de l'impossibilité de positionnement correct des mini-plaques dues au manque de place ;
 - Peu conseillé lorsque l'épaisseur de l'os palatin est très fine car sa mise en place est difficile et sa stabilité primaire est moins bonne ;
 - Peu conseillé lorsque la muqueuse palatine est épaisse, ce qui rend la fixation des mini-plaques difficile et laisse peu de place disponible pour le module¹⁷⁶ ;
 - Tout positionnement oblique peut provoquer la projection antérieure d'un héli-maxillaire par rapport à l'autre⁵ ;
 - L'existence d'un simple point d'appui au niveau de chaque héli-maxillaire réduit le contrôle du vecteur de distraction¹⁷⁷ ;
 - Episodes de perte ou déplacement du module de distraction (28,1% des cas selon Neyt *et al.* (2002)¹⁷⁸ et 20,1% des cas selon Verlinden *et al.* (2011)¹⁷⁹, de perte d'une mini-vis ou d'une mini-plaque, de difficulté d'activation du dispositif à cause de la douleur, de suppuration en regard d'une mini-plaque... Ces difficultés ont mené à un changement de conception du dispositif et du protocole chirurgical ;
 - Coût élevé (8 à 10 fois celui des dispositifs conventionnels)¹⁷⁷.

6.1.2. Différentes variantes

a) Magdeburg Palatal Distractor (MPD) et Palatal Distractor Device (PDD)

- Description (Figure 22) :

Treutlein *et al.* (2002)¹⁸⁰ et Zahl *et al.* (2002)¹⁸¹ ont par la suite présenté le MPD, dont le système d'activation est un corps cylindrique connecté à 2 mini-plaques (munies de 4 trous) par l'intermédiaire de 2 barres angulées positionnées de part et d'autre de la ligne médiane. La taille de ces barres (5 mm) permet d'adapter facilement l'appareil à la morphologie du palais. Le distracteur peut être fixé à l'aide de 4 mini-vis en positionnant les mini-plaques soit directement à la surface de l'os soit à la surface de la muqueuse. Le module de distraction est activé par le patient avec une clé hexagonale.

Le PDD, présenté peu de temps après par Cortese *et al.* (2003, 2009, 2010)¹⁸³⁻¹⁸⁵, est un dispositif similaire au MPD mais dont le système d'activation est un vérin d'Hyrax conventionnel. Son système de fixation a été amélioré en 2013¹⁸⁶ et 2014¹⁸⁷. En effet, le système SmartLock a la particularité d'être auto-bloquant, c'est à dire que les vis sont stabilisées (avec une amplitude d'inclinaison de 10°) via un système cône avec des cols de vis filetés.

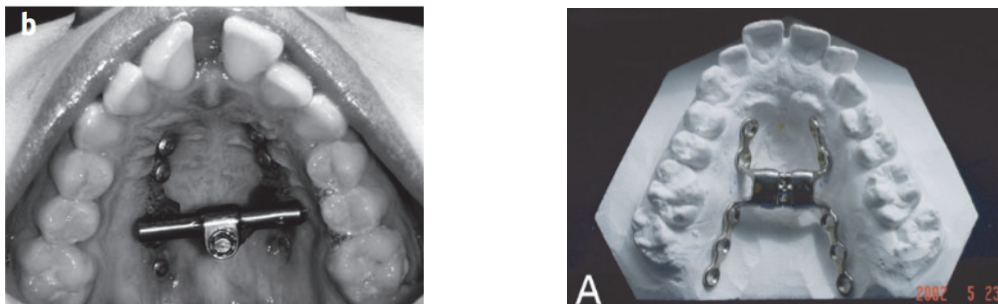


Figure 22 : Magdeburg Palatal Distractor^{180, 181} et Palatal Distractor Device¹⁸³⁻¹⁸⁵

- Intérêts :
 - Etant composé d'une seule pièce (les différents composants sont soudés les uns aux autres), la perte d'une partie fonctionnelle est impossible¹⁸⁸ ;
 - Le système de fixation en 4 points offre une rigidité et une stabilité optimales, permettant un contrôle du déplacement des héli-maxillaires dans les 3 plans de l'espace¹⁸⁹ ;
 - La rigidité de fixation du système SmartLock, en empêchant les mini-vis de changer de position à l'intérieur des trous des mini-plaques, favorise le déplacement en translation des segments osseux maxillaires pendant la distraction^{186, 187}.
- Limites :
 - Problèmes d'inflammation, facilement résolus avec 4 jours d'antibiotiques, au niveau des sites d'insertion des mini-vis, notamment dans les cas de fixation transmuqueuse.

b) Maxillary Widening Device (MWD)

- Justification :

Etant donné le volume important, la difficulté de manipulation et l'absence de stabilité suffisante des distracteurs précédemment présentés, Seitz *et al.* (2007, 2008)^{190, 191} ont développé le MWD.

- Description (Figure 23) :

Celui-ci est constitué de 2 mini-plaques triangulaires (8 mm de côté) et d'un module de distraction cylindrique. Les mini-plaques sont fixées dans l'os par une mini-vis et sont munies de pointes leur permettant de résister aux forces de rotation pendant la distraction. Le module de distraction, quant à lui, est composé de 3 éléments : un écrou circulaire central dans lequel s'insèrent 2 vis-guides d'un diamètre de 3 et 5 mm. Le filetage interne de la vis la plus large lui permet de recevoir la vis la plus fine. Une partie femelle de forme octogonale, située à la base de chaque mini-plaque, permet de recevoir la partie octogono-sphérique du système d'activation.

Le filetage de chacun de ces éléments est prévu de façon à ce qu'un tour complet de l'écrou central résulte en une translation latérale d'1 mm. De plus, grâce à sa conception peu volumineuse, la largeur minimale du distracteur assemblé est de 15 mm (MWD I) ou de 23 mm (MWD II) et peut s'élargir jusqu'à 24 ou 45 mm, respectivement^{190, 191}.

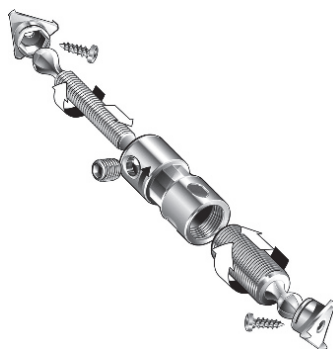


Figure 23 : Maxillary Widening Device^{190, 191}

- Intérêts :

- Dispositif stable, sécurisé et compact ;
- Le système de jonction entre les différents éléments est plus résistant à la perte du module de distraction qu'avec le TPD ;
- La variabilité de l'angle situé entre la mini-plaque et le cylindre de distraction (60-120°) permet l'insertion du distracteur selon les spécificités anatomiques de chaque patient^{190, 191}.

c) *Rotterdam Palatal Distractor (RPD)*

- Justification :

Dans les cas d'ITM congénitales extrêmes, les dispositifs présentés précédemment sont inutilisables à cause des difficultés de fixation du vérin et de leur largeur trop importante¹⁹².

- Description (Figure 24) :

Le système d'activation du RPD, présenté par Koudstaal *et al.* (2006)¹⁹², est basé sur le modèle mécanique d'un cric de voiture et est activé par une tige d'activation hexagonale située derrière les incisives centrales maxillaires. Les 2 mini-plaques (5 x 12 mm) sont munies de 6 pointes (2 mm de longueur) et forment un angle de 65° avec la partie commune pour permettre sa rotation. En activant le distracteur, les pointes situées sur les mini-plaques vont pénétrer l'os et le dispositif sera automatiquement stabilisé. Aucune vis n'est ainsi nécessaire pour fixer le distracteur. Le RPD est disponible en 2 tailles. Le type A est conçu pour les cas d'ITM extrêmes, sa largeur minimale est de 9 mm et présente une ouverture maximale de 28 mm. Le type B, qui représente la taille standard, présente une largeur minimale de 12 mm et une ouverture maximale de 31 mm.

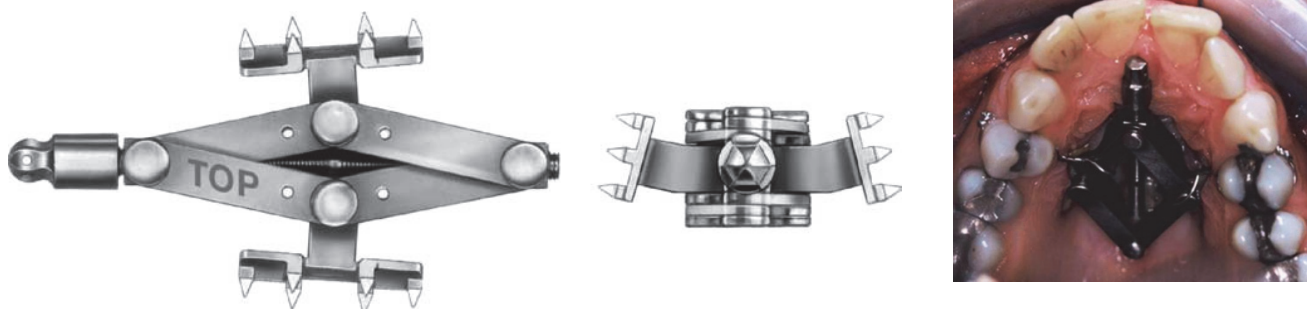


Figure 24 : Rotterdam Palatal Distractor¹⁹²

Protocole de distraction (Figure 25) :

Au vu des propriétés mécaniques du distracteur, la longueur de la distraction décroît progressivement en cours d'expansion à activation égale. En effet, une activation de 0,6 tours en début d'expansion entraînera une distraction de 1 mm alors qu'après 5 mm de distraction, 1,3 tours seront nécessaires pour obtenir la même quantité de distraction. En d'autres termes, au cours de la distraction, plus de tours sont nécessaires pour obtenir la même quantité de distraction quotidienne. Un protocole d'activation a donc été réalisé à 4 intervalles, avec à chaque palier une augmentation du nombre de tours à réaliser. Il est important de noter la longueur d'ouverture (importance des tours) du distracteur pendant sa mise en œuvre pour une planification correcte¹⁹².

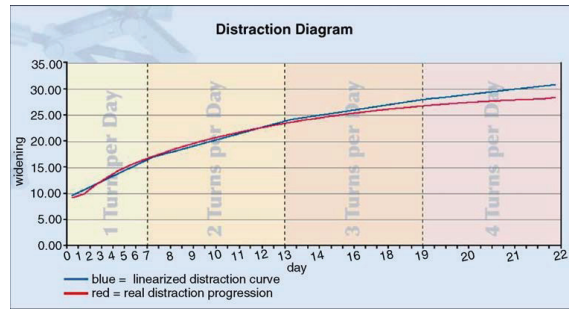


Figure 25 : Diagramme de distraction¹⁹²

- Analyse de littérature :

Dans une étude clinique prospective randomisée, Koudstaal *et al.* (2009)¹⁹³ n'ont retrouvé aucune différence entre le RPD et le DHy en termes de gain de largeur squelettique, de bascule des segments osseux maxillaires, de version dentaire et de stabilité (récidive non significative) dans le cadre d'une EMRAC, à 12 mois post-expansion. De plus, l'expansion obtenue était comparable au niveau des canines, prémolaires et molaires (expansion parallèle dans le plan transversal).

- Intérêts :

- Indiqué dans les cas d'hypoplasies maxillaires uni- ou bi-latérale extrêmes ;
- Facilité de positionnement et d'activation (dispositif en une seule pièce) ;
- Aucun risque de dommage radiculaire, de communication orale ou de fistule oro-nasale (absence d'utilisation de fraise ou de vis) ;
- Facilité de dépose (sous anesthésie locale)¹⁹² ;
- Résultats stables à 12 mois post-expansion¹⁹⁴ ;
- 60% des patients interrogés par Garreau *et al.* (2016)¹⁹⁵ ont évalué le RPD de facile à très facile d'utilisation contre 32% pour le DHy. La tolérance des 2 dispositifs était comparable et acceptable et le taux de satisfaction globale était élevé (> 90%) pour les 2 groupes et était corrélé à la facilité d'utilisation et à une information claire.

- Limites :

- Contre-indication relative : dans les cas de classe II avec supraclusion, le distracteur ou la tige d'activation peuvent interférer avec les dents mandibulaires. Il est alors possible de positionner le distracteur plus distalement ou de faire porter une gouttière occlusale ;
- Contre-indication absolue : palais très plat (Syndrome d'Apert, FLAP), les pointes des mini-plaques perdront leur fixation et le distracteur ne sera pas stable ;
- Protocole d'activation complexe, nécessitant la coopération et la compréhension du patient ;
- Hygiène orale imposant une visite régulière chez un hygiéniste ;
- Risque de perte de l'appareil pendant la période de consolidation¹⁹².

6.2. Ancrage sur mini-vis

6.2.1. Dresden Distractor (DD)

- Description (Figure 26) :

Dans le cadre d'une chirurgie a minima, Harzer *et al.* (2004)¹⁹⁶ solidarisent un implant (3,5mm de diamètre ; 4mm de longueur), présentant un pas sus-périosté de 5 mm de diamètre, à un côté du vérin alors que l'autre côté est uni à une mini-vis d'ostéosynthèse positionnée entre la PM2 et la M1. Le vérin d'HyraX est inséré durant l'ostéotomie précédant la disjonction chirurgicale.

Le choix de ce système de fixation est justifié par les auteurs pour les raisons suivantes : un minimum d'un implant est nécessaire pour assurer une fixation sécurisée, il y a un risque de déplacement en direction occlusale des vis si seulement 2 vis étaient insérées de chaque côté, l'utilisation de 2 implants serait trop onéreuse et leur insertion prendrait plus de temps que la combinaison d'un implant et d'une vis.

La fixation en 2 points du vérin ne fournit pas une stabilité suffisante pour guider les hémimaxillaires pendant l'expansion. Ainsi, un point antérieur d'application des forces est ajouté pour garantir une ouverture symétrique pendant l'expansion. Il se présente sous la forme de 2 fils orthodontiques glissant l'un sur l'autre sur des boîtiers collés sur les incisives et canines. L'expansion est complétée également au niveau de la région incisive par un ressort de traction sur potences.

Après obtention de l'expansion désirée, le vérin Hyrax et la vis d'ostéosynthèse sont retirées sous anesthésie locale et l'implant est laissé en place pour servir à la fixation d'une barre transpalatine (également insérée dans le fourreau palatin des M1) destinée à prévenir la récurrence et à servir d'ancrage (pour des mouvements tels que distalisation ou mésialisation molaire).

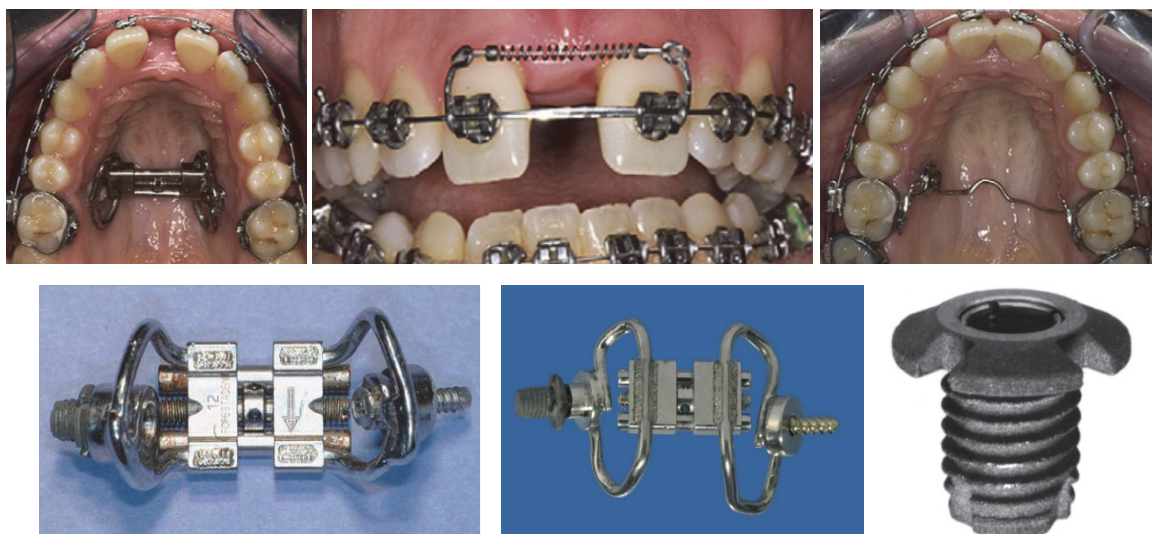


Figure 26 : Dresden Distractor¹⁹⁶

- Analyse de littérature :

Dans les études réalisées par Harzer *et al.* (2006)¹⁴⁴ et Tausche *et al.* (2007, 2008)^{197, 198}, le DD a entraîné une **ouverture de la SMP en forme de V dans les plans horizontal et frontal**. La forme de l'expansion observée au niveau des arcades et des procès alvéolaires correspond à celle obtenue au niveau squelettique, indiquant l'effet protecteur de cette technique sur les unités dentaires. De plus, l'expansion obtenue au niveau des prémolaires et des molaires dans l'étude de Tausche *et al.* (2008)¹⁹⁷ est supérieure lorsqu'elle est mesurée au niveau alvéolaire plutôt qu'au niveau dentaire. De même, la version coronaire observée dans les études de Hansen *et al.* (2007)¹⁹⁹ et de Harzer *et al.* (2010)²⁰⁰ est respectivement 4-8° à 10° moins importante que l'inclinaison vestibulaire des crêtes alvéolaires. Ces données confirment la prééminence de l'effet squelettique et son rôle protecteur sur les structures dentaires. Lagravère *et al.* (2013)²⁰¹ ont comparé les effets du DD et du DHy et ont retrouvé que la version dentaire s'est produite au niveau des molaires avec les 2 dispositifs alors que les prémolaires n'ont été vestibulo-versées qu'avec le DHy. Tausche *et al.* (2007)¹⁹⁸ ont obtenu une auto-rotation antérieure de la mandibule du fait de l'expansion squelettique et la version dentaire minimale. Le DD est donc idéal pour les patients dont le schéma de croissance est vertical. Ils n'ont également observé aucune perte d'attache vestibulaire ou déplacement dentaire en dehors de la corticale osseuse.

Dans des études réalisées sur CBCT, Tausche *et al.* (2009)²⁰² et Deeb *et al.* (2010)²⁰³ ont retrouvé une **augmentation du volume nasal** de 4,8% et 5,1%. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues dans d'autres études réalisées par rhinométrie acoustique avec des distracteurs à ancrage dentaire^{164, 165, 204}. D'autre part, cette augmentation se concentre dans la région antéro-inférieure du nez, zone de plus grande résistance aérienne, ce qui permet d'espérer une amélioration de la ventilation nasale si l'obstruction se situe à ce niveau là. Cependant, en 2015, Kabalan *et al.*²⁰⁵ n'ont pas pu démontrer l'existence d'une corrélation entre les modifications des dimensions squelettiques et les modifications des voies aériennes nasales.

- Intérêts :

- Procédure minimalement invasive (pas de lambeau palatin, pas de plaques d'ostéosynthèse) ;
- Le guide des 2 héli-maxillaires par un arc segmenté croisé assure une stabilité adéquate pendant l'expansion et permet d'éviter les mouvements asymétriques des segments maxillaires¹⁹⁷ ;
- Les forces exercées pendant l'expansion sont de l'ordre de 40-80 N et sont directement transmises sur l'os sans entraîner d'inflammation ou de perte osseuse pendant l'expansion²⁰⁶ ;
- La fixation directe offre au patient une plus grande liberté linguale pendant l'élocution²⁰⁷ ;
- L'hygiène est meilleure puisque ces dispositifs sont de plus petite taille et non dento-portés²⁰¹.

- Limites :

- En cas de base osseuse maxillaire étroite, risque de perforation sinusienne et CBCT obligatoire¹⁹⁷.

6.2.2. Différentes variantes

- Descriptions :

Iida *et al.* (2008)²⁰⁷ ont développé un distracteur à ancrage osseux utilisant une des composantes fonctionnelles du système de distraction mandibulaire « Dynaform » : les « screw-rings ». Il s'agit de tubes, munis d'une rondelle à leur extrémité, dans lesquels sont insérées les extensions en métal du vérin. Des mini-vis sont insérées à travers les trous des « screw-rings » afin de fixer le dispositif. La stabilité de ce système de fixation se fait par la simple force de compression des bras en métal contre le fond des tubes. Cependant, afin d'améliorer la stabilité des mini-vis pendant la distraction, chacun des composants est recouvert de résine (Figure 27).

Similairement, Park *et al.* (2015)²⁰⁸ utilisent 4 mini-vis (« tent-screws ») dont la tête est munie d'un creux dans lequel s'insèrent les extrémités des bras du vérin. Aucun moyen supplémentaire de fixation de l'appareil n'est nécessaire selon eux (Figure 28).

Chen *et al.* (2016)²⁰⁹ utilisent quant à eux des rondelles munies de pointes qui traversent la muqueuse avant de se fixer dans la corticale osseuse. Des mini-vis permettent de sécuriser la fixation de ces rondelles et l'extrémité des bras du vérin est fixée par de la résine à l'intérieur du trou situé sur la tête de chaque mini-vis. L'adjonction de résine entre les vis et les « spike screws » est nécessaire pour prévenir la perte des vis (Figure 29).

Winsauer *et al.* (2013, 2015)^{210, 211} ont développé le Mini-Implant Collar-Retained Orthodontic (MICRO) et utilisent les mini-vis Dual-Top Jet qui présentent un long col lisse et poli (pour diminuer l'irritation gingivale). Les bras du vérin sont soudés dans les rainures circonférentielles situées au niveau des colliers en acier entourant les têtes de vis. Les colliers des mini-vis sont aussi reliés entre eux de chaque côté pour augmenter la stabilité du dispositif. Du composite auto-polymérisable est injecté dans les colliers des mini-vis, ce qui permet d'obtenir une connexion stable entre la tête de vis et son collier. Des tests de résistance aux contraintes ont démontré que cette connexion était conçue de façon à ce que le col de la vis se plie avant que le collier ne se détache de la tête de vis. Le MICRO-4 Hyrax, avec 4 mini-vis, est utilisé chez les adolescents ; le MICRO-6 Hyrax, avec 6 mini-vis, pour les adultes. Selon l'espace disponible entre les mini-vis, le système d'activation utilisé est soit un vérin d'Hyrax classique avec 4 bras latéraux, soit un vérin d'Hyrax spécial avec 4 bras antérieurs (Figure 30).

Enfin, Lagravère *et al.* (2010)²¹² utilisent 2 onplants en acier. Leur fixation dans l'os se fait après la réalisation d'une incision et d'un retrait tissulaire de forme circulaire. L'appareil est ensuite adapté de façon à ce que les onplants aient un maximum de contact avec la corticale osseuse. Des mini-vis permettent de fixer le dispositif et de la résine est utilisée pour sceller les têtes de vis aux disques en acier et pour prévenir le dévissage pendant l'activation de l'appareil (Figure 31).

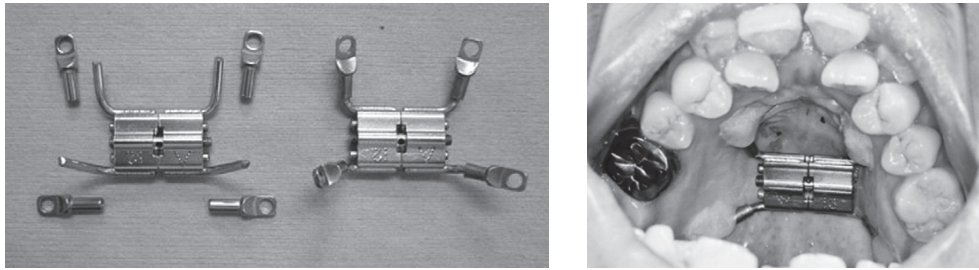


Figure 27 : Distracteur ancré sur 4 mini-vis fixées à travers des “screw-rings”²⁰⁷



Figure 28 : Custom-made Palatal Expander²⁰⁸

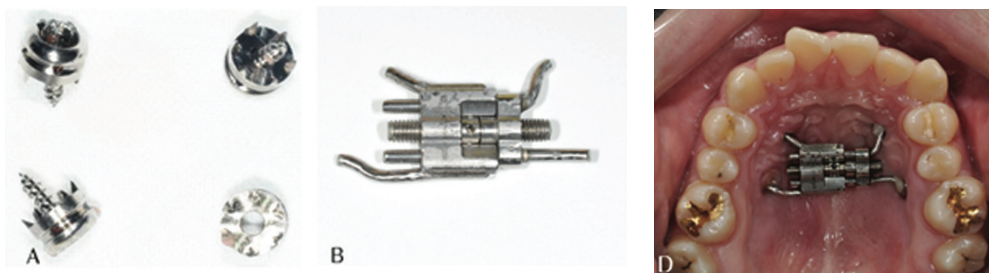


Figure 29 : Distracteur ancré sur des mini-vis munies de pointes²⁰⁹

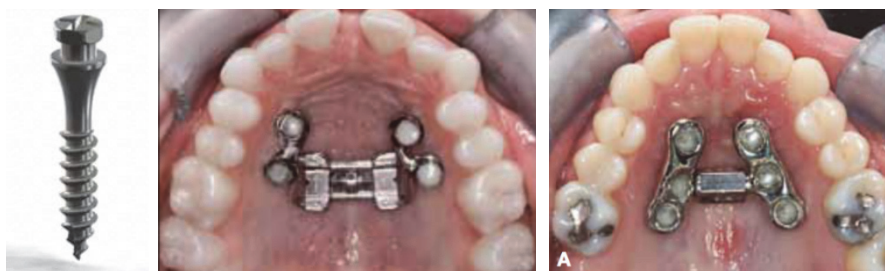


Figure 30 : MICRO-4 Hyrax et MICRO-6 Hyrax^{210, 211}

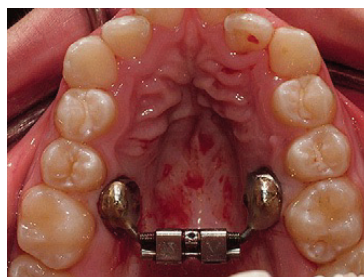


Figure 31 : Distracteur ancré sur des onplants²¹²

- Intérêts :
 - L'arcade finale obtenue peut être modulée par le nombre et la situation des ancrages osseux²⁰⁷ ;
 - La fixation en 4 points du vérin permet de réaliser un guide stable des 2 valves maxillaires ;
 - Structures de volume réduit permettant une grande liberté de la langue²⁰⁸.

- Analyse de littérature

En utilisant la méthode d'analyse tri-dimensionnelle des éléments finis, Mathew *et al.* (2016)²¹³ ont comparé les forces exercées par un distracteur ancré sur 4 implants positionnés sur la pente alvéolaire palatine à celles du DMN chez des patients présentant une FLAP unilatérale. Ils montrent ainsi que les contraintes se propagent au niveau de la région d'insertion des implants et des régions alvéolaire et basale du côté de la fente, sans entraîner de version dentaire, avec le distracteur à ancrage osseux, alors qu'avec le DMN, elles se propagent à la denture et des 2 côtés. Le maximum de déplacement observé en regard de la fente se fait avec le distracteur à ancrage osseux.

Carvalho Trojan *et al.* (2016)²¹⁴ ont établi qu'un distracteur ancré sur 4 mini-vis para-médianes est plus efficace qu'un DHy. En effet, 3 activations sont nécessaires avec le distracteur conventionnel pour obtenir une expansion suturale équivalente à celle obtenue avec 1 activation du distracteur osseux. Le protocole d'activation de tels dispositifs doit donc être scrupuleusement étudié et adapté.

Jain *et al.* (2017)²¹⁵ ont quant à eux retrouvé les éléments suivants :

- Les déplacements obtenus avec un distracteur conventionnel sont plus importants dans les 3 plans de l'espace qu'avec un distracteur à ancrage osseux (2 implants positionnés entre PM2 et M1) ;
- Le maxillaire effectue une rotation horaire avec un distracteur conventionnel alors qu'avec un distracteur à ancrage osseux, la rotation du maxillaire est anti-horaire ;
- Le distracteur conventionnel entraîne plus de vestibulo-version dentaire alors que le distracteur à ancrage osseux permet de contrôler le sens vertical.

En comparant les effets du TPD à ceux d'un distracteur ancré sur 4 mini-vis para-médianes selon différentes techniques chirurgicales, Möhlhenrich *et al.* (2017)²¹⁶ ont conclu que plus les piliers osseux du complexe maxillo-facial sont affaiblis, moins les forces se distribuent à travers le complexe maxillo-facial ainsi qu'à la SMP, ce qui permet d'obtenir une expansion maxillaire transversale plus uniforme. Toujours selon eux, l'utilisation du TPD entraîne des contraintes plus élevées au niveau du complexe maxillo-facial, exceptées au niveau de la SMP, où elles sont plus faibles (donc entraînent une expansion plus parallèle) qu'avec un distracteur ancré sur la crête alvéolaire médiane.

Enfin, dans une étude randomisée, Lagravère *et al.* (2010)²¹² ont comparé les effets d'un distracteur ancré sur des onplants à ceux du DHy, dans le cadre d'une EMR orthopédique. Immédiatement après l'expansion, le DHy a entraîné plus d'expansion coronaire au niveau des PM1 et celle-ci était plus importante que l'expansion apicale et squelettique avec les 2 appareils. A 12 mois, l'expansion obtenue avec les 2 appareils était significative au niveau des couronnes et apex des M1, des couronnes et racines des PM1, des régions alvéolaires des M1 et PM1 et des racines des incisives centrales. Au long terme, le DHy a entraîné une expansion coronaire et radiculaire des PM1 significativement plus importante que le distracteur à ancrage osseux.

7. ANCRAGE OSTEO-DENTAIRE

7.1. Ancrage sur 2 mini-implants antérieurs et sur 2 bagues scellées sur les M1

a) *Hybrid-Hyrax (HH)*

- Justification :

L'insertion de mini-implants dans la partie postéro-latérale du palais présente un risque de lésion radiculaire et la quantité d'os disponible dans sa partie postéro-médiane est insuffisante. La région palatine antéro-médiane, quant à elle, est reconnue pour l'épaisseur importante et l'excellente qualité de son os²¹⁷⁻²¹⁹. De plus, la finesse de la muqueuse attachée présente dans cette région permet d'éviter tout effet bras de levier lors de la mise en charge des mini-implants, ce qui permet d'obtenir une stabilité primaire optimale et un taux de succès implantaire de 98%²²⁰. Ainsi, Wilmes *et al.* (2008)²²¹ ont présenté l'HH, qui doit sa nomination au fait qu'il utilise comme ancrage antérieur l'os palatin et comme ancrage postérieur les M1.

- Description (Figure 32) :

2 mini-implants à pilier interchangeable sont insérés sous anesthésie locale dans la région antérieure du palais, de part et d'autre de la SMP. Ceux-ci sont fabriqués en un type de titane qui résiste à l'ostéo-intégration de façon à ce qu'ils puissent être facilement retirés. De plus, l'utilisation de mini-vis conventionnelles aurait compressé le distracteur contre la muqueuse palatine, entraînant une ischémie et une nécrose tissulaire. Ensuite, 7-10 jours après l'implantation, le dispositif, muni d'un vérin soudé à des bagues scellées sur les M1 et aux 2 piliers antérieurs, est inséré et activé^{221, 222}. L'expansion squelettique obtenue en fin d'activation de l'HH peut être contenue à l'aide d'une mini-plaque (Beneplate) vissée sur les mini-implants²²³.



Figure 32 : Hybrid-Hyrax^{221, 222} et Beneplate²²³

- Analyse de littérature :

D'après Gunyuz Toklu *et al.* (2015)²²⁴ et Kayalar *et al.* (2016)²²⁵, le HH et le DHy permettent d'obtenir des effets squelettiques similaires, avec une ouverture de la SMP qui affecte la forme d'un « V » dans les plans transversal et frontal. Mosleh *et al.* (2015)²²⁶ montrent une augmentation des largeurs faciale et maxillaire plus importante avec l'HH mais une augmentation de la largeur nasale moindre car l'application de la force est plus postérieure.

L'expansion obtenue au niveau de l'arcade dans l'étude de Wilmes *et al.* (2010)²²⁷ présente la forme d'un « V » alors que Gunyuz Toklu *et al.* (2015)²²⁴ retrouvent une expansion en « V inversé » avec l'HH, en accord avec Hammad *et al.* (2016)²²⁸ et Vassar *et al.* (2016)²²⁹, mais parallèle avec le DHy. Inversement, après 6 mois de stabilisation, Kayalar *et al.* (2016)²²⁵ obtiennent une expansion similaire en regard des M1 mais plus importante en regard des PM1 avec le DHy, tendant ainsi à être plus parallèle avec l'HH alors que Mosleh *et al.* (2015)²²⁶ observent plus d'expansion autant au niveau des PM1 que des M1 avec le DHy.

Du point de vue dentaire, l'HH entraîne moins^{225, 226, 230} ou autant²²⁴ de vestibulo-version des M1 que le DHy, alors qu'il a moins²²⁶ voire pas d'effet²²⁴ sur les PM1. Cependant, dans l'étude de Kayalar *et al.* (2016)²²⁵, la plus grande vestibulo-version des M1 observée avec le DHy pendant la phase active et leur redressement au sein de leur alvéole pendant la phase de stabilisation ont abouti à un changement similaire de leur angulation par rapport à l'HH après 6 mois d'expansion. Ce phénomène est attribué à la résistance de la muqueuse palatine et des muscles environnants ainsi qu'à la rigidité de fixation des bagues scellées. Les diminutions d'épaisseur osseuse vestibulaire et de longueur radiculaire sont similaires entre les 2 appareils au niveau des M1 mais n'ont été retrouvées qu'avec le DHy au niveau des PM1^{224, 230}. Chane-Fane et Darqué (2015)²³⁰ ont observé une diminution de 35% de l'épaisseur osseuse vestibulaire au niveau des M1 avec un dispositif similaire à l'HH.

Dans le cadre de la correction orthopédique des classes III, de nombreux auteurs ont utilisé l'HH en l'associant à un masque facial et ont affirmé son efficacité^{227, 231-236}. En effet, Hourfar *et al.* (2016)²³⁷ ont trouvé que l'HH favorisait l'avancée du point A par rapport au DHy et Ngan *et al.* (2015)²³⁵ ont noté que la combinaison HH/MF entraînaît moins de vestibulo-version des incisives maxillaires, moins de déplacement vers le bas du point « A », moins d'ouverture de l'angle du plan mandibulaire et plus d'égression des incisives maxillaires que la combinaison DHy/MF. Wilmes *et al.* (2014)²³⁶ utilisent l'association HH/MF avec une alternance d'expansion et de constriction maxillaire, qui permet, selon lui, d'améliorer l'effet de la protraction maxillaire en fragilisant les sutures squelettiques médio-faciales. Enfin, en appliquant les forces strictement aux structures squelettiques, la combinaison HH-Mentoplate permet d'éviter les versions des incisives, pré-requis indispensable à la stabilité²³⁸.

- Intérêts :
 - Chirurgie minimalement invasive ;
 - Coût moindre²³⁹ ;
 - Peut être utilisé chez des patients qui présentent un ancrage dentaire limité²²¹ ;
 - Les scores de douleur et d'inconfort attribués à l'HH pendant la 1^{ère} semaine d'expansion sont généralement inférieurs à ceux obtenus avec le DHy, cependant il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les 2 traitements selon Feldmann *et al.* (2017)²⁴⁰.

- Limites :
 - Nécessite la réalisation d'étapes supplémentaires dues au recours à des mini-implants²²⁷ ;
 - En cas d'ITM antérieure, à cause du risque de proximité ou de nécessité d'anguler les têtes de vis, Gunyuz Toklu *et al.* (2015)²²⁴ recommandent de rogner les coiffes ;
 - Lorsque les incisives latérales sont en palato-position, la zone d'insertion des mini-vis doit être déterminée avec des images CBCT pour éviter toute blessure radiculaire²²⁴.

b) Hybrid Hyrax Distalizer (HHD)

- Justification :

Wilmes *et al.* (2014)²⁴¹ ont modifié l'HH pour créer l'HHD, qui peut être utilisé à la fois pour réaliser une EMR et une distalisation molaire.

- Description (Figure 33) :

2 vérins sagittaux sont ajoutés et soudés sur les piliers antérieurs et sur les bagues molaires de l'HH (241). L'HHD peut être uni- ou bilatéral. Une gorge verticale présente sur la bague molaire peut permettre l'insertion d'un bras postérieur de type pendulum en alternative à l'utilisation de vérins²⁴².



Figure 33 : Hybrid-Hyrax Distalizer²⁴¹

- Intérêts :
 - Permet de réaliser une expansion maxillaire et de distaler les molaires maxillaires avec le même appareil sans perte d'ancrage ni nécessité de coopération supplémentaire du patient²⁴¹ ;
 - Permet de réduire le coût et la durée du traitement²⁴².

7.2. Ancrage sur 4 mini-vis para-médianes et sur 4 bagues scellées : le Miniscrew-Assisted Rapid Maxillary Expander (MARPE)

- Justification :

Dans les cas d'ITM combinée à un décalage squelettique sévère chez les adultes, 2 chirurgies sont généralement nécessaires : une EMRAC suivie d'une chirurgie orthognathique de repositionnement. Cependant, certains patients sont parfois réticents à l'idée de subir plusieurs procédures chirurgicales. Ainsi, en l'**absence d'assistance chirurgicale** lors de la réalisation d'une EMR, l'utilisation d'un appareil rigide qui délivre ses forces directement à l'os basal est nécessaire afin d'éviter l'apparition de déhiscences osseuses et d'établir une occlusion postérieure correcte. Lee *et al.* (2010)²⁴³ ont utilisé le MARPE dans le cadre d'une EMR non chirurgicale réalisée avant le traitement orthodontico-chirurgical d'un patient présentant une pro-mandibulie sévère.

- Description (Figure 34) :

4 extensions munies d'un crochet à leur extrémité sont soudées à la base du corps du vérin d'un DHy. Ainsi, 2 crochets antérieurs sont positionnés dans la région des papilles palatines et 2 crochets postérieurs sont positionnés dans la zone para-sagittale. Les crochets sont ajustés de manière à ce que le contact avec les tissus sous-jacents soit passif. Enfin, des mini-vis sont insérées au centre de ces derniers afin de fixer le dispositif²⁴³⁻²⁴⁶.



Figure 34 : Miniscrew-Assisted Rapid Maxillary Expander²⁴³⁻²⁴⁶

- Analyse de littérature :

Des rapports de cas ont montré que l'utilisation du MARPE, sans avoir recours à un geste chirurgical, permet d'obtenir une ouverture de la SMP. Les résultats obtenus sont stables et le statut parodontal est intact^{243, 247-249}.

De même, dans un échantillon de 69 jeunes adultes, Choi *et al.* (2016)²⁵⁰ ont obtenu un taux de succès d'ouverture de la SMP de 86,96%. L'augmentation de la largeur maxillaire représentait 43,34% de celle de la largeur inter-molaire et la hauteur clinique des canines, PM1 et M1 n'a pas statistiquement changé. Ces résultats étaient stables après 30 mois de suivi de 20 d'entre eux (moyenne d'âge : 20,9 +/- 2,9 ans).

Dans l'étude de Park *et al.* (2017)²⁵², la SMP s'est ouverte en forme de « V » et l'expansion

dento-alvéolaire qu'ils ont obtenu était parallèle dans le plan axial. Les pourcentages d'expansion squelettique, alvéolaire et dentaire observés ont été de 37,0%, 22,2% et 40,7%, respectivement. La vestibulo-version des dents d'ancrage a entraîné une diminution du niveau et de l'épaisseur osseuse vestibulaire (respectivement de 0,6-1,1 mm et 1,7-2,2 mm) similaires à celles d'une EMR¹²⁷ ou d'une EMRAC²⁵¹. De plus, la plus grande densité de la corticale osseuse vestibulaire présente dans la région des canines et prémolaires maxillaires peut expliquer la plus grande inclinaison vestibulaire observée au niveau des M1 par rapport aux PM1.

En utilisant la méthode d'analyse des éléments finis, Mac Ginnis *et al.* (2014)²⁵³ et Singaraju *et al.* (2015)²⁵⁴ ont conclu que l'utilisation du MARPE était bénéfique chez les patients hyperdivergents ou dont la SMP était synostosée. En effet, comparées à un distracteur conventionnel, les contraintes exercées par le MARPE se dirigent plus au niveau du palais et se propagent moins aux piliers maxillaires. De plus, les forces s'appliquant plus près du centre de résistance maxillaire, la version dentaire est minimisée au profit d'un mouvement en translation des héli-maxillaires.

Enfin, il est intéressant de noter que l'étude réalisée par Boryor *et al.* (2013)²⁵⁵ sur des cadavres de femmes de 69, 73 et 77 ans a montré qu'il était possible d'ouvrir la SMP chez des patients adultes matures en utilisant le MARPE. En effet, en exerçant de très faibles forces d'expansion concentrées principalement au niveau de la SMP, celui-ci entraîne sa rupture malgré l'absence d'assistance chirurgicale. De plus, aucune fracture n'a été observée, excepté dans un cas où un implant avait été positionné dans une zone où l'épaisseur osseuse palatine était très fine. A contrario, une expérimentation réalisée sur 6 cadavres avec un distracteur à ancrage dentaire²⁵⁶ n'avait pas entraîné d'ouverture de la SMP mais avait provoqué une fracture dentaire et des procès alvéolaires.

- Intérêts :

- L'utilisation du MARPE semble être possible chez les jeunes adultes (jusqu'à 25 ans) ;
- Expansion plus efficace que l'expansion réalisée chez de plus jeunes patients avec un distracteur conventionnel²⁴³ ;
- Coût réduit et moindres risques que les autres alternatives thérapeutiques ;
- Moon *et al.* (2015)²⁵⁷ ont utilisé des mini-implants N2 (3 mm de diamètre ; 2 mm de long). Ces implants ont été créés, par leur courte longueur, dans l'objectif de réduire le risque de dommages sur les structures anatomiques pendant leur insertion, ne nécessitant alors pas d'être placés entre les racines des dents adjacentes.

- Limites :

- L'objectif du MARPE n'est pas de forcer la séparation de la SMP synostosée mais d'obtenir un maximum de gain squelettique sur les sutures voisines ;
- Les résistances mécaniques des sutures circum-maxillaires semblent être un autre facteur limitant²⁴³.

8. ANCRAGE OSTEO-MUQUEUX : Mini-Implant Supported Maxillary Expander (MISME) ou C-Expander

- Justification et description (Figure 35) :

Initialement conçu et utilisé avec les mêmes objectifs que le MARPE, le MISME (ou C-Expander) s'ancre sur 4 mini-vis en titane : 2 antérieures, insérées 3-4 mm de part et d'autre de la SMP et 3-4 mm en arrière du foramen incisif ; 2 postérieures, insérées entre les projections des racines des PM2 et M1, sur la pente alvéolaire palatine. Les auteurs recommandent d'insérer les mini-vis antérieures perpendiculairement à la surface du palais et avec une angulation d'environ 60-70° par rapport à l'axe des dents pour permettre leur rétention optimale. L'appareil est construit sur moulage en plâtre, après avoir recouvert les têtes de vis par de la cire, en noyant un vérin dans de la résine qui recouvre les mini-implants et la surface palatine adjacente. Le dispositif est ensuite solidarisé en bouche aux têtes de vis avec de la résine, ce qui permet d'améliorer la stabilité des mini-vis et de l'appareil²⁵⁸⁻²⁶⁰.



Figure 35 : Mini-Implant Supported Maxillary Expander (ou C-expander)²⁵⁸⁻²⁶⁰

- Analyse de littérature :

En utilisant un dispositif similaire, mais ancré sur seulement 2 mini-vis positionnées sur la pente alvéolaire du palais entre les projections des racines des PM2 et M1, Akin *et al.* (2016)²⁶¹ ont obtenu une expansion de la SMP en forme de V dans les plans frontal et transversal. De plus, le MISME permettrait d'obtenir une **expansion squelettique plus importante** que celle obtenue avec des distracteurs à ancrage dentaire²⁶². En effet, dans l'étude de Lin *et al.* (2015)²⁶³, la quantité d'expansion squelettique obtenue avec celui-ci représentait 57,5-77,0% de l'expansion obtenue au niveau de l'arcade alors que ce pourcentage était de 25,6-42,9% avec le DHy, c'est à dire quasiment 2 fois plus. Lee *et al.* (2014)²⁶⁴ ont justifié la moindre composante dento-alvéolaire du C-expander par rapport à d'autres distracteurs à ancrage osseux, dont le MARPE (qui entraîne par ailleurs un déplacement transversal supérieur), par le fait qu'il dirige majoritairement les forces sur la surface palatine, ce qui permet également de diminuer les contraintes appliquées sur les mini-implants. Enfin, en l'expliquant par la répartition des ancrage osseux en antérieur et postérieur, d'autres auteurs²⁶⁵ ont obtenu une expansion dento-alvéolaire de forme parallèle dans le plan transversal.

Le C-expander n'entraînerait **pas de vestibulo-version des M1 (264) voire** provoquerait leur **palato-version** selon Yilmaz *et al.* (2015)²⁶², ce qui empêche tout déplacement vertical de la mandibule²⁶⁵ comparé à un distracteur conventionnel²⁶¹. En effet, dans l'étude de Lin *et al.* (2015)²⁶³, le ratio version dentaire / flexion alvéolaire était de 0,92-1,30 avec le C-expander, ce qui traduit un changement d'axe dentaire négligeable au sein de l'os alvéolaire, alors qu'avec le DHy, ce ratio était de 1,8-5,1, soit une inclinaison vestibulaire plus importante des dents postérieures, excédant la quantité de flexion alvéolaire. Cette version a provoqué des déhiscences vestibulaires significatives au niveau des PM1 alors qu'elles n'étaient pas cliniquement significatives avec le C-expander.

Lee *et al.* (2014)²⁶⁶ ont quant à eux comparé les effets du MISME selon le modèle chirurgical réalisé préalablement à l'EMRAC : séparation de la SMP isolée, séparation des sutures médio-palatine et ptérygo-maxillaire ou simple corticotomie s'étendant depuis l'ouverture piriforme jusqu'à la tubérosité maxillaire. Ils retrouvèrent ainsi des quantités similaires de contraintes et déplacements le long des dents, des sutures médio-palatines et crânio-faciales avec les 3 techniques avec l'obtention d'une expansion d'arcade légèrement plus importante en antérieur qu'en postérieur. En cas de procédure non chirurgicale, l'expansion d'arcade présentait une dominante postérieure et les contraintes le long de la SMP et des repères maxillo-faciaux étaient plus élevées comparées aux cas assistés chirurgicalement (notamment lorsque seul clivage médian était réalisé). Ils recommandèrent ainsi d'assister l'EMRAC à ancrage osseux chez l'adulte par une simple séparation de la SMP, qui nécessite une intervention chirurgicale minimale.

Enfin, Park *et al.* (2017)²⁶⁷ ont déterminé que l'utilisation du MISME avait une influence neutre voire négative sur la protraction maxillaire par MF, en contraste avec l'EMR à ancrage dentaire.

9. CONCLUSION

Depuis la présentation du 1^{er} distracteur réalisé par Angell en 1860, des études anatomiques, histologiques, radiographiques bi-dimensionnelles et plus récemment tri-dimensionnelles (CBCT et méthode d'analyse des éléments finis) ont permis une meilleure compréhension des processus de croissance du massif crânio-facial ainsi que de la biomécanique de l'EMR.

Après avoir été popularisée par Haas dans les années 1960, notamment pour ses bienfaits ventilatoires, l'EMR a été critiquée pour ses différents effets adverses (squelettiques, dento-alvéolaires et parodontaux) et son entrave à l'hygiène et au confort du patient.

Ainsi, plusieurs évolutions, notamment du système d'activation et de l'ancrage utilisé, ont vu le jour :

- La 1^{ère} modification, réalisée par Biederman en 1968, a été de supprimer l'appui en résine sur la muqueuse palatine, afin d'empêcher les ulcérations palatines ;
- Ensuite, le retrait des 2 bagues antérieures, dans le but de faciliter la fabrication et l'insertion du dispositif, a été proposé par Schneidman en 1990 ;
- Un ancrage par gouttière en résine collée, munie d'une surélévation occlusale a également été développé pour contrôler la version et l'égression des dents postérieures maxillaires et le déplacement vers le bas du maxillaire, éviter la rotation horaire de la mandibule et favoriser la symétrie de l'expansion ;
- Diverses variantes des appareils précédents ont été proposées pour répondre aux objectifs thérapeutiques individuels de chaque patient ;
- Enfin, ce n'est qu'en 1999 que les distracteurs à ancrage osseux ont vu le jour, avec le TPD de Mommaerts, ancré sur des mini-plaques. Ces derniers avaient notamment comme ambition, par l'absence d'ancrage dentaire, d'empêcher ou minimiser les effets iatrogènes dentaires et parodontaux (résorptions radiculaires, déhiscences osseuses, fenestrations, récessions parodontales...), d'avoir un effet orthopédique pur et de pouvoir être utilisés chez les patients présentant une denture réduite ou un statut parodontal fragilisé. Toutefois, ces appareils ont été critiqués à leur tour, pour leur caractère invasif, leur instabilité pendant la phase d'expansion et de stabilisation ainsi que leur difficulté de manipulation ;
- Afin de pallier ces inconvénients et améliorer la biomécanique, divers auteurs ont proposé des modifications de la technique chirurgicale et du dispositif lui-même ;
- Plus récemment, des distracteurs à ancrage mixte (ostéo-dentaire, ostéo-muqueux) ont vu le jour et les indications de l'ancrage osseux se sont multipliées. En effet, le MARPE ou le MISME permettraient de séparer la SMP chez de jeunes adultes, en l'absence d'assistance chirurgicale.

Cependant, dans leur revue systématique de 2017, Algharbi et *al.*²⁶⁸ ont conclu qu'il n'existe aujourd'hui qu'une preuve de niveau modéré permettant d'établir la fiabilité des dispositifs d'expansion maxillaire étudiés pour produire une séparation significative de la SMP. De plus, les effets des différents appareils, en terme de version dentaire, sont contradictoires selon les études retenues. Aucune conclusion basée sur des preuves ne peut donc être émise afin de recommander un appareil autre que le DHy conventionnel.

Ainsi, afin de permettre au clinicien de choisir une méthode thérapeutique éprouvée fiable, selon les caractéristiques individuelles et les objectifs thérapeutiques, il est indispensable de réaliser des études cliniques randomisées ou prospectives contrôlées (actuellement peu nombreuses), dans lesquelles :

- Un protocole précis d'EMR est utilisé ;
- Au moins 2 appareils sont comparés ;
- Le nombre d'activations est standardisé pour rendre les données comparables ;
- La taille des échantillons est suffisamment importante afin que les différences constatées, s'il y en a, soient statistiquement significatives ;
- La composition des échantillons est homogène (âge, sexe, malocclusion) ;
- Une méthode d'analyse précise et reproductible est utilisée.

10. TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Effets de l'EMR sur les structures dento-squelettiques dans le plan transversal.....	3
Figure 2 : Effets de l'EMR sur les structures dento-squelettiques dans le plan frontal.....	3
Figure 3 : Distracteur de Haas.....	6
Figure 4 : Distracteur ancré sur 6 bagues scellées.....	7
Figure 5 : Distracteurs ancrés uniquement sur les dents de lait.....	7
Figure 6 : Distracteur ancré sur une attelle scellée sur les dents de lait.....	9
Figure 7 : Distracteur vestibulaire : le Changing-P.....	9
Figure 8 : Distracteur modifié en cas de M1 incluse.....	10
Figure 9 : Distracteur modifié en cas de nécessité de distalisation de l'arcade maxillaire.....	11
Figure 10 : Distracteur d'HyraX.....	12
Figure 11 : Distracteur d'HyraX simplifié.....	15
Figure 12 : Distracteur modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs.....	17
Figure 13 : Transverse Sagittal Maxillary Expander conventionnel et modifié en cas de déviation des milieux inter-incisifs.....	18
Figure 14 : Distracteur modifié en cas d'infraclusion antérieure.....	19
Figure 15 : Butterfly Maxillary Expander.....	20
Figure 16 : Fan-Type Maxillary Expander et Butterfly Maxillary Expander modifié.....	21
Figure 17 : Mini-HyraX inversés postérieur et antérieur.....	22
Figure 18 : Distracteur modulable / Differential Opening Expander.....	23
Figure 19 : Distracteur de Mc Namara.....	25
Figure 20 : Appareil d'expansion maxillaire asymétrique.....	27
Figure 21 : Transpalatal Distractor et TPD Transporter.....	29
Figure 22 : Magdeburg Palatal Distractor et Palatal Distractor Device.....	33
Figure 23 : Maxillary Widening Device.....	34
Figure 24 : Rotterdam Palatal Distractor.....	35
Figure 25 : Diagramme de distraction.....	36
Figure 26 : Dresden Distractor.....	37
Figure 27 : Distracteur ancré sur 4 mini-vis fixées à travers des "screw-rings".....	40
Figure 28 : Custom-made Palatal Expander.....	40
Figure 29 : Distracteur ancré sur des mini-vis munies de pointes.....	40
Figure 30 : MICRO-4 HyraX et MICRO-6 HyraX.....	40
Figure 31 : Distracteur ancré sur des onplants.....	40
Figure 32 : Hybrid-HyraX et Beneplate.....	43
Figure 33 : Hybrid-HyraX Distalizer.....	45
Figure 34 : Miniscrew-Assisted Rapid Maxillary Expander.....	46

Figure 35 : Mini-Implant Supported Maxillary Expander (ou C-expander)..... 48

11. BIBLIOGRAPHIE

1. Günbay T, Akay MC, Günbay S, Aras A, Koyuncu BO, Sezer B. Transpalatal distraction using bone-borne distractor: Clinical observations and dental and skeletal changes. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:2503-2514.
2. Lefoulon PJ. Nouveau traité théorique et pratique de l'art dentaire du dentiste. Paris: Fortin, Masson, 1841:198.
3. Dictionnaire d'orthognathodontie, SFODF (2016).
4. Angell EH. Treatment of irregularities of the permanent or adult teeth. *Dent Cosmos* 1860;1:540-4.
5. Ramieri GA, Spada MC, Austa M, Bianchi SD, Berrone S. Transverse maxillary distraction with a bone-anchored appliance: dento-periodontal effects and clinical and radiological results. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34:357-363.
6. Raberin M. Pathologies et thérapeutiques de la dimension transversale en denture mixte - Conséquences sur l'équilibre musculaire. *Orthod Fr* 2001;72:131-142.
7. Timms DJ. Emerson C. Angell (1822-1903). Founding father of rapid maxillary expansion. *Dent Hist* 1997 May;(32):3-12.
8. Romanyk DL, Lagravere MO, Toogood RW, Major PW, Carey JP. Review of maxillary expansion appliance activation methods: engineering and clinical perspectives. *J Dent Biomech* 2010;2010:1-7.
9. Haas AJ. Long term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod* 1980;50(1):189-217.
10. Wertz R. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 1970;58(1):41-66.
11. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod* 1982;81(2):361-364.
12. Da Silva Filho OG, Prado Montes LA, Torelly LF. Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometris analysis. *Am J Ortho* 1995;107:268-275.
13. Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage JR, Kim JS, Taylor GD. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008 Jul;134(1):8-9.
14. Mac Namara JA, Brudon WL. Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition. Ann Arbor: Needham Press, 1995.

15. Chiari S, Romsdorfer P, Swoboda H, Bantleon HP, Freudenthaler J. Effects of rapid maxillary expansion on the airways and ears - a pilot study. *Eur J Orthod* 2009;31(2):135-41.
16. Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod* 1980 May;77(5):500-7.
17. Braun S, Bottrel A, Lee KG, Lunazzi JJ, Legan H. The biomechanics of rapid maxillary sutural expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:257-261.
18. Adkins MD, Nanda RS, Currier GF. Arch perimeter changes on rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990 Mar;97(3):194-9.
19. Chung CH, Font B. Skeletal and dental changes in the sagittal, vertical, and transverse dimensions after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004 Nov;126(5):569-75.
20. Velazquez P, Benito E, Bravo LA. Rapid maxillary expansion - A study of the long-term effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996 Apr;109(4):361-7.
21. Langlade M. *Thérapeutique orthodontique*. Paris: Maloine, 1986.
22. Pavlin D, Vukicevic BS. Mechanical reactions of facial skeleton to maxillary expansion determined by laser halography. *Am J Orthod* 1984;85(6):498-507.
23. Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion : clinical implications. *Am J Orthod* 1987;91(1):3-14.
24. Ciambotti C, Ngan P, Durkee M, Kohli K, Kim H. A comparison of dental and dentoalveolar changes between rapid palatal expansion and nickel-titanium palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:11-20.
25. Mac Namara JA, Baccetti T, Franchi L, Heberger TA. Rapid maxillary expansion followed by fixed appliances: a long-term evaluation of changes in arch dimensions. *Angle Orthod* 2003;73:344-353.
26. Fenderson FA, Mac Namara JA, Baccetti T, Veitk CJ. A long-term study on the expansion effects of the cervical-pull facebow with and without rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2004;74:439-449.
27. Doruk C, Bicakci AA, Basciftici FA, Agar U, Babacan H. A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dentofacial structures. *Angle Orthod* 2004;74:184-94.
28. Krebs A. Midpalatal suture expansion studies by the implant method over a seven-year period. *Eur Orthod Soc Rep*. 1964;40:131-142.
29. Langford SR, Sims MR. Root surface resorption, repair, and periodontal attachment following rapid maxillary expansion in man. *Am J Orthod* 1982 Feb;81(2):108-15.

30. Derichsweiler H. Die Gaumennahtsprengung. *Fortschr Kieferorthop* 1954;14:5-23.
31. Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1961;31:73-90.
32. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1965 Jul;35:200-17.
33. Araugio RM, Landre J Jr, Silva Dde L, Pacheco W, Pithon MM, Oliveira DD. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: a study with finite elements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:221-7.
34. Haas AJ. Interviews. *J Clin Orthod* 1973;7:227-45.
35. Howe RP. Palatal expansion using a bonded appliance. *Am J Orthod* 1982;82:464-68.
36. Ribeiro GLU, Retamoso LB, Moschetti AB, Mei RMS, Camargo ES, Tanaka OM. Palatal expansion with six bands: an alternative for young adults. *Rev Clín Pesq Odontol* 2009 jan/abr;5(1):61-66.
37. Mutinelli S, Cozzani M, Manfredi M, Bee M, Siciliani G. Dental arch changes following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2008;30:469-76.
38. Mutinelli S, Cozzani M. Rapid maxillary expansion in early-mixed dentition: effectiveness in increasing arch dimension with anchorage to deciduous teeth. *Eur J Ped Dent* 2015;16:115-22.
39. Cozzani M, Rosa M, Cozzani P, Siciliani G. Deciduous dentition-anchored rapid maxillary expansion in crossbite and non-crossbite mixed dentition patients: reaction of the permanent first molar. *Prog Orthod* 2003;4:15-22.
40. Mohamad Z, Cheruku SR, Penmetcha S, Namineni S, Vaaka PH. Customized modified Haas palatal expansion in mixed dentition: A case report. *J Clin Diagn Res.* 2016 Oct;10(10):ZD01-ZD04.
41. Cozzani M, Guiducci A, Mirengi S, Mutinelli S, Siciliani G. Arch width changes with a rapid maxillary expansion appliance anchored to the primary teeth, *Angle Orthod* 2006;77:296-302.
42. Ugolini A, Cerruto C, Di Vece L, Ghislanzoni LH, Sforza C, Doldo T, Silvestrini-Biavati A, Caprioglio A. Dental arch response to Haas-type rapid maxillary expansion anchored to deciduous vs permanent molars: A multicentric randomized controlled trial. *Angle Orthod* 2015;85:570-576.
43. Cerruto C, Ugolini A, Di Vece L, Doldo T, Caprioglio A, Silvestrini-Biavati A. Cephalometric and dental arch changes to Haas-type rapid maxillary expander anchored to deciduous vs permanent molars: a multicenter, randomized controlled trial. *J Orofac Orthop* 2017 Apr 10.

44. Mutinelli S, Manfredi M, Guiducci A, Denotti G, Cozzani M. Anchorage onto deciduous teeth: effectiveness of early rapid maxillary expansion in increasing dental arch dimension and improving anterior crowding. *Prog Orthod* 2015;16:22.
45. Cozzani M, Fontana M, Cozzani P. A cast-metal Haas-type expander for the deciduous dentition. *J Clin Orthod* 2010 Dec;44(12):738-40.
46. Cozzani M, Fontana M, Cozzani P, Bertelli A. Cast Haas-type RME appliance: A case report. *Orthodontics (Chic.)* 2011;12:252-259.
47. Porseo M, Monaco B, Festa F, Fiorillo G. A vestibular rapid palatal expander. *J Clin Orthod* 2016 Feb;50(2):110-7.
48. Fontana M, Cafagna A, Cozzani M. Modified cast-metal Haas-type expander for correction of impacted upper first molars in the mixed dentition. *J Clin Orthod* 2010 Dec;44(12):738-40.
49. Wang H, Feng J, Lu P, Shen G. Correction of a skeletal Class II malocclusion with severe crowding by a specially designed rapid maxillary expander. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147:242-51.
50. Biederman WA. Hygienic appliance for rapid expansion. *J Pract Orthod* 1968;2:67-70.
51. Scott WD. A comparison of two rapid palatal expansion appliances and their effect on the palatal cross-sectional area. *Am J Orthod* 1982;82:526.
52. Mazzeiro ET, Henriques JFC, Freitas MR. Frontal cephalometric evaluation of dentoskeletal changes after rapid maxillary expansion. *Ortodontia* 1996;29:31-42.
53. Praskins P, Cisneros GJ. Rapid palatal expansion: a comparison of two appliances. *Harv Soc Adv Orthod* 2000;1:7-9.
54. Ghandehari B. A comparison of the skeletal effects of tooth-borne and tissue-borne rapid palatal expanders [thesis]. Chicago: University of Illinois at Chicago; 2001.
55. Siqueira DF, Almeida RR, Henriques JFC. Frontal cephalometric comparative study of dentoskeletal effects produced by three types of maxillary expansions. *Rev Dent Press Ortodon Ortoped Facial* 2002;7:27-47.
56. Praskins P. A comparison of rapid maxillary expansion appliances: Hyrax vs. the Haas. New York: Montefiore, Department of Orthodontics; 1985.
57. Erverdi N, Sabri A, Kucukkeles N. Cephalometric evaluation of Haas and Hyrax rapid maxillary appliances in the treatment of the skeletal maxillary transverse deficiency. *J Marmara Univ Dent Fac* 1993 Sep;1(4):361-6.
58. Rodrigues AP, Monini AC, Gandini Jr. LG, Santos-Pinto A. Rapid palatal expansion: a comparison of two appliances. *Braz Oral Res* 2012 May-Jun;26(3):242-8.
59. Façanha AJO, Lara TS, Garib DG, Silva Filho OG. Transverse effect of Haas and Hyrax appliances on the upper dental arch in patients with unilateral complete cleft lip and palate: A comparative study. *Dental Press J Orthod* 2014 Mar-Apr;19(2):39-45.

60. Mundstock KS. Estudo dos efeitos da expansão rápida de maxila em pacientes com mordida cruzada posterior tratados com aparelhos de Haas e de Hyrax [tese]. Araraquara (SP): Universidade Estadual Paulista; 2006.
61. Weissheimer A. Efeitos imediatos da expansão rápida da maxila no sentido transversal, com os disjuntores tipo Haas e Hyrax, em tomogra a computadorizada cone beam [dissertação]. Porto Alegre (RS): Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2008.
62. Fastuca R, Lorusso P, Lagravère MO, Michelotti A, Portelli M, Zecca PA, D'Antò V, Militi A, Nucera R, Caprioglio A. Digital evaluation of nasal changes induced by rapid maxillary expansion with different anchorage and appliance design. *BMC Oral Health* 2017;17:113.
63. Master's Thesis, U. Mich, 1998 Ralph, S.W., "A comparison of two rapid maxillary expansion appliances using three-dimensional finite element analysis")
64. Oliveira NL, Da Silveira AC, Kusnoto B, Viana, G. Three-dimensional assessment of morphologic changes of the maxilla: A comparison of 2 kinds of palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:354-62.
65. Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Coelho RA. Rapid maxillary expansion-tooth tissue-borne versus tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation of dentoskeletal effects. *Angle Orthod* 2005 Jul;75(4):548-57.
66. Braun S, Bottrel JA, Lee KG, Lunazzi JJ, Legan HL. The biomechanics of rapid maxillary sutural expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:257-261.
67. Garib DG, Henriques JF, Janson G, de Freitas MR, Fernandes AY. Periodontal effects of rapid maxillary expansion with tooth-tissue-borne and tooth-borne expanders: A computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:749-58.
68. Weissheimer A, Macedo de Menezes L, Mezomo M, Marchiori Dias D, Santayana de Lima EM, Deon Rizzato SM. Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:366-76.
69. Odenrick L, Karlander EL, Pierce A, Kretschmar U. Surface resorption following two forms of rapid maxillary expansion. *European Journal of Orthodontics* 1991;13:264-270.
70. Erverdi N, Okar I, Kucukkeles N, Arbak S. A comparison of two different rapid palatal expansion techniques from the point of root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:47-51.
71. Dindaroglu F, Dogan S. Evaluation and comparison of root resorption between tooth-borne and tooth-tissue borne rapid maxillary expansion appliances: A CBCT study. *Angle Orthod.* 2016 Jan;86(1):46-52.

72. Bretos JL, Pereira MD, Gomes HC, Toyama Hino C, Ferreira LM. Sagittal and vertical maxillary effects after surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME) using Haas and Hyrax expanders. *J Craniofac Surg* 2007 Nov;18(6):1322-6.
73. Hino CT, Pereira MD, Sobral CS, Kreniski TM, Ferreira LM. Transverse effects of surgically assisted rapid maxillary expansion: a comparative study using Haas and Hyrax. *J Craniofac Surg*. 2008 May;19(3):718-25.
74. Lamparski D, Rinchuse D, Close J, Sciote J. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid maxillary expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:321-8.
75. Timms DJ. Rapid maxillary expansion. Chicago: Quintessence Publishing, 1981:91-4.
76. Schneidman E, Wilson S, Erkis R. Two-point rapid maxillary expansion: an alternate approach to traditional treatment. *Pediatr Dent* 1990;12:92-7.
77. Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon A. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2- versus 4-band appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:483-92.
78. Farronato G, Maspero C, Farronato D, Giannini L. Modified Hyrax expander for the correction of upper midline deviation. *J Clin Orthod* 2009;3:158-60.
79. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Maspero C. Upper midline deviation: modified Hyrax expander. *Eur J Paediatr Dent* 2014 Jul;15(2 Suppl):174-6.
80. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Maspero C. Comparison of the dental and skeletal effects of two different rapid palatal expansion appliances for the correction of the maxillary asymmetric transverse discrepancies. *Minerva Stomatol* 2012;61:45-55.
81. Farronato G, Cordasco G, Farronato D, Esposito I, Briguglio E. The transverse sagittal maxillary expander. *Journal of Clinical Orthodontics* 2007;41:387-389.
82. Maspero C, Giannini L, Galbiati G, Farronato G. Modified transversal sagittal maxillary expander for correction of upper midline deviation associated with maxillary arch deficiency. *Minerva Stomatol* 2015;64:53-8.
83. Farronato G, Maspero C, Esposito L, Briguglio E, Farronato D, Giannini L. Rapid maxillary expansion in growing patients. Hyrax versus transverse sagittal maxillary expander: a cephalometric investigation. *Eur J Orthod* 2011;33(2):185-9.
84. Maspero C, Galbiati G, Giannini L, Farronato G. Sagittal and vertical effects of transverse sagittal maxillary expander (TSME) in three different malocclusion groups. *Prog Orthod* 2015 Apr;25(16):6.
85. Maspero C, Galbiati G, Perillo L, Favero L, Giannini L. Orthopaedic treatment efficiency in skeletal Class III malocclusions in young patients: RME-facemask versus TSME. *Eur J Paediatric Dent*. 2012 Sep;13(3):225-30.

86. Anhoury P. A modified rapid palatal expander for correction of anterior open bite and posterior crossbite. *J Clin Orthod* 2006 Aug;40(8):501.
87. Cozza P, Giancotti A, Petrosino A. Butterfly expander for use in the mixed dentition. *J Clin Orthod* 1999 Oct;33(10):583-7.
88. Cozza P, Giancotti A, Petrosino A. Rapid palatal expansion in mixed dentition using a modified expander: a cephalometric investigation. *J Orthod* 2001 Jun;28(2):129-34.
89. Levrini L, Filippi V. A fan shaped maxillary expander. *J Clin Orthod* 1999;33:642-643.
90. Townend PI. Technique of rapid expansion in patients with cleft lip and palate, *British J Orthod* 1980;7:2,65-67.
91. Suzuki A, Takahama Y. A jointed fan-type expander: a newly designed expansion appliance for the upper dental arch of patients with cleft lip and/or palate. *Cleft Palate J* 1989 Jul;26(3):239-41.
92. Schellino E, Modica R, Benech, A, Madaro E. REM: La vite ragno secondo. *Boll Inform Ortod Leone* 1996;55:36-39.
93. Cozza P, De Toffol L, Mucedero M, Ballanti F. Use of a modified butterfly expander to increase anterior arch length. *J Clin Orthod* 2003 Sep;37(9):490-5.
94. Gopalakrishnan U, Sridhar P. Assessment of the dental and skeletal effects of fan-type rapid maxillary expansion screw and Hyrax screw on craniofacial structures. *Contemp Clin Dent* 2017 Jan-Mar;8(1):64-70.
95. Çörekçi B, Göyenci YB. Dentofacial changes from fan-type rapid maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion in early mixed dentition. *Angle Orthod* 2013;83:842-850.
96. Sökücü O, Doruk C, Uysal I. Comparison of the effects of RME and fan-type RME on nasal airway by using acoustic rhinometry. *Angle Orthod* 2010;80:870-875.
97. Sadeddin A. Cephalometric evaluation of anterior maxillary expansion [master's thesis]. Istanbul: Marmara University Health Sciences Institute; 2000.
98. Baydas B, Yavuz I, Aslan N. Investigation of the effects of the fan-type rapid maxillary expansion on dentoalveolar structures. *Angle Orthod* 2005;15(2):1-10.
99. Yavuz I, Aslan N. A comparison of the effects of rapid maxillary expansion and fan-type rapid maxillary expansion on dento-alveolar structures. *Angle Orthod* 2006;16(1):1-7.
100. Fonseca DF, Bartolomeo FUC, Romualdo CR, Palomo JM, Horta MC, Andrade I Jr, Oliveira DD. Dentoskeletal effects of 3 maxillary expanders in patients with clefts: a cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146:73-81.
101. Mordente CM, Palomo JM, Horta MC, Souki BQ, Oliveira DD, Andrade I Jr. Upper airway assessment using four different maxillary expanders in cleft patients: A cone-beam computed tomography study. *Angle Orthod* 2016 Jul;86(4):617-24.

102. Leyder P, Wycisk G, Quilichini J. L'ostéodistraktion maxillaire transversale associée à la chirurgie orthognathique: de nouveaux outils pour une chirurgie en un temps. *L'Orthodontie Bioprogressive* 2012 Dec;20(2):19-27.
103. Leyder P, Wycisk G, Quilichini J. An adjustable distractor for transverse maxillary distraction osteogenesis. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale* 2013 Jun;114(3):170-4.
104. Garib DG, Garcia LC, Pereira V, Lauris RC, Yen S. A rapid maxillary expander with differential opening. *J Clin Orthod* 2014 Jul;48(7):430-5.
105. Garib D, Lauris RC, Calil LR, Alves AC, Janson G, De Almeida AM, Cevidanes LH, Lauris JR. Dentoskeletal outcomes of a rapid maxillary expander with differential opening in patients with bilateral cleft lip and palate: A prospective clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016 Oct;150(4):564-574.
106. Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod* 1970;57:219-55.
107. Sarver D, Johnston M. Skeletal changes in vertical and anterior displacement of the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1989;95:462-6.
108. Asanza S, Cisneros G, Nieberg L. Comparison of Hyrax and bonded expansion appliances. *Angle Orthod* 1997;67(1):15-22.
109. Cohen M, Silverman E. A new and simple palate splitting device. *J Clin Orthod* 1973;7:368-9.
110. Mondro JF, Litt RA. An improved direct-bonded palatal expansion appliance. *J Clin Orthod* 1977;11:203-6.
111. Spolyar JL. The design, fabrication, and use of a full-coverage bonded rapid maxillary expansion appliance. *Am J Orthod* 1984;86:136-145.
112. Almna G, Woodside DG. Response of the midface to treatment with increased vertical occlusal forces: treatment and post-treatment effects in monkeys. *Angle Orthod* 1985;552:51-63.
113. Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthod* 1987 Jul;57(3):245-63.
114. Aras A, Sürücü R. Oklüzal ısırma düzlemi taşıyan modifiye haas aparatı ile hızlı üst çene genişletmesi etkilerinin karşılaştırmalı incelenmesi. *Türk Ortodonti Dergisi* 1990;3:14-20.
115. Graber TM, Neumann B. *Removable orthodontic appliances*. Philadelphia: WB Saunders, 1977:140.
116. Ahlgren J. The neurophysiological principles of the Andresen method of functional jaw orthopedics. a critical analysis and new hypothesis. *Svensk Tandlak Tidskr* 1970;63:1-9.

117. Byrum AG. Evaluation of anterior-posterior and vertical skeletal change vs. dental change in rapid palatal expansion cases as studied by lateral cephalograms. *Am J Orthod* 1971 Oct;60(4):419-425.
118. Majourau A, Nanda R. Biomechanical basis of vertical dimension control during rapid palatal expansion therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1994;106:322-328.
119. Nisco P, Nanda R. Control of vertical dimension during rapid palatal expansion using a High Pull Chin Cap [thesis]. Farmington, Conn: University of Connecticut Health Center; 1986.
120. Pearson LE, Pearson BL. Rapid maxillary expansion with incisor intrusion: a study of vertical control. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;115:576-582.
121. Dipaolo RJ. Thoughts on palatal expansion. *J Clin Orthod* 1970;4:493-497.
122. Basciftci FA, Karaman AI. Effects of a modified acrylic bonded rapid maxillary expansion appliance and vertical chin cap on dentofacial structures. *Angle Orthod* 2002;72:61-71.
123. De Rossi M, De Rossi A, Abrao J. Skeletal alterations associated with the use of bonded rapid maxillary expansion appliance. *Braz Dent J* 2011;22(4):334-339.
124. Olmez H, Akin E, Karaçay S. Multitomographic evaluation of the dental effects of two different rapid palatal expansion appliances. *Eur J Orthod* 2007;29:379-385.
125. Kılıç N, Kiki A, Oktay H. A comparison of dentoalveolar inclination treated by two palatal expanders. *Eur J Orthod* 2008;30:67-72.
126. Pangrazio-Kulbersh V, Wine P, Haughey M, Pajtas B, Kaczynski R. Cone beam computed tomography evaluation of changes in the naso-maxillary complex associated with two types of maxillary expanders. *Angle Orthod* 2012;82:448-457.
127. Christie KF, Boucher N, Chung CH. Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:79-85.
128. Reed N, Ghosh J, Nanda R. Comparison of treatment outcomes with banded and bonded RPE appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:31-40.
129. Memikoglu TU, Iseri H. Effects of a bonded rapid maxillary expansion appliance during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 1999 Jun;69(3):251-6.
130. De Rossi M, de Sá Rocha RAS, Duarte Gavião MB. Effects of bonded rapid maxillary expansion appliance (brmea) in vertical and sagittal dimensions: a systematic review. *Braz J Oral Sci.* 2008;7(25):1571-1574.
131. Miller CL, Araújo EA, Behrents RG, Oliver DR, Tanaka OM. Mandibular arch dimensions following bonded and banded rapid maxillary expansion. *Journal of the World Federation of Orthodontists* 2014 Sep;3(3):119-123.

132. Lione R, Ghislanzoni LTH, Defraia E, Franchi L, Cozza P. Bonded versus banded rapid palatal expander followed by facial mask therapy: analysis on digital dental casts. *Eur J Orthod* 2016 Apr;38(2):217-22.
133. Sarver DM. Rapid palatal expansion-another perspective. *Clinical Impressions* 1995;4:6-9.
134. Kennedy DB, Osepchok M. Unilateral posterior crossbite with mandibular shift: a review. *J Can Dent Assoc* 2005;71:569-73.
135. Proffit WR. *Contemporary orthodontics*. 2nd ed. St Louis: C.V. Mosby; 1993.
136. Marshall SD, Southard KA, Southard TE. Early transverse treatment. *Semin Orthod* 2005;11:130-9.
137. Toroglu MS, Uzel E, Kayalioglu M, Uzel I. Asymmetric maxillary expansion (AMEX) appliance for treatment of true unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:164-73.
138. Kenworthy CR, Sheats RD. A bonded functional ramp to aid in asymmetric expansion of unilateral posterior crossbites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:320-2.
139. Hamamci N, Basaran G, Tumen EC, Ozdemir E. Nonsurgical orthodontic treatment of an adolescent girl with Class III malocclusion and asymmetric maxillary narrowing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;134:309-317.
140. Baka ZM, Akin M, Ucar FI, Ileri Z. Cone-beam computed tomography evaluation of dentoskeletal changes after asymmetric rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147:61-71.
141. Ileri Z, Basciftci FA. Asymmetric rapid maxillary expansion in true unilateral crossbite malocclusion: A prospective controlled clinical study. *Angle Orthod* 2015;85:245-252.
142. Akin M, Baka ZM, Ileri Z, Basciftci FA. Alveolar bone changes after asymmetric rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2015;85:799-805.
143. Wilmes B. Fields of application of mini-implants. In: Ludwig B, Bowman J (eds), *Mini-implants in orthodontics: innovative anchorage concepts*. Berlin: Quintessenz, 2008.
144. Harzer W, Schneider M, Gedrange T, Tausche E. Direct bone placement of the hyrax fixation screw for surgically assisted rapid palatal expansion (SARPE). *J Oral Maxillofac Surg* 2006;64:1313-7.
145. Guyman GW, Kokich VG, Oswald RJ. Ankylosed teeth as abutments for palatal expansion in the rhesus monkey. *Am J Orthod* 1980;77:486-99.
146. Turley PK, Shapiro PA, Moffett BC. The loading of bioglass-coated aluminium oxide implants to produce sutural expansion of the maxillary complex in the pigtail monkey (*Macaca nemestrina*). *Arch Oral Biol* 1980;25:459-64.
147. Parr JA, Garetto LP, Wohlford ME, Arbuckle GR, Roberts WE. Sutural expansion using rigidly integrated endosseous implants: an experimental study in rabbits. *Angle Orthod* 1997;67(4):283-90.

148. Mommaerts MY. Transpalatal distraction as a method of maxillary expansion. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1999;37:268-72.
149. Sari E, Uçar C, Ceylanoglu C. Transpalatal distraction in a patient with a narrow maxilla. *Angle Orthod* 2007 Nov;77(6):1126-31.
150. Pinto PX, Mommaerts MY, Wreakes G, Jacobs WVGJA. Immediate postexpansion changes following the use of the transpalatal distractor. *J Oral Maxillofac Surg* 2001;59:994-1000.
151. Sandikcioglu M, Hazar S. Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997 Mar;111(3):321-7.
152. Asscherickx K, Govaerts E, Aerts J, Vannet BV. Maxillary changes with bone-borne surgically assisted rapid palatal expansion: A prospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149:374-83.
153. Laudemann K, Petruchin O, Nafzger M, Ballon A, Kopp S, Sader RA, Landes CA. Long-term 3D cast model study: bone-borne vs. tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion due to secondary variables. *Oral Maxillofac Surg* 2010;14:105-114.
154. Landes CA, Laudemann K, Schübel F, Petruchin O, Mack M, Kopp S, Sader RA. Comparison of tooth- and bone-borne devices in surgically assisted rapid maxillary expansion by three-dimensional computed tomography monitoring: transverse dental and skeletal maxillary expansion, segmental inclination, dental tipping, and vestibular bone resorption. *J Craniofac Surg* 2009;20(4):1132-1141.
155. Matteini C, Mommaerts MY. Posterior transpalatal distraction with pterygoid disjunction: a short-term model study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:498-502.
156. Nada RM, Fudalej PS, Maal TJ, Berge SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Three-dimensional prospective evaluation of tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40:757-62.
157. Zandi M, Miresmaeili A, Heidari A. Short-term skeletal and dental changes following bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial study. *J Craniomaxillofac Surg* 2014 Oct;42(7):1190-5.
158. Seeberger R, Abe-Nickler D, Hoffmann J, Kunzmann K, Zingler S. One-stage tooth-borne distraction versus two stage bone-borne distraction in surgically assisted maxillary expansion (SARME). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2015 Dec;120(6):693-8.
159. Kunz F, Linz C, Baunach G, Böhm H, Meyer-Marcotty P. Expansion patterns in surgically assisted rapid maxillary expansion: Transpalatal distractor versus hyrax appliance. *J Orofac Orthop* 2016 Sep;77(5):357-65.
160. Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Berge SJ, Nada RM, Schols JG. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg* 2010 Apr;38(3):166-174.

161. Nada RM, van Loon B, Maal T.J, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Three-dimensional evaluation of soft tissue changes in the orofacial region after tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *Clin Oral Invest* 2013;17:2017-24.
162. Ramieri GA, Nasi A, Dell'Acqua A, Verzé L. Facial soft tissue changes after transverse palatal distraction in adult patients. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008;37:810-818.
163. Aras A, Akay MC, Çukurova I, Günbay T, Isıksal E, Aras. Dimensional changes of the nasal cavity after transpalatal distraction using bone-borne distractor: an acoustic rhinometry and computed tomography evaluation. *J Oral Maxillofac Surg* 2010;68:1487-1497.
164. Babacan H, Sokucu O, Doruk C, Ay S. Rapid maxillary expansion and surgically assisted rapid maxillary expansion effects on nasal volume. *Angle Orthod* 2006 Jan;76(1):66-71.
165. Wriedt S, Kunkel M, Zentner A, Wahlmann UW. Surgically assisted rapid palatal expansion. An acoustic rhinometric, morphometric and sonographic investigation. *J Orofac Orthop* 2001 Mar;62(2):107-15.
166. Akay MC, Aras I, Gunbay T, Aras A. Does transpalatal distraction affect pharyngeal airway dimensions and related soft tissues ? *J Oral Maxillofac Surg* 2014 Aug;72(8):1559-64.
167. Nada RM, van Loon B, Schols JGJH, Maal TJJ, de Koning MJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. Volumetric changes of the nose and nasal airway 2 years after tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. *Eur J Oral Sci* 2013;121:450-456.
168. Swennen GR, Treutlein C, Brachvogel P, Berten JL, Schwestka-Polly R, Hausamen JE. Segmental unilateral transpalatal distraction in cleft patients. *J Craniofacial Surg* 2003 Sep;14(5):786-90.
169. Scolozzi P, Verdeja R, Herzog G, Jaques B. Maxillary expansion using transpalatal distraction in patients with unilateral cleft lip and palate. *Plast Reconstr Surg* Jun;119(7):2200-5.
170. Roelofs J, Breuning KH, van't Spijker A, Borstlap WA, Bergé SJ, Juijpers-Jagtman AM. Unilateral surgically assisted rapid maxillary expansion using a transpalatal distractor. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2010 Feb;117(2):87-91.
171. Richard O, Nicaud-Léon MC, Facon F. Disjonction intermaxillaire sur minivis lors d'un traitement orthodontique en technique linguale. *Rev Orthop Dento Faciale* 2012;46:463-470.
172. Fuck LM, Wilmes B, Drescher D. Rapid palatal expansion with a transpalatal distractor: Two patient reports. *Kieferorthopädie* 2008;22(4):251-258.
173. Farhangfar A, Bogowicz P, Heo G, Lagravère MO. Palatal bone resorption in bone-anchored maxillary expander treatment. *Int Orthod* 2012;10:274-288.

174. Adolphs N, Ernst N, Menneking H, Hoffmeister B. Transpalatal distraction - State of the art for the individual management of transverse maxillary deficiency - A review of 50 consecutive cases. *J Craniomaxillofac Surg* 2014 Dec;42(8):1669-74.
175. Adolphs N, Ernst N, Hoffmeister B, Raguse JD. Transpalatal distraction for the management of maxillary constriction in pediatric patients. *Ann Maxillofac Surg.* 2015 Jan-Jun;5(1):44-8.
176. Koudstaal MJ, van der Wal KGH, Wolvius EB. Experience with the transpalatal distractor in congenital deformities. *Mund Kiefer GesichtsChir* 2006;10:331-334.
177. Fernandez-Sanroman J, Donascimento MG, Lopez AC, Ferro MF, Berrondo IA. Transverse maxillary distraction in patients with periodontal pathology or insufficient tooth anchorage using custom-made devices. *J Oral Maxillofac Surg* 2010;68:1530-1536.
178. Neyt NM, Mommaerts MY, Abeloos JV, De Clercq CA, Neyt LF. Problems, obstacles and complications with transpalatal distraction in non-congenital deformities. *J Craniomaxillofac Surg* 2002;30:139-43.
179. Verlinden CR, Gooris PG, Becking AG. Complications in transpalatal distraction osteogenesis: a retrospective clinical study. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:899-905.
180. Treutlein C, Swennen G, Berten JL, Schwestka-Polly R. Transpalatinale distraktion - eine alternative methode der transversalen expansion des oberkiefers. *Dtsch Zahnärztl* 2002;57:19.
181. Zahl C, Gerlach KL. Palatinaldistraktor ein innovativer ansatz für die gaumennahterweiterung. *Mund Kiefer GesichtsChir* 2002;6:446-449.
182. Gerlach KL, Zahl C. Transversal palatal expansion using a palatal distractor. *J Orofac Orthop* 2003;64:443-9.
183. Cortese A, De Cristofaro M, Papa G, Savastano G. A new transpalatal distractor device: Report of 3 cases with surgical and occlusal evaluations. *Riv Ital Chir Maxillo-Facciale* 2003;14:23.
184. Cortese A, Savastano G, Savastano M, Spagnuolo G, Papa F. New technique: Le Fort I osteotomy for maxillary advancement and palatal distraction in 1 stage. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:223-228.
185. Cortese A, Savastano M, Savastano G, Papa F, Howard CM, Claudio PP. Maxillary constriction treated by a new palatal distractor device: surgical and occlusal evaluations of 10 patients. *J Craniofac Surg* 2010;21:339-343.
186. Cortese A, Savastano M, Cantone A, Paolo Claudio PP. A new palatal distractor device for bodily movement of maxillary bones by rigid self-locking miniplates and screws system. *J Craniofac Surg* 2013;24:1341-1346.

187. Cortese A, Savastano G, Amato M, Cantone A, Boschetti C, Claudio PP. New palatal distraction device by both bone-borne and tooth-borne force application in a paramedian bone anchorage site: Surgical and occlusal considerations on clinical cases. *J Craniofac Surg* 2014;25:589-595.
188. Gerlach KL, Zahl C. Surgically assisted rapid palatal expansion using a new distraction device: Report of a case with an epimucosal fixation. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:711-713.
189. Cortese A, Savastano M, Savastano G, Claudio PP. One-Step transversal palatal distraction and maxillary repositioning: Technical considerations, advantages, and long-term stability. *J Craniofac Surg* 2011;22:1714-1719.
190. Seitz O, Landes C, Dissmann JP, Sader R, Klein CM. First experiences in maxillary arch expansion using the MWD (Maxillary Widening Device). *Mund Kiefer Gesichtschir* 2007 Dec;11(6):327-32.
191. Seitz O, Landes CA, Philipp DJ, Sader R, Klein CM. Reliable surgically assisted rapid palatal expansion by maxillary widening device. *J Craniofac Surg*. 2008 May;19(3):846-9.
192. Koudstaal MJ, van der Wal KGH, Wolvius EB, Schulten AJM. The Rotterdam Palatal Distractor: introduction of the new bone-borne device and report of the pilot study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2006;35:31-35.
193. Koudstaal MJ, Wolvius EB, Schulten AJM, Hop WCJ, van der Wal KGH. Stability, tipping and relapse of bone-borne versus tooth-borne surgically assisted rapid maxillary expansion; a prospective randomized patient trial. *Int. J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:308-315.
194. Aziz SR, Tanchyk A. Surgically assisted palatal expansion with a bone-borne self-retaining palatal expander. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:1788-1793.
195. Garreau E, Bouscaillou J, Rattier S, Ferri J, Raoul G. Bone-borne distractor versus tooth-borne distractor for orthodontic distraction after surgical maxillary expansion: The patient's point of view. *Int Orthod* 2016;14:214-232.
196. Harzer W, Schneider M, Gedrange T. Rapid maxillary expansion with palatal anchorage of the hyrax expansion screw - Pilot study with case presentation. *J Orofac Orthop* 2004;65:419-24.
197. Tausche E, Hansen L, Schneider M, Harzer W. Expansion maxillaire rapide par appui osseux avec une vis Hyrax implanto-portée : le Dresden Distractor (DD) ou Disjoncteur de Dresde. *Orthod Fr* 2008;79:127-135.
198. Tausche E, Hansen L, Hietschold V, Lagravère MO, Harzer W. Three-dimensional evaluation of surgically assisted implant bone-borne rapid maxillary expansion: A pilot study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007 Apr;131(4 Suppl):92-9.
199. Hansen L, Tausche E, Hietschold V, Hotan T, Lagravère M, Harzer W. Skeletally-anchored rapid maxillary expansion using the Dresden Distractor. *J Orofac Orthop* 2007;68:148-58.

200. Harzer W, Reußer L, Hansen L, Richter R, Nagel T, Tausche E. Minimally invasive rapid palatal expansion with an implant- supported hyrax screw. *Biomed Tech* 2010;55:39-45.
201. Lagravere MO, Gamble J, Major PW, Heo G. Transverse dental changes after tooth-borne and bone-borne maxillary expansion. *Int Orthod* 2013;11:21-34.
202. Tausche E, Deeb W, Hansen L, Hietschold V, Harzer W, Schneider M. CT analysis of nasal volume changes after surgically-assisted rapid maxillary expansion. *J Orofac Orthop* 2009;70:306-17.
203. Deeb W, Hansen L, Hotan T, Hietschold V, Harzer W, Tausche E. Changes in nasal volume after surgically assisted bone-borne rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:782-9.
204. Kunkel M, Ekert O, Wagner W. Veränderungen des nasalen atemwegs durch transversale distraktion des oberkiefers. *Mund Kiefer Gesichtschir* 1999;3:12–6.
205. Kabalan O, Gordon J, Heo G, Lagravere MO. Nasal airway changes in bone-borne and tooth-borne rapid maxillary expansion treatments. *Int Orthod* 2015 Mar;13(1):1-15.
206. Gedrange T, Köbel C, Harzer W. Hard palate deformation in an animal model following quasi-static loading to simulate that of orthodontic anchorage implants. *Eur J Orthod* 2001;23:349–54.
207. Iida S, Haraguchi S, Aikawa T, Yashiro K, Okura M, Kogo M. Conventional bone-anchored palatal distractor using an orthodontic palatal expander for the transverse maxillary distraction osteogenesis: technical note. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:8-11.
208. Park KN, Lee CY, Park IY, Kim JY, Yang B. Surgically assisted rapid palatal expansion with tent screws and a custom-made palatal expander: a case report. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2015 Mar 21;37(1):11.
209. Chen Y, Kim KA, Seo KW, Kang YG, Oh SH, Choi YS, Kim SH. A new designed expander supported by spike miniscrews with enhanced stability. *J Craniofac Surg* 2016 Mar;27(2):130-3.
210. Winsauer H, Vlachoianis J, Winsauer C, Ludwig B, Walter A. A bone-borne appliance for rapid maxillary expansion. *J Clin Orthod* 2013 Jun;47(6):375-81.
211. Winsauer H, Walter A, Jaeschke D, Winsauer C, Muchitsch AP, Wendl B. Pure bone-borne palatal expander anchored on orthodontic mini-implants Micro-4 or Micro-6 Expander. *J Stoma* 2015;68,1:6-18.
212. Lagravère MO, Carey J, Heo G, Toogood RW, Major PW. Transverse, vertical, and anteroposterior changes from bone-anchored maxillary expansion vs traditional rapid maxillary expansion: A randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:304-12.

213. Mathew A, Nagachandran KS, Vijayalakshmi D. Stress and displacement pattern evaluation using two different palatal expanders in unilateral cleft lip and palate: a three-dimensional finite element analysis. *Prog Orthod* 2016 Dec;17(1):38.
214. Carvalho Trojan L, Andrés Gonzalez-Torres L, Claudia Moreira Melo A, Barbosa de Las Casas E. Stresses and strains analysis using different palatal expander appliances in upper jaw and midpalatal suture. *Artif Organs* 2016 Dec;41(6):41-51.
215. Jain V, Shyagali TR, Kambalyal P, Rajpara Y, Doshi J. Comparison and evaluation of stresses generated by rapid maxillary expansion and the implant-supported rapid maxillary expansion on the craniofacial structures using finite element method of stress analysis. *Prog Orthod* 2017 Jan;18(16):3.
216. Möhlhenrich SC, Modabber A, Kniha K, Peters F, Steiner T, Hölzle F, Fritz U, Raith S. Simulation of three surgical techniques combined with two different bone-borne forces for surgically assisted rapid palatal expansion of the maxillofacial complex: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2017 Oct;46(10):1306-1314.
217. Kang S, Lee SJ, Ahn SJ, Heo MS, Kim TW. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:74-81.
218. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Dortbudak O, Hass R. Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clin Oral Implants Res* 2000;11:595-601.
219. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Vertical bone volume in the paramedian palate of adolescents: a computed tomography study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2007;132:783-788.
220. Karagkiolidou A, Ludwig B, Pazera P, Gkantidis N, Pandis N, Katsaros C. Survival of palatal miniscrews used for orthodontic appliance anchorage: a retrospective cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:767-772.
221. Wilmes B, Drescher D. A miniscrew system with interchangeable abutments. *J Clin Orthod* 2008;42:574-580.
222. Garib DG, Navarro R, Francischone CE, Oltramari PV. Rapid maxillary expansion using palatal implants. *J Clin Orthod*. 2008 Nov;42(11):665-71.
223. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. A mini-plate system for improved stability of skeletal anchorage. *J Clin Orthod* 2009;43:494-501.
224. Gunyuz Toklu M, Germec-Cakan D, Tozlu M. Periodontal, dentoalveolar, and skeletal effects of tooth-borne and tooth-bone-borne expansion appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015 Jul;148(1):97-109.
225. Kayalar E, Schauseil M, Kuvat SV, Emekli U, Fıratlı S. Comparison of tooth-borne and hybrid devices in surgically assisted rapid maxillary expansion: A randomized clinical cone-beam computed tomography study. *J Craniomaxillofac Surg* 2016 Mar;44(3):285-93.

226. Mosleh MI, Kaddah MA, Abd ElSayed FA, ElSayed HS. Comparison of transverse changes during maxillary expansion with 4-point bone-borne and tooth-borne maxillary expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015 Oct;148(4):599-607.
227. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. Application and effectiveness of a new mini-implant and tooth-borne rapid palatal expansion device. The hybrid-hyrax. *World J Orthod* 2010;11:323-30.
228. Hammad YM, Hafez A, Fouda M. Rapid maxillary expansion using bone anchored Hybrid Hyrax appliance in adolescent females. *Aust. J. Basic & Appl. Sci* 2016;10(18):152-161.
229. Vassar JW, Karydis A, Trojan T, Fisher J. Dentoskeletal effects of a temporary skeletal anchorage device-supported rapid maxillary expansion appliance (TSADRME): A pilot study. *Angle Orthod* 2016;86:241-249.
230. Chane-Fane C, Darqué F. Rapid maxillary expansion assisted by palatal mini-implants in adolescents - Preliminary study. *Int Orthod* 2015;13:96-111.
231. Ludwig B, Glasl B, Zorkun B, Wilmes B, Kinzinger G, Lisson J. Rapid maxillary expansion with skeletal force: The Hybrid RPE. *Kieferorthop* 2009;23:267-274.
232. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Drescher D, Wilmes B. Miniscrew-supported class III treatment with the Hybrid RPE advancer. *J Clin Orthod* 2010;44:533-539.
233. Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Drescher D. Maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination. *Prog Orthod* 2013;14(1):5.
234. Nienkemper M, Wilmes B, Franchi L, Drescher D. Effectiveness of maxillary protraction using a hybrid hyrax-facemask combination: a controlled clinical study. *Angle Orthod* 2015;85:764-770.
235. Ngan P, Wilmes B, Drescher D, Martin C, Weaver B, Gunel E. Comparison of two maxillary protraction protocols: tooth-borne versus bone-anchored protraction facemask treatment. *Prog Orthod* 2015;16:26.
236. Wilmes B, Ngan P, Liou EJ, Franchi L, Drescher D. Early class III facemask treatment with the hybrid Hyrax and Alt-RAMEC protocol. *J Clin Orthod* 2014;48:84-93.
237. Hourfar J, Kinzinger GS, Ludwig B, Spindler J, Lisson JA. Differential treatment effects of two anchorage systems for rapid maxillary expansion: a retrospective cephalometric study. *J Orofac Orthop* 2016 Sep;77(5):314-24.
238. Wilmes B, Nienkemper M, Ludwig B, Kau CH, Drescher D. Early class III treatment with a hybrid Hyrax-mentoplate combination. *J Clin Orthod* 2011;45:15-21.
239. Ludwig B, Baumgaertel S, Zorkun B, Bonitz L, Glasl B, Wilmes B. Application of a new viscoelastic finite element method model and analysis of miniscrew-supported hybrid hyrax treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:426-35.

240. Feldmann I, Bazargani F. Pain and discomfort during the first week of rapid maxillary expansion (RME) using two different RME appliances: A randomized controlled trial. *Angle Orthod* 2017 May;87(3):391-396.
241. Wilmes B, Ludwig B, Katyal V, Nienkemper M, Rein A, Drescher D. The Hybrid Hyrax Distalizer, a new all-in-one appliance for rapid palatal expansion, early class III treatment and upper molar distalization. *J Orthod* 2014 Sep;41 Suppl 1:47-53.
242. Hourfar J, Ruff CJ, Wilmes B, Ludwig B, Kanavakis G. Rapid maxillary expansion and upper-molar distalization with a miniscrew-supported hybrid appliance. *J Clin Orthod* 2016 Aug;50(8):476-484.
243. Lee KJ, Park YC, Park JY, Hwang WS. Miniscrew-assisted nonsurgical palatal expansion before orthognathic surgery for a patient with severe mandibular prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:830-9.
244. Curado MM, Suzuki SS, Suzuki H, Garcez AS. Uma nova alternativa para a expansão rápida da maxila assistida por mini-implantes usada para a correção ortopédica em paciente Classe III esquelética em crescimento. In: Junqueira JLC, Napimoga MH, organizadores. *Ciência e Odontologia casos clínicos baseado em evidências científicas*. 1a ed. Campinas: Mundi Brasil; 2015. v.1, cap.25, p.232-7.
245. Suzuki H, Moon W, Previdente LH, Suzuki SS, Garcez AS, Consolaro A. Expansão rápida da maxila assistida com mini-implantes ou MARPE: em busca de um movimento ortopédico puro. *Rev Clín Ortod Dental Press*. 2016 Fev-Mar;15(1):110-25.
246. Suzuki H, Moon W, Previdente LH, Suzuki SS, Garcez AG, Consolaro A. Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): the quest for pure orthopedic movement. *Dental Press J Orthod* 2016 July-Aug;21(4):17-23.
247. Brunetto DP, Sant'Anna EF, Machado AW, Moon W. Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental Press J Orthod* 2017 Jan-Feb;22(1):110-25.
248. Carlson C, Sung J, McComb RW, Machado AW, Moon W. Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;149(5):716-28.
249. Cunha AC, Lee H, Nojima LI, Nojima MCG, Lee KJ. Miniscrew-assisted rapid palatal expansion for managing arch perimeter in an adult patient. *Dental Press J Orthod* 2017 May-June;22(3):97-108.
250. Choi SH, Shi KK, Cha JY, Park YC, Lee KJ. Nonsurgical miniscrew-assisted rapid maxillary expansion results in acceptable stability in young adults. *Angle Orthod*. 2016 Sept;86(5):713-20.

251. Gurgel JA, Tiago CM, Normando D. Transverse changes after surgically assisted rapid palatal expansion. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2014;43:316-22.
252. Park JJ, Park YC, Lee KJ, Cha JY, Tahk JH, Choi YJ. Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew- assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study. *Korean J Orthod* 2017;47(2):77-86.
253. Mac Ginnis M, Chu H, Youssef G, Wu KW, Machado AW, Moon W. The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex: a finite element method (FEM) analysis. *Prog Orthod* 2014;15(1):52.
254. Singaraju GS, Chembet D, Mandava P, Reddy VK, Shetty SK, George SA. A comparative study of three types of rapid maxillary expansion devices in surgically assisted maxillary expansion: a finite element study. *J Int Oral Health* 2015 Sep;7(9):40-6.
255. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, Geiger M, Kilic F, Kim KB, Sander M, Böckers T, Sander C. Use of a modified expander during rapid maxillary expansion in adults: An in vitro and finite element study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:11-16.
256. Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, et al. In-vitro results of rapid maxillary expansion on adults compared with nite element simu- lations. *J Biomech* 2010;43:1237-1242.
257. Moon W, Wu KW, MacGinnis M, Sung J, Chu H, Youssef G, Machado A. The efficacy of maxillary protraction protocols with the micro-implant-assisted rapid palatal expander (MARPE) and the novel N2 mini-implant - a finite element study. *Prog Orthod* 2015;16:16.
258. Kim KB, Helmkamp ME. Miniscrew implant-supported rapid maxillary expansion. *J Clin Orthod* 2012;46:608-612.
259. Seo YJ, Chung KR, Kim SH, Nelson G. Camouflage treatment of skeletal Class III malocclusion with asymmetry using a bone-borne rapid maxillary expander. *Angle Orthod* 2015;85:322-334.
260. Seo YJ, Lin L, Kim SH, Chung KR, Nelson G. Strategic camouflage treatment of skeletal Class III malocclusion (mandibular prognathism) using bone-borne rapid maxillary expansion and mandibular anterior subapical osteotomy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149:114-26.
261. Akin M, Akgul YE, Ileri Z, Basciftci FA. Three-dimensional evaluation of hybrid expander appliances: A pilot study. *Angle Orthod.* 2016 Jan;86(1):81-6.
262. Yılmaz A, Arman-Özçırpıcı A, Erken S, Polat-Özsoy Ö. Comparison of short-term effects of mini-implant-supported maxillary expansion appliance with two conventional expansion protocols. *Eur J Orthod* 2015 Oct;37(5):556-54.
263. Lin L, Ahn HW, Kim SJ, Moon SC, Kim SH, Nelson G. Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *Angle Orthod.* 2015;85:253-262.

264. Lee HK, Bayome M, Ahn CS, Kim SH, Kim KB, Mo SS, Kook YA. Stress distribution and displacement by different bone-borne palatal expanders with micro-implants: a three-dimensional finite-element analysis. *Eur J Orthod*. 2014;36:531-40.
265. Arman-Ozcırpıç A, Yılmaz A, Polat-Ozsoy O. Maxillary expansion via palatal mini implants: a preliminary study. *Turkish J Orthod*. 2014;27:16-27.
266. Lee SC, Park JH, Bayome M, Kim KB, Araujo EA, Kook YA. Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145:638-48.
267. Park JH, Bayome M, Zahrowski JJ, Kook YA. Displacement and stress distribution by different bone-borne palatal expanders with facemask: A 3-dimensional finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:105-17.
268. Algharbi M, Bazargani F, Dimberg L. Do different maxillary expansion appliances influence the outcomes of the treatment ? *Eur J Orthod* 2017 May;9:1-10.

**DENIS Patrice – Expansion maxillaire rapide orthopédique ou assistée chirurgicalement :
évolution, intérêts et limites de l’ancrage utilisé – *Revue de littérature***

(Thèse : Chir. Dent. : Lyon : 2017.075)
N°2017 LYO 1D 075

La correction d'une insuffisance transversale maxillaire peut être réalisée au moyen d'une expansion maxillaire rapide orthopédique ou assistée chirurgicalement par la séparation des héli-maxillaires au niveau de la suture médio-palatine. Le premier distracteur a été présenté en 1860 par Angell. Ensuite, le concept de distraction ostéogénique de la suture médio-palatine a été repris et popularisé par Haas à partir de 1961, notamment pour ses bienfaits ventilatoires.

Afin d'améliorer l'hygiène et le confort du patient, de simplifier les procédures de fabrication et d'insertion du dispositif, d'en maximiser les effets orthopédiques, d'en minimiser les effets dento-alvéolaires et iatrogènes dentaires et parodontaux indésirables et de répondre aux objectifs thérapeutiques individuels, nous avons pu assister à l'émergence de différentes conceptions de l'ancrage utilisé pour l'expansion maxillaire rapide.

Les objectifs de notre travail seront de proposer une classification des différents types de distracteurs selon leur ancrage (dento-muqueux, dentaire sur bagues, dentaire sur gouttière, osseux, ostéo-dentaire et ostéo-muqueux), de décrire, au moyen d'une revue de littérature rigoureuse, leur évolution et d'en analyser les intérêts et limites. Le niveau de preuve actuellement disponible dans la littérature permettant de préconiser un dispositif pour son efficacité sera également discuté.

Rubrique de classement : Orthopédie dento-faciale

Mots clés :

- Expansion maxillaire rapide orthopédique
- Expansion maxillaire rapide assistée chirurgicalement
- Ancrage

Mots clés en anglais :

- Orthopedic rapid maxillary expansion
- Surgically assisted rapid maxillary expansion
- Anchorage

Jury :

Président :
Assesseurs :

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN
Monsieur le Professeur Jean-Jacques MORRIER
Madame le Docteur Sarah CHAUTY
Madame le Docteur Claire PERNIER

Adresse de l'auteur :

Patrice DENIS
3, rue de l'abbé rozier
69001, LYON