

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

[Année de soutenance : 2021]

N°:

THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 19 FEVRIER 2021

Par Coralyne DONCHE

Née le 31 AOUT 1993 à Lomme - France

LES APPAREILS A ANCRAGE OSSEUX PALATIN DIRECT TEMPORAIRE
MEDIAN OU PARAMEDIAN A LOCALISATION ANTERIEURE DANS LA
DISTALISATION DES MOLAIRES MAXILLAIRES

JURY

Président :

Mr le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs :

Mme le Docteur Emmanuelle BOCQUET

Mr le Docteur Kevimy AGOSSA

Mr le Docteur Louis BAILLEUL

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen	:	E. BOCQUET
Vice-Doyen	:	A. de BROUCKER
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres du jury ...

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique

Habilitation à Diriger des Recherches

Assesseur à la Recherche

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse et je vous en remercie.

Tout au long de mon cursus, j'ai beaucoup apprécié votre disponibilité et votre sympathie. Travailler à vos côtés dans le service d'ODF est toujours très agréable. Veuillez être assuré de ma plus haute considération.

Madame le Docteur Emmanuelle BOCQUET

Maître de Conférences des Universités – Praticien hospitalier des CSERD

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Orthopédie Dento-Faciale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Cliniques Spéciales Mention Orthodontie

Master 2 Recherche Biologie Santé

Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales

Certificat d'Etudes Supérieures de Biologie de la Bouche

Certificat d'Etudes Supérieures d'Orthopédie Dento-Faciale

Doyen de la faculté de chirurgie dentaire de Lille

Responsable du Département d'Orthopédie Dento-Faciale

Coordonnateur inter-régional du Diplôme d'Etudes Spécialisées d'Orthopédie Dento-Faciale

Merci d'avoir accepté de siéger dans mon jury de thèse. Votre soutien et votre disponibilité malgré vos nouvelles fonctions sont très appréciables pour moi. Je vous remercie pour votre bienveillance tout au long de mon internat. Vos précieux avis, conseils et critiques ont été très enrichissants et influencent déjà ma pratique.

Soyez assurée de ma plus grande estime à votre égard.

Monsieur le Docteur Kevimy AGOSSA

Maître de Conférences des Universités – Praticien hospitalier des CSERD

Section Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Département Parodontologie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille – mention Sciences de la vie et de la santé

Certificat d'Etudes Supérieures de Parodontologie

Master Santé publique, Services de Santé et Recherche Clinique

Ancien Assistant des Hospices Civils de Lyon

Ancien Interne en Odontologie

Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Parodontologie au CHU de Lille

C'est un réel plaisir de vous compter parmi les membres du jury de cette thèse. Cela a été très plaisant et enrichissant pour moi de travailler avec vous durant nos vacations d'urgences du confinement. Je vous exprime ici mon plus profond respect.

Monsieur le Docteur Louis BAILLEUL

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Développement, Croissance et Prévention

Département Orthopédie Dento-Faciale

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifié en Orthopédie Dento-Faciale

Je te remercie infiniment d'avoir accepté de diriger cette thèse. Ta rigueur et ton optimisme sans faille m'ont permis de mener à bien ce travail que nous avons initié ensemble.

Au-delà de cette thèse, tu continues à m'aider pas à pas pour les poses de minivis et la mise en place de « Top Jet » en clinique.

Trouve dans ce travail l'expression de ma gratitude et de ma plus profonde reconnaissance.

Je dédie cette thèse à ...

Table des matières

Introduction.....	16
1 Généralités sur la distalisation des molaires maxillaires	17
1.1 La malocclusion de classe 2.....	17
1.2 Quand distaler la molaire maxillaire ?	18
1.2.1 Indications (4).....	18
1.2.2 Contre-indications (4).....	18
1.2.3 Prérequis	19
1.3 Effets de la croissance	19
1.3.1 Réduction de la classe II chez l'enfant en cours de croissance	19
1.3.2 Distalisation molaire et éruption des deuxièmes et troisièmes molaires ..	20
1.4 Évolution des systèmes	22
1.4.1 Extra oral versus Intra oral.....	22
1.4.2 Amovibles versus Fixes	23
1.4.3 Sans renfort ancrage versus avec renfort d'ancrage	23
1.4.4 Aide à la classification des systèmes	25
2 Place de l'ancrage squelettique palatin médian ou paramédian dans la distalisation des molaires maxillaires.....	26
2.1 Place de la minivis en orthodontie	26
2.1.1 Indications des minivis	26
2.1.2 Contre-indications des minivis (23,24).....	26
2.1.3 Avantages des minivis	27
2.1.4 Inconvénients des minivis.....	28
2.1.5 Facteurs anatomiques déterminants	28
2.1.6 Stabilité des minivis.....	28
2.2 Les minivis et la distalisation des molaires maxillaires	29
2.2.1 La distalisation molaire par ancrage conventionnel	29
2.2.2 Une diversité de sites pour l'ancrage osseux	30

2.2.3	Les apports des minivis dans la distalisation molaire.....	31
2.2.4	Aspects biomécaniques des appareils supportés par minivis palatines	35
2.3	Le palais comme ancrage osseux	40
2.3.1	Arguments en faveur de l'ancrage palatin antérieur	40
2.3.2	Critères anatomiques pour le choix du placement des minivis palatines antérieures.....	41
2.3.3	Recommandations pour l'insertion des minivis palatines	47
3	Point sur les différents systèmes par glissement en 2020.....	55
3.1	Aspects biomécaniques	55
3.2	Le Distal Screw	57
3.2.1	Principes.....	57
3.2.2	Protocole (3)	60
3.2.3	Effets	61
3.2.4	Avantages et inconvénients spécifiques (3).....	63
3.3	Le MISDS	63
3.3.1	Principes.....	63
3.3.2	Protocole	64
3.3.3	Effets	65
3.3.4	Avantages et inconvénients spécifiques	66
3.4	L'AMDA.....	66
3.4.1	Principes.....	66
3.4.2	Protocole	68
3.4.3	Effets	69
3.4.4	Avantages et inconvénients spécifiques (21).....	71
3.5	Le Beneslider	71
3.5.1	Principes.....	71
3.5.2	Protocole	72
3.5.3	Évolutions	74
3.5.4	Effets	75

3.5.5	Avantages et inconvénients spécifiques	76
3.6	Le Longslider	77
3.6.1	Principes.....	77
3.6.2	Protocole	77
3.6.3	Effets	78
3.6.4	Avantages et inconvénients spécifiques	78
3.7	Le Horseshoe Jet	79
3.7.1	Principes.....	79
3.7.2	Protocole	80
3.7.3	Effets.....	80
3.7.4	Avantages et inconvénients spécifiques (3,97).....	80
3.8	Le Top Jet.....	81
3.8.1	Principes.....	81
3.8.2	Protocole (3,65)	84
3.8.3	Aspects biomécaniques spécifiques au système (100)	87
3.8.4	Effets	87
3.8.5	Avantages et inconvénients spécifiques (3,65).....	88
3.9	Autres systèmes moins utilisés.....	88
3.9.1	Le DFD sur minivis	89
3.9.2	Le Hyrax Screw	90
3.10	Synthèse des systèmes à glissement les plus utilisés en 2020	91
3.10.1	Récapitulatif des systèmes	91
3.10.2	Avantages communs	92
3.10.3	Inconvénients communs	92
3.10.4	Avantages et inconvénients spécifiques	92
Conclusion		95
Table des figures		96
Table des tableaux		100
Bibliographie		101

Introduction

La distalisation des molaires maxillaires est un objectif de traitement souvent recherché en orthodontie. Le mouvement de distalisation pur, dit « en gression », est attendu dans le recul des molaires maxillaires. Depuis longtemps les auteurs cherchent la mécanique idéale, celle qui sera facile à mettre en œuvre au fauteuil, aisément acceptée par le patient sans reposer systématiquement sur sa coopération, avec un minimum d'effets parasites sur le reste des dents, notamment sans perte d'ancrage antérieure.

Plusieurs méthodes de traitement ont été développées tout au long du XX^{ème} siècle, avec plus particulièrement les appareils de distalisation associés à un renfort d'ancrage extraoral ou intraoral (muqueux et/ou dentaire). Un nouvel essor des techniques, des mécaniques et des appareils est constaté depuis l'apparition de l'ancrage osseux. Des appareillages ancrés par minivis, résultant souvent d'évolutions d'appareils à ancrage dit conventionnel, sont développés pour tenter de répondre à l'ensemble des critères recherchés. Ceux-ci présentent deux types de mécaniques principales : la mécanique à boucle et la mécanique à glissement. De nombreux sites pouvant accueillir les minivis sont actuellement référencés.

La mécanique de glissement sur ancrage osseux palatin à localisation antérieure semble à ce jour particulièrement intéressante du fait de la fiabilité du site d'insertion, des résultats obtenus et du peu d'effets indésirables constatés. Plusieurs systèmes développés au cours des années sont basés sur ce type de mécanisme.

Le but de ce travail est de justifier le développement des systèmes à glissement sur ancrage osseux palatin à localisation antérieure au sein d'un ensemble de systèmes de distalisation déjà bien étoffé, d'évaluer l'ancrage squelettique palatin médian ou paramédian dans la distalisation molaire, et enfin de référencer les systèmes les plus aboutis qui existent sur le marché en 2020 et qui utilisent ce type de mécanique, tout en comparant leurs effets, avantages et inconvénients afin de guider l'orthodontiste dans son choix.

1 Généralités sur la distalisation des molaires maxillaires

La distalisation est définie par le dictionnaire d'orthognathodontie comme la « manœuvre ayant pour but d'éloigner une ou plusieurs dents de la médiane inter-incisive » (1).

La distalisation des molaires maxillaires trouve ses indications dans certaines dysmorphoses de classe II d'origine basale ou dentaire, selon les classifications de Ballard et d'Angle.

1.1 La malocclusion de classe 2

Les dysmorphoses de Classe II sont les anomalies les plus fréquemment traitées avec plus de 64% de la population orthodontique d'après un rapport de la HAS de 2006 (2)

La classe 2 d'Angle est caractérisée par « une occlusion distale de plus d'une demi-cuspide de la première molaire mandibulaire par rapport à la première molaire maxillaire, de chaque côté, ce qui oblige les autres dents à se placer dans la même relation » (1).

Elle peut faire suite à une perte d'ancrage des dents maxillaires, qui se mésialent sur l'arcade, et/ou correspondre à un décalage squelettique sous-jacent : la classe II squelettique de Ballard, pouvant associer ou non promaxillie et rétromandibulie.

Son traitement est étroitement lié à la période à laquelle le patient est pris en charge, à savoir son potentiel de croissance résiduel (3) :

- S'il existe encore un potentiel de croissance, une correction peut être tentée en stimulant la croissance différentielle du maxillaire et de la mandibule ;
- S'il n'existe plus de potentiel de croissance (chez un adulte ou un adolescent âgé) :
 - en cas de malocclusion légère ou modérée : l'orthodontiste essaie de compenser la malocclusion en agissant à d'autres niveaux que sur la croissance. Les mouvements ne seront alors que dento-alvéolaires, et non squelettiques :
 - il peut déplacer les molaires maxillaires distalement, puis l'ensemble des dents maxillaires,
 - il peut extraire des prémolaires et rétracter les dents maxillaires dans les espaces d'extraction,
 - il peut combiner l'avancée de l'arcade mandibulaire et la rétraction de l'arcade mandibulaire.
 - en cas de malocclusion sévère : l'orthodontiste pourra proposer une correction chirurgicale.

1.2 Quand distaler la molaire maxillaire ?

En raison de la variation individuelle de la morphologie des tissus squelettiques, dentaires et mous, les plans de traitement doivent être adaptés au diagnostic et aux objectifs de traitement de chaque patient. La distalisation molaire ne permet donc pas de traiter toutes les dysmorphoses de classe 2 d'Angle.

1.2.1 Indications (4)

- **Classe 2 d'Angle, avec ou sans subdivision associée à :**
 - une dérive mésiale des molaires seules
Elle fait souvent suite à une perte précoce des molaires temporaires ou un édentement de longue date non compensés, avec pour conséquence chez l'enfant le risque d'inclusion des canines ou prémolaires et chez l'adulte la difficulté de réhabilitation prothétique de l'espace d'édentement.
 - une dérive mésiale de l'ensemble des dents maxillaires, avec augmentation du surplomb et éventuelle proalvéolie maxillaire.
- **Classe II squelettique modérée par promaxillie sans potentiel de croissance résiduel.**
En l'absence de potentiel de croissance résiduel, il s'agit alors d'un traitement de compensation si la chirurgie orthognatique n'est pas envisagée. Cela ne correspond cependant pas à la majorité des formes cliniques de classe II, la mandibule étant responsable du décalage squelettique dans la plupart des cas.
- **Classe III squelettique nécessitant un traitement orthodontico-chirurgical.**
Il s'agit de réduire les compensations alvéolo dentaires en faisant correspondre le décalage dentaire au décalage squelettique.

1.2.2 Contre-indications (4)

- **Dysharmonie dento-maxillaire sévère** nécessitant des extractions.
- **Profil sous nasal concave avec soutien insuffisant des tissus mous labiaux.** Le recul molaire risquerait de creuser encore plus le profil du patient.
- **Sujets hyperdivergents** ayant un angle mandibulaire élevé.
Les mécaniques de distalisation ont pour la plupart comme effet secondaire d'ouvrir le schéma facial par rotation horaire de la mandibule. Cette contre-indication est relative car certains appareils à ancrage osseux permettent d'ingresser les molaires en les distalisant, ce qui a tendance à fermer le schéma facial (5).

- **Présence de la 3^{ème} molaire sur arcade ou à l'état de germe (6).**

Dans les deux cas elle réduit l'espace disponible pour la distalisation molaire.

- En cas de présence sur arcade :

Même si sa distalisation à l'aide de minivis reste possible, elle représente un facteur de résistance important à la distalisation des deux autres molaires et réduit l'espace disponible pour la distalisation molaire.

- En cas de présence à l'état de germe :

La distalisation molaire augmente la fréquence d'impaction des troisièmes molaires, ce qui peut compliquer leur extraction plus tard.

Cette contre-indication est relative, tous les auteurs ne s'accordant pas à ce sujet, il n'existe pas de consensus à l'heure actuelle sur leur extraction systématique.

1.2.3 Prérequis

- **Absence de parafunction telle que le bruxisme**, qui peut compliquer la distalisation molaire.
- **Espace nécessaire à la distalisation molaire disponible.**

Le déplacement des dents doit se faire au sein des procès alvéolaires.

- **Présence d'une gencive attachée en quantité suffisante** en distal des molaires distalées. Ellouze et Darqué (7) recommandent d'évaluer systématiquement l'épaisseur des tissus mous rétro-molaires. En cas d'excès, ces derniers recommandent de pratiquer une gingivoplastie préalable pour éviter un enfouissement de la molaire reculée.

1.3 Effets de la croissance

1.3.1 Réduction de la classe II chez l'enfant en cours de croissance

Selon Ellouze et Darqué (7), la distalisation molaire est généralement relative chez l'enfant en raison des phénomènes de croissance concomitants : il s'agira plus souvent d'une stabilisation que d'un vrai recul. Le mouvement distal serait neutralisé par le déplacement mésial dû aux différentes composantes de la croissance faciale, tandis que le développement alvéolaire de la molaire mandibulaire en haut et en avant contribuerait à la réduction de la classe II occlusale.

En effet, Björk et al. (8) ont démontré qu'entre 10 et 20 ans, en dehors de tout traitement, la première molaire maxillaire avance sagittalement en moyenne de 5 mm sur sa base,

tandis qu'entre 4 et 20 ans, la hauteur alvéolaire augmente de plus de 10 mm au niveau des prémolaires.

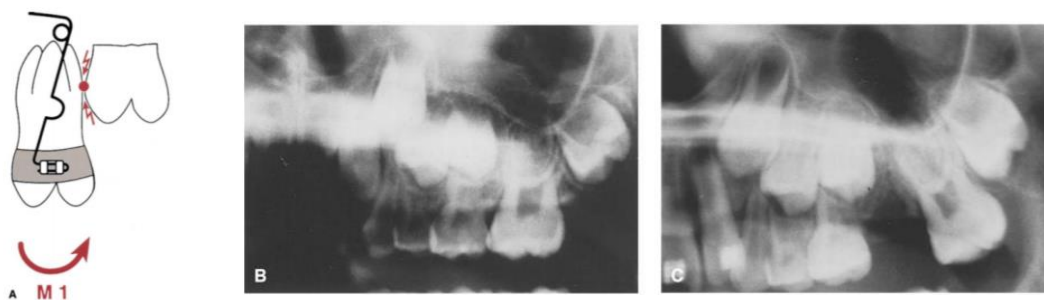
1.3.2 Distalisation molaire et éruption des deuxièmes et troisièmes molaires

L'influence de la présence des deuxièmes et troisièmes molaires sur la quantité et la qualité de la distalisation molaire fait l'objet de controverses. Lorsque les premières molaires se déplacent distalement, elles déplacent également les deuxièmes molaires, que celles-ci aient déjà évolué ou non. Il en est de même pour les troisièmes molaires : elles se déplacent distalement lorsque la deuxième molaire recule.

❖ Concernant la deuxième molaire maxillaire

La présence des deuxièmes molaires maxillaires sur arcade ou en éruption entraîne les conséquences suivantes :

- le taux de mouvement distal est moins élevé donc le temps de distalisation est augmenté sauf si la force distalisante est plus importante (9) ;
- la perte d'ancrage n'est pas ou n'est que légèrement augmentée en l'absence d'ancrage squelettique ;
- la première molaire a alors moins tendance à se distaler en version corono-distale (Figure 1).



A : Dans le plan sagittal, le germe de la seconde molaire maxillaire en direction de distalisation agit comme un point d'appui sur la première molaire.

B-C : Ces coupes de panoramiques dentaires illustrent la version distale marquée de la première molaire avant et après distalisation lorsque les secondes molaires maxillaires n'ont pas fait leur évolution.

Figure 1 : Illustration des effets du germe de la seconde molaire maxillaire non évolué sur la distalisation (10)

Les auteurs ne s'accordent pas sur le moment idéal pour distaler les molaires.

Selon Hilgers (11), les deuxièmes molaires n'entravent pas la distalisation de la première molaire, mais le traitement de distalisation est plus efficace avant leur éruption. Ceci est en accord avec les constatations de Kinzinger et al. (10) et Karlsson et al. (12).

Ellouze et Darqué (7) et Bowman (13) recommandent d'attendre l'évolution des deuxièmes molaires avant d'entreprendre le recul molaire afin de limiter la distoversion des premières molaires et d'obtenir une réponse de croissance mandibulaire plus favorable. De plus, les prémolaires évoluées peuvent dériver distalement avec les molaires, en raison de la traction des fibres trans-septales.

❖ Concernant la troisième molaire maxillaire

Kinzinger et al. (10) constatent que la version distale de la deuxième molaire maxillaire est plus importante lorsqu'un germe de troisième molaire est situé dans le sens du mouvement distal. En revanche, la distalisation des premières molaires est presque exclusivement en gression (Figure 2).



D : Dans le plan sagittal, le germe de la troisième molaire maxillaire agit comme un point d'appui sur la seconde molaire, tandis que le point de contact entre première et seconde molaire permet un mouvement distal sans version.

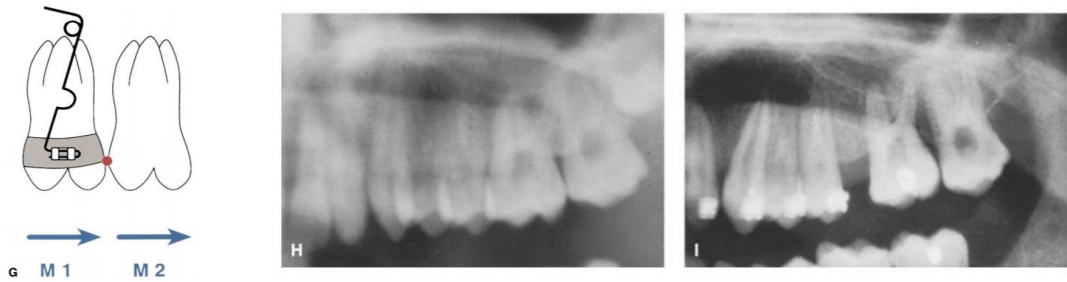
E-F : La version des deuxièmes molaires est importante lorsque la troisième molaire est située dans le sens du mouvement. En revanche, la distalisation des premières molaires est presque en gression.

Figure 2 : Illustration des effets du germe de la troisième molaire maxillaire non évolué sur la distalisation (10)

Kang et al. (14) ne constatent pas de différence sur les mouvements de la première et de la deuxième molaire maxillaire lorsque la troisième molaire n'est qu'au stade de follicule.

Pour Ellouze et Darqué (7), le recul molaire est réalisable en présence des germes des troisièmes molaires, mais il est plus limité et augmente leur risque d'impaction. Ils recommandent, en accord avec Lee et al. (6) de réaliser leur germectomie suffisamment tôt, lorsque les secondes molaires maxillaires sont évoluées. Cependant les germes ne sont pas toujours facilement accessibles pour être extraits.

Si une germectomie des dents de sagesse a été réalisée, la distalisation en quasi-gression des deux molaires est possible (Figure 3).



G-I : Après la germectomie, la distalisation est en quasi-gression pour les deux molaires.

Figure 3 : Illustration des effets de la germectomie de la troisième molaire maxillaire sur la distalisation (10)

1.4 Évolution des systèmes

Plusieurs méthodes et appareils de traitement pour la distalisation molaire sont décrits (15).

1.4.1 Extra oral versus Intra oral

❖ Les Forces Extra Orales (FEO)

Kloehn a introduit pour la première fois un casque à appui cervical en 1953. Ces forces s'avèrent efficaces dans la distalisation des molaires maxillaires, mais leurs inconvénients sont nombreux et tendent à freiner leur utilisation (16) :

- elles nécessitent une importante coopération des patients pour être efficaces ;
- elles ont un effet orthopédique chez un patient en cours de croissance : un ralentissement voire une inhibition de la croissance maxillaire, qui n'est pas toujours souhaitable ;
- elles sont inesthétiques et socialement mal tolérées ;
- elles ont divers effets secondaires tels que la version corono-distale et l'extrusion molaire ;
- elles peuvent avoir une action néfaste sur la colonne cervicale suivant leur point d'application.

❖ Les Forces Intra Orales

Outre les mécanismes inter-maxillaires majoritairement représentés par les tractions inter maxillaires ou inter arcades (TIM/TIA), une grande variété de mécanismes intra-maxillaires de non-coopération a été développée depuis les années 1970 pour améliorer la distalisation molaire. Ils comprennent deux éléments :

- les **composants actifs** : ils distalent les molaires ;

- l'**unité d'ancrage** : elle compense les systèmes de forces réciproques. Elle consiste souvent en une combinaison d'ancrage dentaire et muqueux. Plus récemment, des conceptions d'ancrage osseux avec implants palatins et minivis sont décrites.

1.4.2 Amovibles versus Fixes

Les forces intra orales amovibles regroupent des systèmes fixes et des systèmes amovibles, comme les plaques palatines, les aligneurs et les tractions inter-arcades (TIA). Même si les effets de ces systèmes sont concluants, leur efficacité est soumise à la coopération du patient.

Pourquoi un dispositif ne relevant pas de la coopération du patient ?

Le manque de coopération du patient est l'un des principaux problèmes des traitements orthodontiques, avec pour possibles conséquences :

- l'allongement de la durée du traitement ;
- l'altération de l'intégrité des dents et du parodonte ;
- la nécessité de réévaluation du plan et des objectifs de traitement avec recours potentiel aux extractions dentaires ;
- une frustration pour le patient ;
- un stress supplémentaire pour le praticien.

Pour ces raisons, un dispositif fixe présente un intérêt chez un patient dont la compliance est limitée.

1.4.3 Sans renfort ancrage versus avec renfort d'ancrage

Pourquoi un dispositif avec renfort d'ancrage ?

Au cours des dernières décennies, de nombreux dispositifs de non-coopération ont été introduits. Cependant, leur utilisation entraîne dans la plupart des cas :

- une **perte d'ancrage antérieure**, pendant la phase de distalisation molaire :
 - o un mouvement vers l'avant et une proversion des dents antérieures,
 - o une version corono-distale des molaires,
- une **perte d'ancrage postérieure**, après la distalisation au cours de la phase de rétraction des dents antérieures :
 - o une mésialisation des molaires.

Un renfort d'ancrage est donc conseillé pour la distalisation des molaires maxillaires. Cependant, même avec un renfort d'ancrage, la plupart des appareils conventionnels

produisent des effets secondaires indésirables manifestés par une perte d'ancrage antérieure.

Plusieurs types de renfort d'ancrage existent :

❖ l'ancrage dentaire

Il se réalise en solidarissant plusieurs unités dentaires afin d'augmenter leur résistance au déplacement induit par les forces réciproques distalisantes.

❖ l'ancrage muqueux

Un bouton palatin en acrylique réduit les effets des forces réciproques, mais cet appareil subit la résilience des tissus mous et n'est donc pas toujours complètement stable. De plus, il altère l'hygiène buccale dans la zone palatine, source d'inflammation muqueuse.

❖ l'ancrage musculaire

La tonicité musculaire peut être sollicitée pour déplacer les dents. C'est par exemple le cas d'un lip bumper solidarisé sur les premières molaires. Cependant ceci requiert une acceptation et une tonicité générale de la part de l'enfant qui doit contracter la lèvre supérieure pour obtenir un effet qui reste limité.

❖ l'ancrage osseux

Ces dernières années, des Dispositifs d'Ancrage Temporaires squelettiques (TAD) ont été intégrés dans les appareils de distalisation pour éviter la perte d'ancrage. Divers sites d'insertion pour les mécaniques de distalisation utilisant des TAD ont été recommandés :

- les sites alvéolaires,
- les sites palatins,
- les sites zygomatiques.

L'ancrage squelettique peut être assuré par des implants palatins du type Orthosystem® (17), des systèmes de mini-plaques comme le Skeletal Anchorage System® (18), des plaques de Bollard et le Zygoma Gear Appliance (ZGA) (19), ou des minivis orthodontiques (20). La force orthodontique peut être appliquée directement de l'ancrage osseux (ancrage dit direct) ou indirectement via des dents solidarisées à l'ancrage osseux (ancrage dit indirect). Au niveau palatin, la localisation de l'ancrage osseux peut être antérieure ou postérieure.

Actuellement, les seules approches qui ne sont pas associées à une perte d'ancrage antérieure sont les forces extra orales et les renforts d'ancrage squelettique (21).

1.4.4 Aide à la classification des systèmes

Face à la diversité des systèmes existants, une classification des différentes techniques de distalisation des systèmes peut être proposée (Figure 4).

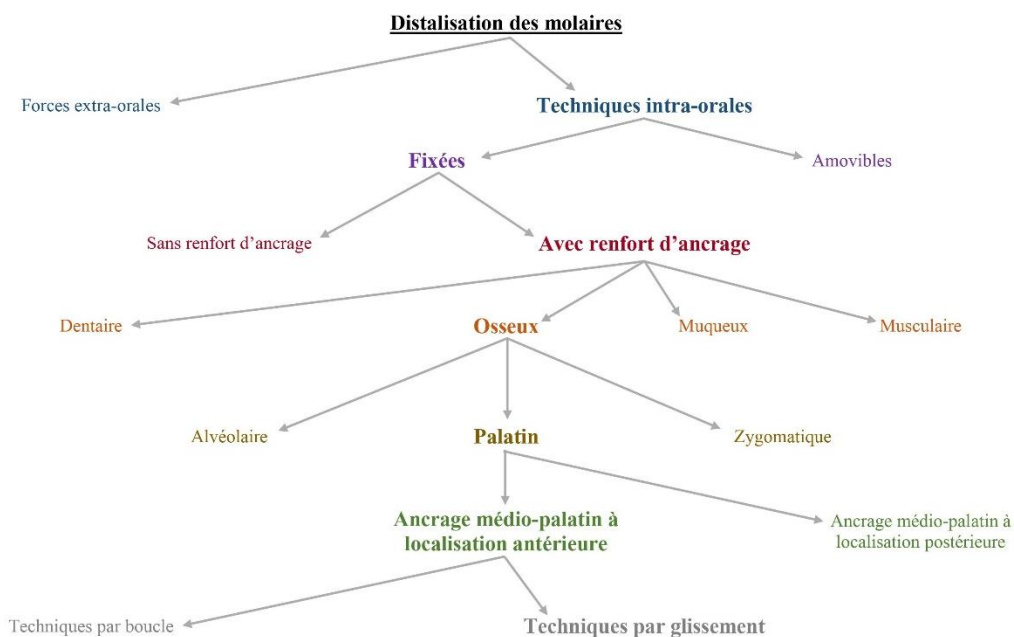


Figure 4 : Proposition de classification des techniques de distalisation molaire maxillaire (schéma personnel)

2 Place de l'ancrage squelettique palatin médian ou paramédian dans la distalisation des molaires maxillaires

2.1 Place de la minivis en orthodontie

Les minivis sont des dispositifs métalliques trans-gingivaux, vissées dans l'os mais non ostéo intégrées, qui procurent un point d'ancrage squelettique temporaire absolu au maxillaire ou à la mandibule, permettant des mouvements orthodontiques (1,20). Contrairement à l'implant, son ostéo-intégration n'est pas recherchée.

Depuis leur avènement en 1997, elles sont devenues un moyen de traitement orthodontique d'appoint couramment utilisé en raison de leur polyvalence biomécanique, de leur caractère invasif minimal et de leur faible coût.

2.1.1 Indications des minivis

Depuis leur invention, les minivis ont été utilisées dans un large éventail de cas nécessitant un **renfort d'ancrage**, comme la correction de la supraclusion, la fermeture d'espaces d'extractions, l'extrusion et le redressement de molaires, la distalisation des molaires maxillaires et mandibulaires, ou encore la correction d'anomalies squelettiques qui auraient nécessité une intervention chirurgicale orthognatique (22).

2.1.2 Contre-indications des minivis (23,24)

Elles peuvent être générales (si l'état médical du patient n'est pas compatible avec l'acte chirurgical), locales (si le site anatomique ne se prête pas à recevoir une minivis) ou orthodontiques (relatives à la biomécanique du mouvement souhaité).

❖ Contre-indications générales (23) :

- Patient à risque hémorragique : cirrhose hépatique, troubles de la coagulation, médicaments antiagrégants ou anticoagulants ;
- Patient à risque infectieux : diabète non équilibré, traitement immunosuppresseur ;
- Déficit immunitaire congénital ou acquis ;
- Patient à haut risque d'endocardite infectieuse ;
- Pathologie osseuse métabolique ;
- Prise de médicaments susceptibles d'entraver la cicatrisation gingivale et osseuse (biphosphonates, immunomodulateurs, antiépileptiques) ;

- Absence de coopération du patient ;
- Tabagisme.

- ❖ Contre-indications locales :
- Qualité et quantité d'os insuffisantes ;
- Parodontite non stabilisée ;
- Hygiène bucco-dentaire insuffisante ;
- Pathologie des muqueuses buccales : lichen plan, kératose ;
- Risque d'ostéoradionécrose.

- ❖ Contre-indications orthodontiques :
- Inadéquation avec la biomécanique des mouvements souhaités ;
- Espace inter-radicaire insuffisant.

2.1.3 Avantages des minivis

Une revue de littérature réalisée dans le cadre d'une thèse d'exercice en 2013 évalue l'intérêt des minivis dans la prise en charge orthodontique par rapport au système conventionnel d'ancrage (25). Les avantages sont les suivants :

- « Ancrage absolu » : il s'agit d'un ancrage squelettique, il n'y a pas de mouvement indésirable des dents d'ancrage voisines tant que la minivis est stable ;
- Coopération du patient non requise, hormis pour les manœuvres d'hygiène buccale et la pose ;
- Confortables, bien tolérées par les patients ;
- Mise en œuvre aisée et simplicité d'usage : leur insertion et leur retrait ne nécessitent aucune intervention chirurgicale invasive particulière et peut être réalisée directement au fauteuil ;
- Insertion possible à divers endroits du maxillaire et de la mandibule ;
- Possibilité de faire coïncider la ligne d'action de la force orthodontique et le niveau du centre de résistance des dents à déplacer : cela crée un mouvement dentaire de translation, diminuant les effets parasites ;
- Réduction du temps de traitement global :
 - Action permanente de l'ancrage vissé, contrairement aux Forces Extra Orales,
 - Possibilité de mise en charge immédiate après leur pose ;
- Discrètes et esthétiquement acceptables ;

- Taux de réussite élevé ;
- Coût relativement faible comparativement à d'autres méthodes d'ancrage osseux type miniplaques ou implants orthodontiques.

2.1.4 Inconvénients des minivis

L'utilisation de minivis peut être associée à certaines complications que le clinicien doit prendre en considération (20) :

- Dommages aux racines dentaires ou aux tissus adjacents (sinus maxillaire, nerfs, éléments vasculaires...) suite à une mauvaise insertion ;
- Irritation ou inflammation des tissus environnants avec pour conséquence un risque d'échec accru de la minivis, en particulier chez les patients ayant une mauvaise hygiène buccale ;
- Risque de fracture de la minivis ;
- Risque de mobilité et de désinsertion de la minivis ;
- Coût supplémentaire pour le patient dans les cas où la minivis est posée par un chirurgien.

2.1.5 Facteurs anatomiques déterminants

Il existe une diversité de sites pouvant accueillir les minivis. Ceux-ci doivent tenir compte des conditions anatomiques locales du site receveur.

Baumgaertel et al. (26) recensent les facteurs anatomiques à prendre en compte lors de la pose de minivis : les facteurs osseux, ceux relevant des tissus mous et les structures vulnérables (Tableau 1).

Tableau 1 : facteurs anatomiques à prendre en compte pour le placement d'une minivis (26)

Facteurs osseux	Facteurs « Tissus mous »	Structures vulnérables
- Épaisseur corticale de l'os	- Qualité de la muqueuse (attachée ou libre)	- Racines
- Hauteur d'os	- Épaisseur tissulaire	- Nerfs
- Densité minérale osseuse	- Mobilité	- Vaisseaux sanguins
	- Tension (proximité d'un frein)	- Cavité nasale et sinusienne

2.1.6 Stabilité des minivis

La stabilité des minivis est une caractéristique indispensable à obtenir pour le succès de la thérapeutique orthodontique. La **stabilité primaire**, ou stabilité mécanique initiale, est

le facteur essentiel de la stabilité d'une minivis à long terme. Elle conditionne également la qualité de la cicatrisation (23).

En 2011, Lim et al. (27) observent un taux de réussite global des minivis à 1 semaine de 93,1% tous sites confondus. La zone palatine médiane donne la meilleure stabilité comparativement aux autres sites d'insertion. Ils notent également un taux de réussite 3,6 fois plus élevé pour les minivis posées par les cliniciens ayant déjà posé au moins 20 minivis. Il y a donc, en plus du **facteur « site d'insertion »**, le facteur **« expérience de l'opérateur »** qui intervient.

Schätzle et al. (28) et Crismani et al. (22) ont tous deux réalisé une méta-analyse évaluant le taux de survie global des minivis à 84%. La période de mise en charge et de cicatrisation n'était pas significative dans les taux de réussite. Ceci est en accord avec les résultats obtenus par Hourfar et al. en 2017 (29).

Crismani et al. (22) dans leur revue systématique sur l'usage des minivis en orthodontie concluent que pour maximiser leur stabilité, celles-ci doivent avoir un **diamètre d'au moins 1,2 mm et une longueur d'au moins 8 mm.**

Cinq stratégies sont proposées pour améliorer les taux de réussite des minivis (30):

1. Sélectionner le site d'insertion optimal ;
2. Éviter le contact direct des racines avec les minivis ;
3. Éviter de placer une minivis dans la trajectoire prévue du mouvement dentaire ;
4. Utiliser des minivis reliées entre elles pour éviter les tendances au basculement et à la rotation dues au couple de force développé ;
5. Utiliser des minivis dont la longueur et le diamètre sont suffisants.

2.2 Les minivis et la distalisation des molaires maxillaires

2.2.1 La distalisation molaire par ancrage conventionnel

Depuis la fin des années 1970, divers appareils fixes avec renfort d'ancrage intra-arcade sont décrits comme une alternative aux forces extra orales. Leur principal avantage est qu'ils **agissent en permanence** et sont **indépendants de l'observance du patient.**

Cependant ils présentent plusieurs inconvénients :

- Une hygiène plus difficile (par exemple avec l'appui muqueux par bouton de Nance) ;
- Des contre-indications suivant la phase de dentition (par exemple pour le renfort d'ancrage dentaire en cas d'évolution des prémolaires concomitante) ;

- Une perte d'ancrage non négligeable au niveau du secteur antérieur.

Une revue de la littérature de 2008 menée par Kinzinger et al. (15) compare à travers 22 études l'efficacité, tant quantitative que qualitative, de divers types d'appareils avec ancrage intra-maxillaire non osseux pour la distalisation molaire (*Pendulum de Hilgers, Pendulum K, systèmes aimantés ou à ressorts, Jones Jig, Distal Jet et « First Class Appliance »*). Les résultats montrent :

- une distalisation molaire de 1,4 à 6,1 mm suivant l'appareil utilisé, avec une moyenne de 2,9 mm ;
- une perte d'ancrage :
 - dans la zone des incisives avec une mésialisation variant de 0,25 à 3,7 mm. Les incisives sont proversées de 0,6° à 12°. Ces effets sont augmentés lorsque seules deux dents sont incluses dans l'unité d'ancrage.
 - dans la zone des premières prémolaires avec une mésialisation variant de 1,05 à 3,35 mm.
- sur l'ensemble de l'espace créé dans le plan sagittal, la proportion d'espace due au recul molaire est évaluée de 35 à 81%, le reste de l'espace gagné est donc dû à la perte d'ancrage des prémolaires et du secteur antérieur maxillaire ;
- une version corono-distale de la molaire, variant de 1° à 14,5° ;
- des mouvements verticaux des molaires variant suivant les appareils :
 - une ingression molaire jusqu'à 1,7 mm pour le pendulum d'Hilgers,
 - une égression molaire jusque 1,6 mm pour le Jones Jig ;
- des mouvements verticaux mineurs sur les prémolaires et incisives, considérés comme peu significatifs cliniquement.

Pour prévenir cette perte d'ancrage, la distalisation molaire peut s'accompagner d'un renfort d'ancrage squelettique fixé sur les structures squelettiques environnantes à l'aide de **dispositifs d'ancrage temporaire** (les « TAD's »), tels que les implants endo-osseux, les miniplaques et les minivis. Les implants orthodontiques et les miniplaques présentent l'inconvénient de nécessiter une chirurgie supplémentaire pour leur placement et leur dépose, ils restent également assez coûteux, contrairement aux minivis.

2.2.2 Une diversité de sites pour l'ancrage osseux

De nombreuses zones d'ancrage existent pour le recul des molaires maxillaire :

- Les zones inter-radicaire (os alvéolaire palatin ou vestibulaire) ;
- La tubérosité maxillaire ;

- L'arcade zygomatique adjacente au maxillaire ;
- Le palais dur.

Bien que pouvant être une technique de choix pour certains cas orthodontiques, la pose de minivis inter-radicaux dans l'os alvéolaire comme technique d'ancrage pour le recul molaire peut poser les problèmes suivants (31):

- Risque d'endommager les racines ou le parodonte ;
- Possibilité de contact minivis-racine, au cours de l'insertion chirurgicale de la minivis ou lors du déplacement dentaire ;
- Risque de rupture de vis lors de sa mise en place, car les dimensions des vis sont plus petites pour s'adapter aux espaces inter-radicaux étroits ;
- Un taux de perte variable suivant les auteurs, pouvant atteindre 25% (32).

La tubérosité ne peut pas être considérée comme entièrement sûre, car la troisième molaire peut se trouver incluse et des couches épaisses de gencive peuvent parfois empêcher une insertion réussie (31).

L'arcade zygomatique adjacente au maxillaire présente une bonne accessibilité, mais augmente le risque de perforation du sinus maxillaire (33) et nécessite la mise en place d'une mini-plaque.

Le palais dur présente une alternative sûre dans le positionnement des minivis comparativement aux sites d'insertions précédemment cités.

Les deux sites les plus couramment utilisés à ce jour pour l'insertion des minivis sont les zones inter-radicaire et palatine.

2.2.3 Les apports des minivis dans la distalisation molaire

Les minivis représentent, d'un point de vue biomécanique pour la distalisation des molaires maxillaires :

- Un **système de force efficace** : le vecteur de force se rapproche du centre de résistance de la dent à déplacer, évitant ainsi les mouvements de version et favorisant la gression ;
- Un **ancrage stable** : la notion d'ancrage absolu est controversée dans la littérature.

Une méta-analyse de 2013 (34) compare les quantités de distalisation et de perte d'ancrage des méthodes d'ancrage conventionnelles et squelettiques dans la correction d'une malocclusion de classe II avec distaliseurs intra-oraux (Tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs moyennes du déplacement sagittal des molaires et prémolaires selon le type d'ancrage lors du recul molaire d'après Grec et al. (34)

	Ancrage conventionnel	Ancrage squelettique
Quantité de recul molaire	3,34 mm	5,10 mm
Quantité de mouvement sagittal des prémolaires	Mésialisation de 2,3 mm	Distalisation de 4,01 mm

Il y a donc des preuves chiffrées concernant l'efficacité de la distalisation pour les deux types d'ancrage, mais l'ancrage squelettique présente l'avantage de ne pas induire une perte d'ancrage antérieure, avec au contraire une distalisation parfois spontanée des prémolaires.

2.2.3.1 *Minivis inter radiculaires*

Le placement de minivis inter-radiculaires est l'une des approches les plus couramment utilisée pour fournir un ancrage squelettique. Cependant, les minivis insérées dans l'espace inter-radiculaire peuvent entraver le mouvement des dents lorsque les dents adjacentes sont déplacées dans une direction antéro-postérieure : une grande amplitude de mouvement distal molaire est difficile à réaliser avec des minivis ainsi placées.

L'insertion des minivis dans l'os alvéolaire peut se faire côté vestibulaire ou côté palatin.

❖ Côté vestibulaire

Yamada et al. (35) estiment à 3 mm la quantité de distalisation maximale de la molaire avant d'obtenir un contact radiculaire iatrogène avec la minivis placée dans l'espace inter-radiculaire entre la deuxième prémolaire et la première molaire lors de la rétraction en masse de l'arcade maxillaire (Figure 5).

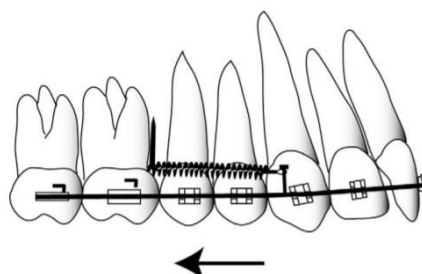


Figure 5 : mécanique de distalisation décrite par Yamada et al. (35)

Un recul séquentiel, c'est-à-dire dent par dent est également possible (molaires puis secondaire prémolaire puis première prémolaire puis canine), mais cela augmente le temps de traitement.

❖ Côté palatin

Un second site d'insertion possible au niveau alvéolaire est l'espace inter-radicaire palatin, notamment entre la première molaire et la seconde prémolaire maxillaire, étant donné que l'espace inter-radicaire est important à ce niveau.

Différents systèmes ont été développés, et notamment le système MGBM (Figure 6). Le MGBM selon Mariani et al. (36) une distalisation moyenne de 5,9 mm en 7 mois, soit 0,84 mm de recul par mois. Il se compose :

- d'un système d'ancrage :
 - une barre transpalatine fixée aux premières prémolaires, reliée à 2 minivis inter-radicales positionnées entre la première molaire et la seconde prémolaire maxillaire ;
- de deux forces distalisantes côté vestibulaire :
 - un arc sectionnel en acier .016 x .022 inch qui relie la première prémolaire à la première molaire maxillaire, un ressort en compression y est glissé,
 - un arc sectionnel en Niti .018 x .025 inch qui s'insère entre les brackets de la première prémolaire maxillaire et de la seconde molaire maxillaire, d'une longueur majorée de 6 mm par rapport à la distance entre ces deux éléments.

Une fois la distalisation molaire obtenue, l'appareil est déposé pour pouvoir rétracter les prémolaires, canines et incisives, à l'aide de deux nouvelles minivis insérées dans l'os alvéolaire vestibulaire en mésial des premières molaires maxillaires.

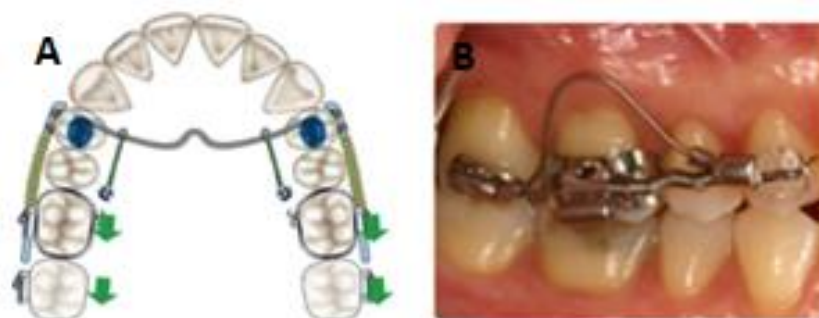


Figure 6 : Le système MGBM en vue schématique palatine (A) et en vue endobuccale vestibulaire (B) (36)

❖ Comparaison des effets des mécaniques sur minivis inter-radicales vestibulaires et palatines

Ces effets sont illustrés sur la Figure 7.

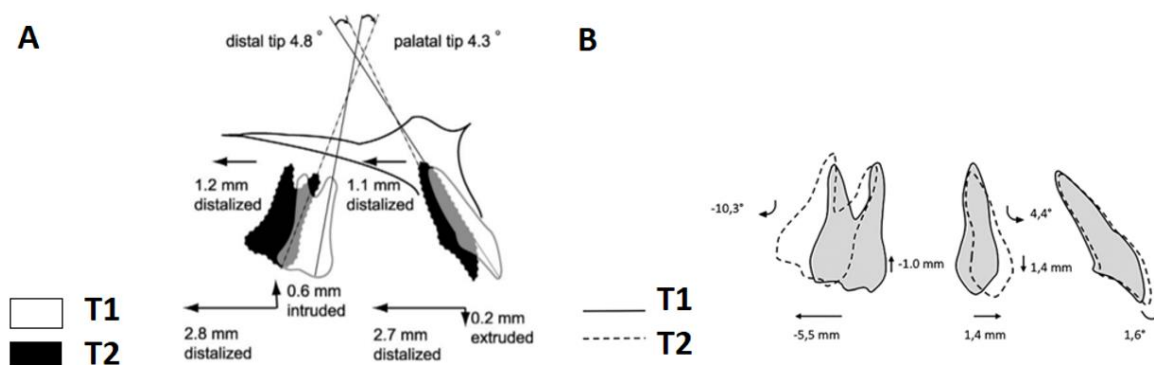


Figure 7 : Représentation graphique de la superposition maxillaire montrant les changements dentoalvéolaires avant (T1) et après (T2) distalisation par minivis inter-radulaire vestibulaire et mécanique de distalisation en masse (A) (35) ou avec minivis inter-radulaire palatine et système MGBM (B) (37)

2.2.3.2 *Minivis palatines*

Une méta-analyse de 2018 comparant 10 études évalue les effets quantitatifs des appareils supportés par minivis palatines posées en paramédian dans la distalisation molaire maxillaire en cas de malocclusion de classe II (38). Différents systèmes de distalisation molaire ancrés sur minivis sont examinés, agissant par mécanique de glissement ou de boucle. Les auteurs en concluent que ces systèmes sont efficaces pour la distalisation des molaires, avec :

- une distalisation des molaires allant de 2,6 mm à 6,4 mm suivant l'appareil utilisé :
 - Ces résultats sont en accord avec ceux de la méta-analyse de Fudalej et al. (39) sur les systèmes de distalisation molaire avec ancrage osseux qui observent une distalisation molaire de 3,3 à 6,4 mm. La vitesse moyenne de mouvement est de 0,7 mm par mois.
- un mouvement distal des prémolaires (variant de -1,75 mm à -5,4 mm) et un mouvement distal ou mésial des incisives (variant de -0,59 mm à + 1,07 mm) pour 7 des 10 études.
 - La distalisation spontanée des prémolaires et des incisives est attribuée au fait que les forces réactives résultantes des appareils sont supportées par une minivis intra-osseuse, les prémolaires libres de tout attachement dérivent distalement par l'action des fibres transeptales pendant la période de distalisation.
 - La mésialisation cliniquement significative des incisives ne concernait qu'une étude sur le système BAPA (Bone Anchored Pendulum Appliance). Cette valeur était en contradiction avec une autre étude

référéncée dans la méta-analyse sur ce système, décrivant un recul incisif de 0,1 mm.

Concernant les 3 autres études : 2 n'ont pas évalué ce mouvement, et 1 repose sur un ancrage mixte : osseux et dentaire (le distal jet renforcé par ancrage osseux) (40).

- une perte d'ancrage minimale ;
- une version corono-distale des molaires variant de 1,65° à 11,3° ;
 - o Cette version est réduite lorsque la force de distalisation est appliquée en palatin en regard du centre de résistance de la molaire. Les mécaniques à boucle semblent présenter les plus grands effets de version parasite.
- un mouvement vertical d'égression molaire minime variant de 0,1 mm à 1,4mm, sauf pour l'appareil à pendulum soutenu par une minivis qui montre une extrusion des molaires maxillaires de 0,1 mm à 2,7 mm.

2.2.4 Aspects biomécaniques des appareils supportés par minivis palatines

2.2.4.1 *Ancrage direct ou indirect*

Il est nécessaire d'utiliser un ancrage stable non seulement pendant la distalisation pour empêcher le mouvement mésial et la proversion des dents antérieures, mais également après la distalisation pendant la rétraction des dents antérieures afin d'empêcher le mouvement mésial des premières molaires maxillaires.

Deux modalités d'utilisation d'ancrage sur minivis palatines existent pour distaler les molaires maxillaires : l'**ancrage direct** ou l'**ancrage indirect**.

❖ En ancrage indirect

Les minivis ancrent les premières ou les secondes prémolaires dans leur position, et une force distalisante est appliquée depuis les prémolaires vers les molaires maxillaires (Figure 8A). Deux étapes sont donc nécessaires.

→ Inconvénients :

- Une mésialisation des prémolaires et du bloc antérieur est éventuellement possible simultanément à la distalisation molaire en cas d'échec de la minivis ;
- Après distalisation molaire, un second appareil doit être fabriqué pour la distalisation des prémolaires et des dents antérieures pour éviter la mésialisation des molaires ;
- Pas de distalisation spontanée des prémolaires.

❖ En ancrage direct

Les minivis sont reliées aux premières molaires maxillaires et une force leur est transmise afin de les distaler (Figure 8B). Une seule étape est nécessaire.

→ Avantages :

- Distalisation globale des secteurs latéraux ;
- Pas de perte d'ancrage ;
- Pas de nécessité de concevoir un autre appareil.

Un ancrage direct semble donc préférable (41).

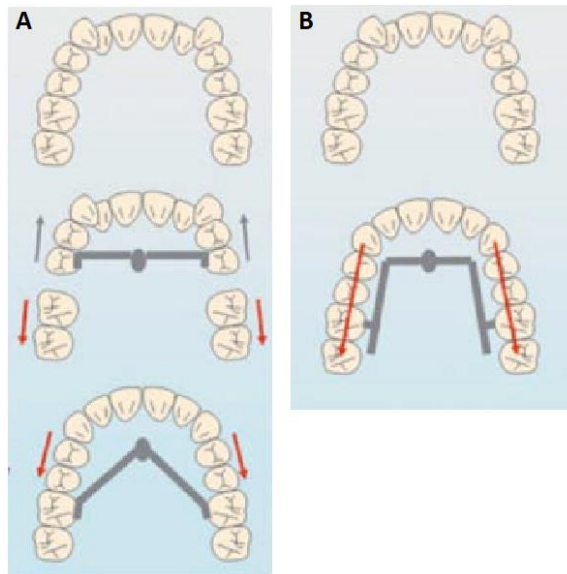


Figure 8 : Schéma des conséquences biomécaniques de la distalisation par ancrage osseux palatin indirect (A) et direct (B) (42)

Cozzani et al. (37) comparent les effets obtenus suite à la distalisation des molaires maxillaires par un appareil supporté par ancrage osseux indirect (le MGBM) et par ancrage osseux direct (le Distal Screw). L'appareil à ancrage osseux indirect entraîne une perte d'ancrage antérieure, tandis que l'appareil à ancrage osseux direct révèle au contraire un début de distalisation des prémolaires et une rétroversion incisive (Figure 9).

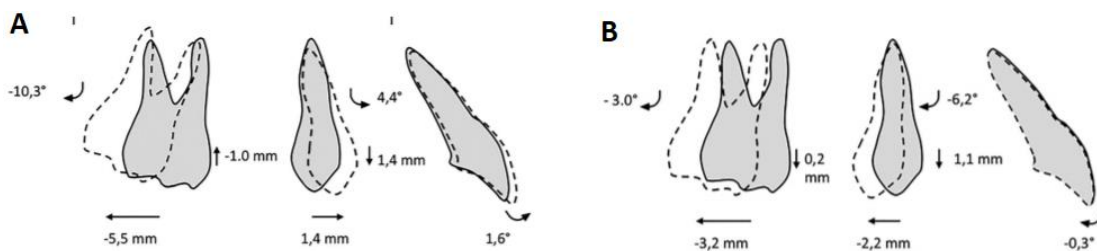


Figure 9 : schématisation des superpositions obtenues avant (trait plein) et après distalisation (trait pointillé) chez les patients ayant bénéficié du système MGBM (A) ou du Distal Screw (B) (37)

2.2.4.2 *Avantages biomécaniques des systèmes supportés par minivis comparativement aux autres systèmes de distalisation*

Le choix de la biomécanique utilisée lors de la distalisation molaire maxillaire doit toujours être réfléchi, afin de produire le mouvement souhaité avec le moins de mouvements parasites possible.

Le **centre de résistance** des molaires maxillaires est situé approximativement à la trifurcation de leurs racines dans le plan vertical, et au centre de la couronne dans le plan transversal (43).

Lorsque la ligne d'action de la force distalisante se situe au niveau occlusal ou au niveau de la couronne dentaire (donc en dessous du centre de résistance des molaires maxillaires), le mouvement distal des dents s'accompagne d'un **basculement distal de la couronne (version corono-distale)** plutôt que d'un mouvement en gression de la dent. Cela nécessite par la suite plus de temps et d'efforts pour corriger l'axe des racines molaires. Aussi, pendant la phase suivante de rétraction des dents antérieures, il peut y avoir une perte d'ancrage des molaires précédemment distalées qui se mésialent.

Lorsque la ligne d'action de la force distalisante passe par le centre de résistance des molaires maxillaires, un **mouvement corporel distal est attendu, dit « en gression »**.

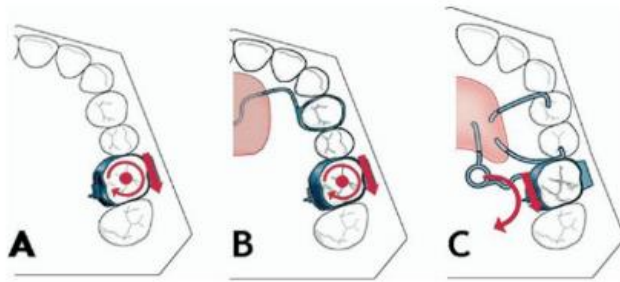
Il semble donc important d'utiliser des systèmes de forces situées plus haut dans le palais afin d'éviter la version corono-distale des molaires lors de la distalisation.

De plus, en fonction du point d'application de la force (palatine ou vestibulaire), des rotations des couronnes molaires peuvent apparaître. Ces rotations peuvent être anticipées pendant la distalisation sur certains types d'appareils.

❖ Ancrage par FEO

Le point d'application de la force des FEO et de la plupart des dispositifs de distalisation de non-compliance est situé occlusalement à leur centre de résistance.

Lorsque des forces extra orales sont utilisées pour distaler les molaires maxillaires, une version corono-distale et une rotation mésio-vestibulaire de la couronne molaire se produisent (Figure 10A). L'effet vertical d'égression ou d'ingression de la molaire dépend du point d'application extra-oral de la force (pariétal, occipital, cervical) (44).



*A : usage de forces extra-orales
 B : usage d'appareils de distalisation molaire fixés à système de force vestibulaire
 C : usage d'appareils de distalisation molaire fixés à système de force palatine par boucle (ex : pendulum)*

Figure 10 : Schémas biomécaniques en vues occlusales des forces de distalisation, comparant plusieurs types de systèmes (44)

❖ Ancrage muqueux et dentaire

Les appareils de distalisation de non-coopération à ancrage muqueux et dentaire présentent les mêmes mouvements parasites indésirables, variant selon les appareils, avec notamment une mésialisation et une version corono-mésiale des prémolaires et des canines, et une proversion incisive (Figure 10 B & C et Figure 11).

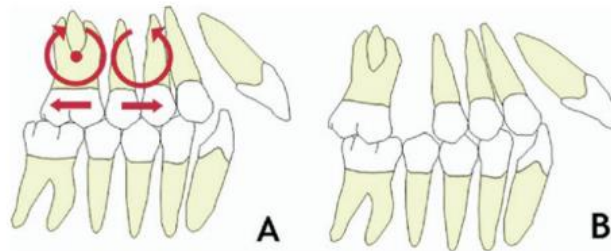


Figure 11 : Schémas biomécaniques en vues sagittales avant (A) et après (B) distalisation molaire par appareil de non complianc à ancrage muqueux et dentaire (44)

Le point d'application de la force de certains appareils de distalisation molaire de non complianc est vestibulaire (Figure 10 B). Pour d'autres comme le pendulum, le distal jet, le Keles Slider, etc... le point d'application est palatin (Figure 10 C). Chacune de ces configurations entraîne une rotation des molaires maxillaires. Cependant, cette rotation est beaucoup plus prononcée avec les appareils de type pendulum, car leur mécanique à boucle provoque non seulement une rotation méso-vestibulaire des molaires, mais les déplace également en palatin, avec pour conséquence une constriction de l'arcade maxillaire postérieure et une tendance aux articulés inversés.

❖ Ancrage par minivis

La distalisation molaire sur minivis peut être réalisée selon deux types de mécaniques (Figure 4) :

- Soit une **mécanique par boucle** ;
- Soit une **mécanique par glissement** :
 - à l'aide de ressorts en traction ou compression,

- à l'aide de chainettes élastomériques.

Technique par boucle

Les appareils basés sur ce mécanisme d'action regroupent le pendulum et ses dérivés à ancrage osseux (GISP « Graz implant supported pendulum », BAPA « Bone Anchored Pendulum Appliance », Pendulis). La force de distalisation est générée par des fils sectionnels incorporant une boucle activée en tension.

- Avantages :
 - Permet une distalisation sans frottement,
 - Systèmes largement connus et utilisés, présentant un bon recul clinique.
- Inconvénients :
 - Étape de laboratoire souvent indispensable pour la confection de l'appareil,
 - Déplacement distal de la molaire associé à une version corono-distale (15).

Ces appareils restent très utilisés et cet effet parasite peut s'avérer intéressant dans le cas de recul nécessitant simultanément un redressement de l'axe molaire.

Technique par glissement

D'autres approches sont basées sur la mécanique de glissement en utilisant un fil de guidage rigide pour empêcher les couronnes des molaires de se verser distalement.

- Avantages :
 - Mouvement en quasi gression (45) signant un bon contrôle des effets parasites du fait de la rigidité des systèmes,
 - Étape de laboratoire non indispensable, certains systèmes préfabriqués sont directement adaptables en bouche,
 - Transformation possible de la plupart des systèmes pour permettre la distalisation du bloc antérieur.
- Inconvénients :
 - Perte importante des forces exercées due aux frictions pour beaucoup de systèmes utilisant un système de guide rigide (cela tend à diminuer avec le développement de mécanismes comme le TopJet),
 - Coût de certains systèmes préfabriqués.

2.3 Le palais comme ancrage osseux

2.3.1 Arguments en faveur de l'ancrage palatin antérieur

C'est en particulier la partie antérieure du palais dur qui semble être un site d'insertion idéal. En effet, cette zone offre :

- une hauteur osseuse suffisante, ce qui permet d'utiliser des minivis plus longues pour plus de stabilité ;
- un taux d'échec fortement réduit ;
 - L'insertion dans le palais antérieur plutôt que dans la paroi alvéolaire permet de réduire le taux d'échec des minivis à 2,1% selon Karagkiolidou et al. (46). Ce taux de réussite élevé est en accord avec de précédentes études comparatives entre les différentes zones d'insertion en bouche (27).
 - Ce taux d'échec est encore diminué en solidarissant deux minivis dans le palais antérieur à l'aide d'une mini-plaque rigide selon Wilmes et al. (47).
 - Mohammed et al. (48), dans une méta-analyse de 2018, étudient en fonction des sites anatomiques le taux de survie des minivis orthodontiques (Figure 12). Le taux d'échec global pour le palais dur était de 4,7% avec :
 - 1,3% d'échec au niveau de la suture palatine,
 - 4,8% en paramédian,
 - 5,5% au niveau alvéolaire.
- une absence d'interférences avec les racines dentaires lors des mouvements de distalisation molaire, et de ce fait une distalisation spontanée des prémolaires maxillaires ;
- un risque mineur de blessure des structures anatomiques voisines ;
- un tissu muqueux très favorable :
 - l'épaisseur du tissu ne doit pas être excessive, au moins la moitié de la longueur de la vis doit être intégrée dans l'os et la tête de la vis doit rester toujours accessible.
- un accès facile ;
- un taux d'acceptation important :
 - Gündiz et al. (49) évaluent à l'aide de questionnaires les taux d'acceptation des minivis palatines antérieures associées aux systèmes orthodontiques. 95% des patients interrogés se sont bien habitués à l'ancrage palatin et sont satisfaits du traitement.

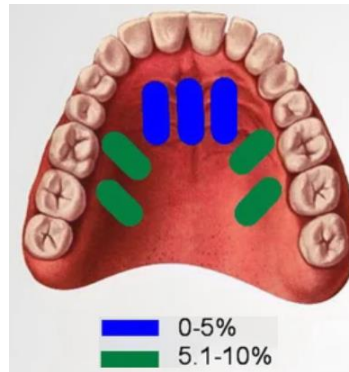


Figure 12 : Schématisation des taux de survie des minivis en fonction de leur site d'insertion palatin (palais antérieur en bleu, alvéolaire en vert) (48)

2.3.2 Critères anatomiques pour le choix du placement des minivis palatines antérieures

Depuis l'introduction de l'Orthosystem par Wehrbein et al. (17), le palais dur antérieur est devenu la région la plus étudiée pour l'ancrage squelettique en orthodontie.

2.3.2.1 *Prise en compte de la quantité d'os*

Le principal facteur déterminant le succès du positionnement de la minivis, que ce soit dans l'os alvéolaire ou au niveau du palais, est la quantité d'os.

Deux possibilités de déterminer les repères et coordonnées dans cette région :

- En observation radiographique

Les mesures sont effectuées à partir de la partie distale du foramen incisif (14,50,51).

- En observation clinique (méthode anatomique)

Les points de contact entre la canine, les prémolaires et les molaires sont utilisés comme références, avec des mesures faites à partir de la suture palatine (52).

La méthode radiographique est plus fiable que l'observation clinique mais l'inconvénient de la mesure radiographique est la difficulté d'interpréter et d'appliquer les résultats en clinique.

2.3.2.1.1 *Repères radiographiques*

Plusieurs auteurs ont créé des coordonnées de référence basées sur une grille de mesure de voûte palatine (14,50,51), en prenant comme référence **le foramen inter incisif**. La première coordonnée est la distance antéropostérieure par rapport au foramen incisif et la deuxième coordonnée est une mesure latérale à partir de la suture palatine (Figure 13).

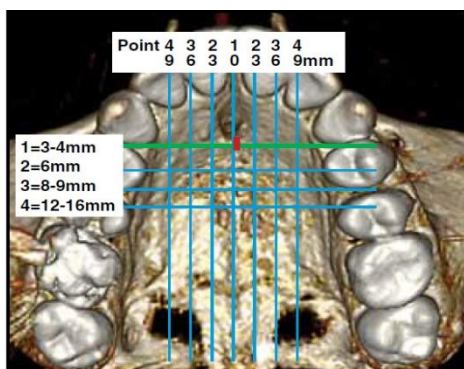


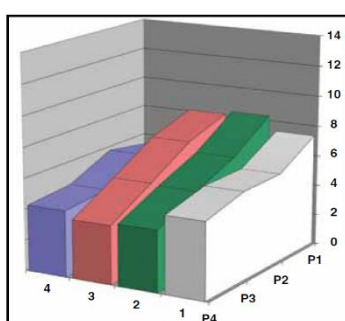
Figure 13 : Grille utilisée dans l'analyse des repères radiographiques (la ligne verte indique la limite antérieure pour une insertion de minivis palatine favorable) (31)

Exemple : Les coordonnées 1/3 indiquent un point situé entre 3 et 4 mm postérieurement au foramen incisif et à 6 mm latéralement à la suture palatine.

❖ Variation de la hauteur osseuse

Les auteurs s'accordent sur le fait que l'épaisseur osseuse diminue d'avant en arrière et depuis la suture palatine vers les extrémités latérales du palais. (53)

Plusieurs études radiographiques démontrent que l'os le plus épais se situe à une distance de 3 à 4 mm du foramen incisif et à 3 mm en latéralement à la suture palatine (27, 52, 53) (Figure 14).



	Lateral Point							
	1 (suture)		2 (3mm paramedian)		3 (6mm paramedian)		4 (9mm paramedian)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
<i>Anteroposterior Point</i>								
1 (3-4mm)	7.319	3.057	8.303	0.755	8.060	2.438	5.363	4.201
2 (6mm)	5.785	1.011	6.490	1.004	7.130	0.099	5.855	1.902
3 (9mm)	5.751	0.912	5.317	0.648	5.428	0.807	4.567	0.548
4 (12-16mm)	5.023	0.529	4.004	0.525	3.821	0.543	4.310	1.062

Figure 14 : épaisseur verticale osseuse en mm en fonction de la localisation (31)

Bien que la suture palatine puisse sembler être un bon site d'insertion au vu de son épaisseur d'os importante, elle présente un écart type non négligeable et l'insertion de minivis y est déconseillée par certains auteurs lorsque le patient est en cours de croissance. Bernhart et al. (50) recommandent un site d'insertion paramédian de 3 à 6 mm de la suture et 6 à 9 mm en distal du foramen incisif.

❖ Variation de la densité osseuse

Selon la classification de Misch, le maxillaire est principalement composé d'os poreux correspondant à une catégorie D3 ou D4, alors que la région du palais médian a un os cortical dense correspondant à une catégorie D1 ou D2 (54).

Moon et al. (55) constatent que la densité osseuse palatine a tendance à diminuer latéralement et postérieurement (Figure 15). La zone palatine à moins de 3 mm de la suture possède l'os le plus dense. Les auteurs suggèrent donc le placement des minivis **3 mm en arrière du foramen incisif et de 1 à 5 mm en paramédian.**

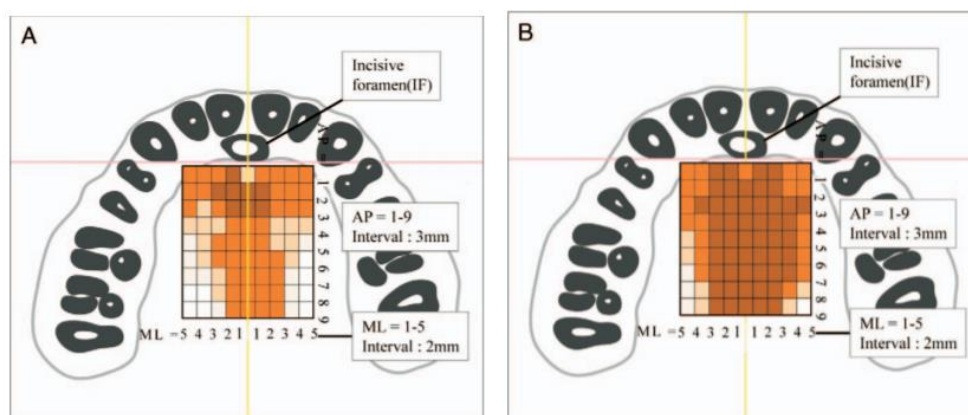


Figure 15 : Cartes de densité osseuse palatine moyenne chez les hommes (A) et les femmes (B). Les zones marquées de couleurs plus foncées représentent les régions où la densité osseuse est la plus forte (55)

❖ Variations suivant le sexe

Kang et al. (14) constatent des différences significatives de hauteur osseuse entre hommes et femmes, et proposent une cartographie de la région palatine en fonction du sexe et de la hauteur osseuse (Figure 16).

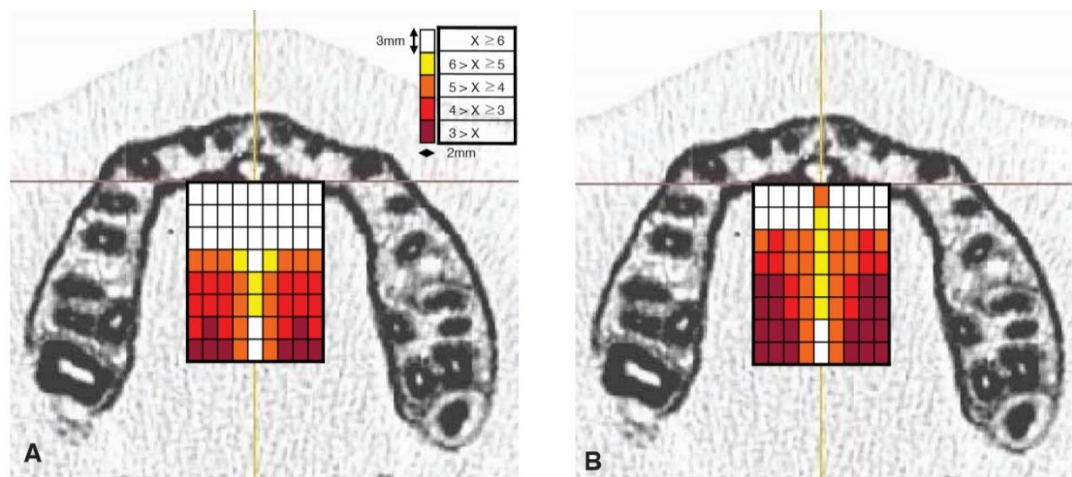


Figure 16 : Cartes d'épaisseur palatine moyenne chez les Hommes (A) et chez les femmes (B) (14)

King et al. (56) constatent chez les hommes une augmentation moyenne de 1,22 mm dans six des neuf emplacements mesurés par rapport aux mesures réalisées chez les femmes. Ils conseillent de placer les ancrages osseux **à 4 mm en distal du foramen incisif et 3 mm latéralement à la suture** : ces derniers ont alors 93% de chance de réussite chez les hommes et 91% chez les femmes (51).

Yadav et al. (57) observent une augmentation de l'épaisseur chez les hommes, en croissance ou non, entre la canine et la première prémolaire et entre la première prémolaire et la deuxième prémolaire.

Moon et al. (55) relèvent également une différence de densité osseuse entre les hommes et les femmes dans la région palatine (Figure 15).

❖ Variations suivant l'âge

King et al. (56) constatent que la hauteur osseuse du palais dur en paramédian est similaire dans la tranche d'âge de 10 à 19 ans. L'âge et la morphologie palatine ne sont pas, pour ces auteurs, des prédicteurs valides de la hauteur osseuse.

Pour Ryu et al. (58), la hauteur est plus faible chez les patients en denture mixte précoce (8 ans) que chez les patients en denture mixte tardive (11 ans ½) et en denture permanente (20 ans) (Figure 17). Ils confirment le fait que de manière générale, la hauteur osseuse est plus élevée en antérieur qu'en postérieur, et que des différences significatives de hauteur existent entre les plans médians, paramédians et latéraux.

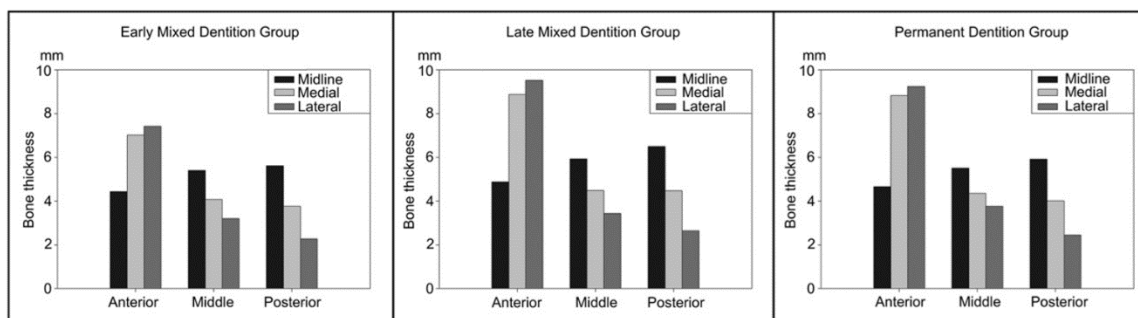


Figure 17 : Comparaison de l'épaisseur osseuse palatine selon le stade de dentition en fonction des zones du palais (58)

Yadav et al. (57) montrent que les patients en cours de croissance ont une densité osseuse significativement plus faible que les patients adultes.

Gracco et al. (59) n'observent une différence significative des valeurs de hauteur osseuse en fonction de l'âge que pour quelques sites postérieurs latéraux.

2.3.2.1.2 *Repères cliniques*

❖ Identification à partir des points de contact

Baumgaertel et al. (52) proposent des repères cliniques **facilement identifiables sur les couronnes dentaires**. Ceux-ci correspondent aux intersections des lignes joignant les points de contacts avec des points situés à 2, 4, 6, 8 et 10 mm en paramédian de la suture palatine (Figure 18).

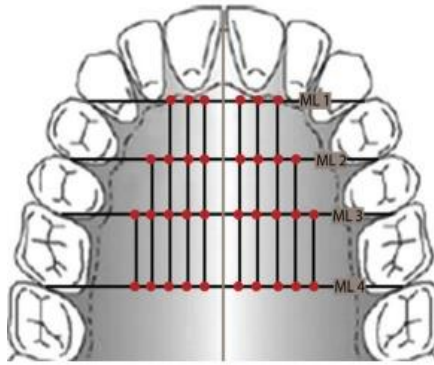


Figure 18 : Vue occlusale montrant la grille de mesure des points d'intérêt (en rouge) (52)

Les hauteurs osseuses moyennes au niveau des zones paramédianes à 2 mm de la suture et entre les lignes rejoignant les points de contacts canine-PM1 ($8,7 \pm 2,3$ mm) et PM1-PM2 ($8,68 \pm 3,68$ mm) font de ces emplacements des sites d'insertion idéaux.

Ces points sont néanmoins **difficilement superposables aux repères radiologiques** car dans certains cas, les points de contact entre les canines et première prémolaire peuvent être au même niveau que la partie distale du foramen incisif et dans d'autres à plus de 2 mm de ce foramen, signant donc une grande variabilité interindividuelle.

Bien que les résultats de Baumgaertel concordent avec ceux des études radiographiques, cette méthode clinique ne doit être appliquée qu'aux arcades dentaires avec peu de malpositions, car elle **peut être affectée par le mouvement des dents**.

❖ Identification à partir des rugae palatines

Hourfar et al. (60,61) proposent un site d'insertion **facilement identifiable cliniquement** : la 3^{ème} rugae palatine. Ils y trouvent la hauteur osseuse la plus élevée au niveau de son extrémité médiale. La position de la rugae reste fixe d'après les auteurs, son extrémité antérieure correspond au point de contact entre la première et la seconde prémolaire (Figure 19).

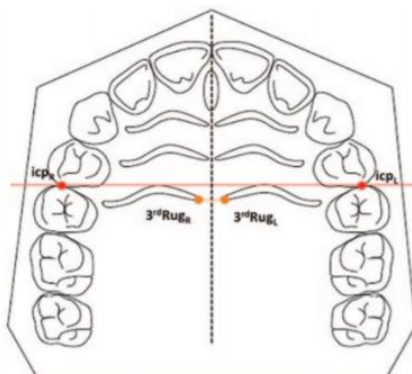


Figure 19 : Position schématique de la 3^{ème} rugae palatine (61)

2.3.2.2 *Prise en compte des tissus mous palatins, vaisseaux sanguins et nerfs*

La qualité de la gencive palatine, tout comme la qualité et la quantité d'os, sont des éléments importants. Ils participent au succès de l'ancrage de la minivis.

Une gencive attachée la plus fine est la plus souhaitable pour le placement des minivis afin de diminuer le bras de levier créé lorsque les forces orthodontiques s'exercent, contribuant à la perte des minivis. Alors que la muqueuse est plutôt épaisse au niveau des zones latérales à proximité de l'os alvéolaire, une épaisseur de 1 à 4 mm est retrouvée au niveau de la suture palatine en distal du foramen incisif (62). La région à proximité immédiate des incisives est à éviter car le palais y est recouvert d'épais tissus mous.

Du fait de la faible densité des vaisseaux sanguins du palais antérieur (Figure 20), le risque iatrogène est minime. Le foramen grand palatin avec sa vascularisation peut être problématique, seulement si les minivis sont insérées dans cette zone.



Figure 20 : Cartographie des vaisseaux sanguins du palais (31)

La région à proximité immédiate des incisives est à également à éviter en raison de la proximité des racines des incisives et de l'émergence du canal incisif.

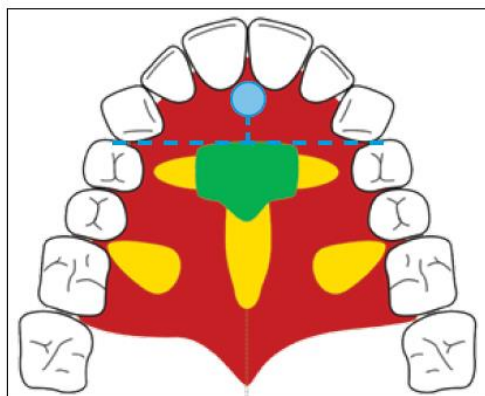
Le plancher nasal représente un autre obstacle anatomique de cette région. Sa perforation peut entraîner diverses complications, notamment infectieuses. La planification de l'acte en fonction de la hauteur osseuse disponible prend ici toute son importance. Cependant, pour Branemark et al. (63), la perforation du plancher nasal ne semble pas avoir de répercussions sur le taux de survie des implants.

2.3.3 Recommandations pour l'insertion des minivis palatines

2.3.3.1 Proposition de cartographie

❖ Cartographie selon Ludwig et al.

Compte tenu de tous les paramètres susmentionnés, Ludwig et al. (31) établissent un code couleur d'insertion sur une représentation schématique de la voûte palatine (Figure 21) :



- vert : les emplacements idéaux
- jaune : les emplacements possibles mais plus risqués devant faire l'objet d'analyses préopératoires et de précautions lors du placement
- rouge : les emplacements à éviter

Figure 21 : Sites d'insertions palatins potentiels pour minivis (31)

❖ La « T Zone » de Wilmes et al.

Wilmes et al. parlent de la « T zone », en arrière des rugae palatines, comme zone d'insertion idéale pour la pose de minivis palatines (Figure 22) (30).

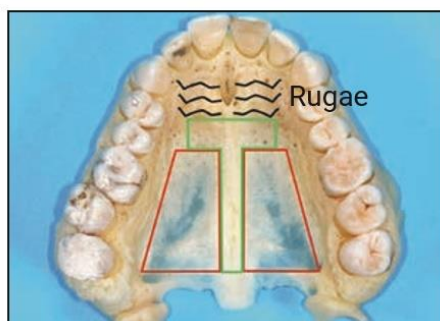


Figure 22 : Représentation schématique de la "T-Zone" (en vert) sur un modèle maxillaire osseux (30)

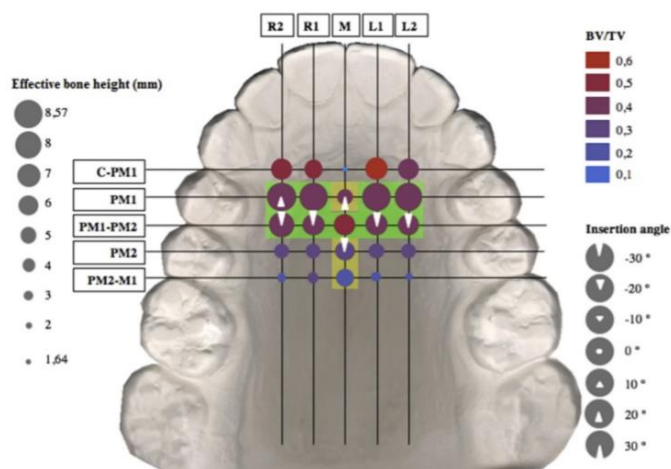
❖ Cartographie selon Becker et al.

En 2019, Becker et al. (64) renforcent cette cartographie en étudiant, à partir de CBCT, la quantité osseuse selon l'angle d'insertion des minivis dans la région palatine antérieure (Figure 23).

Ils distinguent deux zones d'insertion potentielles de minivis :

- En vert = idéale (hauteur osseuse > 6,5 mm et taux de calcification > 0,4) ;
- En jaune = correcte (hauteur osseuse comprise entre 5,0 mm et 6,5 mm).

Les auteurs n'y classent pas les valeurs paramédianes de la ligne joignant les points de contact des canines et premières prémolaires en raison de la grande variabilité entre les patients et du risque élevé de lésions radiculaires.



Le diamètre du point représente la hauteur osseuse, la couleur du point représente le taux de calcification (BV/TV), le triangle blanc indique l'angle d'insertion offrant le plus grand taux d'os calcifié s'il est significatif.

Figure 23 : Carte du palais antérieur proposée par Becker & al. (64)

❖ La position M4 de Winsauer

La position M4 pour le placement de minivis en paramédian de la suture palatine est décrite par Winsauer à mi-chemin sur la ligne reliant la cuspidé palatine de la première prémolaire à la suture palatine (Figure 24). Cette position présente l'avantage d'être approximativement sur le plan du centre de résistance des premières molaires maxillaires (65).

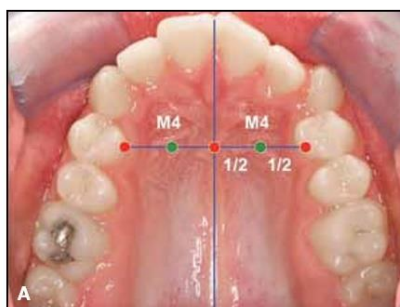


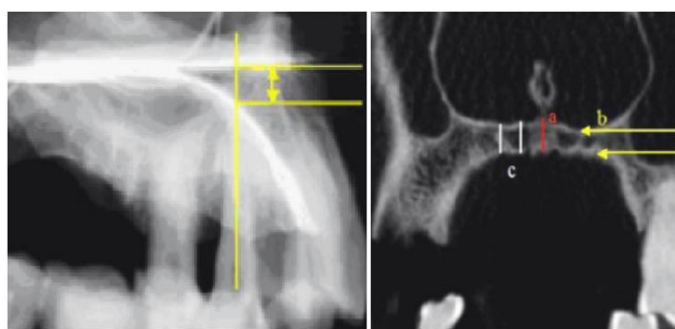
Figure 24 : Vue endobuccale schématisant la position du point "M4" en vert (65)

2.3.3.2 *Évaluation en pratique clinique de la quantité osseuse*

Les études précédentes s'accordent sur le fait que les régions paramédianes à 3 et 6 mm du palais en regard des premières prémolaires maxillaires sont des sites d'insertion idéaux pour les minivis. Cependant de grandes variations interindividuelles sont constatées, ce qui empêche la systématisation d'ordre de valeurs trouvées à l'ensemble de la population orthodontique. Un examen radiographique semble donc indiqué pour avoir une idée de l'épaisseur osseuse au site d'insertion avant implantation.

Même si le CBCT est utilisé dans de nombreuses études évaluant la quantité osseuse, sa systématisation reste discutable en termes de radioprotection et de coût. Les téléradiographies de profil faisant partie du bilan orthodontique, il serait intéressant de pouvoir y estimer la hauteur osseuse de façon approximative.

Jung et al. (66) étudient la correspondance des valeurs de hauteur osseuse au niveau de la première prémolaire maxillaire calculées sur un CBCT et sur une téléradiographie de profil. Ils en concluent que cette dernière reflète une hauteur osseuse minimisée au niveau médian et paramédian par rapport à la réalité évaluée sur CBCT (Figure 25). Ils recommandent l'usage d'un CBCT préopératoire que lorsque la céphalométrie latérale révèle à priori une quantité d'os insuffisante.



En rouge (a) : la hauteur osseuse au niveau de la suture palatine
En jaune (b) : la hauteur osseuse au niveau de la première prémolaire maxillaire entre l'os cortical externe du plancher nasal et l'os cortical externe du palais osseux
En blanc (c) : la hauteur osseuse à 3 et 6 mm de la suture palatine

Figure 25 : clichés radiologiques issues d'une téléradiographie latérale (à gauche) et d'une coupe axiale au niveau des premières prémolaires maxillaires d'un CBCT (à droite) (66)

Pour Bower et al. (67) les téléradiographies latérales sous-estiment systématiquement les hauteurs osseuses au niveau de la ligne médiane obtenues sur CBCT, mais les reflètent en para-sagittal au niveau de certaines zones :

- À 6 mm en paramédian au niveau de la première et de la deuxième molaire ;
- À 2 et 4 mm en paramédian au niveau de la seconde prémolaire.

2.3.3.3 *Insertion médiane ou paramédiane*

L'insertion paramédiane des minivis présente comme avantages :

- d'éviter leur insertion dans la suture palatine, ce qui pourrait être dommageable selon certains auteurs si le patient est en cours de croissance (68) ;
- d'éviter de léser le contenu du canal incisif .

Cependant, l'insertion dans la suture permet :

- de diminuer encore le risque de dommages des racines des incisives ;

- dans le cas du recul molaire, de coupler les minivis dans la ligne d'action de la force ;
- d'éviter la lésion d'un germe canin qui serait inclus en position palatine.

Wilmes et al. (69) listent les caractéristiques des deux sites d'insertion (Tableau 3).

Tableau 3 : comparaison des sites d'insertion médian et paramédians (69)

	Médian	Paramédian
Angle d'insertion	Perpendiculaire à l'os	Perpendiculaire au plan d'occlusion
Longueur des minivis	9 à 11 mm en antérieur 7 à 9 mm en postérieur	7 à 9 mm
Insertion possible avec une angulation antérieure	Oui	Non
Plan dans lequel la solidarisation de 2 minivis est possible	Sagittal	Transversal
Risque de lésion des racines dentaires	Très faible	Faible
Risque de perforation du canal incisif	Présent	Faible
Interaction avec la suture palatine	Possible	Non

- Quelles conséquences sur la stabilité de la minivis ?

La stabilité serait équivalente entre les minivis placées dans la suture ou en paramédian, selon Nienkemper et al. (70,71). Mohammed et al. (48) relèvent quant à eux dans leur méta-analyse une légère différence avec 1,3% d'échec au niveau de la suture palatine et 4,8% en paramédian.

- Quelles conséquences sur la croissance transversale ?

En 2005, Asschericks et al. (68) évaluent l'influence de l'ancrage d'implants orthodontiques sur la croissance transversale maxillaire lorsqu'ils sont insérés dans la suture palatine de chiens en croissance. Ils observent une diminution de la croissance transversale dans la région canine uniquement. Cependant, cette étude est à prendre avec précaution car celle-ci n'a pas été réalisée chez l'homme, un seul animal était pris comme témoin, et elle concernait les implants.

Wilmes et al. et Nienkemper et al. (69–71) n'observent eux pas de répercussions cliniquement significatives sur la croissance maxillaire transversale de minivis insérées dans la suture palatine chez des patients en cours de croissance.

2.3.3.4 *Localisation antérieure ou postérieure*

Le palais antérieur est donc une zone propice à la pose de minivis, mais d'autres systèmes ont été développés avec un ancrage direct dans ou à proximité de la suture palatine à un niveau plus postérieur (Figure 26) (6).

Ces systèmes se composent :

- d'un arc transpalatin fixé aux premières molaires maxillaires ;
- d'une ou deux minivis : elle(s) est/sont ancrée(s) en arrière de la position qu'auront les molaires en fin de distalisation, mais toujours en avant du palais mou, en médian ou paramédian de la suture palatine ;
- d'une force de traction antéro postérieure unissant l'arc transpalatin et l'ancrage osseux. Il peut s'agir d'une chaînette élastomérique ou d'un ressort en traction.

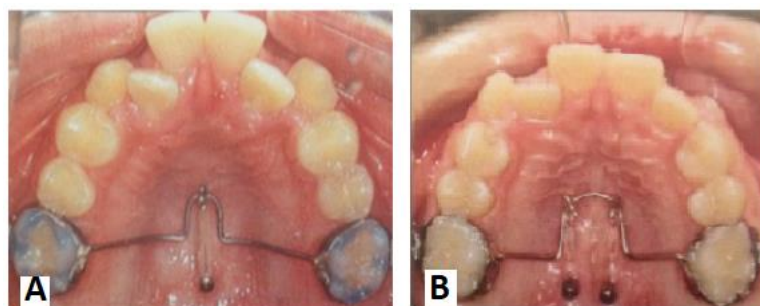


Figure 26 : vues endobuccales de systèmes de distalisation molaire par ancrage palatin postérieur avec une (A) ou deux (B) minivis (6)

Ces systèmes de distalisation à localisation postérieure présentent les avantages d'être simples, peu coûteux et d'anticiper la correction des rotations molaires, mais peuvent s'avérer très inconfortables pour certains patients au réflexe nauséux important. D'autre part, l'os à ce niveau peut parfois être insuffisant, ce qui rend la ou les minivis moins stable(s), et une expansion transversale devra être prévue lors de la mise en place de l'arc transpalatin pour que les arcades restent coordonnées en fin de distalisation. La distalisation peut également être limitée par la position de la minivis.

2.3.3.5 *Considérations générales*

❖ Distance de sécurité avec les autres structures anatomiques

Concernant le choix de la longueur de la minivis, il n'existe aucun consensus sur le minimum de quantité d'os requise entre l'extrémité de la minivis et la structure anatomique voisine :

- Poggio et al. recommandent 1 mm (72) ;

- Liou EJW et al. recommandent 2 mm (73) ;
- Maino et al. recommandent 5 mm (74).

❖ Valeur du couple d'insertion de la minivis

Di Leonardo et al. (75) ne constatent aucune augmentation du taux d'échec de minivis pour des valeurs de couple de 10 à 20 Ncm.

❖ Angulation de la minivis

Ludwig et al. (31) recommandent l'insertion de la minivis perpendiculairement à la surface palatine, ce qui induit une inclinaison vers les racines des incisives pour assurer une rétention et une efficacité (Figure 27).

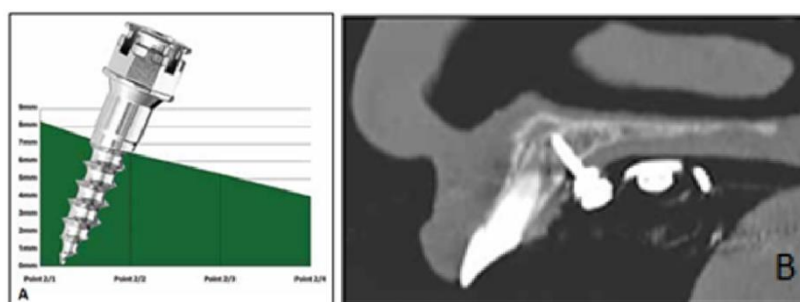


Figure 27 : schématisation de l'insertion d'une minivis palatine perpendiculaire à la surface osseuse palatine au point 2/2 (A) et image radiographique correspondante (B) (31)

Cependant, comme l'ont montré Becker et al. (64), il est préférable à certains sites d'insertion d'anguler la minivis afin de gagner en densité osseuse (Figure 23).

❖ Solidarisation de deux minivis

Pour réduire le risque de basculement de minivis sous l'action des forces de distalisation et donc réduire encore leur taux d'échec, le couplage de deux minivis est préconisé par Wilmes et al. (76) qui développent la Bénéplaque à cet usage. Idéalement, ce couplage doit se faire dans le sens de la force exercée, c'est-à-dire dans le sens sagittal pour une distalisation molaire.

❖ Choix des minivis

La stabilité des minivis semble améliorée avec une profondeur d'insertion et un diamètre accrus (77). Un diamètre élevé permet également de réduire le risque de fracture des minivis. Des minivis palatines de 8 à 9 mm de longueur et 1,6 mm de diamètre ne fournissent pas d'ancrage stationnaire fiable pour la distalisation molaire dans une étude (78), et des minivis de moins de 8 mm de longueur et 1,2 mm de diamètre ont été associés à des taux de perte élevés (22).

Par conséquent, pour éviter toute possibilité de perte d'ancrage ou de rupture de vis, une minivis d'ancrage palatin devrait avoir une **longueur supérieure à 9 mm** et une **largeur supérieure à 1,6 mm**. Les dimensions de la minivis doivent être sélectionnées selon le site d'insertion souhaité. L'utilisation de minivis d'un diamètre de 2,0 ou 2,3 mm est recommandée en raison de l'espace disponible au palais.

2.3.3.6 *Vers une méthode d'insertion plus précise : les guides chirurgicaux*

Les guides chirurgicaux sont développés grâce au couplage informatique d'images radiologiques, issues de CBCT ou de téléradiographies latérales, et d'empreintes dentaires. La position appropriée des minivis est planifiée sur un modèle virtuel, permettant un ajustement précis de l'emplacement de la minivis et de son inclinaison en fonction des images radiologiques. Cela permet de **protéger les structures anatomiques** et d'avoir le **meilleur ancrage squelettique possible** en plus de **faciliter au praticien leur pose**.

Scherer et al. (79) rapportent pour les implants dentaires insérés avec un guide chirurgical une amélioration de la précision à un niveau très significatif, quelle que soit l'expérience de l'opérateur, par rapport au forage à main levée, l'inexactitude du forage à main levée augmentant avec la profondeur d'insertion.

Le guide est placé en bouche, sur son support muqueux ou muqueux et dentaire suivant les appuis du guide planifiés (Figure 28A). Les minivis sont placées à l'aide d'un contre angle à travers les tubes guides (Figure 28B), jusqu'au contact de la muqueuse palatine (Figure 28C).



Figure 28 : Pose de deux minivis à l'aide d'un guide chirurgical à appui muqueux et dentaire fabriqué en technique de conception et fabrication assistée par ordinateur CAD/CAM (80)

❖ Guides obtenus à partir de CBCT

Cassetta et al. (81) étudient la précision d'un guide chirurgical obtenu après prévision de la position des minivis palatines sur des images 3D créées par la fusion informatique d'images de tomodensitométrie à faisceau conique (CBCT) et des modèles numériques dentaires du patient. Le CBCT post opératoire réalisé montre que le guide chirurgical a

permis un contrôle précis de la minivis palatine dans les trois dimensions de l'espace. Cette précision est retrouvée par Maino et al. (82).

Même si les résultats en termes de précision sont intéressants, la réalisation de ce guide induit l'émission d'une dose plus élevée de rayonnements pour le patient et un coût supplémentaire pour le CBCT.

Möhlhenrich et al. (80) recommandent l'utilisation d'un CBCT lorsque des dents sont impactées ou incluses dans le palais, en cas de maxillaire très étroit ou de patient porteur de fente. Dans ces cas, les avantages d'un placement plus précis et fiable des minivis justifieront à la fois l'augmentation des dépenses et l'exposition aux radiations associées au CBCT.

❖ Guides obtenus à partir de téléradiographies de profil (Figure 29)

Sur le même principe il est possible de réaliser des guides chirurgicaux en superposant le modèle à une téléradiographie de profil. L'utilisation de ces guides chirurgicaux permet un contrôle suffisant du placement des minivis, comparable aux modèles CAD / CAM d'après Möhlhenrich et al. (80), tout en réduisant les rayonnements reçus par le patient.

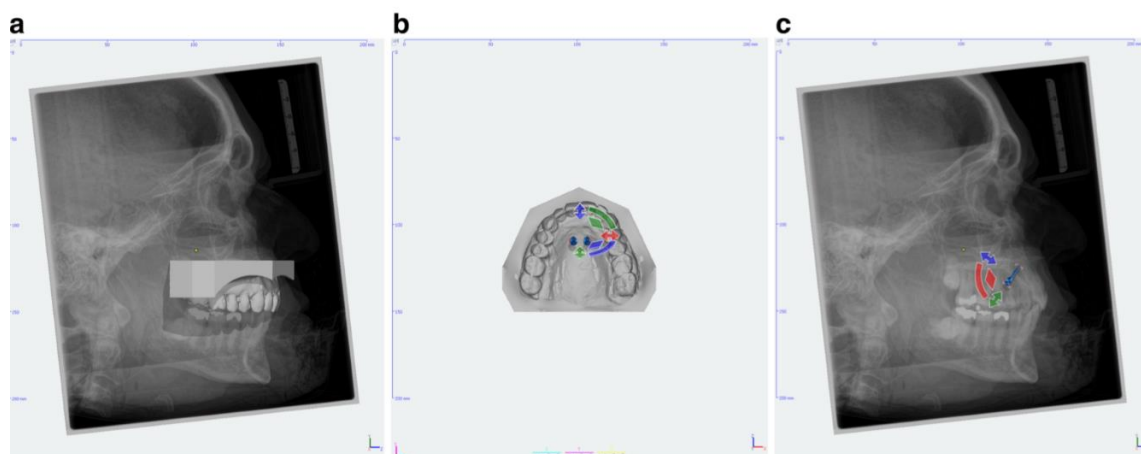


Figure 29 : Modèle virtuel superposé à la téléradiographie de profil correspondante (A), localisation de la position paramédiane appropriée des minivis (B) et téléradiographie de profil avec simulation des minivis positionnées d'après le moulage virtuel (C) (80)

3 Point sur les différents systèmes par glissement en 2020

Plusieurs systèmes de distalisation molaire basés sur une mécanique de glissement utilisant un ancrage osseux palatin antérieur sont actuellement référencés. Parmi les plus utilisés, on retrouve :

- le Distal Screw ;
- le MISDS (Miniscrew Implant Supported Distalization System) ;
- l'AMDA (Advanced Molar Distalization Appliance) ;
- le Beneslider ;
- le Longslider ;
- le Horseshoe Jet ;
- le TopJet.

Avec ce type d'appareil, 4 à 8 mois sont nécessaires selon Papadopoulos pour obtenir une relation molaire de classe 1 (3). Cette durée varie en fonction de la **quantité de recul nécessaire** et la **vitesse moyenne mensuelle de distalisation** de chaque système.

3.1 Aspects biomécaniques

L'analyse de la biomécanique des systèmes à glissement permet de comprendre et de prévoir les mouvements dentaires obtenus, qu'ils soient désirés ou non.

❖ La version corono-distale molaire

L'ancrage par minivis palatine au niveau médian ou paramédian permet d'appliquer la force distalisante à proximité du plan du centre de résistance des molaires maxillaires, situé à la trifurcation de leurs racines (Figure 30A). Un mouvement distal de la molaire en quasi-gression (évitant une version corono-distale) peut alors être obtenu (Figure 30B) (3,44).

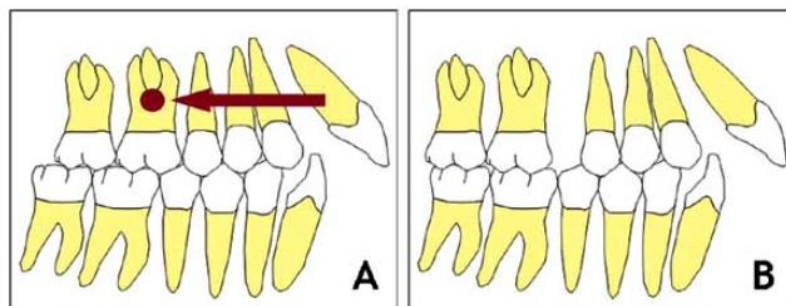
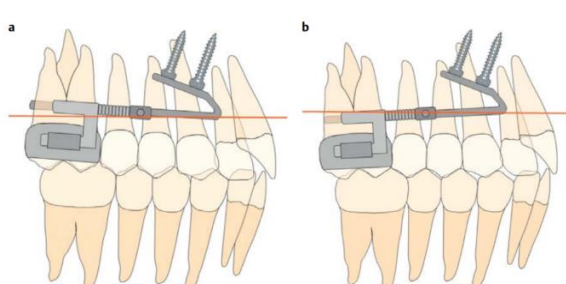


Figure 30 : Biomécanique d'action des systèmes à ancrage médian ou paramédian à localisation antérieure par glissement (21)

❖ L'ingression ou égression molaire

Le guidage correct des molaires est obtenu dans la plupart des systèmes en utilisant un fil acier passant à proximité du centre de résistance des dents. Le fil acier doit être parallèle au plan occlusal si les molaires doivent être distalées horizontalement. En changeant son inclinaison, les molaires peuvent être ingressées ou égressées, comme dans cet exemple du Beneslider (Figure 31) (5).



*A : Angulation en direction radiculaire : il y a une intrusion des molaires lors de la distalisation, ce qui augmente le recouvrement antérieur,
B : angulation en direction coronaire : les molaires sont extrusées lors de la distalisation, ce qui entraîne une diminution du recouvrement antérieur.*

Figure 31 : Effet vertical du Beneslider selon l'angulation du fil d'acier (5)

❖ La rotation molaire

Suite à l'application d'une force de distalisation du côté palatin, une rotation mésio-palatine des premières molaires maxillaires est presque toujours présente. Cela est réduit lorsque les molaires coulissent sur un fil palatin. Cependant, du fait de l'éventuelle souplesse du fil et du jeu entre le fil et la gorge du tube molaire, des rotations minimales peuvent encore être constatées.

❖ La transmission des forces

Une friction importante et variable se crée entre les surfaces de contact des fourreaux molaires et des fils supportant les ressorts. Ces frottements sont encore augmentés par la rotation molaire induite pendant la distalisation (Figure 32) ; il en résulte une perte conséquente des forces générées par les ressorts.

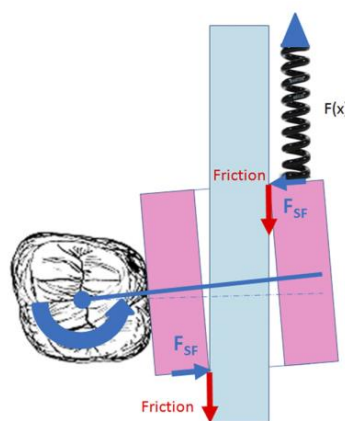


Figure 32 : augmentation des forces de friction suite à la rotation molaire induite par un ressort distalisant en traction (83)

❖ La distalisation spontanée des prémolaires

Conjointement à la distalisation molaire, les prémolaires peuvent se distaler spontanément sous l'effet de l'étirement des fibres transeptales. La distalisation molaire maxillaire n'est donc pas toujours cliniquement visible les 3 premiers mois, mais cette distalisation spontanée des prémolaires permet de réduire le temps de traitement par multi attaches.

3.2 Le Distal Screw

3.2.1 Principes

3.2.1.1 *Une évolution du distal Jet*

Le Distal Screw s'inspire largement du distal Jet développé en par Carano et Testa (84). Le distal jet est un dispositif fixe palatin intra-oral, qui exerce une compression par un ressort Nickel-Titane entre des bagues fixées sur les premières molaires et un ancrage à la fois dentaire (sur les premières prémolaires) et muqueux (bouton de Nance) (Figure 33).

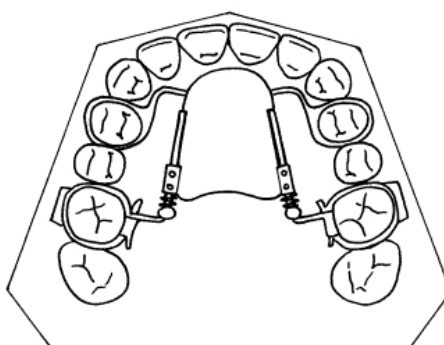


Figure 33 : Schéma du Distal Jet (84)

Cassetta et al. (85) relèvent un gain d'espace de 3,5 mm mais une distalisation molaire moyenne de 0,9 mm seulement. Le distal Jet provoque donc une **perte d'ancrage** avec une version des prémolaires et des incisives maxillaires supérieures. Ces résultats sont en accord avec l'étude de Cozzani et al. (86).

3.2.1.2 *Le Distal Jet supporté par minivis*

❖ Supporté par une vis d'ancrage palatine

Karaman et al. (87) développent une version modifiée du distal Jet : le Distal Jet sur vis d'ancrage palatine. Une vis d'ancrage palatine de 3 mm x 14 mm est posée en arrière de la 3^{ème} rugae, au niveau de la suture palatine. Le Distal Jet confectionné à partir d'une empreinte au laboratoire peut ensuite être directement posé et activé, sans attendre de

période d'ostéointégration (Figure 34). Il peut être utilisé en distalisation uni ou bilatérale. Le distal jet ainsi ancré n'a plus de pastille de Nance mais conserve son ancrage dentaire sur les premières prémolaires. Les auteurs obtiennent une distalisation molaire de 5 mm en 4 mois.

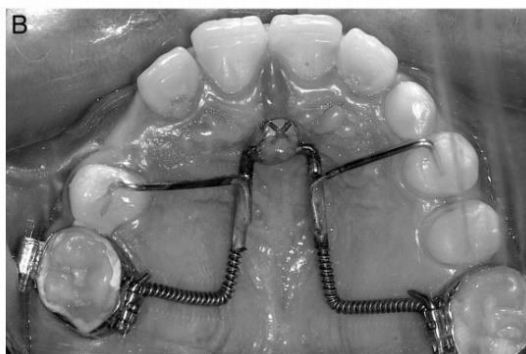


Figure 34 : Distal Jet ancré sur vis d'ancrage palatine (87)

❖ Supporté par deux minivis palatines

Kinzinger et al. (40) sur le même principe proposent d'ancrer le distal Jet modifié sur deux minivis palatines de 1,6 x 8 mm insérées de part et d'autre de la suture palatine (Figure 35).



Figure 35 : Distal Jet sur 2 minivis palatines (40)

Les résultats obtenus en fin de distalisation molaire après 6,7 mois sont synthétisés dans le Tableau 4. Les auteurs constatent une expansion au niveau molaire ainsi qu'une rotation mésio-palatine de 7 à 8° des premières molaires maxillaires. Au total, 91% des mouvements sagittaux constatés résultent de la distalisation molaire. Une perte d'ancrage significative s'exprime sous la forme d'une mésialisation de la 1^{ère} prémolaire et d'une proversion de l'incisive centrale.

Tableau 4 : valeurs moyennes relevées lors d'une distalisation molaire par Distal Jet supporté par 2 minivis par Kinzinger et al. (40)

	Mouvement sagittal	Mouvement vertical	Version coronaire (par rapport au plan palatin)
Molaire	Distalisation 3,92 mm	Intrusion 0,16 mm	en distal de 2,79°
Seconde prémolaire	Distalisation 1,87 mm	Egression 0,42 mm	en distal de 3°
Première prémolaire	Mésialisation 0,72 mm	Egression 0,14 mm	en mésial 1,15°
Incisive centrale	Proversion 0,36°	Egression 0,14 mm	X

3.2.1.3 *Le développement du Distal Screw*

Le Distal Screw dérive du distal Jet. Par rapport au Distal Jet d'origine, les éléments suivants diffèrent (3) (Figure 36) :

- Présence d'une **plaque d'acier avec deux à cinq trous insérée dans un bouton de Nance**. Les trous vont recevoir les minivis et leur nombre permet au clinicien de choisir le meilleur site d'insertion et de replacer la minivis ailleurs en cas d'échec. Ces minivis ne sont pas ostéointégrées et ne garantissent donc pas un ancrage absolu d'après les auteurs d'où l'usage du bouton de Nance.
- **Les bras d'ancrage sur prémolaires du Distal Jet sont supprimés**, ce qui permet une diminution de la perte d'ancrage et une distalisation prémolaire spontanée, réduisant ainsi le temps de traitement.
- Les **bras coudés incorporent un ressort hélicoïdal et un tube télescopique** et permettent d'appliquer la force au plus proche du centre de résistance des dents. Ils sont parallèles à leur lieu d'insertion sur la première molaire, permettant leur distalisation en suivant la forme de l'arcade pour éviter une augmentation excessive de la largeur inter-molaire.



Figure 36 : Distal Screw sur modèle en résine (3)

3.2.2 Protocole (3)

1. Étape clinique

Des bagues sont adaptées sur les premières molaires maxillaires et une empreinte est prise pour le laboratoire.

2. Étape de laboratoire

Une plaque d'acier est adaptée à la voûte palatine. Deux bras coudés sont pliés à proximité du centre de résistance pour s'insérer dans les tubes molaires (Figure 37A). Ils doivent former un angle de 5° avec la ligne passant le sillon principal des dents postérieures (Figure 37B). Un tube télescopique est positionné sur chacun des bras. L'extrémité antérieure des bras est pliée pour la rétention dans le bouton Nance (Figure 37C). Un ressort hélicoïdal nickel-titane de 240 g, un tube et une vis de butée sont positionnés sur le tube télescopique. Le bouton en résine acrylique est préparé en évitant de recouvrir les trous de la plaque d'acier. Une ligature métallique est utilisée pour empêcher les deux parties de s'écarter avant la mise en place du dispositif (Figure 37D).

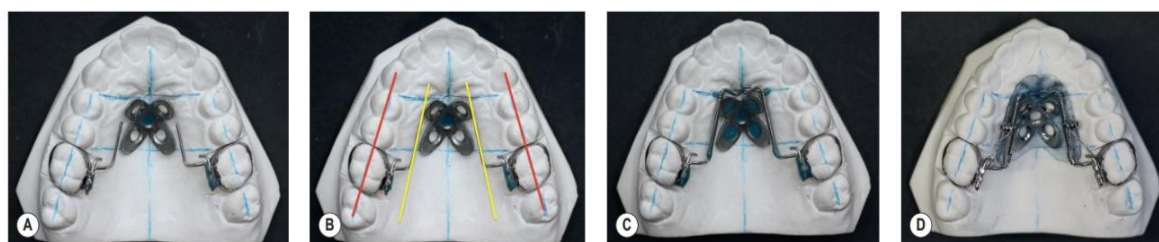


Figure 37 : construction du Distal Screw (3)

3. Étape clinique : mise en place et activation de l'appareil

La pose de l'appareil et des minivis se fait dans la même séance. Le praticien essaye le dispositif du laboratoire pour vérifier son adaptation et sa stabilité avant de le fixer sur les molaires. Puis les minivis sont insérées. L'appareil est ensuite activé en coupant les ligatures métalliques.

4. Étape clinique : transformation de l'appareil en renfort d'ancrage

Une fois que les molaires maxillaires ont atteint leur position correcte, l'appareil peut être utilisé pour maintenir l'ancrage lors de la rétraction des prémolaires et des canines. Cependant il devra être retiré avant la rétraction des incisives car le bouton Nance entraverait leur mouvement. Le ressort hélicoïdal est coupé et retiré, le tube à l'extrémité distale est bloqué avec la vis de butée et le bras télescopique est serré avec une pince Weingart.

3.2.3 Effets

Plusieurs études évaluent les effets du Distal Screw.

✓ Recul molaire

La quantité de recul pour obtenir une classe 1 molaire diffère selon les études, pour la majorité elle varie de 4 à 5 mm (86,88,89) hormis pour Cozzani et al. (37), avec un recul moyen de 2,6 mm.

Les auteurs semblent s'accorder sur le fait que 9 mois de traitement sont nécessaires et suffisants pour un recul efficace de la molaire maxillaire (86,88,89), soit une distalisation molaire moyenne de **0,5 mm par mois**.

✓ Effets parasites sur les molaires maxillaires

Le Distal Screw entraîne des effets parasites sur les premières molaires maxillaires (Tableau 5) :

- une version corono-distale, variable selon les auteurs (Tableau 5), seuls Cassetta et al. (85) n'en mettent pas en évidence ;
- un effet vertical : les auteurs répertorient une égression assez peu marquée (Tableau 5), Cassetta et al. (85) décrivent une légère ingression de 0,4 mm ;
- une rotation mésio-palatine des premières molaires dans l'étude de Cassetta et al. (85) (2,1° pour la 16 et 6,2° pour la 26).

Tableau 5 : Les effets parasites sur les premières molaires maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études)

	Cozzani et al. (2010) (88)	Cozzani et al. (2014) (86)	Caprioglio et al. (2014) (89)	Cozzani et al. (2015) (37)	Cassetta et al. (2019) (85)
Version corono-distale	2,6°	2,8°	3,2°	3,1°	0°
Effet vertical	+ 0,7 mm	+ 0,7 mm	+ 0,3 mm	+ 0,3 mm	-0,4 mm

✓ Effets parasites sur les prémolaires maxillaires

Une distalisation spontanée des prémolaires maxillaires est constatée (Tableau 6). De même que pour les molaires, il est possible d'observer après distalisation par Distal Screw

une version corono-distale ainsi qu'une égression, évaluées sur la première prémolaire maxillaire (Tableau 6).

Tableau 6 : Les effets parasites sur les premières prémolaires maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études)

	Cozzani et al. (2010) (88)	Cozzani et al. (2014) (86)	Caprioglio et al. (2014) (89)	Cozzani et al. (2015) (37)	Cassetta et al. (2019) (85)
Mouvement distal	2,1 mm	2,1 mm	1,9 mm	1,9 mm	4,3 mm
Version corono-distale	2,0°	3,0°	5,1°	8,1°	7,7°
Effet vertical	+ 1,3 mm	+ 1,1 mm	+ 1,3 mm	+ 1,1 mm	+ 0,5 mm

✓ Effets parasites sur les incisives maxillaires

Après distalisation molaire, une égression est constatée au niveau des incisives maxillaires (Tableau 7), ainsi qu'un effet sagittal minime variable selon les auteurs : pour certains il s'agit d'une proversion (88,89), pour d'autres d'une rétroversion (37,85). En outre, Caprioglio et al. (89) relèvent un très léger recul de l'incisive maxillaire, en moyenne de 0,1 mm en direction palatine.

Tableau 7 : Les effets parasites sur les incisives maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études)

	Cozzani et al. (2010) (88)	Caprioglio et al. (2014) (89)	Cozzani et al. (2015) (37)	Cassetta et al. (2019) (85)
Version	+ 0,3°	+ 0,1°	-0,3°	-2,1°
Effet vertical	+ 0,4 mm	+ 0,5 mm	X	X

✓ Effets squelettiques verticaux

Ces effets sont évalués par les auteurs à travers deux variables : l'ouverture de l'angle mandibulaire et l'augmentation de la hauteur faciale antérieure. L'ouverture de l'angle mandibulaire est évaluée à +0,5° par Caprioglio et al. (89) et à +1,5° par Cozzani et al.

(37). La hauteur faciale antérieure augmente de 1,7 mm dans l'étude de Caprioglio et al. (89).

3.2.4 Avantages et inconvénients spécifiques (3)

3.2.4.1 *Avantages*

- Utilisable en renfort d'ancrage pour rétraction des prémolaires et de la canine
- Le bouton de Nance sert de guide chirurgical pour placer les minivis

3.2.4.2 *Inconvénients*

- Nécessité d'une étape de laboratoire
- Système plus rétenteur de plaque (pastille de Nance)
- Rétraction du bloc incisif impossible avec le Distal Screw en place
- Inconfort à la phonation
- Rotations molaires possibles

3.3 Le MISDS

3.3.1 Principes

Papadopoulos en 2008 développe le Miniscrew Implant Supported Distalization System (MISDS) (3,44). Ce système comprend une unité active et une unité d'ancrage.

L'unité active fournit la force nécessaire à la distalisation molaire. Elle comprend deux tubes palatins soudés sur bagues molaire, deux fils métalliques, deux ressorts hélicoïdaux ouverts en nickel-titane et une vis en butée (Figure 38A).

L'unité d'ancrage résiste aux forces réciproques produites par les ressorts en maintenant l'ancrage antérieur pendant la première phase de distalisation molaire et soutient l'ancrage postérieur pendant la deuxième phase de rétraction des dents antérieures. L'unité d'ancrage comprend deux minivis Aarhus positionnées dans la région paramédiane du palais (Figure 38B).



Figure 38 : composants du système MISDS (44)

3.3.2 Protocole

1. Etape clinique

Une empreinte est prise avec les bagues molaires placées sur les premières molaires maxillaires.

2. Etape laboratoire

Des tubes palatins sont adaptés puis soudés sur les bagues molaires de l'empreinte coulée, en regard du centre de résistance de la molaire et parallèlement à son plan occlusal (Figure 39A et B). Un arc avec deux boucles symétriques dans la région antérieure est adapté au niveau palatin. Ces boucles correspondent aux sites d'insertion des minivis. Elles sont placées 3 à 9 mm en arrière du foramen incisif et à 1 à 6 mm de la suture palatine. (Figure 39C). Deux vis d'arrêt et deux ressorts ouverts sont insérés sur l'arc. L'ensemble est inséré dans les tubes palatins des molaires, et deux vis d'arrêt supplémentaires sont insérées sur les extrémités distales de l'arc. L'extrémité distale de chaque côté est coupée et pliée à environ 6 à 8 mm de la face distale de la molaire, pour permettre sa distalisation (Figure 39D).



Figure 39 : fabrication du MSDIS en laboratoire (3)

3. Etape clinique : mise en place et activation initiale

Le MISDS et les minivis sont insérés au même rendez-vous. Le dispositif est mis en bouche et la position des minivis est marquée. Deux minivis Aarhus (diamètre : 2 mm ; longueur : 8–10 mm) (Figure 38B) sont insérées.

N.B. : une variante existe, qui consiste à placer les minivis lors de la 1^{ère} séance, et d'adapter les boucles de l'appareil au laboratoire directement sur les transferts de minivis.

Le MISDS est fixé sur les molaires maxillaires puis sur les minivis avec des ligatures métalliques ensuite recouvertes de résine composite.

Le MISDS est activé immédiatement en comprimant le ressort et en rapprochant puis serrant la vis d'arrêt. Les vis de butées distales sont vissées à environ 5 mm de l'extrémité distale de l'arc afin d'empêcher le glissement des tubes hors du système.

4. Etapes cliniques : réactivations du système

Le patient est vu toutes les 4 semaines pour de nouveaux réglages et pour réactiver l'appareil jusqu'à obtention de la distalisation molaire souhaitée.

5. Etape clinique : transformation de l'appareil en renfort d'ancrage

Une fois la distalisation molaire terminée, le MISDS est rendu passif et laissé en place en renfort d'ancrage y compris pendant la rétraction des dents antérieures. Les ressorts hélicoïdaux sont retirés, et les vis d'arrêt mésiales et distales sont mises au contact du tube molaire (Figure 40).

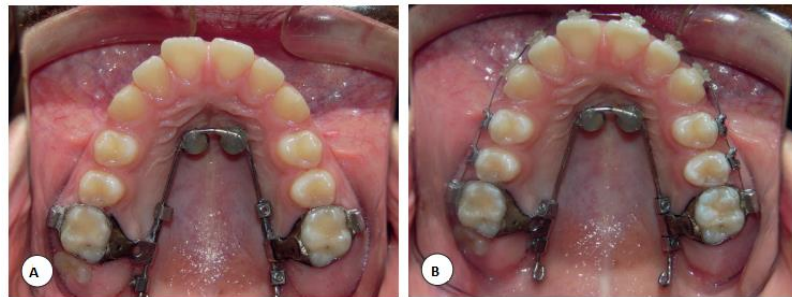


Figure 40 : Vues endobuccales d'un MISDS actif (A) et inactif (B) (3)

3.3.3 Effets

Sar et al. (90) évaluent les effets du MISDS sur un échantillon de 14 patients en croissance.

✓ Recul molaire

Une distalisation molaire moyenne de 2,8 mm en 10,2 mois est réalisée pour l'obtention d'une classe 1 molaire, soit une moyenne de **0,27 mm de recul par mois**.

✓ Effets parasites sur les molaires maxillaires

Une version corono-distale de $1,65^\circ$ est constaté sur les premières molaires maxillaires. Les effets verticaux ne sont pas évalués

✓ Effets parasites sur les prémolaires maxillaires

Une distalisation moyenne de 1,7 mm pour les premières prémolaires et 2,7 mm pour les secondes prémolaires ainsi qu'une version corono-distale de $6,8^\circ$ pour les premières prémolaires et de $9,6^\circ$ pour les secondes prémolaires sont obtenues. L'effet vertical sur les prémolaires n'est pas analysé.

✓ Effets parasites sur les incisives maxillaires

Sar et al. constatent un recul de 0,31 mm et une légère rétroversion de $1,38^\circ$ non significatifs.

✓ Effets squelettiques verticaux

Les auteurs notent dans le sens vertical une augmentation de 2,81 mm entre les points Nasion et Menton.

3.3.4 Avantages et inconvénients spécifiques

3.3.4.1 *Avantages*

- Utilisé en renfort d'ancrage après distalisation
- Arrêt de distalisation molaire en cas de rendez-vous manqué par la vis d'arrêt distale

3.3.4.2 *Inconvénients*

- Nécessité d'une étape de laboratoire
- Nécessité de minivis spécifiques (dans la version initialement décrite)
- Effets du système peu décrits dans la littérature
- Risque de blessure muqueuse plus important dû au fait de la saillie distale de l'arc palatin
- Gêne possible lors de la déglutition et de l'élocution

3.4 L'AMDA

3.4.1 Principes

Papadopoulos développe l'Advanced Molar Distalization Appliance (AMDA) pour palier à la nécessité d'une étape de laboratoire avec le MISDS. L'AMDA un dispositif préfabriqué, adaptable individuellement, ancré sur minivis palatine (Figure 41).

Il se compose de :

- deux systèmes de tubages à l'intérieur desquels on retrouve **un ressort de nickel-titane ouvert** (suivant la nécessité de distalisation uni ou bilatérale, un seul ou les deux ressorts sont comprimés) ;
- **deux bagues molaires équipées de tubes palatins**, fixées sur les premières molaires maxillaires ;
- un **arc palatin** semblable à celui du système MISDS (dans les dernières versions de cet appareil, les boucles accueillant les ligatures métalliques des minivis sont intégrées à l'arc sous forme d'anneaux mobiles) ;
- une unité d'ancrage palatin : les **minivis**. Leurs critères de placement correspondent à ceux déjà décrits pour le MISDS.



Figure 41 : système préfabriqué AMDA (21)

Le système de tubulure intègre l'arc sur lequel sont fixés deux tubes coulissant l'un dans l'autre. Le ressort ouvert comprimé par deux vis d'arrêt dans ce système de tubulure fournit une force de distalisation d'environ 230 à 500 g lorsqu'il est complètement activé (91). Un fil en S, doublé à son extrémité permet l'insertion de l'ensemble dans le tube palatin de la bague molaire. L'activation et la désactivation de ce système s'effectue en vissant ou dévissant ces vis de butée.

Plusieurs versions existent pour la distalisation unilatérale :

- ❖ **Version à une tubulure et une minivis, avec renfort d'ancrage dentaire**
(Figure 42)

L'ancrage dentaire se compose d'un fil collé sur la face occlusale de la première prémolaire du côté correspondant à la distalisation. Ce renfort évite les mouvements de rotation du système pendant la distalisation unilatérale mais empêche la distalisation spontanée de la dent ancrée.



Figure 42 : Vue endobuccale d'un AMDA pour distalisation unilatérale – version à une tubulure / une minivis / un bras prémolaire (3)

- ❖ **Version à une tubulure et deux minivis** (Figure 43)

Cette version permet d'éviter l'ancrage prémolaire et les effets indésirables liés.



Figure 43 : AMDA pour distalisation unilatérale – version à une tubulure / deux minivis (21)

❖ **Version conventionnelle comprenant les deux systèmes de tubes bilatéraux**

Seul le ressort du côté de la molaire à distaler sera activé si un recul unilatéral est souhaité (Figure 44).



Figure 44 : Vue endobuccale d'un AMDA pour distalisation unilatérale – version conventionnelle avec activation unilatérale (3)

3.4.2 Protocole

1. Étape clinique : Mise en place et activation initiale de l'appareil

L'ADMA s'ajuste directement en bouche ou en partie sur le modèle en plâtre. Les deux bagues molaires sont ajustées et scellées. Les extensions en S de l'arc palatin sont insérées dans les tubes palatins des bagues molaires et réglées par pliage en hauteur et en largeur. Le parallélisme de l'arc palatin avec le plan occlusal et la position des boucles accueillant les minivis doivent être correctes. Les vis d'arrêt mésiales sont déplacées distalement pour comprimer complètement le ressort hélicoïdal et les vis d'arrêt distales sont vissées à la sortie de la tubulure.

La longueur finale de l'arc palatin est marquée puis coupée à environ 8–10 mm en postérieur de la vis distale. Une boucle est formée à ce niveau pour empêcher la distalisation des molaires au-delà de ce point et éviter l'irritation des tissus mous.

Les minivis sont ensuite insérées au travers des boucles. Papadopoulos recommande d'utiliser des minivis avec une tête plus large que le diamètre des boucles pour augmenter

la stabilité du système (minivis tomas® EP, d'un diamètre de 1,6 mm, de longueur 8 ou 10 mm) (91). Cependant, il est aussi possible d'attacher les minivis qui auraient une tête plus petite avec une ligature métallique.

L'AMDA est activé immédiatement en dévissant les vis distales pour permettre un libre glissement distal.

N.B. Une étape de laboratoire peut également être envisagée afin de faciliter l'adaptation du système et de gagner du temps de réglage au fauteuil : les deux minivis ainsi que les bagues molaires sont alors positionnées lors de la 1^{ère} séance, une empreinte est prise et le système est assemblé directement sur modèle au laboratoire (91).

2. Étapes cliniques : réactivations du système

L'appareil est réactivé toutes les 4 semaines en déplaçant la vis d'arrêt mésiale plus distalement pour recomprimer le ressort. Si une rotation de la molaire est constatée pendant la distalisation, l'auteur conseille de réaliser un pliage au niveau des extensions du fil en forme de S pour ajuster leur courbure à la correction de la rotation (21).

3. Étape clinique : conversion de l'AMDA actif en renfort d'ancrage passif

L'AMDA est converti en un arc palatin passif ancré sur minivis pour fournir un ancrage des dents postérieures lors de la phase de rétraction des dents antérieures. Les vis de butée distale sont serrées au contact des tubes palatins et les vis d'arrêt mésiales sont déplacées en direction distale afin de serrer totalement les ressorts hélicoïdaux et empêcher la mésialisation des dents distales.

Lorsque le renfort d'ancrage pour les molaires n'est plus nécessaire, un arc transpalatin peut également être posé après dépose de l'AMDA pour terminer la correction de la rotation molaire (3).

3.4.3 Effets

Aucune étude à ce jour n'évalue sur un échantillon de patients les effets de l'AMDA. Cependant, divers cas sont présentés et analysés. Papadopoulos présente notamment deux cas (3) :

- Cas 1 : distalisation bilatérale avec un système AMDA ;
- Cas 2 : distalisation unilatérale avec un système AMDA unilatéral ancré sur une minivis et sur la première prémolaire.

Dans les deux cas présentés, la superposition de tracés céphalométriques sur le plan de la base du crâne donne des résultats similaires. Les relations squelettiques de classe II pour

le cas 1 et de classe I pour le cas 2, ainsi que la position du maxillaire et de la mandibule sont maintenues. Il y a eu une légère augmentation du schéma de croissance vertical, avec une ouverture du schéma facial par rotation vers le bas de la mandibule. L'angle inter-incisif a été considérablement augmenté pour le cas 1 et légèrement diminué pour le cas 2 (Figure 45A et Figure 46A).

La superposition sur le plan maxillaire a montré un mouvement distal en quasi-gression des premières molaires maxillaires avec une légère extrusion mais sans version coronodistale, ainsi qu'une légère rétroversion et extrusion des dents antérieures pour les deux cas, la rétroversion étant plus importante pour le cas 1 sans renfort d'ancrage dentaire (Figure 45B et Figure 46B).

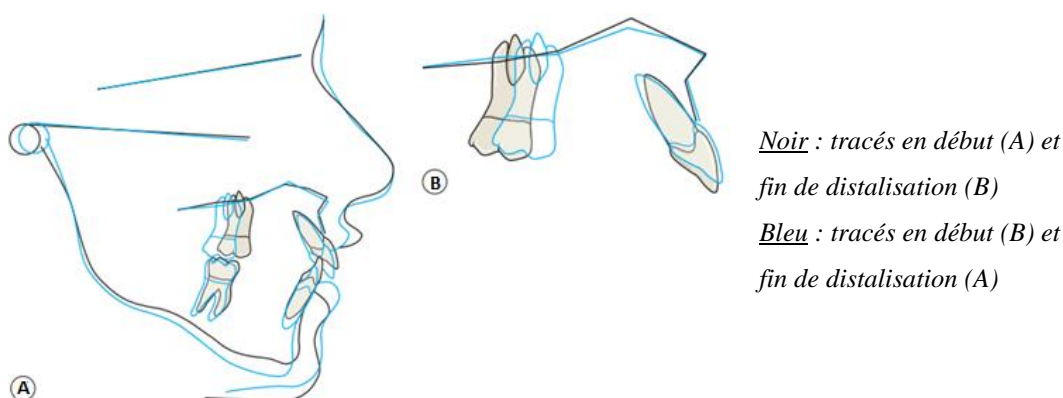


Figure 45 : Superposition des tracés céphalométriques sur la base crânienne antérieure (A) et le sur plan maxillaire (B) pour le cas 1 (2)

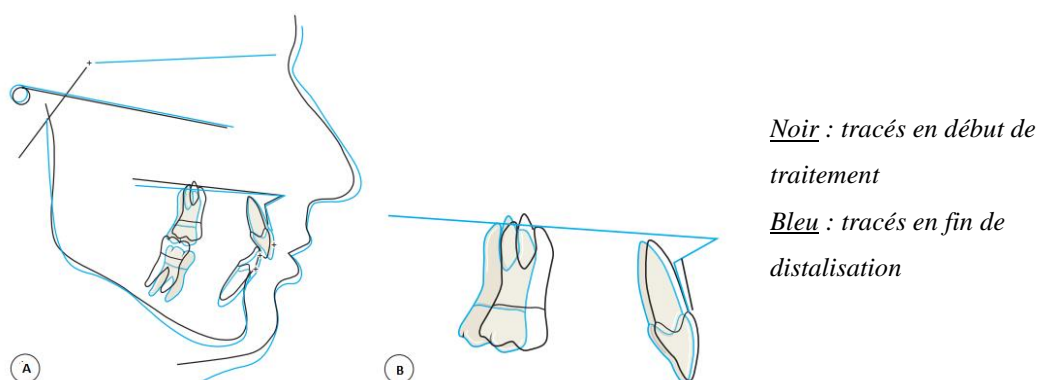


Figure 46 : Superposition des tracés céphalométriques sur la base crânienne antérieure (A) et sur le plan maxillaire (B) pour le cas 2 (3)

Une rotation molaire importante est observée dans les cas présentés par l'auteur, pas totalement corrigée par modification de l'appareil au niveau de la partie en S.

3.4.4 Avantages et inconvénients spécifiques (21)

3.4.4.1 Avantages

- Système mixte : mésialisation + distalisation
L'AMDA® peut être utilisé pour la distalisation unilatérale des molaires maxillaires, ou pour distaler la première molaire d'un côté du maxillaire et mésialer la première molaire du côté controlatéral (91).
- Renfort d'ancrage après distalisation
- Système préfabriqué adaptable au fauteuil
- Possibilité de corriger les rotations par pliage de la partie en S (3)

3.4.4.2 Inconvénients

- Nécessité de minivis spécifiques
Idéalement, la tête de vis doit être plus importante en diamètre que les boucles de l'arc palatin.
- Effets du système peu décrits dans la littérature
- Risque de blessure muqueuse important dû à la saillie distale de l'arc
- Gêne possible lors de la déglutition et de l'élocution

3.5 Le Beneslider

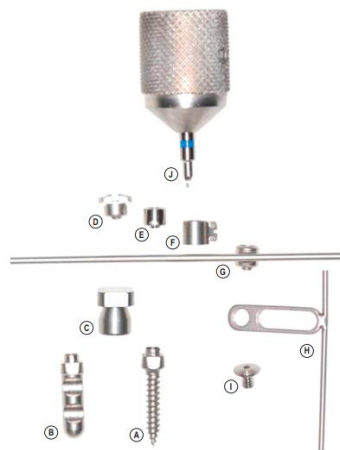
3.5.1 Principes

Le Beneslider est conceptualisé suite au développement du système Benefit.

3.5.1.1 Le système Benefit

Dans le but d'améliorer la stabilité et de prévenir le basculement des minivis dans la suture palatine, Wilmes et al. (76) solidarisent deux minivis dans la ligne de force. Initialement, elles sont reliées avec un fil recouvert de résine, mais des échecs dus à une rupture de la résine sont constatés. Comme alternative, la « Bénéplaque » et le système de minivis Benefit sont développés, avec quatre types de piliers en acier inoxydable différents, qui peuvent être fixés sur la minivis avec une vis de fixation miniature.

Le système Benefit est donc constitué de plusieurs piliers interchangeable permettant un ancrage temporaire direct et stable sur minivis pendant le recul des molaires maxillaires. (Figure 47).



- A : minivis
- B : analogue de laboratoire
- C : transfert d'empreinte
- D : pilier à gorge
- E : pilier standard
- F : pilier bracket
- G : pilier avec un fil en place (1,1 ou 0,8 mm)
- H : Bénéplaque avec un fil en place (1,1 ou 0,8 mm)
- I : vis de fixation pour la Bénéplaque
- J : tournevis pour la fixation des piliers et de la Bénéplaque

Figure 47 : Le système Benefit (3)

Pour Wilmes et al., le système Bénéplaque élargit les options d'ancrage squelettique dans le traitement orthodontique et améliore la stabilité des minivis (76).

De par sa polyvalence, le système Benefit peut être utilisé également dans d'autres situations que le recul molaire : fermeture d'espace maxillaire, situation mixte avec distalisation d'un côté et mésialisation de l'autre. (76).

3.5.1.2 Composants du Beneslider :

L'appareil Beneslider comprend, en général, deux minivis solidarités par une Bénéplaque soudée à un fil d'acier 1,1 mm, deux verrous d'activation, deux bagues molaires, deux ressorts ouverts et deux Bénétubes (Figure 48).

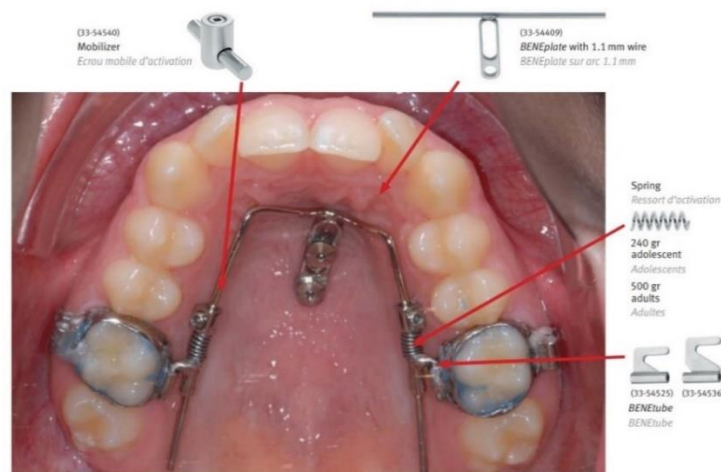


Figure 48 : Vue endobuccale du Beneslider (92)

3.5.2 Protocole

1. Étape clinique : mise en place de l'appareil

Deux minivis Benefit sont insérées dans la région médiane antérieure du palais, à proximité de la troisième rugae. La distance optimale entre les 2 minivis est de 5 à 8 mm.

Il est conseillé de choisir un diamètre large pour une plus grande stabilité (93) : la minivis antérieure doit être de $2,0 \times 11$ mm et la postérieure de $2,0 \times 9$ mm. Cependant, ce système peut également s'adapter à la pose d'une seule minivis médiane, de $2,3 \times 11$ mm.

Les tubes palatins des molaires maxillaires sont reliés à des Bénétubes. Le fil acier de la Bénéplaque est adapté à la courbure du palais, son orientation par rapport au plan occlusal dépend du mouvement vertical souhaité. Dans les cas où le Beneslider est relié à une seule minivis, le pilier avec un fil en place remplace la Bénéplaque. Les extrémités du fil sont coupées en distal à distance du Bénétube et polies. Le Beneslider est complété par deux ressorts ouverts et deux verrous d'activation (Figure 49).

L'ensemble est introduit à travers les Bénétubes et relié à la ou les minivis.

N.B. Pour raccourcir le temps passé au fauteuil, l'adaptation du Beneslider peut être réalisée au laboratoire sur une empreinte avec minivis et bagues molaires en place.



Figure 49 : Beneslider prêt à l'emploi, muni de deux stops (en blanc) (5)

2. Étapes cliniques : activation et réactivations du système

La force de distalisation molaire est obtenue en comprimant les verrous d'activation sur les ressorts. Chez les jeunes adolescents, Wilmes recommande l'utilisation de ressorts de 240 g et des ressorts de 500 g si les deuxièmes molaires sont complètement évoluées (3).

Un contrôle et une réactivation ont lieu toutes les 6 semaines.

3. Étape clinique : conversion du Beneslider actif en renfort d'ancrage passif

Une fois la distalisation molaire achevée, une ligature métallique est insérée entre les Bénétubes et les verrous d'activation rendant le système passif. Il peut être maintenu comme renfort d'ancrage pour la rétraction des prémolaires et des canines puis des incisives.

3.5.3 Évolutions

3.5.3.1 Utilisation du Beneslider avec aligneurs

Une alternative à la fixation des Béné tubes sur les molaires maxillaires a été développée : le **Flexitube** (94). Le Flexitube est relié directement à la face palatine de la molaire par collage, ceci étant une option plus esthétique qui élimine le besoin de bagues molaires rendant son utilisation plus aisée avec les aligneurs (Figure 50).



Figure 50 : Flexitube collé directement sur la face palatine d'une molaire maxillaire (94)

Wilmes et al. (95) utilisent cette alternative pour traiter les patients avec aligneurs en une phase (utilisation conjointe du Beneslider et des aligneurs) plutôt que deux : la quantité de distalisation molaire est calculée et programmée dans les différentes gouttières. Divers avantages et inconvénients sont décrits pour ces deux options (Tableau 8).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients d'un traitement en 1 ou 2 phases

	Traitement en 2 phases	Traitement en 1 phase
Avantages	<ul style="list-style-type: none">- Coordination des mouvements dentaires inutile entre aligneurs et Beneslider- Moins d'aligneurs nécessaires qu'en cas de recul avec aligneurs seuls	<ul style="list-style-type: none">- Réduction du temps de traitement par rapport au traitement en 2 phases
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">- Augmentation du temps de traitement par rapport au traitement en 1 phase	<ul style="list-style-type: none">- Coordination nécessaire des mouvements dentaires entre aligneurs et Beneslider- Observance irréprochable du patient pour le port de ses gouttière

3.5.3.2 Distalisation d'une molaire et mésialisation de l'autre

Suite au développement du Béné tube mésial et grâce à l'usage de ressorts en traction, il est maintenant possible de mésialer une molaire d'un côté et distaler une molaire de l'autre avec le système Benefit (92). Cet appareil est appelé le **mésial-distal slider** (Figure 51).



Figure 51 : mésial-distal slider : A. vue initiale ; B. résultat après 7 mois (92)

3.5.4 Effets

Peu d'études ont évalué les effets du Beneslider et il n'a pas encore été comparé directement à d'autres systèmes. Plusieurs caractéristiques ont été néanmoins analysées :

✓ Recul molaire

Selon Wilmes et al. (96), la quantité de recul de la molaire maxillaire est en moyenne de 4,6 mm en 6 à 10 mois, elle est de 3,6 mm en 7,5 mois pour Nienkemper et al. (9) avec une vitesse de distalisation moyenne de **0,6 mm par mois**.

✓ Effets parasites sur les molaires maxillaires

Concernant la version corono-distale de la première molaire maxillaire, Wilmes et al. (96) relèvent une moyenne de $1,9^\circ$ après distalisation et Nienkemper et al. (9) une moyenne de $1,5^\circ$. Ces derniers ont également remarqué une version corono-distale plus importante de la deuxième molaire maxillaire ($5,9^\circ$ en moyenne), expliquée par l'absence de guidage de la dent lors de la distalisation.

Les mouvements verticaux de la première molaire maxillaire ne sont pas étudiés dans la littérature, puisque le Beneslider peut ingresser ou égresser la molaire selon le réglage (Figure 31).

Wilmes et al. (96) constatent une rotation mésio-palatine molaire moyenne de $3,4^\circ$.

Ils observent une expansion maxillaire transversale moyenne de 1,9 mm pouvant mener à un articulé croisé en fin de distalisation. Pour pallier à ce problème, ils préconisent une disposition parallèle (en forme de U) du fil plutôt que la conception classique divergente (en forme de V). Cependant, l'anatomie du palais chez certains patients limite une telle conception. En cas d'expansion trop importante dans ce dernier cas, ils conseillent une compression intraorale du fil avec une pince trois becs (94).

✓ Effets parasites sur les prémolaires maxillaires

Ces effets ne sont pas évalués dans la littérature.

✓ Effets parasites sur les incisives maxillaires

Nienkemper et al. (9) constatent un recul incisif moyen de 0,6 mm. Ces auteurs n'ont pas mis en évidence d'effet vertical ou de version sur les incisives maxillaires.

✓ Effets squelettiques verticaux

Aucune différence significative n'est mise en évidence par Nienkemper et al. (9)

3.5.5 Avantages et inconvénients spécifiques

3.5.5.1 Avantages

- Solidarisation de 2 minivis
- Système pouvant être mixte : mésialisation + distalisation
- Système utilisable en renfort d'ancrage après distalisation
- Système préfabriqué adaptable au fauteuil
- Contrôle possible dans le sens vertical pour ingresser ou égresser les molaires
- Connexion stable et efficace entre la minivis et le système grâce aux piliers (93,94)
- Utilisable avec des techniques linguales, vestibulaires et les aligneurs

3.5.5.2 Inconvénients

- Nécessité d'une étape de laboratoire pour un cas complexe ou un opérateur peu expérimenté
- Nécessité de minivis spécifiques
- Manque d'études dans la littérature
 - pour évaluer les effets dentaires et squelettiques du Beneslider
 - pour l'impact des minivis sur la croissance maxillaire chez les patients en cours de croissance même s'il n'y a pas d'effet constatés par Wilmes
- Perte importante des forces distalisantes due aux frictions : ces pertes représenteraient 50 à 80% des forces générées par le ressort (83)
- Rotations molaires peu anticipées
- Risque de blessure muqueuse important dû à la saillie distale de l'arc
- Possible exocclusion molaire si l'arc n'est pas adapté à la forme d'arcade
- Inconfort à la phonation

3.6 Le Longslider

3.6.1 Principes

Pour répondre à la problématique de déperdition des forces par frictions, Longrich et al. (83) développent le Longslider, basé sur le même mécanisme de guidage que l'appareil Beneslider, mais qui peut générer des **forces jusqu'à 600 g par côté**. À la différence du Beneslider, le Longslider se base sur des forces de **traction**. Les deux ressorts nickel-titane en traction utilisés de manière superposée peuvent avoir des forces différentes et être adaptés si une résorption radiculaire est crainte.

3.6.2 Protocole

1. Étape clinique

Les deux minivis sont posées, dans une position semblable à celle décrite pour le Beneslider. Deux bagues molaires avec des tubes palatins sont adaptées aux premières molaires maxillaires. Une empreinte est ensuite réalisée pour la conception au laboratoire de l'appareil (Figure 52).



Figure 52 : Longslider réalisé au laboratoire (83)

2. Étape de laboratoire

Le fil d'acier de la Bénéplaque est préformé de manière similaire à un arc transpalatin, et se courbe distalement en regard du centre de résistance des molaires. Un tube Longslider est fixé sur les bagues molaires, en regard du centre de résistance des molaires. Le fil d'acier y est inséré. Deux ressorts de traction en nickel-titane sont adaptés au-dessus d'un système coulissant muni d'une vis d'activation, solidarissant l'ensemble du système (Figure 53A). La longueur d'activation, correspondant à la distance de distalisation à obtenir sera réglée directement en bouche lors de la pose de l'appareil (Figure 53B).

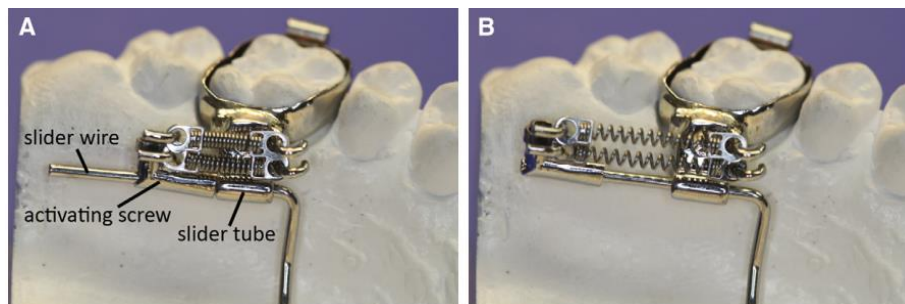


Figure 53 : Longslider avant (A) et après (B) activation (83)

3. Étape clinique : Pose et activation

L'appareil est posé et activé, une seule activation est nécessaire car l'étirement des ressorts est réglé au laboratoire pour obtenir la distalisation molaire souhaitée.

4. Étape clinique : Fin de distalisation

Une fois la distalisation molaire obtenue, l'appareil inactif est remplacé par un arc transpalatin ancré sur les minivis réalisé au laboratoire.

3.6.3 Effets

Longerich et al. (83) étudient les effets du Longslider à partir d'un échantillon de 6 patients. Ils constatent un recul molaire moyen de **0,81 mm par mois**. Ils n'observent pas d'effets secondaires : ni au niveau des molaires tels qu'une version corono-distale ou une rotation, ni au niveau des prémolaires ou des incisives. Les mouvements verticaux obtenus sont négligeables.

3.6.4 Avantages et inconvénients spécifiques

3.6.4.1 *Avantages*

- Pas de réactivation nécessaire
L'appareil se désactive automatiquement en fin de distalisation molaire. Cela permet d'espacer les visites pour le patient tout ayant un risque minimal de surtraitement.
- Combinaison de différents ressorts de traction en nickel-titane pour générer la force souhaitée
- Peu de gêne au niveau de la phonation (palais antérieur dégagé)
- Peu de déperdition de force due aux frottements

3.6.4.2 *Inconvénients*

- Étapes de laboratoire indispensables

- Peu documenté dans la littérature
- Risque de blessure muqueuse augmenté
- Plus difficilement supporté par le patient que le Beneslider en termes d'encombrement au niveau postérieur
- Nécessité d'être remplacé par un arc transpalatin pour le maintien d'ancrage en fin de distalisation

3.7 Le Horseshoe Jet

3.7.1 Principes

Le Horseshoe jet a été développé pour deux raisons principales :

- **Éviter les conséquences d'une bascule des minivis pendant la distalisation**, constatée par certains auteurs (97). L'unité d'ancrage dentaire est séparée de l'unité d'ancrage minivis. L'éventuelle bascule des minivis est considérée comme sans conséquences cliniques.
- **Tester facilement l'intégrité de la minivis et la replacer dans un endroit différent en cas d'échec**, sans perturber l'appareil ou la mécanique associée. Il est en effet difficile avec les autres systèmes décrits de conserver le même type d'appareil car une nouvelle minivis ne peut pas être insérée dans un site défailant avant cicatrisation.

Les minivis peuvent être insérées dans divers endroits, en médian et paramédian du palais, mais aussi dans l'os alvéolaire, et sont connectées au « fer à cheval » formé par la structure métallique, soit par collage soit par ligature métallique (Figure 54).



Figure 54 : Vue endobuccale du Horseshoe Jet ancré sur 2 minivis placées en paramédian du palais antérieur (97)

Pour Bowman (97), la minivis insérée entre la première molaire et la seconde prémolaire maxillaire, à environ 5 à 8 mm en apical de la gencive marginale, n'entrave pas le déplacement spontané de la seconde prémolaire car ses racines sont orientées en direction vestibulaire et car la minivis bascule mésialement tandis que la seconde prémolaire se

déplace distalement. Il constate dans beaucoup des cas une transposition de la place de la minivis entre la première et la seconde prémolaire (Figure 55).



Figure 55 : Transposition des deux minivis entre le début (à gauche) et la fin (à droite) de distalisation avec Horseshoe Jet (97)

3.7.2 Protocole

1. Étape clinique : empreinte avec bagues sur 16 et 26 et envoi au laboratoire
2. Étape de laboratoire : confection du Horseshoe Jet
3. Étape clinique : pose de l'appareil
L'appareil est fixé aux molaires. Les minivis sont insérées puis reliées au Horseshoe Jet. Les vis d'arrêt distales sont déverrouillées et les écrous de serrage sont reculés en distal pour comprimer le ressort, puis verrouillés.
4. Étapes cliniques : activations de l'appareil
Le patient est vu toutes les 4 semaines pendant 5 à 10 mois, jusqu'à obtenir la distalisation souhaitée.
5. Étape clinique : fin de distalisation
Une fois la distalisation terminée, le Horseshoe Jet est laissé inactif en verrouillant les vis d'arrêt distales. Le système est laissé en place comme renfort d'ancrage.

3.7.3 Effets

A ce jour, les effets n'ont pas été évalués pour cet appareil.

3.7.4 Avantages et inconvénients spécifiques (3,97)

3.7.4.1 Avantages

- Pas de verrouillage de l'appareil sur les minivis
- Nombreux emplacements pour l'insertion de minivis disponibles en bouche
- La stabilité des minivis peut être facilement testée et les minivis déplacées au besoin
- Renfort d'ancrage après distalisation

- Aucune vis spéciale n'est requise : presque toutes les marques ou les types peuvent être utilisés

3.7.4.2 *Inconvénients*

- Étape de laboratoire nécessaire
- Effets du système non décrits dans la littérature
- Inconfort à la phonation

3.8 Le Top Jet

3.8.1 Principes

Winsauer et al. (98) développent en 2011 le Top Jet. La version initiale, dite « prototype », donne place à une version plus aboutie aujourd'hui : le « TopJet One Design » ou « TopJet Distalizer ». Le TopJet permet une **distalisation sans friction** des molaires maxillaires.

3.8.1.1 *Les prototypes TopJet (98)*

Le premier prototype consiste à fixer, sur un implant médian, un support qui s'étend de chaque côté de la suture palatine jusqu'au plan de résistance des molaires maxillaires. À chacune de ses extrémités est soudé un fil acier .018 x .022 inch orienté en distal. Un tube relié à la bague molaire y est fixé, et un ressort de compression adjoint pour pousser en direction distale (Figure 56).

Les inconvénients de ce prototype sont nombreux : rotation des molaires et de ce fait blocage du fil dans le tube diminuant la force distalisante, gêne ressentie par le patient au niveau de la saillie distale du fil d'acier, nécessité d'étape de laboratoire et donc d'une empreinte précise de la position de l'implant.



Figure 56: Prototype initial du TopJet (98)

Le second prototype palie à ces inconvénients. La force distalisante est appliquée directement sur un **arc transpalatin** unissant les deux premières molaires maxillaires, au

niveau de leur centre de résistance. L'appareil est connecté à 2 minivis palatines insérées en paramédian de la suture palatine. La force distalisante est délivrée par un ressort en compression pouvant délivrer jusqu'à 250 g, dans lequel passe un fil acier .017 x .025 inch. L'extrémité du fil d'acier est conçue comme un connecteur en T pour se fixer sur l'arc transpalatin. L'autre extrémité est directement attachée à la minivis correspondante (Figure 57).



Figure 57 : prototype Topjet fixé sur son arc transpalatin (98)

3.8.1.2 *Le TopJet « One-Design » ou TopJet Distalizer (3,99)*

Ce second prototype est optimisé pour une utilisation simplifiée : le TopJet "One-Design" ou TopJet Distalizer. Cet appareil ne nécessite pas d'étape de laboratoire et la pose s'effectue directement au fauteuil en une seule séance. Il peut être utilisé uni- ou bilatéralement ; chaque unité est ancrée dans le palais antérieur en position M4 (Figure 24) par une seule minivis de 10, 12 ou 14 mm de longueur et 2 mm de largeur. Une partie du col lisse de la minivis peut dépasser de la gencive.

L'appareil peut, une fois qu'il est inactif, être maintenu en place pour rétracter les secteurs prémolaires et antérieur.

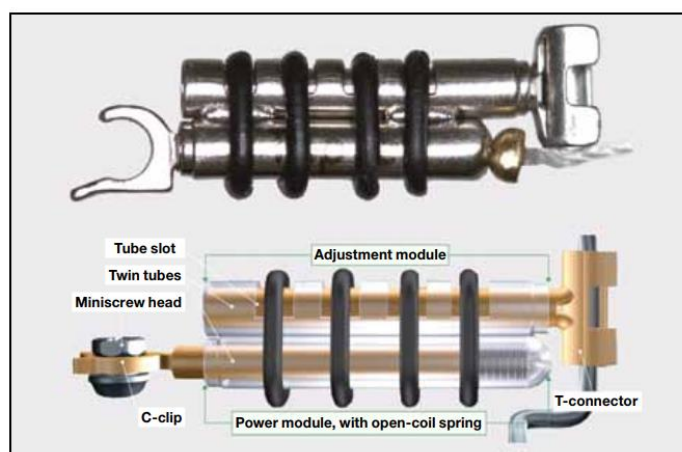


Figure 58 : Schématisation du "One Design TopJet" (99)

Le Top Jet Distalizer est un appareil préfabriqué compact à **double tubes soudés**: un « module de puissance » distalisant et un « module de réglage » (Figure 58). :

Le **module de puissance** (« power module ») intègre un ressort Nitinol et un piston qui présente un C-clip à son extrémité antérieure permettant une connexion facilitée à la tête de la minivis. Le clip en C permet une certaine liberté directionnelle et rotationnelle avant activation dans le cas où la minivis ne serait pas idéalement angulée. À l'extrémité distale, un fil de fixation avec un cordon serti maintient le ressort comprimé pendant l'insertion. Le fil est coupé et retiré une fois le dispositif en place pour commencer la distalisation.

Le **module de réglage** (« adjustment module ») intègre un piston qui se prolonge distalement par un connecteur en forme de T avec des ailes sertissables pour l'attachement à l'arc transpalatin. Cette connexion forme une charnière le long de l'axe de l'arc transpalatin et lutte contre le déplacement en version de la molaire.

Quatre fentes de réactivation dans le module de réglage permettent de stabiliser les **anneaux élastiques** qui encerclent les deux tubes. Lorsque le ressort se décomprime, le piston se déplace pour pousser l'arc transpalatin distalement. La réactivation est accomplie en recomprimant le ressort, l'anneau élastique tombe alors dans la fente, offrant un nouveau point d'ancrage postérieur au piston supérieur. La dernière version de ce système remplace les anneaux élastiques et leurs fentes par un système de cônes rainurés et une dent de verrouillage (Figure 59). Ce modèle incorpore dans son design la possibilité d'une réactivation en 4 temps.

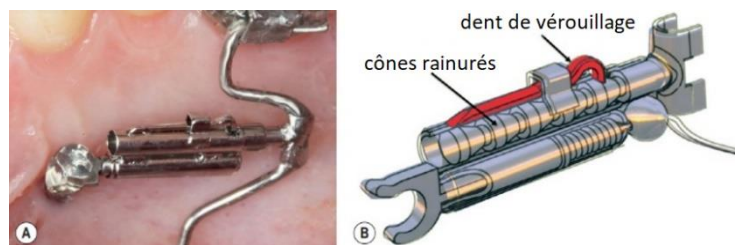
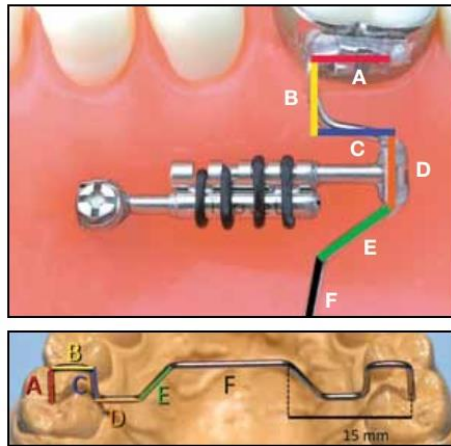


Figure 59: Vue endobuccale (A) et schématique (B) de la dernière version du système TopJet (3)

Le TopJet est disponible en différentes versions :

- En longueur de 14 mm ou 22 mm pour le TopJet + 8 (la version + 8 mm est indiquée en cas de dolichomaxillie ou pour distaler les deuxièmes molaires),
- En deux intensités de forces différentes : le TopJet 250 et le TopJet 360, qui produisent des forces de 250 et 360g. Le TopJet 360 est indiqué pour la distalisation en masse des premières et deuxièmes molaires.

Un **arc transpalatin préfabriqué** est disponible avec une courbe en U de chaque côté, permettant la connexion au TopJet (Figure 60). Il est disponible en 7 tailles en fonction de la distance séparant les fosses des molaires maxillaires. Cet arc transpalatin peut également être fabriqué en pliant un fil de .036 « Blue Elgiloy » ou d'acier.



A. Extrémité insérée dans le tube palatin.

B. Section descendante positionnant le TopJet au niveau (ou près) du plan de résistance de la molaire.

C. Section augmentant la distance entre la tête de vis et l'arc transpalatin

D. Fixation au connecteur en T.

E. Section variable, courbée vers le haut ou vers le bas selon les besoins pour personnaliser l'arc transpalatin (réglage en hauteur)

F. Section finale dont la longueur est déterminée par la largeur de palais.

Figure 60 : Schématisations par sections de l'arc transpalatin utilisé pour le TopJet (65)

3.8.2 Protocole (3,65)

1. Étape clinique : Pose et activation de l'appareil

La première étape consiste en la réalisation et la mise en place de **l'arc transpalatin**. Les bagues molaires sont adaptées sur 16 et 26 et scellées. L'arc transpalatin est choisi en fonction de la distance entre les 2 molaires, puis adapté pour rentrer passivement dans les fourreaux des bagues molaires en restant légèrement écarté de la muqueuse palatine. 3 à 4 mm d'expansion transversale sont ajoutés avant l'insertion finale si l'expansion molaire est souhaitée pendant la distalisation. L'arc transpalatin mis en place est sécurisé par résine photopolymérisable aux extrémités du fourreau.

La seconde étape est **la pose des minivis palatines** dans la zone M4 (Figure 24). La minivis est initialement placée perpendiculairement à la surface de l'os et est insérée sur quatre ou cinq tours, puis est redressée et vissée dans l'os dans une direction perpendiculaire au plan occlusal jusqu'à ce que la tête de vis atteigne le plan du centre de résistance de la molaire.

La troisième étape est la **mise en place du TopJet**. Le TopJet est d'abord clipsé au niveau de son clip en C autour de la tête de la minivis à l'aide de la pince de Weingart (Figure 61).



Figure 61 : Ajustage du clip en C sur la tête de la minivis (3)

Puis le piston « module de réglage » est déployé vers l'arc transpalatin (Figure 62A). Les clapets du connecteur en T sont fermés autour de l'arc transpalatin. Pendant ce déploiement, un ou deux anneaux élastiques peuvent tomber dans les fentes du tube du module de réglage, empêchant le piston de glisser dans le tube. Si le piston s'étire trop loin, il peut facilement être repoussé après avoir soulevé l'élastique. Ce mécanisme de réglage télescopique permet une adaptation de la longueur nécessaire pour chaque patient à l'aide d'un système de verrouillage automatique.

Pour obtenir des connexions stables en termes de rotation et d'angulation, les espaces autour du connecteur en T et au milieu du clip en C sont remplis avec du Triad Gel® (Figure 62B).

La dernière étape consiste à **activer le système TopJet** en tirant le fil vers le côté et en le coupant entre la perle sertie et le module de puissance pour activer le ressort (Figure 62C).



Figure 62 : Connexion du TopJet à l'arc transpalatin (3)

2. Étapes cliniques : Réactivations

Pour distaler efficacement les molaires, l'appareil doit être réactivé toutes les 4 semaines (Figure 63).

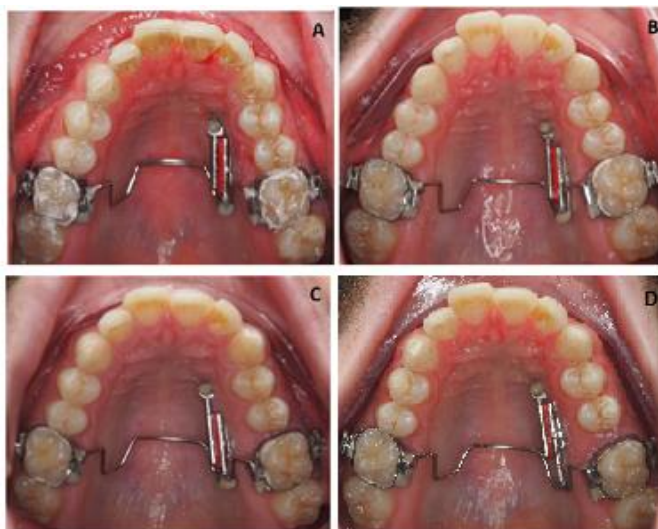
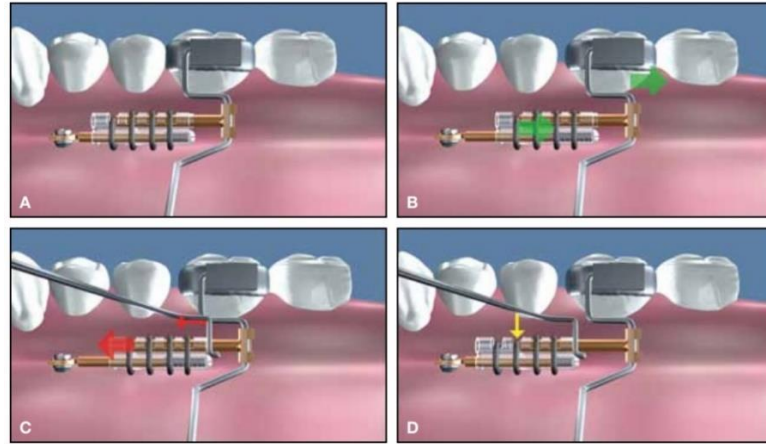


Figure 63 : Vues endobuccales du système TopJet le jour de la pose (A), 4 semaines après la pose (B) et 8 semaines après la pose (C) (iconographies personnelles)

La réactivation est réalisée par incréments de 2 mm, distance entre les anneaux élastiques, à l'aide d'une sonde courbée, en tirant le double tube soudé vers l'avant (Figure 64).



A. Activation par libération du ressort hélicoïdal comprimé.
 B. Pendant que l'arc transpalatin déplace les dents distalement, le ressort hélicoïdal se décomprime.
 CD. En tirant le tube vers la minivis avec une sonde courbée, l'anneau élastique suivant tombe dans sa fente, maintenant le piston en position déployée et recomprimant le ressort hélicoïdal pour la réactivation.

Figure 64 : mise en place et activation du TopJet (65)

Avec le recul des molaires, le palais postérieur devient plus étroit et la proximité croissante de l'arc transpalatin avec la muqueuse palatine peut s'accompagner d'une irritation palatine des tissus mous. Dans ce cas, la section C de l'arc transpalatin doit être légèrement pliée vers l'intérieur et la section E vers le haut (Figure 62D).

Une distalisation molaire maximale de 14 mm est possible si les quatre emplacements de réactivation sont utilisés. Après une distalisation suffisante, le tube jumeau est libéré vers l'arrière en soulevant l'élastique de butée approprié pour désactiver le ressort hélicoïdal. La force résiduelle exercée de 50 cN prévient les récurrences.

3. Étape clinique : Dépose du système

Le composite est retiré de la tête de la minivis, puis le clip en C est déclipsé en plaçant la pointe d'une pince Weingart entre le bras le plus long du Clip en C et la tête de la minivis (Figure 65). Le connecteur en T est ouvert en éloignant l'extrémité antérieure du TopJet du palais pour briser le composite et ouvrir les clapets. L'arc transpalatin est retiré des fourreaux des bagues molaires.

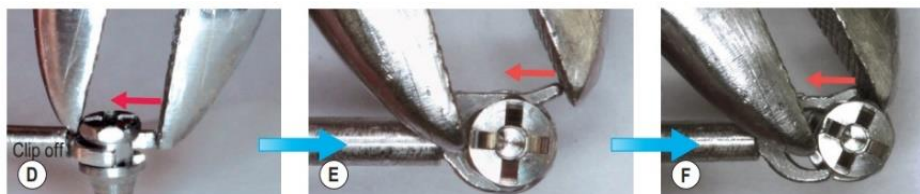


Figure 65 : dépose du clip en C de la tête de la minivis (3)

3.8.3 Aspects biomécaniques spécifiques au système (100)

❖ L'ingression ou l'égression molaire

La position paramédiane de la vis permet d'orienter le vecteur de distalisation parallèlement aux dents postérieures. Selon le besoin, la hauteur de la tête de vis peut être variée pour introduire une composante d'intrusion ou d'extrusion sur la ou les molaires.

❖ La rotation molaire

Les auteurs constatent que quand le TopJet est utilisé de manière bilatérale, il se produit une rotation molaire mésio-palatine de seulement 2°. La connexion entre le tube molaire palatin et l'arc transpalatin offre une résistance aux forces de rotation et d'angulation via le collage avec une résine de faible viscosité.

L'utilisation unilatérale du TopJet implique une rotation mésio-vestibulaire de la molaire distalée car la molaire controlatérale non déplacée présente un centre de rotation en étant maintenue par l'arc transpalatin,

❖ Cas de la distalisation unilatérale

La distalisation molaire unilatérale avec le TopJet ne nécessite qu'une minivis. Du fait de la transmission des forces par un arc transpalatin, une partie de la force de distalisation agira sur la molaire controlatérale, la distalant dans une moindre mesure. Si aucune distalisation controlatérale n'est souhaitée, une deuxième minivis peut être insérée du côté controlatéral et être connectée avec une ligature à l'arc transpalatin pour maintenir la molaire en position fixe. A l'inverse, si l'on désire du côté opposé mésialiser les molaires, on adjoindra une chaînette élastique.

3.8.4 Effets

Seule une étude a évalué à ce jour les effets du TopJet. Pseiner et al. (100) mènent une étude rétrospective sur 15 patients traités par Winsauer. Les effets au niveau des prémolaires, des incisives et les effets squelettiques ne sont pas analysés, mais ils relèvent les données suivantes :

✓ Quantité de recul molaire

Les premières molaires ont été distalées en moyenne de 4,0 mm en 5 mois, avec une moyenne de déplacement de **0,8 mm par mois**.

✓ Effets parasites sur les molaires maxillaires

Les rotations molaires constatées ($-1,4^\circ$) ne sont pas statistiquement significatives. L'utilisation bilatérale est plus susceptible d'impliquer une rotation mésio-palatine ($2,0^\circ$), tandis que l'utilisation unilatérale entraîne une légère rotation mésio-vestibulaire ($0,5^\circ$).

La dimension transversale est augmentée de 1,1 mm en moyenne au niveau des fosses centrales des molaires maxillaires.

3.8.5 Avantages et inconvénients spécifiques (3,65)

3.8.5.1 Avantages

- Renfort d'ancrage une fois les molaires distalées
- Système préfabriqué adaptable au fauteuil
- Confort à la phonation
- Intrusion et Extrusion molaires réalisables simultanément
- Pas ou peu d'effet parasite de rotation molaire

L'arc transpalatin ne permet pas ou que très peu la rotation des molaires lors de la distalisation.

- Peu de perte de forces due aux frictions

3.8.5.2 Inconvénients

- Accumulation de plaque possible due aux élastiques

Pour des raisons d'hygiène, ces élastiques en caoutchouc ont été remplacés dans la nouvelle version du TopJet par un mécanisme à cliquet avec une « dent de verrouillage » (Figure 59).

- Irritation possible des tissus mous due au frottement de l'arc transpalatin
Ceci se produit en particulier aux stades avancés de la distalisation, mais peut être résolu en ajustant la section C et la section E de l'arc transpalatin.
- Effets du système peu décrits dans la littérature

3.9 Autres systèmes moins utilisés

D'autres systèmes, à l'heure actuelle très peu utilisés, ont été décrits au fil des années. C'est le cas pour le DFD sur minivis et le Hyrax Screw.

3.9.1 Le DFD sur minivis

Le distaliseur à double force (DFD) supporté par minivis permet une **transmission des forces distalisantes sur les surfaces vestibulaires et palatines des premières molaires.**

L'appareil se compose d'un ancrage par bouton en résine acrylique renforcé par deux minivis de 11 mm x 2 mm. Deux bras y sont solidarisés et se dirigent côté vestibulaire et côté palatin vers les tubes d'une bague sertie sur la première molaire. Deux vis d'arrêt sont incorporées à chaque bras du système : la première comprime le ressort hélicoïdal ouvert en nickel-titane afin d'exercer une force de distalisation (250 à 300 g), la seconde située en arrière du tube molaire définit la fin du mouvement distal désiré (Figure 66).

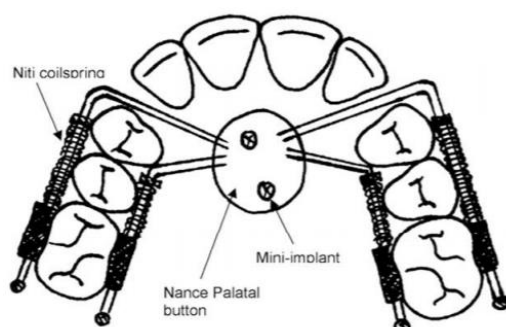


Figure 66 : schématisation du système DFD supporté par minivis (101)

La seule étude disponible sur ce système (101) montre que la distalisation molaire moyenne obtenue est de 5,9 mm en 5 mois, soit 1,18 mm/ mois avec 5,6° de version corono-distale. Les secondes prémolaires se distalent de 4,3 mm et s'inclinent distalement de 5,4° en moyenne, et les incisives reculent de 0,5 mm et se rétroversent de 0,8°.

D'après Oberti et al. (101), l'application bilatérale de la force distalisante sur chaque molaire permet :

- de réduire la rotation molaire parasite observée pour les systèmes précédemment décrits et de ce fait une partie de la perte de force due aux frictions ;
- de réduire la version corono-distale molaire ;
- d'obtenir une distalisation moyenne par mois plus importante que pour les appareils utilisant une force distalisante appliquée unilatéralement à la molaire.

Il nécessite néanmoins une étape de laboratoire, doit être réactivé en recomprimant les ressorts régulièrement, mais peut être utilisé en renfort d'ancrage pendant la distalisation des dents antérieures en sectionnant les bras vestibulaires.

3.9.2 Le Hyrax Screw

Un système reposant sur l'action antéro postérieure d'un vérin est proposé (102).

Deux minivis 8 mm x 1,7 mm placées dans la région palatine antérieure en paramédian de la suture palatine soutiennent l'appareil distalisant. Cet appareil est constitué d'un vérin Hyrax (Forestadent ®) placé parallèlement au plan occlusal et positionné de manière à s'ouvrir dans le sens sagittal, de deux bagues molaires et de deux bras soudés aux bagues molaires et au vérin (Figure 67).

Le vérin est activé manuellement par le patient à raison de 0,2 mm tous les 5 jours. La distalisation est contrôlée toutes les 4 semaines. En fin de distalisation, l'appareil est maintenu en renfort d'ancrage après avoir été préalablement bloqué.



Figure 67 : Vue endobuccale d'un système de distalisation molaire par Hyrax Screw (102)

Selon Duran et al. et Amasyali et al. (102,103), la distalisation molaire moyenne est de 4,10 mm, avec une version corono-distale de 11°. Les incisives centrales reculent de 0,95 mm et se rétroversent de 1,59°. Dans le sens vertical, seules les premières molaires montrent une intrusion moyenne de 0,59 mm. La rotation des premières molaires est de 4,92°.

Cet appareil présente plusieurs inconvénients, parmi lesquels (103) :

- l'impossibilité d'effectuer un recul molaire de manière unilatérale ;
- la version corono-distale importante induite par l'application des forces distalisantes à distance du centre de résistance par les deux bras rigides ;
- la distance inter-molaire reste fixe pendant la distalisation, pouvant conduire à des articulés en bout à bout ou inversé molaire ;
- la nécessité d'une étape de laboratoire avec empreinte très précise de la position des minivis posées préalablement ;
- la nécessité de compliance et de dextérité du patient qui doit activer lui-même le vérin régulièrement.

3.10 Synthèse des systèmes à glissement les plus utilisés en 2020

De nombreux auteurs ont développé des systèmes avec une mécanique de glissement.

3.10.1 Récapitulatif des systèmes

Un récapitulatif des systèmes comparés est proposé en Figure 68.

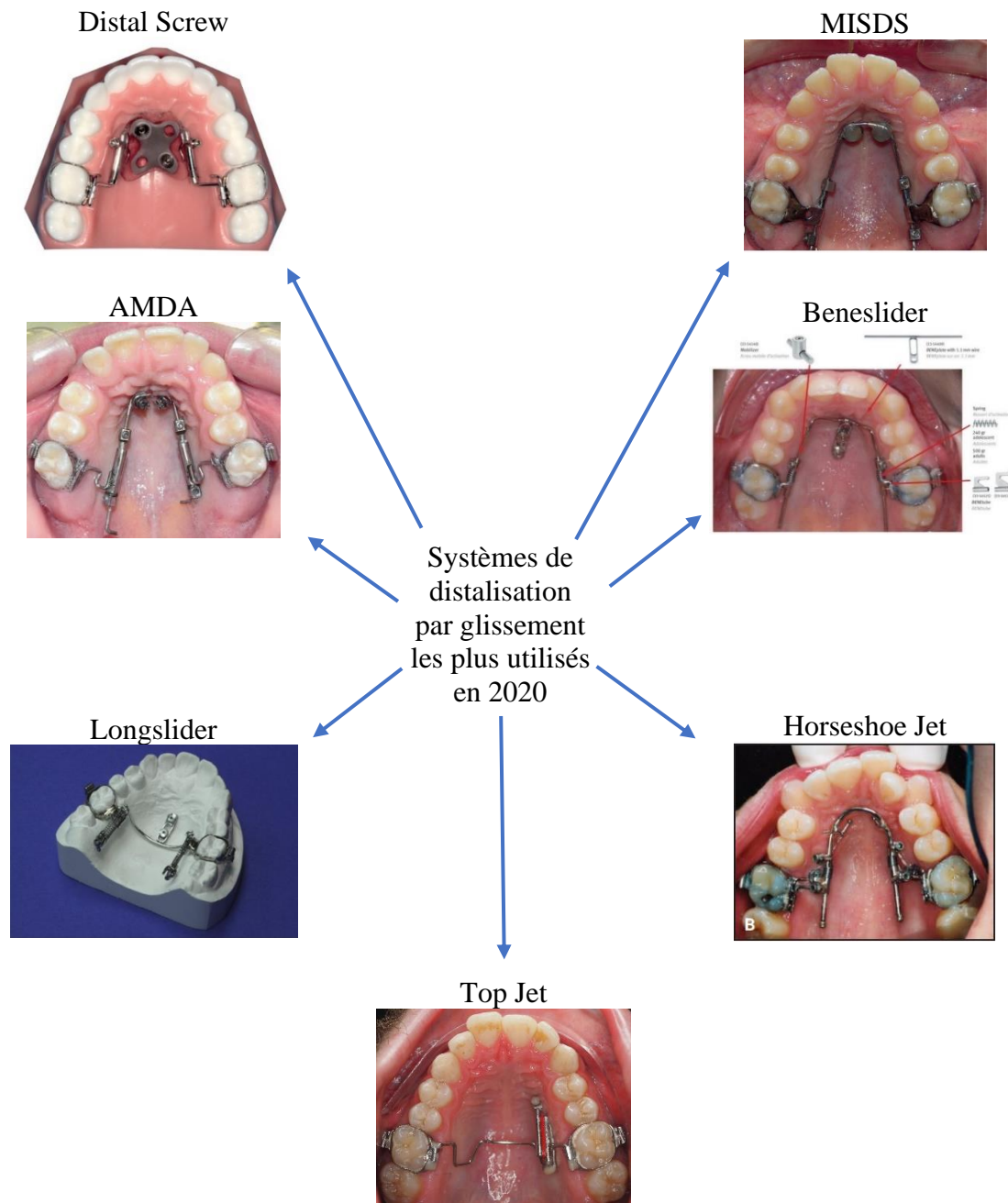


Figure 68 : Schéma récapitulatif des systèmes abordés (iconographies référencées dans la partie 3)

Tous les appareils précédemment cités, le DFD sur mini implants et l'HyraX Screw mis à part, présentent des avantages et des inconvénients communs comparativement à d'autres types de systèmes.

3.10.2 Avantages communs

- **Ancrage osseux** solide par minivis palatine médianes ou paramédianes
- Utilisent des **bagues molaires conventionnelles** avec des **tubes palatins standards**
- Permettent une **distalisation unilatérale ou bilatérale**
L'utilisation de deux minivis dans ce cas permet d'éviter la perte de la symétrie de la forme d'arcade, car elles luttent ensemble contre l'effet de torsion subit par l'appareil lorsque des forces de distalisation asymétriques sont appliquées. (44)
- **Déplacement en quasi-gression de la molaire** (version corono-distale de la molaire minimale), les systèmes rigides et le point d'application des forces diminuant les effets parasites
- Permettent un **mouvement spontané des prémolaires et canines** afin d'anticiper et de réduire la durée de la phase multi-attaches
- **Effets secondaires sur les prémolaires et les incisives limités**
- **Rapidité, sûreté et simplicité** des séances
- **Coopération des patients peu sollicitée**
- Systèmes **quasi invisibles, bien tolérés**
Pendant cette phase, il n'y a pas de changement visible dans la région antérieure, rendant ce traitement plus acceptable pour le patient.

3.10.3 Inconvénients communs

- Le mouvement des molaires maxillaires, même en gression, peut provoquer une **rotation mandibulaire vers le bas**
Papadopoulos (21) recommande d'utiliser ces systèmes avec prudence chez les patients au schéma de croissance vertical ou présentant une béance.
- Nécessité d'une **hygiène renforcée autour des minivis**

3.10.4 Avantages et inconvénients spécifiques

Les avantages et les inconvénients spécifiques à chaque système sont répertoriés dans les Tableau 9 et Tableau 10.

Tableau 9 : avantages propres à chaque système

V oui
X non
? Non décrit

	Recul moyen (en mm par mois)	Ancre osseux solide par minivis	Système mixte : mésialisation + distalisation possible	Renfort d'ancrage après distalisation	Système préfabriqué adaptable au fauteuil	Confort à la phonation	Intrusion/extrusion simultanément	Anticipation de la rotation molaire possible	Peu de perte de forces dues aux frottements	Avantages propres à chaque système
DISTAL SCREW	0,50	Solidarisées	?	V / X	X	X	?	X	X	- Appareil servant de guide chirurgical pour placer les minivis
MISDS	0,27	Non solidarisés	?	V	X	X	?	X	X	- Arrêt mécanique de la distalisation molaire en cas de rendez-vous manqué
AMDA	?	Non solidarisés	V	V	V	X	?	V	X	
BENESLIDER	0,60	Solidarisées ou non	V	V	V	X	V	X	X	- Connexion stable et efficace entre la minivis et le système grâce aux piliers - Utilisable simultanément avec aligneurs
LONGSLIDER	0,81	Solidarisées ou non	X	X	X	V	?	?	V	- Pas de réactivation nécessaire
HORSESHOE JET	?	Non solidarisées	?	V	X	X	?	?	X	- Stabilité des minivis facilement contrôlée - Nombreux emplacements disponibles pour les minivis - Appareil non verrouillé sur les minivis
TOP JET	0,80	Non solidarisées	?	V	V	V	V	V	V	

Tableau 10 : Inconvénients propres à chaque système

V oui
 X non
 ? Non décrit

	Etape labo nécessaire	Recommandation d'utiliser des minivis spécifiques	Effets du système peu décrit dans la littérature	Système + rétenteur de plaque	Risque de blessure muqueuse + important	Inconvénients propres à chaque système
DISTAL SCREW	Obligatoire	X	X	V	X	- Rétraction du bloc incisif impossible avec la pastille de nance
MISDS	Obligatoire	V	V	X	V	
AMDA	Possible	V	V	X	V	
BENESLIDER	Possible	V	V	X	V	- Perte importante des forces dues aux frictions - Possible exocclusion molaire
LONGSLIDER	Obligatoire	V	V	X	V	- Plus encombrant que le Beneslider - Doit être remplacé par un arc transpalatin dès la fin de la distalisation
HORSESHOE JET	Obligatoire	X	V	X	X	
TOP JET	Non	X	V	X	V	

Conclusion

De nombreux appareils de distalisation des molaires maxillaires basés sur une mécanique de glissement avec ancrage osseux palatin antérieur existent.

Le clinicien, pour faire son choix parmi ceux-ci, tiendra compte de plusieurs caractéristiques, afin d'opter pour l'appareil qui lui permettra d'avoir :

- un maximum de contrôle tant du point de vue de la coopération que de la mécanique ;
- un minimum d'ajustements au fauteuil ;
- une version corono-distale molaire minimale et une absence d'effets indésirables pour les autres dents dans les 3 dimensions de l'espace ;
- la quantité de distalisation souhaitée, non limitée par l'appareil, symétrique ou non ;
- un coût acceptable.

L'appareil idéal sera celui répondant à toutes ces caractéristiques mais qui pourra correspondre aux habitudes de pratique de l'orthodontiste. Les diverses évolutions liées aux progrès technologiques, associées à de meilleures connaissances de la physiologie osseuse, ainsi qu'à une meilleure maîtrise des forces laissent envisager un recul molaire de plus en plus efficace, stable et contrôlé si celui-ci répond à ses indications spécifiques.

Les contraintes liées aux systèmes présentés sont relatives à la biomécanique nouvelle à maîtriser, à l'anxiété du patient et de certains praticiens face aux ancrages osseux, aux difficultés rencontrées lors de l'insertion, lors des activations et lors de la dépose, ainsi qu'aux coûts de fabrication.

Table des figures

Figure 1 : Illustration des effets du germe de la seconde molaire maxillaire non évolué sur la distalisation (10).....	20
Figure 2 : Illustration des effets du germe de la troisième molaire maxillaire non évolué sur la distalisation (10).....	21
Figure 3 : Illustration des effets de la germectomie de la troisième molaire maxillaire sur la distalisation (10).....	22
Figure 4 : Proposition de classification des techniques de distalisation molaire maxillaire (schéma personnel)	25
Figure 5 : mécanique de distalisation décrite par Yamada et al. (35).....	32
Figure 6 : Le système MGBM en vue schématique palatine (A) et en vue endobuccale vestibulaire (B) (36).....	33
Figure 7 : Représentation graphique de la superposition maxillaire montrant les changements dentoalvéolaires avant (T1) et après (T2) distalisation par minivis inter-radicaire vestibulaire et mécanique de distalisation en masse (A) (35) ou avec minivis inter-radicaire palatine et système MGBM (B) (37).....	34
Figure 8 : Schéma des conséquences biomécaniques de la distalisation par ancrage osseux palatin indirect (A) et direct (B) (42).....	36
Figure 9 : schématisation des superpositions obtenues avant (trait plein) et après distalisation (trait pointillé) chez les patients ayant bénéficié du système MGBM (A) ou du Distal Screw (B) (37).....	36
Figure 10 : Schémas biomécaniques en vues occlusales des forces de distalisation, comparant plusieurs types de systèmes (44).....	38
Figure 11 : Schémas biomécaniques en vues sagittales avant (A) et après (B) distalisation molaire par appareil de non compliance à ancrage muqueux et dentaire (44)	38
Figure 12 : Schématisation des taux de survie des minivis en fonction de leur site d'insertion palatin (palais antérieur en bleu, alvéolaire en vert) (48).....	41
Figure 13 : Grille utilisée dans l'analyse des repères radiographiques (la ligne verte indique la limite antérieure pour une insertion de minivis palatine favorable) (31).....	42
Figure 14 : épaisseur verticale osseuse en mm en fonction de la localisation (31)	42
Figure 15 : Cartes de densité osseuse palatine moyenne chez les hommes (A) et les femmes (B). Les zones marquées de couleurs plus foncées représentent les régions où la densité osseuse est la plus forte (55).....	43

Figure 16 : Cartes d'épaisseur palatine moyenne chez les Hommes (A) et chez les femmes (B) (14)	43
Figure 17 : Comparaison de l'épaisseur osseuse palatine selon le stade de dentition en fonction des zones du palais (58).....	44
Figure 18 : Vue occlusale montrant la grille de mesure des points d'intérêt (en rouge) (52)	45
Figure 19 : Position schématique de la 3ème rugae palatine (61)	45
Figure 20 : Cartographie des vaisseaux sanguins du palais (31)	46
Figure 21 : Sites d'insertions palatins potentiels pour minivis (31).....	47
Figure 22 : Représentation schématique de la "T-Zone" (en vert) sur un modèle maxillaire osseux (30).....	47
Figure 23 : Carte du palais antérieur proposée par Becker & al. (64)	48
Figure 24 : Vue endobuccale schématisant la position du point "M4" en vert (65)	48
Figure 25 : clichés radiologiques issues d'une téléradiographie latérale (à gauche) et d'une coupe axiale au niveau des premières prémolaires maxillaires d'un CBCT (à droite) (66).....	49
Figure 26 : vues endobuccales de systèmes de distalisation molaire par ancrage palatin postérieur avec une (A) ou deux (B) minivis (6)	51
Figure 27 : schématisation de l'insertion d'une minivis palatine perpendiculaire à la surface osseuse palatine au point 2/2 (A) et image radiographique correspondante (B) (31)	52
Figure 28 : Pose de deux minivis à l'aide d'un guide chirurgical à appui muqueux et dentaire fabriqué en technique de conception et fabrication assistée par ordinateur CAD/CAM (80)	53
Figure 29 : Modèle virtuel superposé à la téléradiographie de profil correspondante (A), localisation de la position paramédiane appropriée des minivis (B) et téléradiographie de profil avec simulation des minivis positionnées d'après le moulage virtuel (C) (80).....	54
Figure 30 : Biomécanique d'action des systèmes à ancrage médian ou paramédian à localisation antérieure par glissement (21)	55
Figure 31 : Effet vertical du Beneslider selon l'angulation du fil d'acier (5).....	56
Figure 32 : augmentation des forces de friction suite à la rotation molaire induite par un ressort distalisant en traction (83).....	56
Figure 33 : Schéma du Distal Jet (84).....	57
Figure 34 : Distal Jet ancré sur vis d'ancrage palatine (87).....	58
Figure 35 : Distal Jet sur 2 minivis palatines (40)	58

Figure 36 : Distal Screw sur modèle en résine (3).....	59
Figure 37 : construction du Distal Screw (3).....	60
Figure 38 : composants du système MISDS (44).....	63
Figure 39 : fabrication du MSDIS en laboratoire (3).....	64
Figure 40 : Vues endobuccales d'un MISDS actif (A) et inactif (B) (3).....	65
Figure 41 : système préfabriqué AMDA (21).....	67
Figure 42 : Vue endobuccale d'un AMDA pour distalisation unilatérale – version à une tubulure / une minivis / un bras prémolaire (3).....	67
Figure 43 : AMDA pour distalisation unilatérale – version à une tubulure / deux minivis (21).....	68
Figure 44 : Vue endobuccale d'un AMDA pour distalisation unilatérale – version conventionnelle avec activation unilatérale (3).....	68
Figure 45 : Superposition des tracés céphalométriques sur la base crânienne antérieure (A) et le sur plan maxillaire (B) pour le cas 1 (2).....	70
Figure 46 : Superposition des tracés céphalométriques sur la base crânienne antérieure (A) et sur le plan maxillaire (B) pour le cas 2 (3).....	70
Figure 47 : Le système Benefit (3).....	72
Figure 48 : Vue endobuccale du Beneslider (92).....	72
Figure 49 : Beneslider prêt à l'emploi, muni de deux stops (en blanc) (5).....	73
Figure 50 : Flexitube collé directement sur la face palatine d'une molaire maxillaire (94).....	74
Figure 51 : mésial-distal slider : A. vue initiale ; B. résultat après 7 mois (92).....	75
Figure 52 : Longslider réalisé au laboratoire (83).....	77
Figure 53 : Longslider avant (A) et après (B) activation (83).....	78
Figure 54 : Vue endobuccale du Horseshoe Jet ancré sur 2 minivis placées en paramédian du palais antérieur (97).....	79
Figure 55 : Transposition des deux minivis entre le début (à gauche) et la fin (à droite) de distalisation avec Horseshoe Jet (97).....	80
Figure 56: Prototypage initial du TopJet (98).....	81
Figure 57 : prototype Topjet fixé sur son arc transpalatin (98).....	82
Figure 58 : Schématisation du "One Design TopJet" (99).....	82
Figure 59: Vue endobuccale (A) et schématique (B) de la dernière version du système TopJet (3).....	83
Figure 60 : Schématisations par sections de l'arc transpalatin utilisé pour le TopJet (65).....	84

Figure 61 : Ajustage du clip en C sur la tête de la minivis (3)	84
Figure 62 : Connexion du TopJet à l'arc transpalatin (3).....	85
Figure 63 : Vues endobuccales du système TopJet le jour de la pose (A), 4 semaines après la pose (B) et 8 semaines après la pose (C) (iconographies personnelles)	85
Figure 64 : mise en place et activation du TopJet (65).....	86
Figure 65 : dépose du clip en C de la tête de la minivis (3).....	86
Figure 66 : schématisation du système DFD supporté par minivis (101).....	89
Figure 67 : Vue endobuccale d'un système de distalisation molaire par Hyrax Screw (102)	90
Figure 68 : Schéma récapitulatif des systèmes abordés (iconographies référencées dans la partie 3).....	91

Table des tableaux

Tableau 1 : facteurs anatomiques à prendre en compte pour le placement d'une minivis (26).....	28
Tableau 2 : Valeurs moyennes du déplacement sagittal des molaires et prémolaires selon le type d'ancrage lors du recul molaire d'après Grec et al. (34).....	32
Tableau 3 : comparaison des sites d'insertion médian et paramédians (69)	50
Tableau 4 : valeurs moyennes relevées lors d'une distalisation molaire par Distal Jet supporté par 2 minivis par Kinzinger et al. (40).....	59
Tableau 5 : Les effets parasites sur les premières molaires maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études)	61
Tableau 6 : Les effets parasites sur les premières prémolaires maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études)	62
Tableau 7 : Les effets parasites sur les incisives maxillaires après utilisation du Distal Screw (valeurs moyennes relevées dans les études).....	62
Tableau 8 : Avantages et inconvénients d'un traitement en 1 ou 2 phases	74
Tableau 9 : avantages propres à chaque système.....	93
Tableau 10 : Inconvénients propres à chaque système	94

Bibliographie

1. Société française d'orthopédie dento-faciale. Dictionnaire d'orthognathodontie: orthodontie, orthopédie dento-faciale. [Édition 2015]. Paris: Société française d'orthopédie dento-faciale; 2015.
2. Haute Autorité de santé. Bilan de dysmorphose dentomaxillo-faciale. 2006.
3. Papadopoulos Moschos A. Skeletal anchorage in orthodontic treatment of class II malocclusion: contemporary applications of orthodontic implants, miniscrew implants and miniplates. Edinburgh New York [etc: Mosby Elsevier; 2015. xiv+293.
4. Umale V, Jalgaonkar N, Patil C, Gangadhar M, Sheth S. Molar distalization – A review. Indian J Orthod Dentofac Res. 30 oct 2018;4:146-50.
5. Nienkemper M, Pauls A, Wilmes B, Drescher D. Der Beneslider. Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie. déc 2017;49(4):234-6.
6. Lee JS, Kim JK, Park Y-C. Applications cliniques des mini-implants en orthodontie. Paris Berlin Chicago: Quintessence International; 2008.
7. Ellouze S, Darqué F. Mini-implants / l'orthodontie de demain. Paris: Quintessence international; 2012. (<<Les >>essentiels).
8. Björk A, Skieller V. Growth of the Maxilla in Three Dimensions as Revealed Radiographically by the Implant Method. Br J Orthod. 1 avr 1977;4(2):53-64.
9. Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Yamaguchi S, Ludwig B, Drescher D. Treatment efficiency of mini-implant-borne distalization depending on age and second-molar eruption. J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie OrganOfficial J Dtsch Ges Kieferorthopädie. mars 2014;75(2):118-32.
10. Kinzinger GSM, Fritz UB, Sander F-G, Diedrich PR. Efficiency of a pendulum appliance for molar distalization related to second and third molar eruption stage. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1 janv 2004;125(1):8-23.
11. HILGERS JJ. The pendulum appliance for Class II non-compliance therapy. J Clin Orthod. 1992;26:706-14.
12. Karlsson I, Bondemark L. Intraoral Maxillary Molar Distalization Movement before and after Eruption of Second Molars. Angle Orthod. 1 nov 2006;76(6):923-9.

13. Bowman SJ. Upper-Molar Distalization and the Distal Jet. *J Clin Orthod JCO*. mars 2016;50(3):159-69.
14. Kang S, Lee S-J, Ahn S-J, Heo M-S, Kim T-W. Bone thickness of the palate for orthodontic mini-implant anchorage in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. avr 2007;131(4):S74-81.
15. Kinzinger GSM, Eren M, Diedrich PR. Treatment effects of intraoral appliances with conventional anchorage designs for non-compliance maxillary molar distalization. A literature review. *Eur J Orthod*. 1 déc 2008;30(6):558-71.
16. Graber TM. Extraoral force—Facts and fallacies. *Am J Orthod*. 1 juill 1955;41(7):490-505.
17. Wehrbein H, Merz BR, Diedrich P, Glatzmaier J. The use of palatal implants for orthodontic anchorage. Design and clinical application of the orthosystem. *Clin Oral Implants Res*. 1996;7(4):410-6.
18. Sugawara J, Kanzaki R, Takahashi I, Nagasaka H, Nanda R. Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1 juin 2006;129(6):723-33.
19. Nur M, Bayram M, Celikoglu M, Kilkis D, Pampu AA. Effects of maxillary molar distalization with Zygoma-Gear Appliance. *Angle Orthod*. 1 juill 2012;82(4):596-602.
20. Papadopoulos MA, Tarawneh F. The use of miniscrew implants for temporary skeletal anchorage in orthodontics: A comprehensive review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 1 mai 2007;103(5):e6-15.
21. Papadopoulos MA. The « Advanced Molar Distalization Appliance »: A Novel Approach to Correct Class II Malocclusion. Bentham Science Publishers; 2010.
22. Crismani AG, Bertl MH, Čelar AG, Bantleon H-P, Burstone CJ. Miniscrews in orthodontic treatment: Review and analysis of published clinical trials. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1 janv 2010;137(1):108-13.
23. Lazaroo Bernard. Les minivis : ancrage osseux en omni-pratique et en orthodontie. 2e édition. Malakoff: Éditions CdP; 2016. x+115. (Mémento).

24. Hoste S, Vercruyssen M, Quirynen M, Willems G. Risk factors and indications of orthodontic temporary anchorage devices: a literature review. *Aust Orthod J*. nov 2008;24(2):140-8.
25. Pujo C. Les ancrages vissés en orthodontie : présentation et revue de la littérature. [Toulouse]: Université Paul Sabatier - Toulouse III; 2013.
26. Baumgaertel S. Cortical bone thickness and bone depth of the posterior palatal alveolar process for mini-implant insertion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;140(6):806-11.
27. Lim H-J, Choi Y-J, Evans CA, Hwang H-S. Predictors of initial stability of orthodontic miniscrew implants. *Eur J Orthod*. 1 oct 2011;33(5):528-32.
28. Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2009;20(12):1351-9.
29. Hourfar J, Bister D, Kanavakis G, Lisson JA, Ludwig B. Influence of interradicular and palatal placement of orthodontic mini-implants on the success (survival) rate. *Head Face Med*. 14 juin 2017;13(1):14.
30. Wilmes B, Ludwig B, Vasudavan S, Nienkemper M, Drescher D. The T-Zone: Median vs. Paramedian Insertion of Palatal Mini-Implants. *J Clin Orthod JCO*. sept 2016;50(9):543-51.
31. Ludwig B, Glasl B, Bowman S, Wilmes B, Kinzinger G, Lisson J. Anatomical guidelines for miniscrew insertion: palatal sites. *J Clin Orthod JCO*. 1 août 2011;45(8):433-41; quiz 467.
32. Chen Y-J, Chang H-H, Lin H-Y, Lai EH-H, Hung H-C, Yao C-CJ. Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic anchorage: experience with 492 temporary anchorage devices. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19(11):1188-96.
33. Gracco A, Tracey S, Baciliero U. Miniscrew insertion and the maxillary sinus: an endoscopic evaluation. *J Clin Orthod JCO*. juill 2010;44(7):439-43.
34. Grec RH da C, Janson G, Branco NC, Moura-Grec PG, Patel MP, Castanha Henriques JF. Intraoral distalizer effects with conventional and skeletal anchorage: A meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1 mai 2013;143(5):602-15.

35. Yamada K, Kuroda S, Deguchi T, Takano-Yamamoto T, Yamashiro T. Distal Movement of Maxillary Molars Using Miniscrew Anchorage in the Buccal Interradicular Region. *Angle Orthod.* 1 janv 2009;79(1):78-84.
36. Mariani L, Maino G, Caprioglio A. Skeletal versus conventional intraoral anchorage for the treatment of class II malocclusion: dentoalveolar and skeletal effects. *Prog Orthod* [Internet]. 30 juill 2014 [cité 4 oct 2020];15(1). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4138549/>
37. Cozzani M, Fontana M, Maino G, Maino G, Palpacelli L, Caprioglio A. Comparison between direct vs indirect anchorage in two miniscrew-supported distalizing devices. *Angle Orthod.* mai 2016;86(3):399-406.
38. Mohamed RN, Basha S, Al-Thomali Y. Maxillary molar distalization with miniscrew-supported appliances in Class II malocclusion: A systematic review. *Angle Orthod.* 1 juill 2018;88(4):494-502.
39. Fudalej P, Antoszevska J. Are orthodontic distalizers reinforced with the temporary skeletal anchorage devices effective? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 juin 2011;139(6):722-9.
40. Kinzinger GSM, Gulden N, Yildizhan F, Diedrich PR. Efficiency of a skeletonized distal jet appliance supported by miniscrew anchorage for noncompliance maxillary molar distalization. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* oct 2009;136(4):578-86.
41. Wilmes B, Drescher D. A miniscrew system with interchangeable abutments. *J Clin Orthod JCO.* oct 2008;42(10):574-80; quiz 595.
42. Wilmes B. case report kieferorthopädie: compliance-unabhängige molaren-distalisierung mittels benefit-technik. *Quintessenz Zahntech.* 2013;
43. Papadopoulos MA, Christou P. Centers of resistance of the maxillary complex : theoretical models and practical applications in orthodontics. *Hell Orthod Rev.* 2000;1:35-51.
44. Papadopoulos MA. Orthodontic treatment of Class II malocclusion with miniscrew implants. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* nov 2008;134(5):604.e1-16; discussion 604-605.

45. Kinzinger GSM, Diedrich PR. Biomechanics of a Distal Jet Appliance Theoretical Considerations and In Vitro Analysis of Force Systems. *Angle Orthod.* 1 juill 2008;78(4):676-81.
46. 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.* 1 juin 2013;143(6):767-72.
47. Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M. A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage. *ResearchGate.*
48. Mohammed H, Wafaie K, Rizk MZ, Almuzian M, Sosly R, Bearn DR. Role of anatomical sites and correlated risk factors on the survival of orthodontic miniscrew implants: a systematic review and meta-analysis. *Prog Orthod.* 24 sept 2018;19(1):36.
49. Gündüz E, Schneider-Del Savio TT, Kucher G, Schneider B, Bantleon HP. Acceptance rate of palatal implants: A questionnaire study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 nov 2004;126(5):623-6.
50. Bernhart T, Vollgruber A, Gahleitner A, Dörtbudak O, Haas R. Alternative to the median region of the palate for placement of an orthodontic implant. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11(6):595-601.
51. 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 Dentofacial Orthop.* 1 déc 2007;132(6):783-8.
52. Baumgaertel S. Quantitative investigation of palatal bone depth and cortical bone thickness for mini-implant placement in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 juill 2009;136(1):104-8.
53. Manjula WS, Murali RV, Kumar SK, Tajir F, Mahalakshmi K. Palatal bone thickness measured by palatal index method using cone-beam computed tomography in nonorthodontic patients for placement of mini-implants. *J Pharm Bioallied Sci.* avr 2015;7(Suppl 1):S107-10.
54. Misch CE. *Contemporary Implant Dentistry.* Elsevier Health Sciences; 2007. 1121 p.
55. Moon SH, Park SH, Lim WH, Chun YS. Palatal Bone Density in Adult Subjects: Implications for Mini-Implant Placement. *Angle Orthod.* 1 janv 2010;80(1):137-44.

56. King KS, Lam EW, Faulkner MG, Heo G, Major PW. Predictive Factors of Vertical Bone Depth in the Paramedian Palate of Adolescents. *Angle Orthod.* 1 sept 2006;76(5):745-51.
57. Yadav S, Sachs E, Vishwanath M, Knecht K, Upadhyay M, Nanda R, et al. Gender and growth variation in palatal bone thickness and density for mini-implant placement. *Prog Orthod.* 5 nov 2018;19(1):43.
58. Ryu J-H, Park JH, Vu Thi Thu T, Bayome M, Kim Y, Kook Y-A. Palatal bone thickness compared with cone-beam computed tomography in adolescents and adults for mini-implant placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 août 2012;142(2):207-12.
59. Gracco A, Lombardo L, Cozzani M, Siciliani G. Quantitative cone-beam computed tomography evaluation of palatal bone thickness for orthodontic miniscrew placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* sept 2008;134(3):361-9.
60. Hourfar J, Ludwig B, Bister D, Braun A, Kanavakis G. The most distal palatal ruga for placement of orthodontic mini-implants. *Eur J Orthod.* 1 août 2015;37(4):373-8.
61. Hourfar J, Kanavakis G, Bister D, Schätzle M, Awad L, Nienkemper M, et al. Three dimensional anatomical exploration of the anterior hard palate at the level of the third ruga for the placement of mini-implants – a cone-beam CT study. *Eur J Orthod.* 1 déc 2015;37(6):589-95.
62. Kim H-J, Yun H-S, Park H-D, Kim D-H, Park Y-C. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2006;130(2):177-82.
63. Brånemark PI, Adell R, Albrektsson T, Lekholm U, Lindström J, Rockler B. An experimental and clinical study of osseointegrated implants penetrating the nasal cavity and maxillary sinus. *J Oral Maxillofac Surg.* 1 août 1984;42(8):497-505.
64. Becker K, Unland J, Wilmes B, Tarraf NE, Drescher D. Is there an ideal insertion angle and position for orthodontic mini-implants in the anterior palate? A CBCT study in humans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* sept 2019;156(3):345-54.

65. Winsauer H, Muchitsch AP, Winsauer C, Milnes R, Vlachojannis J, Walter A. The TopJet for routine bodily molar distalization. *J Clin Orthod JCO*. févr 2013;47(2):96-107; quiz 139-40.
66. Jung BA, Wehrbein H, Heuser L, Kunkel M. Vertical palatal bone dimensions on lateral cephalometry and cone-beam computed tomography: implications for palatal implant placement. *Clin Oral Implants Res*. 2011;22(6):664-8.
67. Bower S, FAKHRY A. Accuracy of Lateral Cephalograms in Measuring Bone for Palatal Implants. In: ResearchGate. 2010.
68. Asscherickx K, Hanssens J-L, Wehrbein H, Sabzevar MM. Orthodontic Anchorage Implants Inserted in the Median Palatal Suture and Normal Transverse Maxillary Growth in Growing Dogs:A Biometric and Radiographic Study. *Angle Orthod*. 1 sept 2005;75(5):826-31.
69. Wilmes B, Willmann J, Stocker B, Drescher D. Mini-Implantate zur kieferorthopädischen Verankerung im anterioren Gaumen, mediane vs. paramediane Insertion. *Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie*. 17 déc 2015;47(04):243-8.
70. Nienkemper M, Pauls A, Ludwig B, Drescher D. Stability of paramedian inserted palatal mini-implants at the initial healing period: a controlled clinical study. *Clin Oral Implants Res*. 2015;26(8):870-5.
71. Nienkemper M, Wilmes B, Pauls A, Drescher D. Mini-implant stability at the initial healing period: A clinical pilot study. *Angle Orthod*. 1 janv 2014;84(1):127-33.
72. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. "Safe Zones": A Guide for Miniscrew Positioning in the Maxillary and Mandibular Arch. *Angle Orthod*. 1 mars 2006;76(2):191-7.
73. Liou EJW, Pai BCJ, Lin JCY. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1 juill 2004;126(1):42-7.
74. Maino BG, Maino G, Mura P. Spider Screw: skeletal anchorage system. *Prog Orthod*. 2005;6(1):70-81.
75. Di Leonardo B, Ludwig B, Lisson JA, Contardo L, Mura R, Hourfar J. Insertion torque values and success rates for paramedian insertion of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie*. 1 mars 2018;79(2):109-15.

76. Wilmes B, Drescher D, Nienkemper M. A miniplate system for improved stability of skeletal anchorage. *J Clin Orthod JCO*. août 2009;43(8):494-501.
77. Wilmes B, Drescher D. Impact of Insertion Depth and Predrilling Diameter on Primary Stability of Orthodontic Mini-implants. *Angle Orthod*. 1 juill 2009;79(4):609-14.
78. Kinzinger G, Gülден N, Yildizhan F, Hermanns-Sachweh B, Diedrich P. Anchorage Efficacy of Palatally-inserted Miniscrews in Molar Distalization with a Periodontally/Miniscrew-anchored Distal Jet. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie*. 1 mars 2008;69(2):110-20.
79. Scherer U, Stoetzer M, Ruecker M, Gellrich N-C, von See C. Template-guided vs. non-guided drilling in site preparation of dental implants. *Clin Oral Investig*. 1 juill 2015;19(6):1339-46.
80. Möhlhenrich SC, Brandt M, Kniha K, Prescher A, Hölzle F, Modabber A, et al. Accuracy of orthodontic mini-implants placed at the anterior palate by tooth-borne or gingiva-borne guide support: a cadaveric study. *Clin Oral Investig*. 1 déc 2019;23(12):4425-31.
81. Cassetta M, Altieri F, Di Giorgio R, Barbato E. Palatal orthodontic miniscrew insertion using a CAD-CAM surgical guide: description of a technique. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 1 sept 2018;47(9):1195-8.
82. Maino BG, Paoletto E, Lombardo L, Siciliani G. A Three-Dimensional Digital Insertion Guide for Palatal Miniscrew Placement. *J Clin Orthod JCO*. janv 2016;50(1):12-22.
83. Longerich UJJ, Thureau M, Kolk A. Development of a new device for maxillary molar distalization with high pseudoelastic forces to overcome slider friction: the Longslider--a modification of the Beneslider. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. juill 2014;118(1):22-34.
84. Bolla E. Evaluation of maxillary molar distalization with the distal jet: a comparison with other contemporary methods. 2002.

85. Cassetta M, Brandetti G, Altieri F. Miniscrew-supported distal jet versus conventional distal jet appliance: A pilot study. *J Clin Exp Dent.* juill 2019;11(7):e650-8.
86. Cozzani M, Pasini M, Zallio F, Ritucci R, Mutinelli S, Mazzotta L, et al. Comparison of maxillary molar distalization with an implant-supported distal jet and a traditional tooth-supported distal jet appliance. *Int J Dent.* 2014;2014:937059.
87. Karaman AI, Basciftci FA, Polat O. Unilateral distal molar movement with an implant-supported distal jet appliance. *Angle Orthod.* avr 2002;72(2):167-74.
88. Cozzani M, Zallio F, Lombardo L, Gracco A. Efficiency of the distal screw in the distal movement of maxillary molars. *World J Orthod.* 2010;11(4):341-5.
89. Caprioglio A, Cafagna A, Fontana M, Cozzani M. Comparative evaluation of molar distalization therapy using pendulum and distal screw appliances. *Korean J Orthod.* juill 2015;45(4):171-9.
90. Sar C, Kaya B, Ozsoy O, Özçirpici AA. Comparison of two implant-supported molar distalization systems. *Angle Orthod.* mai 2013;83(3):460-7.
91. Papadopoulos MA. Effective Treatment of Class II Malocclusion with the TAD-supported amda®. In: *Temporary Anchorage Devices in Clinical Orthodontics.* John Wiley & Sons, Ltd; 2020. p. 153-60.
92. Wilmes B. manuel d'information benefit system : PSM. 2013.
93. Wilmes B, Nienkemper M, Drescher D. Der Beneslider zur Distalisierung im Oberkiefer. *Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie.* 28 avr 2013;45(01):42-50.
94. Wilmes B, Nienkemper M, Ludwig B, Kau CH, Pauls A, Drescher D. Esthetic Class II treatment with the Beneslider and aligners. *J Clin Orthod JCO.* juill 2012;46(7):390-8; quiz 437.
95. Wilmes B, Vasudavan S. Asymmetric Noncompliance Upper Molar Distalization in Aligner Treatment Using Palatal TADs and the Beneslider. In: *Temporary Anchorage Devices in Orthodontics [Internet].* Elsevier; 2020 [cité 22 avr 2020]. p. 71-85. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323609333000077>

96. Wilmes B, Drescher D. Application and effectiveness of the Beneslider: a device to move molars distally. *World J Orthod.* 2010;11(4):331-40.
97. Bowman SJ. The Horseshoe Jet for miniscrew-supported molar distalization. *J Clin Orthod JCO.* avr 2018;52(4):196-218.
98. Winsauer H, Muchitsch AP, Winsauer C, Vlachoianis J. Körperliche Distalisation der Molaren mit dem TopJet-Konzept. *Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie.* sept 2011;43(3):197-204.
99. Winsauer H, Sauri M. TopJet Distalizer – Setzen einer Miniankerschraube sowie Einbau, Aktivierung, Deaktivierung und Ausbau einer Distalisationsapparatur. *Informationen Aus Orthod Kieferorthopädie.* sept 2016;48(3):142-3.
100. Pseiner BC, Wunderlich A, Freudenthaler JW. Upper molar distalization with skeletally anchored TopJet appliance. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopädie OrganOfficial J Dtsch Ges Kieferorthopädie.* janv 2014;75(1):42-50.
101. Oberti G, Villegas C, Ealo M, Palacio JC, Baccetti T. Maxillary molar distalization with the dual-force distalizer supported by mini-implants: A clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 mars 2009;135(3):282.e1-282.e5.
102. Duran GS, Görgülü S, Dindaroğlu F. Three-dimensional analysis of tooth movements after palatal miniscrew-supported molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 juill 2016;150(1):188-97.
103. Amasyalı M, Sabuncuoğlu FA, Oflaz U. Intraoral Molar Distalization with Intraosseous Mini Screw. *Turk J Orthod.* mars 2018;31(1):26-30.

Les appareils à ancrage osseux palatin direct temporaire médian ou paramédian à localisation antérieure dans la distalisation des molaires maxillaires / **Coralyne DONCHE**. - p. (111) : ill. (68) ; réf. (103).

Domaines : Orthodontie

Mots clés RAMEAU : Orthodontie – Appareils et matériels ; Maxillaires ; Molaire

Mots clés FMeSH : Orthodontie correctrice ; Procédures d'ancrage orthodontique ; Palais osseux ; Appareils orthodontiques ; Maxillaire ; Molaire

Mots clés libres : Distalisation, Minivis, Classe II

Résumé de la thèse en français

La distalisation des molaires maxillaires est un objectif de traitement souvent recherché en orthodontie. De nombreuses techniques existent à ce jour, avec un panel d'appareils très étoffé. Un nouvel essor des mécaniques et des appareils est constaté depuis l'apparition de l'ancrage osseux temporaire. Les systèmes à glissement sur ancrage osseux palatin à localisation antérieure semblent permettre, à l'heure actuelle, une distalisation efficace des molaires, avec un minimum d'effets parasites, sans solliciter la coopération des patients. Le but de ce travail est de justifier leur développement, d'évaluer l'ancrage squelettique palatin médian ou paramédian dans la distalisation molaire, et de référencer les systèmes les plus aboutis fonctionnant de la sorte sur le marché en 2020, en comparant leurs effets, avantages et inconvénients afin de guider l'orthodontiste dans son choix.

L'appareil idéal serait celui qui permettrait un contrôle aisé et rapide de la biomécanique avec un minimum d'effets parasites, tout en fournissant une quantité de distalisation suffisante. Il devrait aussi être facilement accepté par le patient et peu solliciter sa coopération, pour un coût minimal. Les contraintes liées aux systèmes présentés sont relatives à la biomécanique nouvelle à maîtriser, à l'anxiété du patient et de certains praticiens face aux ancrages osseux, aux éventuelles difficultés rencontrées lors de sa mise en œuvre, ainsi qu'aux coûts de fabrication.

JURY :

Président : M. le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Mme le Docteur Emmanuelle BOCQUET

Mr le Docteur Kevimy AGOSSA

Mr le Docteur Louis BAILLEUL