



UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2025

N°:

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 24/03/2025

Par Valentin VACHER

**ABSENCE DE LA PREMIERE MOLAIRES MANDIBULAIRE PERMANENTE :
PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE PAR MINI-VIS.**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Thomas Colard
Assesseurs : Madame le Docteur Amélie De Broucker
Monsieur le Docteur Laurent Nawrocki
Monsieur le Docteur Louis Méresse



UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2025

N°:

THESE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 24/03/2025

Par Valentin VACHER

**ABSENCE DE LA PREMIERE MOLAIRES MANDIBULAIRE PERMANENTE :
PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE PAR MINI-VIS.**

JURY

Président :	Monsieur le Professeur Thomas Colard
Assesseurs :	Madame le Docteur Amélie De Broucker
	Monsieur le Docteur Laurent Nawrocki
	Monsieur le Docteur Louis Méresse

Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	A. PACAUD
Vice doyen département facultaire UFR3S-Odontologie :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Scolarité :	V MAURIAUCOURT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEUR DES UNIVERSITES EMERITE

E DEVEAUX	Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
-----------	---

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Vice doyen du département facultaire UFR3S-Odontologie Odontologie Pédiatrique Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale
L ROBBERECHT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Responsable du Département de Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
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 - CHU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
H. PERSOON	Dentisterie Restauratrice Endodontie (maître de conférences des Universités associé)
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. SAVIGNAT	Responsable du Département de Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER et UNIVERSITAIRE

M. BEDEZ	Biologie Orale
----------	----------------

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.

Sommaire

Introduction	11
Partie 1 : Principes mécaniques du déplacement dentaire	16
I- Centre de résistance	17
II- Centre de rotation et moment d'une force	18
III- L'ancrage.....	20
Ancrage biologique	21
Ancrage orthodontique.....	22
Partie 2 : Critères de choix et mise en place des mini-vis	27
I- Caractéristiques propres des mini-vis.....	27
a) Matériaux	29
b) Corps de la mini-vis	29
c) Col de la mini-vis.....	33
d) Tête de la mini-vis.....	34
II- Choix du site d'implantation	37
a) Recommandations générales	37
b) Contre-indications	38
c) Considérations chez le patient dont la croissance n'est pas achevée	39
d) Sites vestibulaires inter-radiculaires.....	40
e) Mini-vis enfouie	43
f) Sites palatins	44
g) La tubérosité maxillaire	47
h) La zone rétromolaire mandibulaire	47
i) Plateau mandibulaire vestibulaire (buccal shelf)	48
j) Crête infra zygomatique.....	48
III- Protocole.....	50
a) Consentement éclairé	50
b) Bilan pré-opératoire	50

c)	Étape de marquage	52
d)	Étape de perforation de l'os cortical.....	54
e)	Étape de guidage.....	58
f)	Étape finale.....	58
IV-	Échecs, complications et limites	59
a)	Lors de la pose :	59
b)	Lors de la mise en fonction :	59
c)	Lors de la dépose :	59
d)	Limites biomécaniques à l'utilisation des mini-vis (37):.....	60
Partie 3. Stratégies et moyens thérapeutiques mis en œuvre		61
I-	Stratégies face aux différentes situations rencontrées	61
a)	Chez l'adolescent.....	61
b)	Chez l'adulte	63
II-	Moyen thérapeutique : redressement de l'axe molaire mésioversée	65
a)	Redressement par rotation autour du centre de résistance	66
b)	Redressement par rotation de la couronne.....	68
c)	Redressement par rotation mésiale des racines	72
d)	Dégradation des chaînettes	74
III-	Moyen thérapeutique : mésialisation molaire.....	75
a)	Indications et contre-indications.....	75
b)	Stratégies de mésialisation	77
c)	Considérations biomécaniques	78
d)	Ancrage direct.....	82
e)	Ancrage indirect.....	84
IV-	Moyen thérapeutique : ingression molaire maxillaire	88
a)	Stratégies d'ingression.....	89
b)	Considérations biomécaniques	90
c)	Ingression bilatérale.....	92
d)	Ingression unilatérale.....	93
Conclusion		96
Bibliographie		97
Table des illustrations		106

Introduction

Les avulsions dentaires demeurent malheureusement un acte répandu dans l'activité d'un chirurgien-dentiste. Les premières molaires sont les dents permanentes les plus extraites pour motif en lien avec la maladie carieuse (1).

En effet, elles sont les premières dents permanentes à faire leur éruption et leur implication dans l'hypominéralisation molaires incisives en font de ce fait les plus affectées par la maladie carieuse (1).

Si le patient est facilement motivé par le remplacement d'une dent en secteur antérieur, il en est autrement pour le remplacement d'une dent en secteur postérieur.

Or, les conséquences à court et long terme de ces édentements sont fortement dommageables tant sur le plan dentaire que parodontal, occlusal ou articulaire.

En effet, la perte d'une molaire entraîne la perte de points de contact occlusaux et mésio-distaux, responsables de la stabilité et de la continuité de l'arcade. Par conséquent, une avulsion a pour première conséquence la migration (gression) ou la version d'une ou plusieurs dents bordant l'édentement (Figure 1).



Figure 1: Photographie et radiographie de la version d'une deuxième molaire à la suite de la non-compensation de l'extraction de la première (2)

Au maxillaire, la mésialisation spontanée de la deuxième molaire se produit de façon satisfaisante jusqu'à 12 ans d'âge dentaire. La première molaire permanente mandibulaire s'égresse peu car la morphologie des racines est plate et divergente.

A la mandibule, les conséquences sont beaucoup plus préoccupantes. La mésialisation spontanée de la deuxième molaire est très souvent associée à une mésioversion (3–7).

En l'absence d'antagoniste, la première molaire permanente maxillaire s'égresse jusqu'au contact d'une dent mandibulaire : en classe I d'angle ce sera la cuspidé mésio-vestibulaire de la seconde molaire mandibulaire si la seconde molaire est évoluée.

L'âge de survenue de l'extraction semble avoir une importance sur l'apparition des migrations et des versions : si l'édentement intervient après 26 ans, les conséquences sont moins fréquentes. De même si l'extraction a lieu entre 8 et 10 ans (8–10).

Si une extraction de première molaire est nécessaire, elle doit être faite aussi précocement que possible, et dans tous les cas, au plus tard lors du début de l'édification des racines de la deuxième molaire, pour profiter de la dérive mésiale physiologique au moment de l'évolution de cette dent (4).

Concernant la version dentaire secondaire, lorsque celle-ci a lieu, elle modifie les espaces interdentaires et complique l'hygiène dentaire proximale des patients. Des caries peuvent alors se développer au niveau interproximal (Figure 2). La version des dents postérieures en distal de l'édentement peut aussi avoir des conséquences parodontales : sur un parodonte réduit, une mobilité peut se développer, une poche parodontale peut également apparaître. Chez un patient à risque parodontal, des extractions non compensées diminueront le pronostic des dents restantes.



Figure 2: Radiographie rétro-alvéolaire d'un patient ayant eu une extraction non compensée d'une deuxième molaire objectivant une carie profonde (2)

Les dents postérieures protègent les dents antérieures lors de la mastication, Angle dès 1900 considère les premières molaires comme la clef de l'occlusion. Une extraction non compensée de molaire peut conduire à la perturbation de l'équilibre fonctionnel des dents restantes et de la répartition de la charge occlusale sur l'ensemble de l' arcade, entraînant une sollicitation anormalement importante des dents antérieures voire une perte de la dimension verticale (11).



Figure 3 : A gauche fracture longitudinale de la 47 en l'absence non compensée de 36 et 46 ; A Droite usure excessive des dents antérieures à la suite de la non-compensation de trois extractions mandibulaires (2)

En effet, selon l'état des dents accueillants ces surcharges occlusales, une fracture coronaire amélo-dentinaire ou corono-radulaire peut survenir et engager le pronostic des dents concernées (Figure 3)(12).

Les versions, migrations, rotations et égressions des dents à la suite d'une extraction modifient le schéma occlusal et peuvent entraîner des interférences travaillantes et non travaillantes, ainsi que des prématurités. Même si une seule extraction non compensée n'entraîne a priori aucun trouble de l'articulation temporo-mandibulaire, l'accumulation d'édentements pourrait lui être néfaste et générer des douleurs articulaires (13).

Ces conséquences articulaires sont heureusement assez rares et bien moins fréquentes que celles précédemment citées (14,15).

Une extraction non compensée entraîne également un risque d'apparition d'excroissance de la muqueuse adjacente : linguale ou jugale. Elle résulte d'un effet d'aspiration entraînant une excroissance de forme sphérique le plus

souvent. Il s'agit d'une tumeur bénigne correspondant à une hyperplasie fibro-épithéliale. Cette hyperplasie peut être retirée, mais il y aura récurrence jusqu'au rétablissement de la continuité de l'arcade. Cela peut être gênant esthétiquement, mais peut aussi être à l'origine de morsures lors de la phonation ou de la mastication (2,16).

Enfin, la perte de la première molaire permanente provoque une diminution globale de l'efficacité masticatoire (17,18).

Afin de limiter toutes ces conséquences relatives à l'absence de remplacement d'une dent extraite, le chirurgien-dentiste pourra proposer un remplacement de cette dent, plusieurs solutions thérapeutiques sont possibles :

- La réalisation d'un bridge sans redressement préalable de l'axe de la molaire mandibulaire mésio-versée , si cette mésio-version est trop importante alors elle sera incompatible avec l'insertion d'un bridge conventionnel où les axes des piliers doivent être parallèles (19) ;
- La corono-plastie des dents antagonistes égréssées, voire leur traitement endodontique et la pose d'une couronne si l'égression est trop importante ;
- La pose d'un implant pour remplacer la molaire absente, si la mésio-version de la molaire adjacente ou l'égression de la ou les dents antagonistes sont compatibles avec la pose de celui-ci ;
- La solution prothétique, lorsqu'elle est dento-portée, nécessite bien souvent le traitement endodontique de l'une des deux dents bordant l'édentement, si ce n'est des deux ;
- La **solution orthodontique**, solution la moins délabrante, mais plus fastidieuse au premier abord, est souvent délaissée au profit de solutions certes plus commode à mettre en œuvre mais aussi plus délabrantes.

Ainsi, il sera préconisé un traitement orthodontique pré-prothétique visant à redresser l'axe d'une molaire mésioversée, dépulpée, reconstituée et destinée à supporter un bridge (20).

Si les dents bordant l'édentement sont traitées endodontiquement, un bridge classique, une fois les dents repositionnées, est envisageable. Si les dents bordants l'édentement sont saines, le traitement orthodontique de redressement molaire peut cette fois servir à placer un implant (Figure 4).

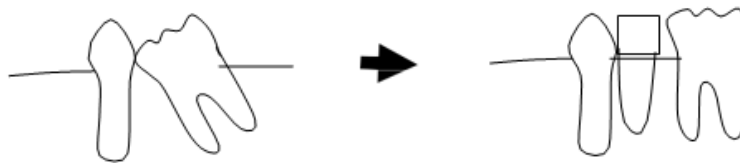


Figure 4: Ouverture de l'espace d'extraction pour la pose d'implant.

Si l'espace d'extraction est suffisamment large et adéquat (94,126) alors il est possible d'y placer un implant qui va servir d'ancrage pour redresser la molaire mésioversée.

Cependant cette technique nécessite la pose et l'ostéointégration de l'implant. L'implant doit avoir la place nécessaire et l'axe adéquat à la future réalisation prothétique supra-implantaire. C'est pourquoi il est préférable de procéder au repositionnement des dents au sein des courbes de compensation avant la mise en place de l'implant.

Pour ce faire on pourra utiliser des dispositifs orthodontiques à ancrage dentaire pour redresser les molaires mésioversées, mais qui auront l'inconvénient de générer des forces et mouvements parasites. En ce qui concerne les molaires égrées, il est difficile d'obtenir un ancrage dentaire suffisant à leur ingression, la nécessité de passer par un ancrage osseux se pose alors.

Ces dernières années, l'ancrage osseux s'est beaucoup développé, au travers de dispositifs à la fois fiables et simples à mettre en œuvre : les mini-vis.

Nous verrons dans un premier temps les principes du déplacement dentaire unitaire, puis nous verrons comment choisir et mettre en place une mini-vis.

Enfin, nous développerons les différentes stratégies à adopter ainsi que les différentes solutions qu'offrent les mini-vis pour repositionner la molaire mandibulaire mésioversée distalement à l'édentement, qu'elles soient pour ouvrir ou fermer l'espace, et pour repositionner la molaire maxillaire antagoniste égrée.

Partie 1 : Principes mécaniques du déplacement dentaire

En thérapeutique orthodontique, pour induire un déplacement dentaire il est nécessaire d'appliquer à la dent une force. Les forces sont mesurées en onces, grammes ou newtons. En orthodontie, l'unité de force généralement utilisée est le gramme (100g vaut environ 1N ou 3,5oz)(21).

Biologiquement, le déplacement dentaire résulte du remaniement osseux (22) :

- ❖ Activités ostéoblastiques inductrices d'appositions osseuses dans les zones d'extension.
- ❖ Activités ostéoclastiques inductrices de résorptions dans les zones de compression.

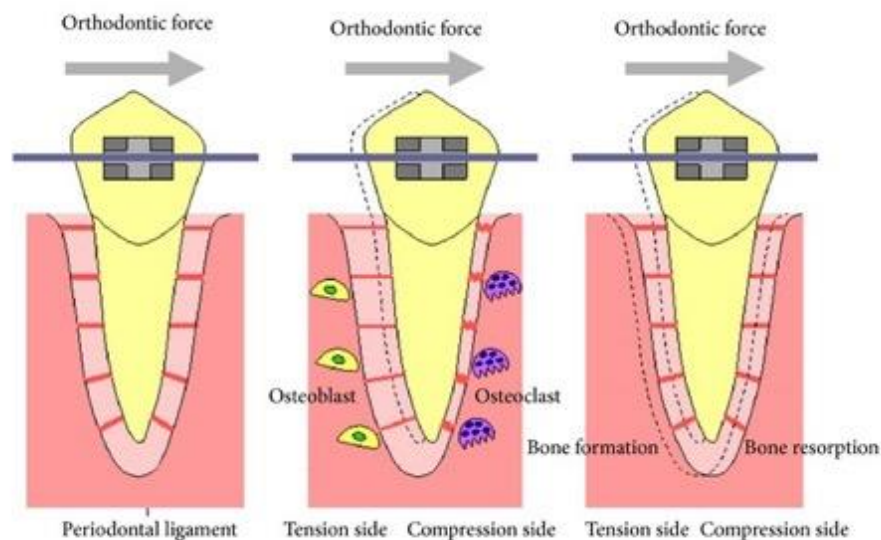


Figure 5: Diagramme schématisant le mouvement des dents, l'application d'une force orthodontique sur la dent provoque une compression / extension du desmodonte (23)

La vitesse de déplacement dentaire n'est donc liée a priori qu'au turn over tissulaire, à la dynamique du métabolisme desmodontal et osseux.

I- Centre de résistance

Le centre de résistance d'un solide est le point tel que, si la ligne d'action d'une force passe par ce point, le solide se déplace dans la direction de la force sans rotation, en gression pure (translation)(Figure 6).

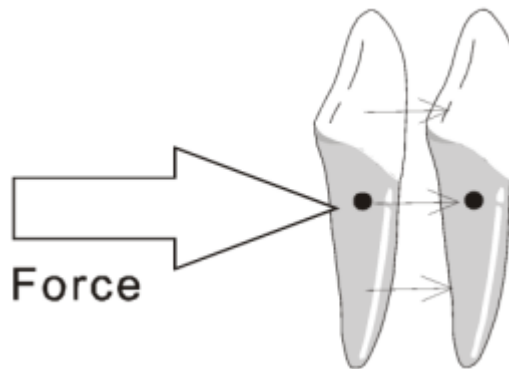


Figure 6: Les forces agissant au centre de résistance engendrent une translation pure (21)

Le centre de résistance d'une dent dans son alvéole dépend de la dent et de son parodonte mais est indépendant du système de forces appliquées.

Sa position varie en fonction de la longueur, du nombre et de la forme des racines ainsi que de la hauteur et de la densité de l'os alvéolaire. Approximativement, il se situe entre le milieu et le tiers radiculaire à partir de la crête alvéolaire pour une monoradiculée, et dans la zone de furcation pour une pluriradiculée dans un contexte parodontal sain (Figure 7).

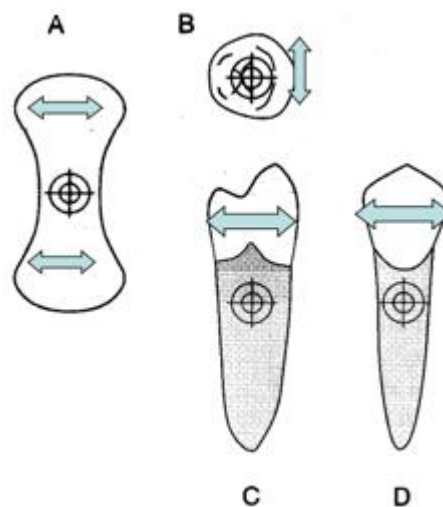


Figure 7: Position du Centre de Résistance sous différents angles de vue : A: radiculaire, B: occlusal. C: vestibulo-lingual, D: mésio-distal (21)

II- Centre de rotation et moment d'une force

Une force dont la ligne d'action ne passe pas par le centre de résistance de la dent provoquera un mouvement de rotation autour d'un point appelé **centre de rotation** (22).

La rotation est caractérisée par **le moment** (M) de la force qui correspond au produit de l'intensité de la force (F) par la distance orthogonale de sa ligne d'action au centre de résistance (D) ou bras de levier.

$$M = F \times D \text{ avec } M \text{ en g} \times \text{mm}$$

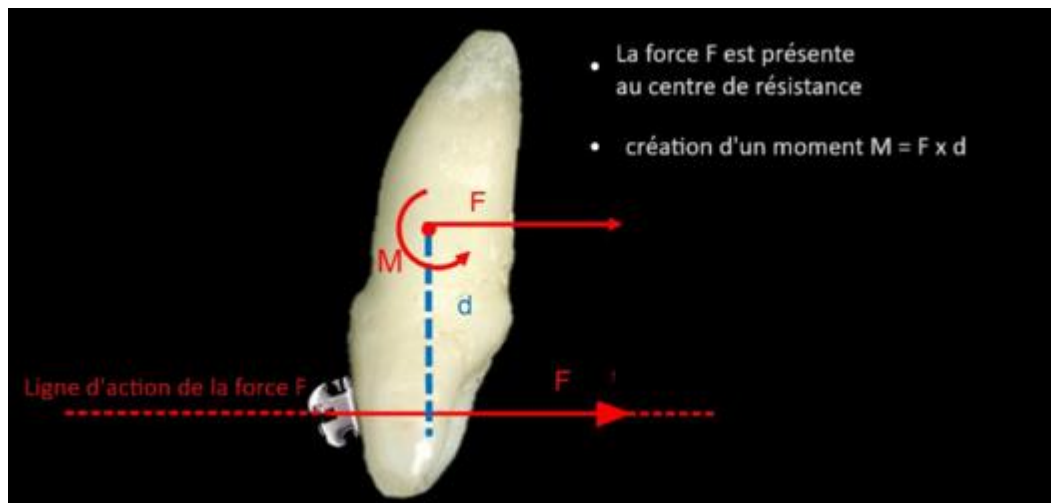


Figure 8: Moment produit par une force appliquée à une distance du centre de résistance (21)

Le plus souvent une force exercée sur une dent aura des composantes de translation et de rotation.

Principe fondamental :

- Si la force passe par le centre de résistance, le déplacement dentaire se fera en gression.
- Si la force ne passe pas par le centre de résistance, le moment de la force par rapport au centre de résistance provoquera une bascule autour d'un centre de rotation plus apical que le centre de résistance.

Lorsqu'une force isolée est exercée sur la couronne de la dent, le système de forces se réduit à (Figure 9) : la résultante qui est la force elle-même : $\vec{F}$.

Le moment résultant, en module, est : $C_r P \times F$ (vecteur perpendiculaire au plan de l'image).

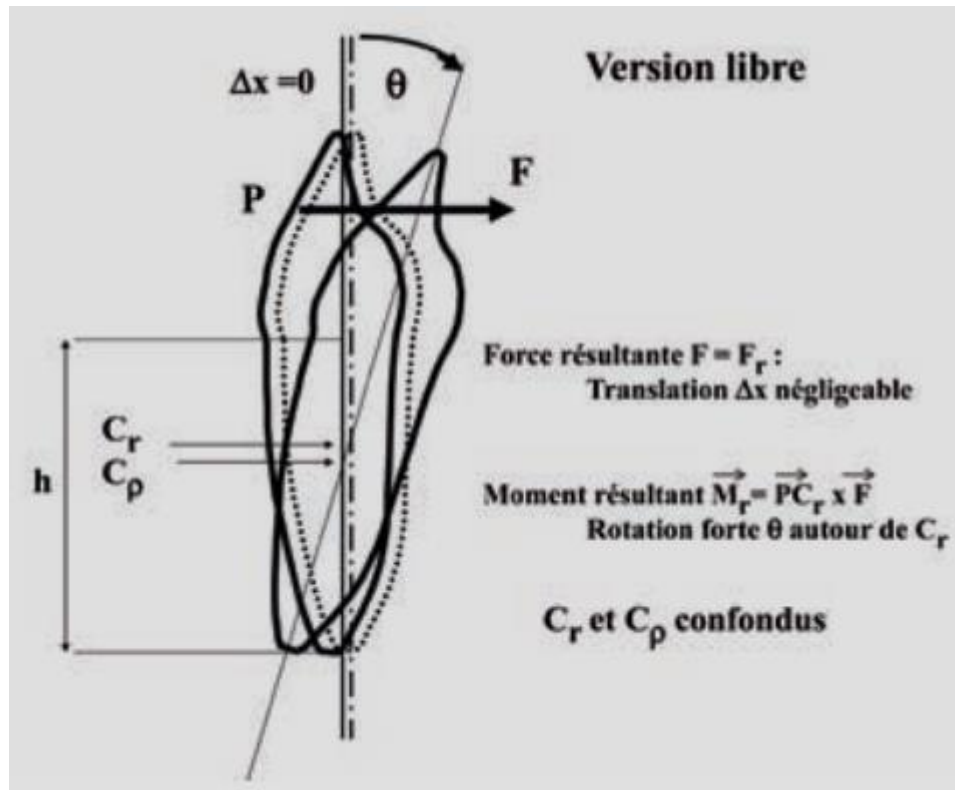


Figure 9: Version libre : force isolée horizontale, F , appliquée sur la couronne de la dent : $F_r = F$ et $M_r = PC_r \times F$. L'importance du bras de levier (PC_r) entraîne la prédominance de la rotation (22)

La version libre est donc la combinaison d'un faible mouvement de translation dans le sens de $\vec{F}$, et d'une forte rotation autour de C_r , dans le sens de $\vec{M}$. Le mouvement de rotation l'emporte à cause de l'importance du bras de levier $C_r P$; le centre de rotation C_p est quasiment confondu avec le centre de résistance C_r .

Pour un déplacement en version libre, avec des zones de compression et d'extension limitées, la force optimale est de 50g (22).

Pour un déplacement en gression pure (translation de la dent que cela soit dans le plan transversal, vertical ou antéro-postérieur), avec des zones de compression et d'extension affectant toute la hauteur de la racine, la force optimale est double, de l'ordre de 100g (22).

III- L'ancrage

Le terme ancrage, dans son application orthodontique, est défini comme la « résistance aux mouvements indésirables des dents ».

Ainsi selon Proffit, il s'agit de la résistance aux forces de réaction qui est fournie généralement par d'autres dents, parfois par le palais, parfois par la tête ou le cou (via une force extra-orale), et de plus en plus souvent par des systèmes d'ancrage osseux tel que les mini-vis (24,25).

Pour qu'une force puisse avoir un effet en un point donné, il faut qu'elle prenne appui en un autre point avec la même intensité selon le principe d'action/réaction énoncé dans la troisième loi de Newton (Figure 10)(26).

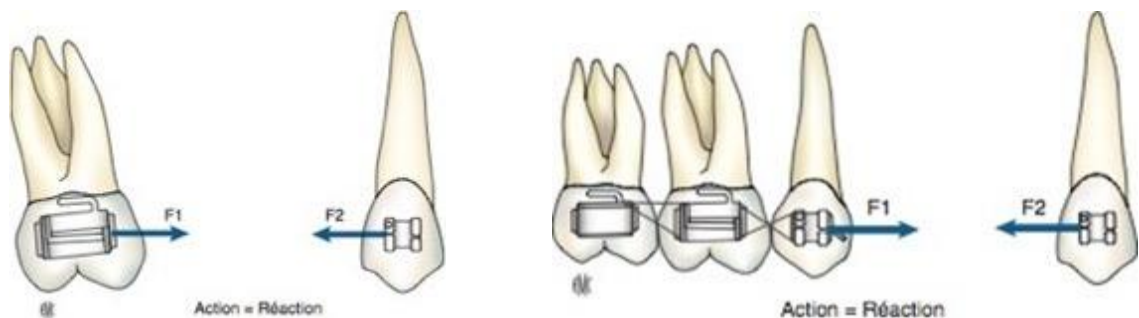


Figure 10: Ancrage conventionnel : Forces d'action et de réaction égales et de sens opposé, $F1=F2$ (26)

Selon ce principe fondamental, indépendamment de la technique orthodontique employée, toute force exercée sur une dent, un ensemble de dents ou l'arcade dentaire dans son ensemble entraîne une force équivalente en intensité mais de direction opposée. Cette règle mécanique est à l'origine de mouvements dentaires secondaires indésirables, appelés effets parasites, rarement souhaités lors des traitements, et difficiles à contrôler.

Ainsi, lors d'un traitement orthodontique, le déplacement dentaire est dépendant de la résistance au déplacement de chacune des dents sollicitées soit dans le but d'être déplacées, soit dans le but de servir de point d'appui.

Le déplacement possible de ce point sera d'autant plus important que le point sur lequel la force prend appui sera fixe.

En orthodontie, les forces de résistance sont de deux ordres :

- La résistance stable : C'est à dire le point d'ancrage de la force.
- La résistance mobile : C'est-à-dire le point d'application et de résistance de la dent à déplacer.

C'est la valeur réciproque des résistances qui commande le déplacement des dents. Le trinôme de De Névrezé schématise les forces mises en œuvre lors du déplacement dentaire provoqué.

Le Trinôme de De Névrezé

Résistance Stable : **RS** = Dent(s) d'ancrage.

Résistance Mobile : **RM** = Dent(s) à déplacer.

Force Motrice : **FM** = crée le déplacement par translation, version ou rotation.

Pour De Névrezé la situation optimale est la suivante :

La force motrice (FM) est insuffisante pour déplacer l'élément d'ancrage (RS), mais elle est suffisante pour déplacer les dents à mobiliser (RM), soit :

$$\mathbf{RM < FM < RS}$$

Il faut pour cela que la résistance stable soit beaucoup plus élevée que la résistance mobile.

Il y aura une perte de l'ancrage si la résistance stable (RS) de l'ancrage devient inférieure aux deux autres composantes (27).

Ancrage biologique

L'ancrage passif ou biologique est constitué par la dent, l'os alvéolaire et les ligaments parodontaux, et, au-delà du système dentaire, par tous les supports osseux et musculaires intra comme extra-oraux capables de résister à des forces orthodontiques. La valeur de l'ancrage de la dent est fonction de la longueur, du volume et du nombre de ses racines. Elle dépend également de sa position plus

ou moins versée dans l'os alvéolaire, c'est la théorie du « piquet de tente » de Tweed (plantés obliquement pour résister à la tension des cordages).

Ces valeurs d'ancrage sont illustrées à travers la Figure 11 (27).

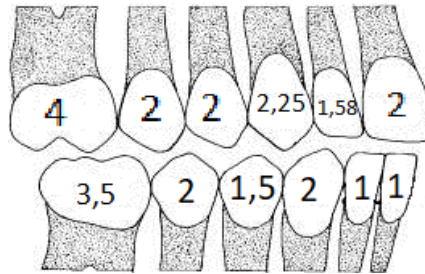


Figure 11: Coefficient d'ancrage selon Nabbout et Al (27)

Ancrage orthodontique

L'ancrage orthodontique est soit intra-oral ou extra-oral.

L'ancrage intra-oral est soit intra-maxillaire ou inter-maxillaire (Figure 13).

L'ancrage intra-maxillaire peut lui-même être subdivisé en dentaire et extra-dentaire (28).

Dans le cas d'un ancrage extra-dentaire, les forces de réaction ne seront pas distribuées à d'autres dents mais à d'autres tissus, comme l'os cortical dans les cas de mini-vis.

L'ancrage inter-maxillaire comprend des systèmes d'élastiques de classe II et de classe III ainsi que différents types d'appareils transférant les forces d'une arcade à l'autre comme un appareil à bielles de Herbst par exemple (Figure 12).



Figure 12: appareil de herbst (29)

L'ancrage osseux est un ancrage de type intra-oral intra-maxillaire extra-dentaire.

L'occlusion en elle-même est également un type d'ancrage intermaxillaire (24).

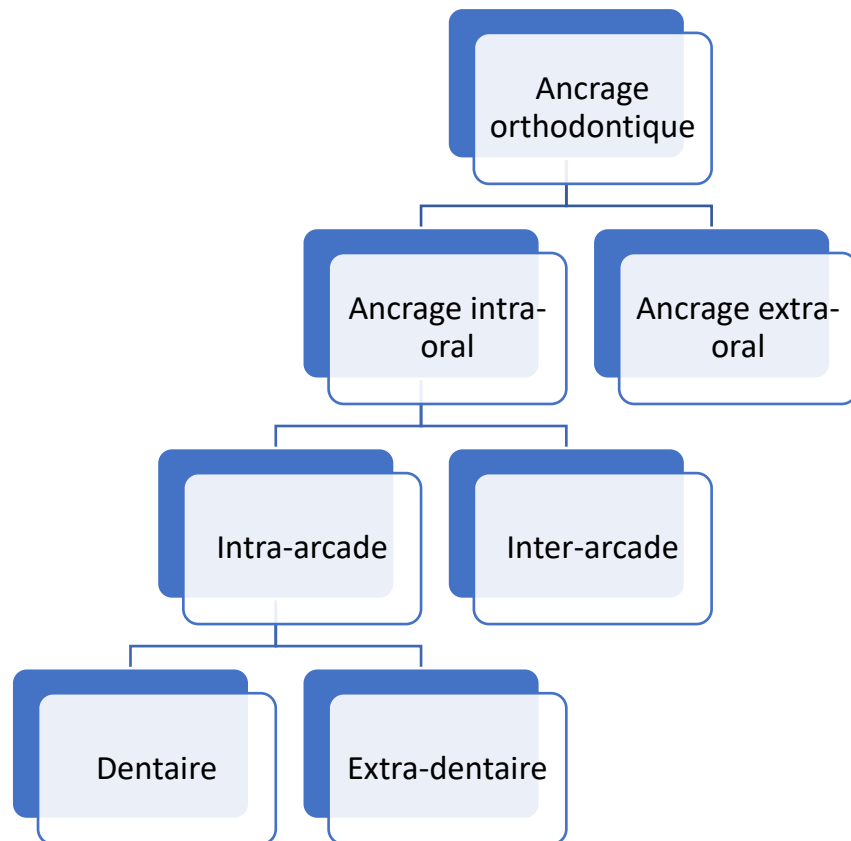


Figure 13: Place des différents types d'ancrage

Il n'est pas toujours possible de constituer une unité d'ancrage suffisante, les conditions locales étant parfois défavorables. C'est le cas lorsque le nombre de dents présentes est diminué, suite à des extractions ou des agénésies, ou encore lorsque les dents destinées à l'ancrage présentent une quantité de tissu de soutien parodontal faible, avec des corticales fines.

- **Ancrage extra-oral**

Cette insuffisance d'ancrage dentaire a conduit dans les années 1960 à la mise au point des ancrages extra-oraux sous la forme de bandeaux et d'arcs (exemple : masque de Delaire). Ceux-ci délivrent des forces extra-orales en prenant appui sur le crâne ou la nuque. Cet ancrage minimise les effets réciproques entre les résistances stables et mobiles. Cependant, le risque de mobilisation des unités d'ancrage est fréquent et il n'est pas rare pour l'orthodontiste de passer plus de temps à la correction des effets secondaires du traitement qu'au traitement lui-même. Certains mouvements du secteur postérieur sont difficiles voire impossibles à mettre en œuvre à l'aide des dispositifs classiques.

Ces appareils extra-oraux sont mal acceptés par les patients. En effet, ces appareils doivent être portés 12 à 18 heures par jour durant des périodes de 6 à 24 mois, ils nécessitent une coopération totale de la part du patient (30).

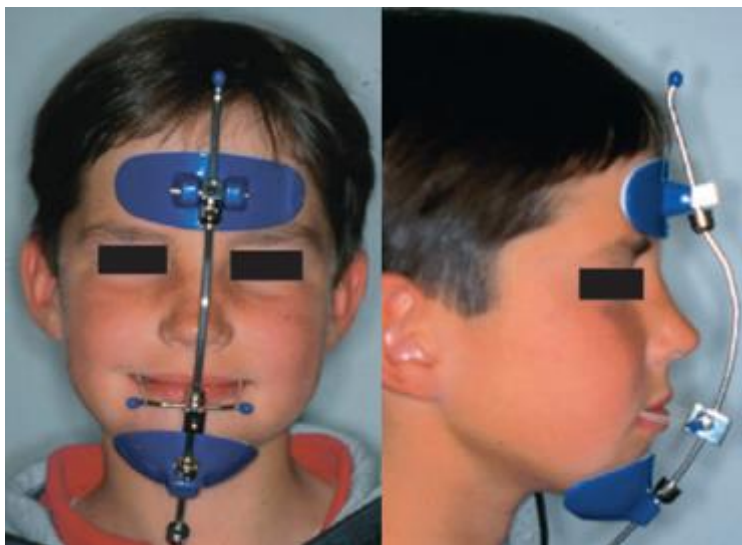


Figure 14: Masque facial de Delaire (31)

Pour l'orthodontiste, l'idéal serait donc d'avoir un ancrage absolu (ancrage stable qui ne subit pas de perte d'ancrage), extérieur aux dents et indépendant de la compliance du patient. Il permettrait de réaliser toutes sortes de mouvements orthodontiques et faciliterait plus particulièrement l'ingression des dents du secteur postérieur sans mobiliser les dents d'ancrage et créer des mouvements parasites.

- **Ancrage osseux**

Toutes ces exigences ont amené progressivement les orthodontistes à se tourner vers une possibilité d'ancrage intra-osseux.

Dès 1945, Gainsforth a eu l'idée de tester chez l'animal des vis en Vitalium dans le cadre d'un traitement orthodontique (32). Le but était de renforcer la stabilité des dents servant d'ancrage orthodontique. Cependant, ces vis insérées à la mandibule et au maxillaire se mobilisèrent 1 mois après leur mise en charge. En 1969, Bränemark et al. démontrèrent qu'il était possible de soumettre des vis ostéo-intégrées en Titane à des contraintes importantes (33). En 1984, Roberts et al. appliquèrent les principes de l'ostéo-intégration à l'orthodontie. Ils utilisèrent des implants comme pilier d'ancrage pour tracter des dents ou un groupe de dents (34,35).

Ce n'est qu'en 1997 que Kanomi présente le premier système de mini-vis à visée orthodontique (36). Il introduit un nouveau type de vis spécifiquement pensé pour l'utilisation orthodontique et dérivé des vis chirurgicales utilisées pour la fixation de fragments osseux dans les chirurgies orthognathiques et reconstructrices. C'est l'apparition d'une nouvelle génération de vis de taille de plus en plus réduite (28,30,32–34,36).

L'ancrage osseux ne sollicite pas les dents, il est obtenu grâce à des systèmes implantaires tel que des implants conventionnels, des implants palatins, des mini-plaques ou encore des mini-vis (24).

Les mini-vis sont fixées dans l'os alvéolaire. Leur ostéo-intégration n'est pas nécessaire car il s'agit principalement d'une rétention mécanique, ce qui permet une mise en charge immédiate ainsi qu'une grande facilité de dépose. Elles peuvent servir à ancrage direct ou indirect (37).

- On parle **d'ancrage direct** lorsque la mécanique orthodontique (chainette, ressort, élastiques) est fixée directement sur la mini-vis afin de réaliser les déplacements dentaires souhaités (Figure 15).

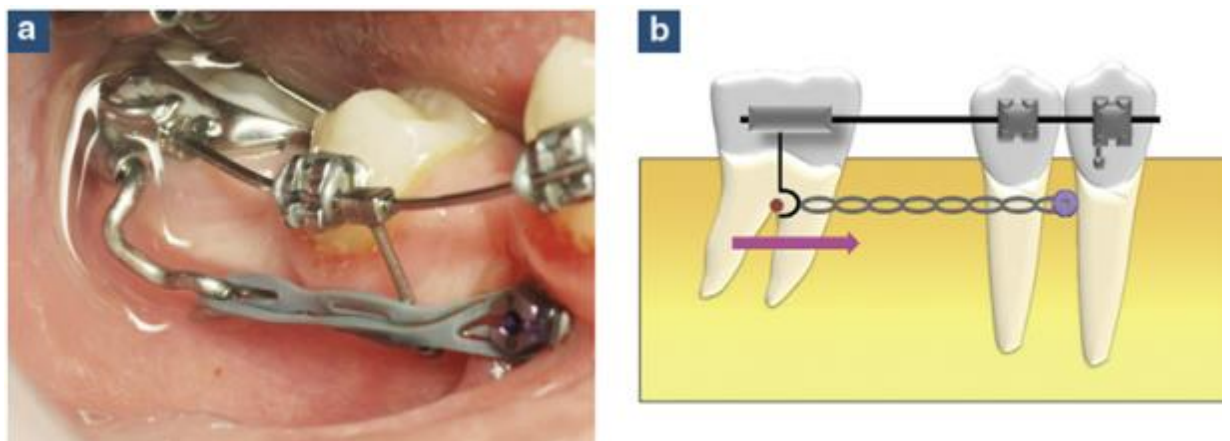


Figure 15 : Principe de l'ancrage direct : vue clinique (a) et schéma (b) (38)

- On parle **d'ancrage indirect** lorsque la mini-vis est positionnée de manière à renforcer un ancrage préexistant, dans ce cas, elle est reliée par une connexion rigide à une dent ou un groupe de dents. Le système de force qui va induire le déplacement dentaire est relié directement aux traitements par multi-attaches. C'est un auxiliaire qui relie la mini-vis à l'appareillage orthodontique ou à la dent dont on souhaite renforcer l'ancrage, permettant le contrôle des mouvements parasites induits par le système de force. La mini-vis devra avoir une tête en forme d'attache orthodontique (« tête bracket ») avec une gorge afin d'y insérer l'auxiliaire qui sera maintenue par une ligature (Figure 16).

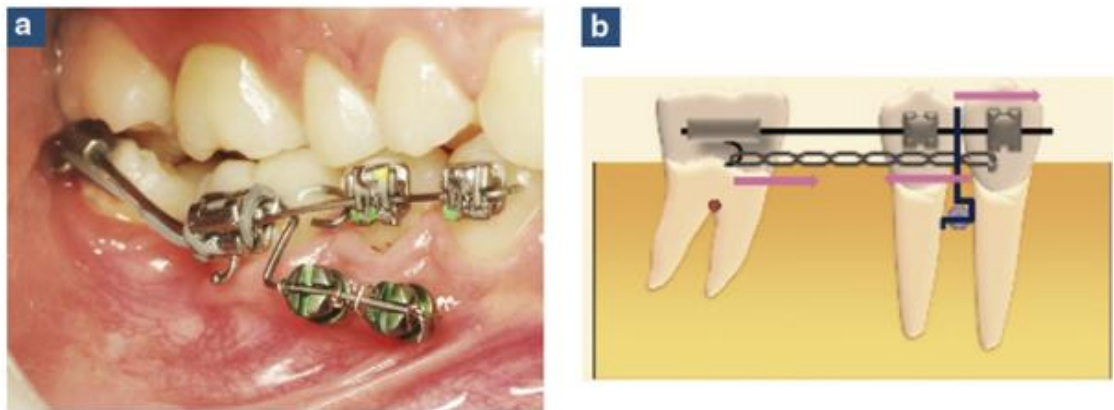


Figure 16: Principe de l'ancrage indirect, vue clinique (a) et schéma (b) (38)

Partie 2 : Critères de choix et mise en place des mini-vis

I- Caractéristiques propres des mini-vis

Les mini-vis font partie des dispositifs d'ancrage osseux temporaires.

Les mini-vis ont été introduites comme dispositifs d'ancrage absolu dans le traitement orthodontique car les procédures de pose et de retrait sont moins invasives que pour les autres implants et nécessitent une coopération minimale du patient. Contrairement aux implants ostéo-intégrés, elles obtiennent leur rétention uniquement par des moyens mécaniques. L'ostéo-intégration n'est ici pas souhaitée pour permettre un retrait facile.

La notion de stabilité primaire est donc essentielle au bon fonctionnement des mini-vis, cette stabilité primaire correspond à la stabilisation mécanique immédiate après son implantation. Elle est directement dépendante de trois groupes de facteurs, étroitement liés (Figure 17) :

- Les facteurs liés à l'hôte : ils interviennent dans la sélection optimale du site . Ouverture buccale, hygiène, accessibilité du site, épaisseur de gencive attachée, qualité et quantité de l'os disponible, contraintes des régions périphériques
- Les facteurs liés à l'opérateur : sa dextérité, la nécessité d'effectuer un préforage ou non, les modalités de mise en charge orthodontique (du fait de l'absence d'ostéointégration, la mise en charge immédiate est possible) ;
- Les facteurs liés aux implants : le design de la vis, son diamètre, sa longueur, ses propriétés mécaniques.



Figure 17: Paramètres influençant la stabilité primaire de la mini-vis (39)

Il existe une multitude de mini-vis différentes mais elles ont toutes une architecture commune, elles sont composées (Figure 18) :

- D'une **tête** à laquelle les auxiliaires sont appliqués ;
- D'un **col transmuqueux** qui relie le corps à la tête et sert de butée une fois qu'il rencontre l'os ;
- D'un **corps** qui est la partie de la mini vis qui se trouve dans l'os ;
- D'un **filetage** qui peut-être auto-taraudant ou auto-forant et auto-taraudant.

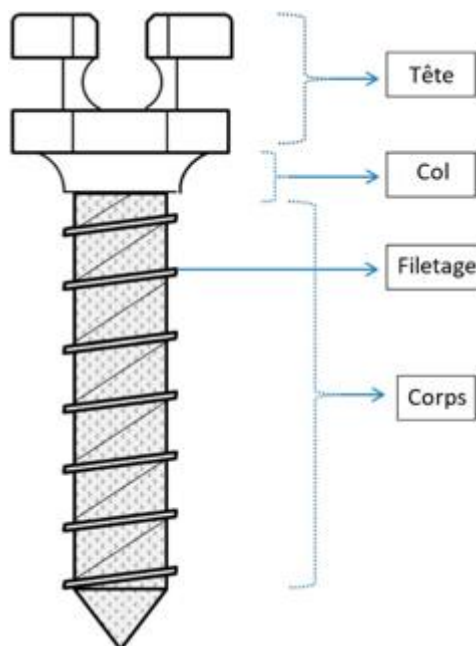


Figure 18: Schéma d'une mini-vis type (40)

a) Matériaux

La plupart des mini-vis proposées sur le marché sont en titane de grade 5 qui est un alliage de titane, le Ti-6Al-4V (90% de titane, 6% d'aluminium, 4% de vanadium). Le titane pur, que l'on retrouve dans les implants dentaires conventionnels, n'est plus utilisé en raison du risque élevé de fracture lié aux faibles diamètres utilisés. L'état de surface des mini-vis en titane est lisse et n'est donc pas le même que celui d'un implant dentaire. L'acier chirurgical peut parfois être utilisé notamment chez les vis OBS de Chris Chang (41).

Comme il est susmentionné l'ostéo-intégration n'est pas recherchée mais l'os entoure la vis dès sa mise en place : on parle plutôt de fibro-intégration (42).

b) Corps de la mini-vis

1. Longueur du corps

Lors de la pose d'une mini-vis, c'est l'os cortical qui est responsable de la majeure partie de la stabilité primaire, l'os spongieux a beaucoup moins d'influence sur elle.

Dès lors il apparaît que l'allongement des mini-vis dans l'os spongieux n'a que peu d'intérêt. Mais aussi que la quantité de tissus mous recouvrant l'os est un facteur important, car elle allongera d'autant la longueur nécessaire pour atteindre la corticale.

Une mini-vis longue qui traverse tout l'os alvéolaire pour atteindre l'os cortical de l'autre côté appelée vis bi-corticale (Figure 19) offre une plus grande stabilité, mais pour la plupart des applications, cela est bien trop invasif (43).

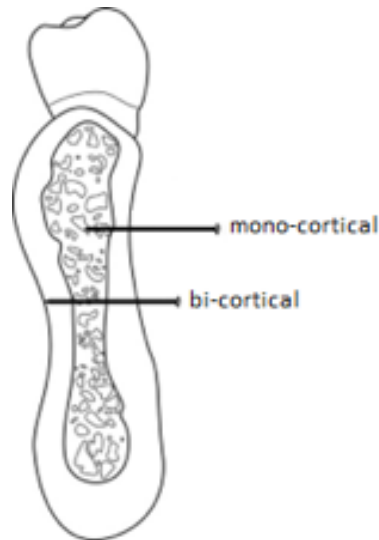


Figure 19 : Vue orthogonale du placement des mini-vis mono-corticales et bi-corticales (44)

En résumé la longueur variera selon le site d'insertion :

- L'épaisseur de corticale disponible : une vis longue sera indiquée en présence d'une corticale fine afin d'augmenter la stabilité primaire ;
- L'épaisseur de la muqueuse sus-jacente ;
- La profondeur disponible.

Les longueurs disponibles sur le marché varient de 5 à 15mm.

Au-delà de 5mm il a été démontré que la longueur des vis n'a que peu d'effet sur la la stabilité (45–47).

2. Diamètre du corps

Le diamètre intra-osseux fait référence à la partie la plus large du corps de la mini-vis, spires comprises (Figure 20). Le diamètre diffère selon les fabricants et varie généralement de 1,2 à 2,3 mm (40).

Considérant que la largeur du desmodonte est d'environ 0,25 mm, placer une mini-vis à moins d'un 1 mm du desmodonte engendre une résorption radiculaire même s'il n'y a pas de contact direct entre la mini-vis et la racine (48).

Fort de ce constat, lorsque l'on souhaite placer une mini-vis entre deux racines relativement proches, il faut choisir un petit diamètre tout en ayant à l'esprit que les mini-vis dont le diamètre est inférieur à 1,2 mm sont trop fragiles et présentent un risque trop élevé de fracture lors de leur mise en place, alors que celles dont le diamètre est supérieure à 2mm ne peuvent pas être placées dans un site inter-radicaire et sont à réserver aux zones non dentées (banches montantes de la mandibule, palais antérieur, région rétro-molaire mandibulaire et tubérosité maxillaire)(49). Les dimensions des mini-vis doivent donc être choisies en fonction du site d'insertion souhaité.

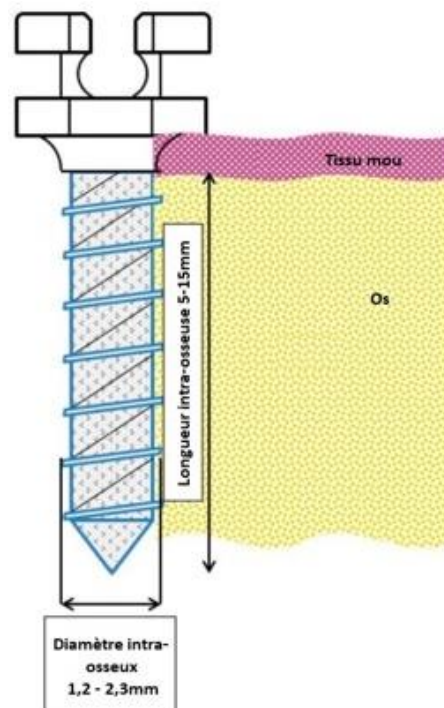


Figure 20: Intervalles de valeurs du diamètre et de la longueur d'une mini-vis(40)

3. Filetage et pointe

La stabilité primaire et la rétention d'une mini-vis proviennent en majorité du contact avec la corticale de l'os alvéolaire mais relativement peu du contact avec la partie spongieuse de l'os cortical.

Plus la densité de l'os augmente, plus le pas de filetage doit être resserré.

Il apparaît donc qu'un pas de filetage plus serré, notamment près de la tête de vis, offrira un plus grand contact avec l'os cortical.

De manière générale les mini-vis avec un pas de filetage plus resserré devraient être préférées mais en contrepartie, elles nécessitent un couple de serrage plus important (50,51).

Actuellement les mini-vis sur le marché ont soit un filetage auto-taraudant avec une pointe mousse non travaillante, soit un filetage et une pointe permettant en plus d'être auto-taraudant d'être auto-forant. Dans les deux cas, elles ne nécessitent pas de taraudage avant d'être insérées (Figure 21). **Les mini-vis auto-taraudantes nécessitent tout de même un protocole de préforage alors que les mini-vis auto-forantes peuvent être vissées sans forage préalable.** Ces mini-vis comportent des spires obliques qui permettent le vissage sans préforage et ont une pointe en forme de « tire-bouchon » qui permet une perforation initiale de l'os cortical et un engagement osseux par simple vissage. (Figure 22).



Figure 21: Une mini-vis auto-taraudante à gauche et une mini-vis auto-forante à droite (52)

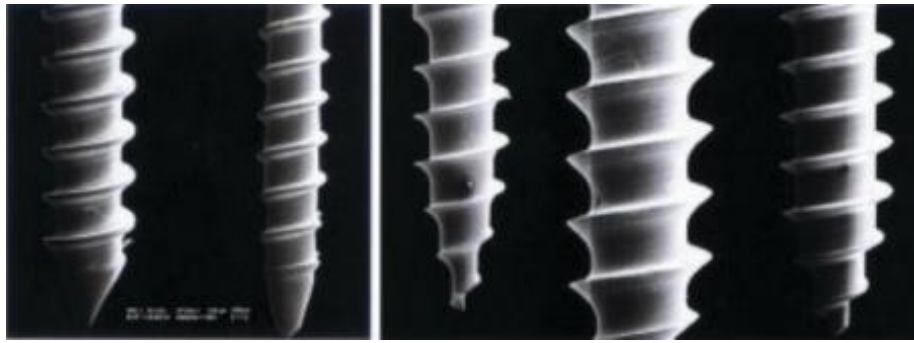


Figure 22: A gauche filetage et pointe mousse auto-taraudant, à droite filetage auto-forant et pointe en «tire-bouchon» (53)

Ce paramètre dicté par le fabricant est étudié par modèle mathématique. Les paramètres pouvant varier sont la profondeur des encoches, leur nombre ou encore l'angle qu'elles forment avec le corps. En cas de densité osseuse forte, un pas de petite taille associé à des angles d'arête faible favorise la stabilité des vis. Le contraire est vérifié. Ces deux paramètres influencent le couple d'insertion des vis [12, 29].

c) Col de la mini-vis

C'est la partie transmuqueuse de la mini-vis, elle doit être lisse pour minimiser le risque d'accumulation de plaque et d'inflammation gingivale.

Les marques déclinent généralement leurs modèles de mini-vis en de multiples cols, avec des longueurs allant d'un à plusieurs millimètres, pour pallier toute situation d'épaisseur gingivale. La surface de contact entre le col transmuqueux et l'os sous-jacent est importante car on obtient une meilleure stabilité primaire avec un contact direct avec l'os. En général, une hauteur adéquate de col est entre 1 et 2mm (54).

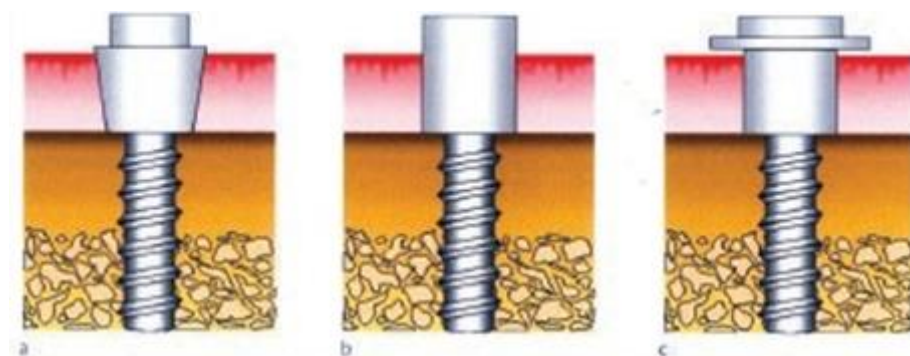


Figure 23: Le diamètre du col transmuqueux par rapport au diamètre de la tête. Pour éviter l'inflammation autour de la vis, il est recommandé que le diamètre de la tête soit (a) inférieur ou (b) égal au diamètre du col. La gencive autour de la vis est difficile à nettoyer si la gencive est recouverte par une partie de la tête de la mini-vis (c)(53)

Le design peut être soit cylindrique soit conique. Des études in vitro ont démontré une stabilité primaire supérieure avec les vis cylindriques par rapport aux vis coniques (55). Il est donc conseillé de choisir un design cylindrique qui est seulement conique à la pointe.

d) Tête de la mini-vis

La tête est considérée comme l'élément le plus important d'une mini-vis orthodontique, elle a deux fonctions : transmettre un couple au corps lors de l'insertion de la mini-vis et ensuite servir de point d'application à la force orthodontique recherchée.

Elle représente la partie intermédiaire entre la vis proprement dite et les différents auxiliaires orthodontiques (chaînettes, ressorts, ligatures, élastiques, arcs, etc...). Elle correspond donc à la partie qui émerge dans la cavité buccale. Sa surface est polie pour réduire l'accumulation de plaque bactérienne autour de la tête au contact des tissus mous, et pour faciliter l'hygiène, le design doit être au maximum arrondi pour éviter l'inflammation gingivale et les blessures jugales ou linguales.

Il existe différentes tailles et formes de tête. Sa conception conditionne la manière dont la mini-vis va pouvoir être utilisée comme ancrage (37).

Selon la morphologie de la tête, la mini-vis offrira un contrôle uni, bi ou tridimensionnel de la partie extra-muqueuse et les vis d'ancrage squelettique peuvent être divisées en trois groupes :

- Le premier groupe comprend des vis ne permettant qu'un contact en un point et ne pouvant donc être utilisées que comme ancrage direct. La tête peut être un bouton ou un crochet (Figure 24 a & b) ;
- Le contrôle bidimensionnel est obtenu avec un trou à travers la tête (Figure 24 c) ;
- Le contrôle tridimensionnel est offert par les mini-vis ayant une tête en forme d'attache orthodontique (Figure 24 d & e) . Elles peuvent donc être utilisées comme ancrage indirect ;

- Enfin, il existe des mini-vis qui ont la possibilité d'ajouter différents connecteurs (24,40).

La conception de la tête doit être applicable à une situation clinique particulière.

Il y a sur le marché cinq types de têtes disponibles (Figure 24) :

- vis à crochet (a.) ;
- vis à tête plot ou bouton (b.) ;
- vis avec trou dans la tête (c.) ;
- vis type bracket à gorge unique (d.) ;
- vis type bracket à double gorge orthogonales (e.).



Figure 24: les différents types de têtes(56,57)

Il existe également des mini-vis à tête cruciforme dont la seule fonction est d'accueillir un tournevis cruciforme lors de sa mise en place, elle ne sert donc pas de point de fixation pour un auxiliaire.

Des combinaisons de ces modèles sont également disponibles. Par exemple, la vis Spider screw® possède une tête bracket à double gorge associée à un trou percé dans la tête (Figure 10).



Figure 25: Tête de la mini-vis HDC Spider Screw® (56)

De nombreux fabricants proposent également des systèmes de vis comportant un grand nombre de têtes différentes comme la vis AbsoAnchor® (14 têtes différentes), certains auteurs relèvent qu'au premier abord, le fait de disposer d'un grand nombre de têtes différentes peut sembler être un avantage, car il est possible de choisir un modèle de tête dans l'inventaire pour chaque application spécifique. En réalité, il peut s'agir d'un inconvénient (53).

Si, par exemple, un changement de plan de traitement ou de mécanique est nécessaire au cours du traitement, il peut être plus avantageux de placer une mini-vis avec un type de tête universelle. Une vis avec un crochet serait idéale pour l'utilisation d'une chaînette élastomérique ou d'un ressort hélicoïdal. Malheureusement, lorsqu'un fil sectionnel est nécessaire pour un ancrage indirect à un stade ultérieur du traitement, le remplacement par une mini-vis à tête type bracket peut s'avérer nécessaire. Cette solution n'est pas économiquement intéressante et représente un acte supplémentaire relativement invasif pour le patient. Il semble que l'idéal serait d'avoir un modèle de tête qui pourrait être utilisé pour presque toutes les applications cliniques. Cette conception devrait permettre l'ajout simple de tous les types d'auxiliaires (Figure 26).



Figure 26: mini-vis OrthoEasy® (Forestadent®) servant à la fois d'ancrage direct via le ressort de traction et la potence liée à la bague molaire, et d'ancrage indirect via la connexion rigide entre la mini-vis et la boîtier prémolaire (58)

II- Choix du site d'implantation

Les mini-vis peuvent être placées dans toutes les zones de l'os mandibulaire et maxillaire pourvu que les structures anatomiques et les racines dentaires soient respectées.

a) Recommandations générales

Pour sélectionner le site d'insertion de la mini-vis, le praticien doit considérer les critères suivants (37):

- **Utilité** : la mini-vis devra être placée dans une position favorable sur le plan biomécanique pour autoriser l'application de la force orthodontique nécessaire ; sa situation devra également permettre un ajustement aisé du système de forces en cours de traitement.
- **Nécessité** : le rapport bénéfice/risque pour le patient doit être favorable ; le nombre de mini-vis doit être suffisant pour la thérapeutique souhaitée.
- **Sûreté** : on doit éviter les secteurs dans lesquels le risque de dommage irréversible de structures anatomiques existe (sinus maxillaire, foramen palatin, nerf grand palatin, artère platine descendante, nerf alvéolaire inférieur, trou mentonnier, nerf linguale) (59).
- **Accessibilité** : Une bonne accessibilité permettra une bonne tenue du protocole chirurgical et donc une bonne stabilité primaire.
- **État des tissus durs** : l'os cortical doit être suffisamment épais pour assurer la stabilité primaire, il est plus épais à la mandibule donc la stabilité primaire sera meilleure par rapport au maxillaire. Il convient aussi, dans les zones où des extractions ont été réalisées, de s'assurer d'une régénération osseuse suffisante avant la mise en place des mini-vis (60,61).
- **État des tissus mous**: placement dans la gencive attachée pour éviter un recouvrement de la mini-vis par de la gencive libre pouvant entraîner une infection. Au niveau de cette muqueuse libre, il existe également des micromouvements qui peuvent engendrer la perte de la mini-vis. Il faut également éviter les freins et les brides muqueuses qui seraient source de

cicatrisation inflammatoire voire douloureuse ou encore d'enfouissement de la tête de vis sous la gencive (59). L'émergence de la tête de la mini-vis en gencive libre est proscrite, mais l'insertion de la vis dans ces zones est possible : la mini-vis reste alors sous muqueuse et seule émerge une ligature ou tout autre système d'ancrage relié à la vis (mini-vis corticale courte).

- **Gêne du patient** : Les implants doivent être placés dans des zones qui entraînent un minimum d'inconfort pour le patient.
- **Irritation provoquée par les tissus environnants** : les secteurs sollicités par la musculature péribuccale comme les bosses canines, ainsi que les zones irritées par les aliments durant la mastication devront être exclus dans la mesure du possible.

b) Contre-indications (31)

Les contre-indications médicales à la pose des mini-vis sont rares mais doivent être systématiquement recherchées. Elles sont liées le plus souvent au risque infectieux et aux troubles du métabolisme osseux. Ce sont celles de l'implantologie en général :

- Cardiopathies et risque oslérien ;
- Hémodialyse ;
- Immunodépression ou chimiothérapie récente ;
- Troubles de la coagulation ;
- Perturbation du métabolisme osseux ;
- Prise de biphosphonates.

La contre-indication majeure est le manque de coopération du patient et surtout une hygiène insuffisante qui peut être responsable de phénomènes inflammatoires pouvant entraîner la perte de la mini-vis.

Il existe aussi des contre-indications relatives locales à la pose des mini-vis. Elles concernent :

- Les zones où la quantité ou la qualité de l'os sont insuffisantes ;
- Les espaces interradiculaires trop étroits ;
- La face linguale des zones alvéolaires mandibulaires où les sollicitations de la langue compromettent la stabilité de la vis ;
- Les zones de remaniements osseux suite à la résorption de dents temporaires ou à des extractions récentes.

c) Considérations chez le patient dont la croissance n'est pas achevée

- Pour éviter de blesser les bourgeons dentaires, les zones dans lesquelles les dents permanentes n'ont pas encore fait leur apparition doivent être évitées dans la mesure du possible ;
- Les secteurs dont les dents ne sont pas encore sur l'arcade sont à éviter ;
- Chez les patients de moins de 15 ans, la densité de l'os cortical est plus faible que chez l'adulte causant une diminution de la stabilité primaire, surtout au maxillaire où l'os cortical est plus fin. Le taux de réussite s'en trouve donc affaibli ;
- Il est recommandé de perforer l'os cortical afin de minimiser le traumatisme chirurgical ;
- Le secteur entre la première et la deuxième prémolaire est plus accessible et l'os est de meilleure qualité. Ce secteur est donc à privilégier (62) ;
- Les mini-vis doivent être insérées profondément pour une meilleure cicatrisation et pour pouvoir éviter les contraintes du milieu buccal ;
- Il est préférable d'utiliser des forces continues légères plutôt que des forces intermittentes et lourdes. Des ressorts seront préférés à des chainettes élastiques, avec des forces ne dépassant pas 150 g.cm^{-2} (37).

d) Sites vestibulaires inter-radicaux

Les publications sur la quantité de surface osseuse autour de la vis nécessaire pour fournir une rétention suffisante varie entre 0.5mm et 1mm de chaque côté. Pour éviter tout contact avec la racine, la largeur desmodontale devrait être incluse dans ce calcul, ajoutant 0.25mm par côté.

Donc, pour une mini-vis de 1,6 mm de diamètre, une largeur inter-radicaire suffisante d'os en mésio-distal serait de 2.6 à 3.1mm, plus de 3.1mm serait une largeur optimale (Figure 27)(63).

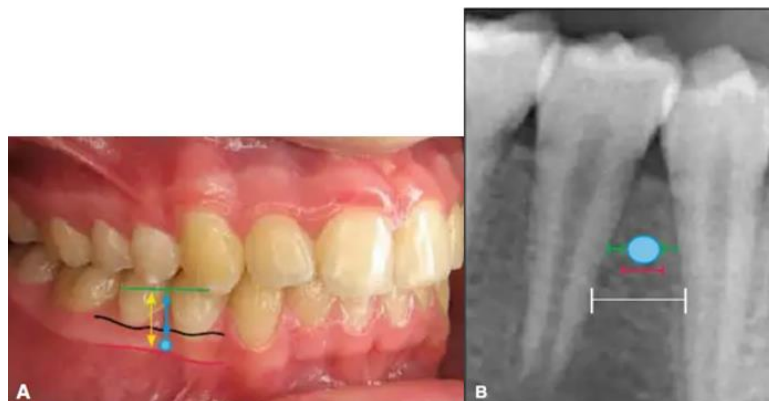


Figure 27: A. Site d'insertion inter-radicaire idéal (cercle bleu). Ligne verte = point de contact proximal (visible) ; ligne noire = rebord crestal (invisible) ; ligne rouge = ligne muco-gingivale ; flèche jaune = distance entre le point de contact et la ligne muco-gingivale ; flèche bleue = distance entre le point de contact et la zone idéale d'insertion. B. Site d'insertion idéal montré sur un cliché rétro-alvéolaire (cercle bleu). Barres vertes = os minimum autour de la mini-vis (0,5mm de chaque côté) ; barre rouge = diamètre de la mini-vis (1,6mm) ; barre blanche = espace inter-radicaire minimum ($2 \times 0,5\text{mm} + 1,6\text{mm} = 2,6\text{mm}$)(63)

D'un point de vue strictement anatomique le positionnement de la mini-vis fait appel à deux paramètres morphologiques :

- Les angulations mésio-distales (c'est-à-dire les grands axes) des dents adjacentes au site implantaire (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), le site d'insertion le plus fréquent des mini-vis étant entre les racines des dents, la distance inter-radiculaire détermine le diamètre maximal de la vis. De ce fait, la position des dents et leur angulation mésio-distale déterminent la surface osseuse disponible entre leurs racines où une mini-vis peut être positionnée.

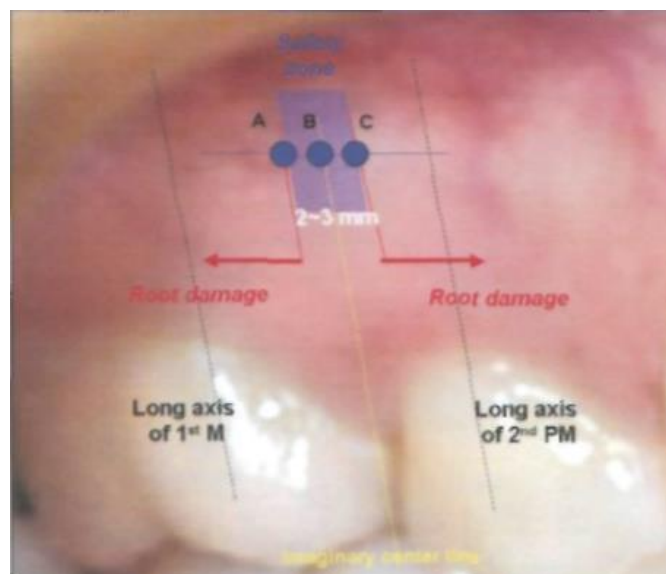


Figure 28: (A) Pour la distalisation molaire, la position d'insertion est située à 1 à 2 mm distalement de la ligne médiane imaginaire entre les deux dents. (C) Pour la mésialisation molaire, la position d'insertion est placée 1 à 2 mm en mésial par rapport à la ligne centrale imaginaire. (B) S'il n'y a pas de mouvement mésiodistal des dents adjacentes, la position d'insertion est située sur la ligne centrale. (A, B, C représentent les sites d'insertion.) (M) Molaire; (PM) prémolaire.

- L'emplacement de la jonction muco-gingivale, car l'émergence de la vis devra se trouver en gencive attachée (Figure 29)(53).

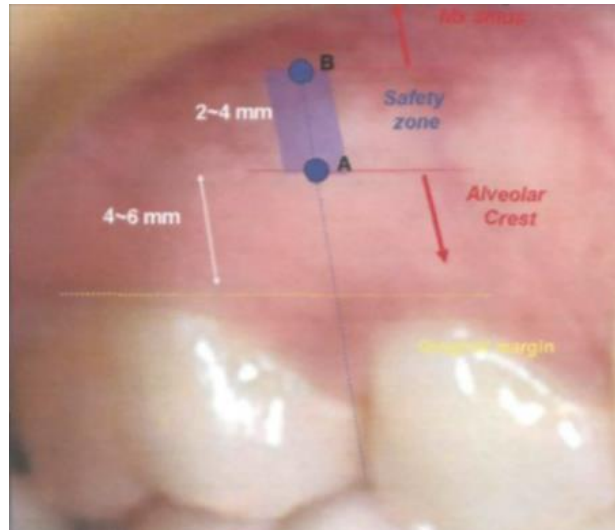


Figure 29: Pour l'ingression, la position d'insertion doit être située suffisamment apicale ; sinon, les implants limiteront les mouvements ultérieurs lors de l'ingression des dents. (A, B représentent les sites d'insertion.) (Mx) Maxillaire.

Le site idéal se trouve au niveau de la ligne muco-gingivale, soit environ à 7 mm de la papille interdentaire, soit 4 mm de hauteur muqueuse et 3 mm de hauteur alvéolaire (64)(Figure 30).

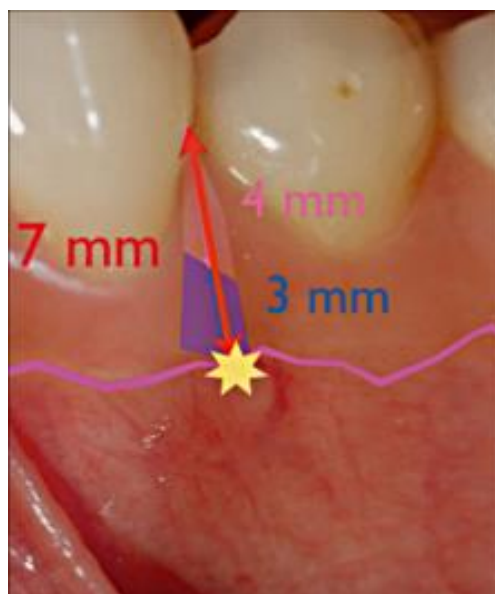


Figure 30: Site idéal situé à 7 mm de la papille inter-dentaire (64)

Les projections osseuses des sites vestibulaires maxillaires et mandibulaires sont présentées en Figure 31.

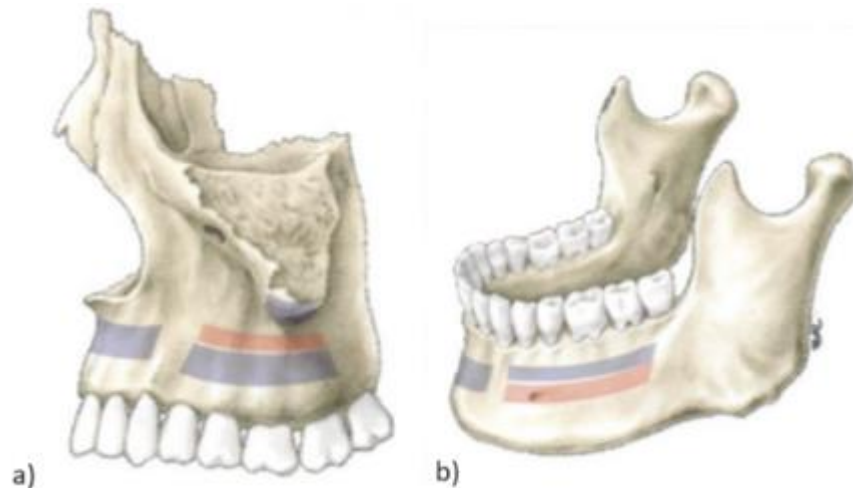


Figure 31: sélection d'un site vestibulaire maxillaire (a) et mandibulaire (b): les zones sûres sont en bleue et les zones dangereuses sont en rouge (37)

e) Mini-vis enfouie

Parfois, la hauteur d'insertion correspond à la gencive libre, ce qui constitue une contre-indication à la pose de mini-vis conventionnelles trans-gingivales (correspondant au type de mini-vis décrites jusqu'ici) : seule une mini-vis courte de type enfouie peut être utilisée. Ce type de mini-vis est positionnée exclusivement dans l'os cortical au fond du vestibule, l'os cortical étant à ce niveau épais et dense.

N.B. : Les mini-vis sont divisées en deux catégories (65) :

- Les longues qui seront vissées dans l'os spongieux à travers la corticale. Elles sont dites trans-gingivales avec une tête qui émerge à l'extérieur. Ce sont les mini-vis les plus couramment utilisées.

- Les courtes (Figure 32) et uniquement insérées dans la corticale osseuse. Leur tête reste enfouie sous la gencive et seule une connectique de type ligature émerge à l'extérieur. Elles sont appelées mini-vis corticale courtes ou micro-vis enfouies (66,67).



Figure 32: La vis est enfouie et vissée uniquement dans l'os corticale, la connectique émerge au fond du vestibule (38)

f) Sites palatins

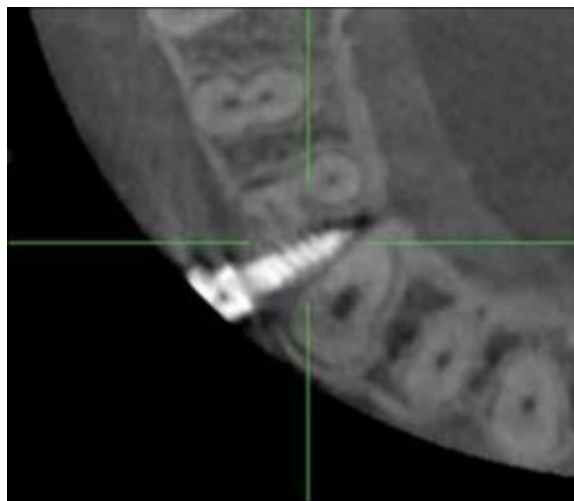


Figure 33: Espace inter-radicaire insuffisant pour l'insertion de la mini-vis dans le processus alvéolaire buccal, pouvant entraîner une défaillance de la mini-vis ou des lésions de la surface radicaire (68)

Bien que des sites appropriés pour l'insertion de mini-vis vestibulaires soient couramment utilisés dans les applications orthodontiques en raison de leur facilité d'accès, les espaces inter-radicaire sont limités par la proximité des racines des dents adjacentes (Figure 33), ce qui pose les problèmes suivants :

- Risque d'endommagement des racines ou du parodonte ;

- Possibilité de contact entre la mini-vis et la racine entraînant un échec précoce de la vis ;
- Risque de fracture de la vis lors de la mise en place, à cause des dimensions plus étroites de la mini-vis nécessaires pour les positions inter-radiculaires ;
- Un taux de perte allant jusqu'à 25 % (69).

Ces facteurs de risque peuvent être évités en utilisant des "zones sans racine" telles que le palais dur, la tubérosité maxillaire, la crête infra-zygomatique ou le plateau mandibulaire vestibulaire. L'insertion d'une mini-vis dans la crête infra-zygomatique, bien que réalisable, est plus complexe et nécessite une formation approfondie (69,70).

Les mini-vis placées au niveau de la crête infra-zygomatique, du plateau mandibulaire vestibulaire ou du ramus de la mandibule ont en commun d'être des mini-vis dont le diamètre sera d'au moins 2mm, et donc l'os de destination est basal. Elles ont été développées par Chris Chang.

L'os cortical est plus épais que dans la zone vestibulaire maxillaire, ce qui apporte une stabilité primaire accrue.

L'absence de gencive libre enlève la problématique d'insertion qu'il pouvait y avoir en vestibulaire, mais l'épaisseur importante de l'épithélium kératinisé palatin rajoute une problématique d'ordre biomécanique : l'allongement du bras de levier créé par l'allongement du col transmuqueux (Figure 34). En effet, plus la force orthodontique est appliquée loin du support osseux, plus le levier s'allonge et plus la mini-vis sera soumise à une contrainte mécanique s'opposant à son maintien dans l'os (37).

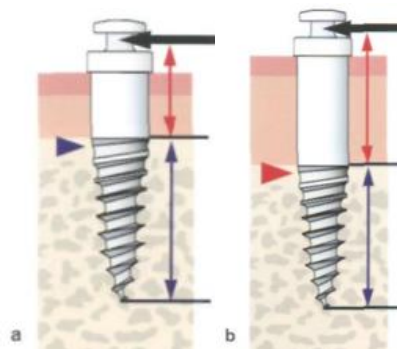


Figure 34: Avec la même force orthodontique appliquée, (a) un implant dans une gencive plus fine est soumis à une charge plus légère que (b) un implant dans une gencive plus épaisse, (pointe de flèche rouge) Potentiel de contrainte supérieur ; (pointe de flèche bleue) moins de potentiel de contrainte (37)

Il n'y a pas de sites linguaux envisageables pour la pose d'une mini-vis car la présence de nombreux vaisseaux et nerfs dans cette zone rendrait l'exercice périlleux, de plus, la langue diminuerait fortement l'accessibilité du site, entraînerait une gêne pour le patient (24,37,53).

Le palais antérieur, notamment les zones para-médianes, semble être l'un des meilleurs sites pour les mini-vis (49,68,71). L'ancrage squelettique dans le palais antérieur est optimal pour soutenir diverses mécaniques de traitement, comme la distalisation, la mésialisation, l'expansion palatine rapide, la fermeture d'espace, et les mécaniques d'intrusion. La mécanique souhaitée peut être conçue dans presque toutes les directions et peut généralement être modifiée en cours de traitement en utilisant la même configuration d'ancrage. L'alvéole palatine située entre les racines de la deuxième prémolaire et de la première molaire peut être considéré comme un emplacement alternatif (Figure 35).



Figure 35 : cartographie des sites potentiels d'insertion des mini-vis dans le palais (vert = optimal ; jaune = restreint en raison de la variabilité individuelle de l'épaisseur osseuse ; rouge = inapproprié en raison de l'épaisseur de la muqueuse ou de la présence de paquets vasculo-nerveux ; point bleu = foramen rétro-incisif)(68)

La densité des vaisseaux sanguins étant faible dans le palais antérieur, le risque de lésion iatrogène liée à l'insertion d'une mini-vis est minime. Le foramen grand palatin, peut toutefois poser problème si des mini-vis sont insérées dans cette zone.

Le palais postérieur, ou zone médio-palatine, a également été décrit comme emplacement approprié pour l'ancrage squelettique par mini-vis lors de l'intrusion postérieure (72).

Une autre alternative est la paroi alvéolaire palatine entre la première molaire maxillaire et la deuxième prémolaire, où la position favorable de la racine palatine de la première molaire et l'angulation vestibulaire de la deuxième prémolaire offrent un excellent accès pour l'insertion directe d'une mini-vis.

g) La tubérosité maxillaire

La tubérosité maxillaire peut être utilisée pour la distalisation mais la faible qualité de l'os impose l'utilisation de mini-vis aux diamètre important (1,8 à 2,2mm)(73). Des troisièmes molaires enclavées, incluses ou une épaisseur de gencive trop importante peuvent également empêcher une insertion réussie (74), et il faudra prévoir une longueur de col en conséquence (Figure 34).

h) La zone rétromolaire mandibulaire

L'os cortical dans cette zone est de bonne qualité contrairement à son homologue maxillaire, il faudra toutefois contrôler la position du nerf alvéolaire inférieur par un cliché panoramique et faire attention au passage du nerf lingual (75–77). Certains auteurs préconisent l'utilisation de la branche montante comme site d'insertion, la corticale étant plus épaisse et l'os plus dense à ce niveau. Ils ont recours à des vis en acier chirurgicale inoxydable dont le diamètre est plus grand que pour les mini-vis habituellement utilisées aux sites alvéolaires inter-radiculaires, pour résister aux couples plus élevés fournis durant l'insertion (78,79).

i) Plateau mandibulaire vestibulaire (buccal shelf)

Le plateau mandibulaire vestibulaire est un relief osseux postérieur (Figure 36), latéral à la zone molaire de la mandibule, séparant la crête osseuse et la face vestibulaire des molaires jusqu'à la ligne oblique externe.



Figure 36: Localisation du plateau mandibulaire vestibulaire. À gauche, en vert à côté de la ligne oblique externe en rouge. À droite, une vue clinique d'une mini-vis insérée dedans (70,80)

j) Crête infra zygomatique

Le placement des mini-vis en secteur postérieur maxillaire est le plus souvent réalisé au niveau inter-radicaire mais comme expliqué précédemment, bien que facile d'accès, ce placement a des inconvénients, tel que de possibles interférences avec le trajet du mouvement dentaire recherché ou la faible épaisseur de la corticale au niveau alvéolaire. De la même façon que pour le plateau vestibulaire à la mandibule, certains auteurs(70,80,81) ont préconisé une utilisation extra-alvéolaire au maxillaire avec comme emplacement privilégié la partie postérieure de la crête infra-zygomatique(Figure 37), entre la racine disto-vestibulaire de la première molaire et la racine mésio-vestibulaire de la deuxième molaire maxillaire.



Figure 37: Localisation de la crête infra-zygomatique (à gauche) et l'émergence de la tête d'un mini-vis placée au niveau de la crête infra-zygomatique(à droite).(81)

Finalement, 3 facteurs majeurs régissent le choix du site :

- **Le site et le degré d'ancrage** requis en fonction de la malocclusion ; en d'autres termes : où placer la source de l'ancrage par rapport aux mouvements dentaires recherchés ?
- **La qualité et la quantité d'os** approprié influenceront l'endroit où la vis peut être placée (74).
 - Maxillaire : L'os vestibulaire est le plus épais entre la première et la deuxième molaire. L'espace interdentaire est le plus large au niveau palatin entre la deuxième prémolaire et la première molaire.
 - Mandibule : L'os vestibulaire est le plus épais entre la première et la deuxième molaire. L'espace interdentaire est le plus large entre la première et la deuxième prémolaire. Une vis stable nécessite une bonne qualité et une épaisseur d'os cortical adéquate, généralement de 1 à 2 mm d'épaisseur (82).
- **La position des racines des dents adjacentes** influencera la position de la mini-vis.

III- Protocole

Selon la législation, les mini-vis rentrent dans le cadre des dispositifs médicaux implantables (DMI) car ils sont implantés pour une durée excédant 30 jours. L'article L.5211-1 du code de la santé publique (83) précise les règles d'utilisation de traçabilité. Il est préférable en cabinet d'utiliser des mini-vis sous emballage unique afin d'assurer le traçage et la stérilisation les plus simples possibles.

a) Consentement éclairé

Le patient est informé de la procédure, des risques (mobilité, perte de la vis, inflammation, fracture de la vis, perforation radiculaire) et des alternatives au traitement (orthodontique, chirurgical).

e) Bilan pré-opératoire

Sélection du site, administration de l'anesthésie et réalisation des examens préopératoires :

Un bilan clinique de l'hygiène et de la santé parodontale est nécessaire. Le site d'insertion est sélectionné en fonction des conditions anatomiques et des exigences biomécaniques. Le site de pose de l'implant est confirmé par des examens cliniques et radiographiques. L'examen para-clinique minimal est une radiographie panoramique. Selon l'équipement des cabinets, ce bilan pourra être complété par des rétro-alvéolaires des sites d'insertion ou par un Cone Beam Computed Tomography (CBCT) complet avec reconstruction panoramique. L'anatomie du site d'insertion doit être vérifiée ; l'état des tissus mous, comme l'épaisseur de la gencive attachée, et l'insertion des brides et des freins doivent également être vérifiés.

L'emplacement de la mini-vis identifié radiographiquement doit être palpé pour confirmer la topographie du tissu osseux et déterminer l'angle d'insertion initial (37).

Il est possible de s'aider d'un guide chirurgicale constitué d'arc orthodontique plié et de résine acrylique (Figure 38).



Figure 38: Procédure d'insertion avec guide chirurgical. (1) Le guide placé sur le site d'insertion prévu. (2) Une radiographie périapicale prise pour définir avec précision le site d'insertion. (3) La muqueuse doit être tendue lors de l'insertion. La direction d'insertion est de 45° par rapport à l'axe long des racines. Dans la mesure du possible, le site d'insertion doit être situé dans la gencive attachée (24)

Pour éviter les structures radiculaires et augmenter la zone de contact avec l'os cortical, l'angle d'insertion au niveau vestibulaire doit être d'environ 30 à 45 degrés par rapport la surface de l'os cortical ou 30 à 40 degrés par rapport au grand axe de la dent au maxillaire et 10 à 20 degrés à la mandibule (Figure 39).

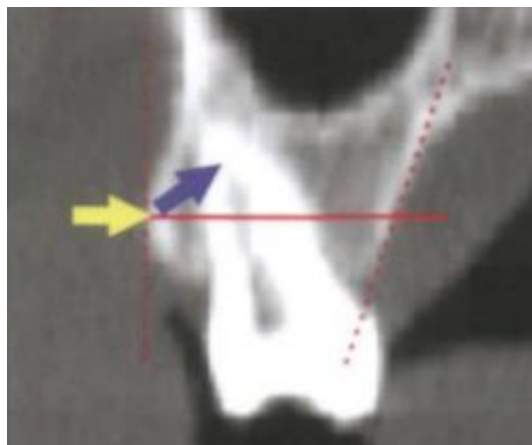


Figure 39: Une insertion oblique (flèche bleue) est recommandée dans les cas où une dent adjacente se déplace mésiodistalement, car elle offre plus d'espace. Cependant, il est préférable que l'implant soit inséré perpendiculairement (flèche jaune) lorsque l'os cortical sera perforé. Par conséquent, l'angle de travail pour l'insertion change pendant la procédure (37)

Attention toutefois, au niveau inter-radicaire palatin la mini-vis doit être placée à un angle de 30 à 45 degrés par rapport au plan occlusal, mais, en raison de la pente de la corticale palatine, l'implant alvéolaire palatin est placé perpendiculairement à l'os cortical dans la plupart des cas et non 30-45 degrés comme en vestibulaire (maxillaire et mandibulaire) (Figure 40)(37).

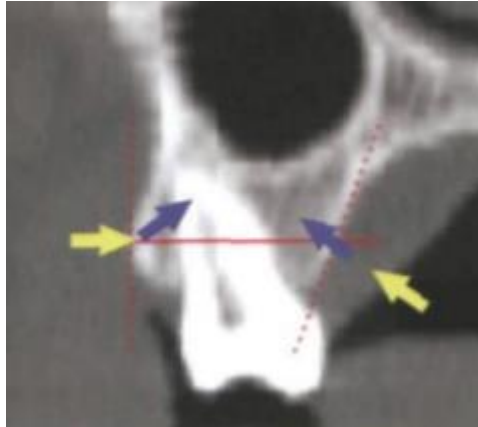


Figure 40: Contrairement aux mini-vis insérées au niveau vestibulaire (flèches de gauche), les mini-vis alvéolaires palatines doivent être insérées perpendiculairement à l'os cortical du début à la fin, sans modification de l'angle d'insertion (flèches de droite), car l'angulation de la paroi corticale au niveau palatin (droite en pointillé rouge) n'est pas la même qu'au niveau vestibulaire. En vestibulaire, l'approche est d'abord perpendiculaire puis changée à 30-45 degrés (37)

L'anesthésie peut être précédée d'un bain de bouche à garder 5 min, associant 2 ml de chlorhexidine et 1 ml de xylocaïne gel 2 %. L'émergence des vis peut être préalablement marquée au crayon dermatographique. L'anesthésie se fait à l'aide de carpules de mépivacaïne, directement au site d'émergence, très localisée, de façon à réaliser une papule blanche (0,1 à 0,2 ml). Il ne faudra pas réaliser d'anesthésie « large » en particulier péri-apicale de façon à garder la sensibilité des dents. La procédure sera réalisée sans attendre la diffusion du produit (64).

f) Étape de marquage

Marquage de la position d'insertion sur la gencive :

Le site d'insertion doit être nettoyé avec une solution de povidone iodée (Betadine®). Après avoir utilisé une sonde parodontale pour marquer les lignes

de référence verticales et horizontales sur la gencive, la ligne de référence verticale coupe la zone interdentaire parallèlement aux axes des dents proximales (Figure 41), la ligne de référence horizontale est, elle, marquée en fonction de la position de la crête alvéolaire et de la quantité de force verticale requise.



Figure 41: ligne de référence marquée à l'aide d'une sonde (37)

La gencive doit être perforée avec une sonde parodontale au point d'insertion correct selon le plan de traitement. A ce moment, l'épaisseur du tissu mou est également mesurée avec une sonde parodontale ou une lime endodontique (Figure 42).



Figure 42: lime endodontique utilisée pour évaluer l'épaisseur de la muqueuse (24)

Si un frein est présent à proximité de la position d'insertion prévue, une frénectomie doit être effectuée pour éviter toute irritation voire ulcération (Figure 43).



Figure 43: Si la frénectomie est omise, une ulcération des tissus mous apparaît car le mouvement du frein irrite continuellement les tissus environnants (37)

g) Étape de perforation de l'os cortical

Cette étape est réalisée soit indirectement à l'aide d'un foret de pré-perçage d'un diamètre inférieur de 15 à 30% (24,84,85) au diamètre de la mini-vis, soit directement grâce à la pointe d'une mini-vis auto-forante.

La simplification de la procédure opératoire par l'utilisation systématique de mini-vis auto-forantes (sans avant-trou) conduit à un délabrement de la couche superficielle de l'os cortical qui limite les possibilités de blocage (Figure 44). L'excès de force lors de l'insertion pourrait être à l'origine d'échecs cliniques des mini-vis orthodontiques à cause de l'apparition de micro-fractures osseuses. Ceci a des conséquences sur la pérennité de l'ancrage, à court terme, par l'absence de stabilité primaire, mais également, à moyen et long terme, par la probable ostéolyse induite (86).

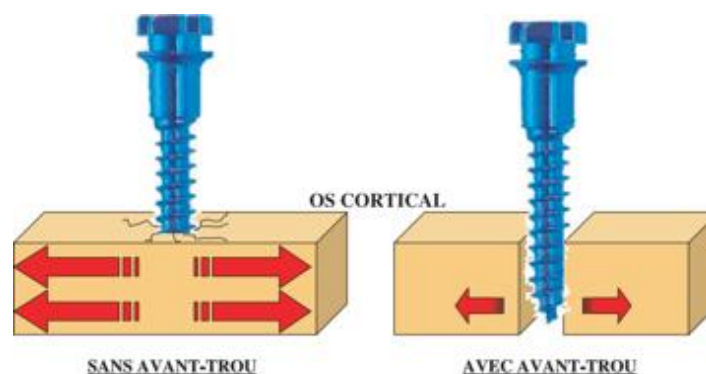


Figure 44: Schématisation des contraintes engendrées par effet de coin lors du vissage avec et sans avant-trou (86)

Un avant-trou de 1 à 2 mm peut parfois être nécessaire en cas d'utilisation de vis auto-forantes. C'est le cas lorsque la corticale est épaisse et dense, comme dans la symphyse mandibulaire ou dans la zone rétromolaire. L'insertion directement dans ces zones sans pré-perçage pourrait tordre la pointe de la mini-vis voire la fracturer.

Avant d'atteindre la corticale il faut d'abord traverser la gencive, deux procédés sont envisageables pour la perforation de la gencive :

- Insertion directe de la mini-vis auto-forante à travers la gencive
- Perforation au moyen d'un mucotome (ou bistouri circulaire) sorte de « emporte-pièce tissulaire » (Figure 45) si un avant-trou est nécessaire.



Figure 45: schéma d'un mucotome et de son utilisation(57)

Sans perforer au préalable la gencive, la muqueuse peut s'enrouler autour du foret de pré-perçage, entraînant une déchirure du tissu. Le mucotome peut aussi s'utiliser même lorsqu' aucun avant-trou n'est nécessaire, l'utilisation du mucotome peut toujours être recommandée, en particulier si la mini-vis doit être placée dans la muqueuse alvéolaire.

Le cercle de tissus coupé par le mucotome doit être retiré ensuite avec une curette ou une pince à tissus chirurgicale.

❖ Sans pré-perçage :

Les mini-vis auto-forantes pénètrent dans l'os cortical sans pré-perçage (Figure 46). Pour éviter que la mini-vis ne glisse le long de la corticale lors de la perforation, l'approche doit être effectuée perpendiculairement à la surface de l'os cortical depuis le début de l'insertion jusqu'à une profondeur de 1 à 2 mm. Puis, une fois la mini-vis placée à cette profondeur, le tournevis doit être tourné dans le sens anti-horaire et la mini-vis doit être complètement retirée. En raison du risque de fracture de la mini-vis, l'utilisation d'une mini-vis de diamètre central inférieur à 1,6 mm n'est pas recommandée pour une pose sans pré-perçage, en particulier dans la mandibule. Lors de cette procédure, une attention particulière devra être prise quant à une potentielle fracture de la pointe de la mini-vis ; la rupture résulte généralement d'un changement de l'angle d'insertion alors que la pointe se trouve dans l'os cortical.

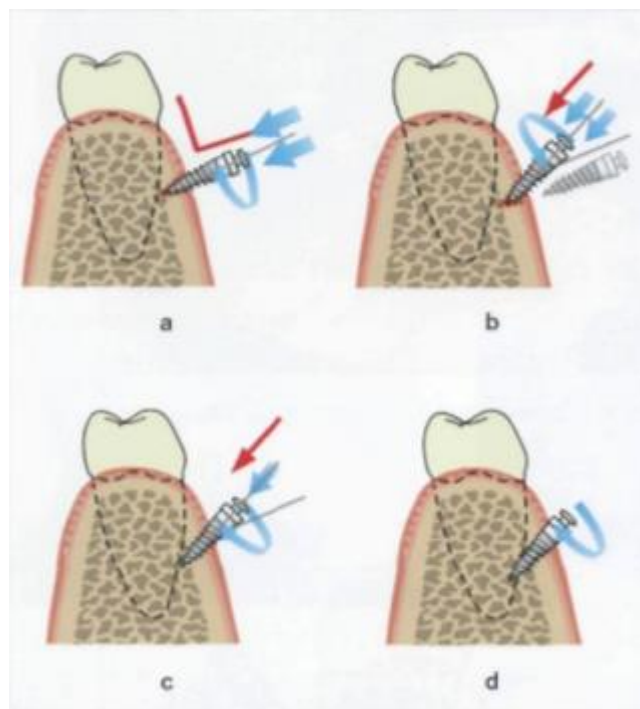


Figure 46: Procédure chirurgicale pour la pose de mini-vis sans pré-perçage. (a) Étape de perforation : L'opérateur doit s'approcher perpendiculairement à l'os cortical pour éviter tout glissement lors de la perforation de l'os cortical jusqu'à une profondeur de 1 à 2 mm. (b) Étape de guidage I : L'implant est complètement retiré pour modifier l'angle d'insertion, (c) Étape de guidage II : L'implant est inséré selon l'angle d'insertion prévu, (d) Étape de finition : La rotation de finition doit être appliquée sans aucune force verticale pour préserver au maximum l'os cortical.(37)

❖ Avec pré-perçage :

La perforation de l'os cortical se fait à l'aide d'un foret chirurgical sous irrigation abondante pour ne pas surchauffer l'os et dont la vitesse n'excèdera pas 500 rpm.

Pour éviter tout glissement, l'approche doit être effectuée perpendiculairement à l'os cortical pour le perforer. Après perforation, le foret doit être entièrement retiré et le site d'insertion doit être à nouveau foré avec l'angle d'insertion prévu (Figure 47).

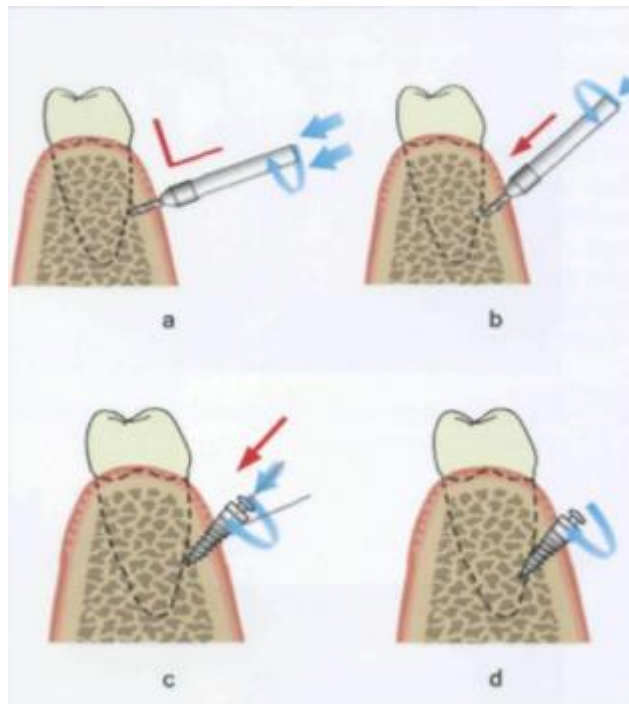


Figure 47 : Procédure chirurgicale pour la pose de mini-implants avec pré-perçage. (a) Stade de perforation I : L'opérateur doit s'approcher perpendiculairement à l'os cortical pour éviter tout glissement lors de la perforation de la corticale, (b) Stade de perforation II : Le foret est entièrement retiré et réinséré selon l'angle d'insertion approprié, (c) Étape de guidage : La mini-vis est insérée selon l'insertion prévue sur environ les deux tiers de la longueur totale, (d) Étape de finition : La rotation de finition doit être appliquée sans aucune force verticale pour préserver au maximum l'os cortical.(37)

L'insertion est soit directe avec un tournevis manuel soit indirecte avec un contre angle à vitesse réduite (<150 rpm) et un couple compris en 5 et 10 N cm (86–89).

Le couple pourra être contrôlé au moyen d'un tournevis ou d'un contre-angle dynamométrique débrayable (avec limiteur de torque)(Figure 48).

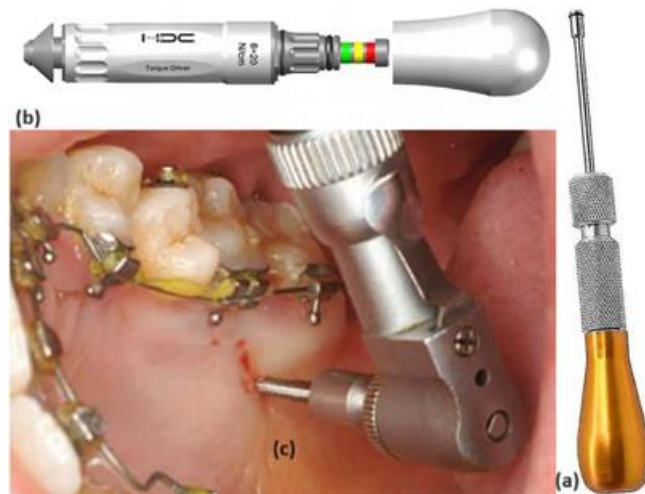


Figure 48: (a) tournevis manuel ; (b) tournevis manuel avec limiteur de torque ; (c) contre-angle avec limiteur de torque.

h) Étape de guidage

Durant cette étape, la mini-vis doit être engagée dans l'os sur environ les deux tiers de la longueur totale de la mini-vis et insérée selon l'angle prévu. Quel que soit le type de méthode d'insertion (directe ou indirecte), un implant doit être inséré par rotation de la vis avec une force verticale minimale, juste suffisante pour maintenir l'angle d'insertion. Des forces verticales excessives ne doivent jamais être appliquées, car elles augmentent le risque de vibrations et de blessures aux racines (37).

i) Étape finale

La stabilité primaire est obtenue à partir de l'os cortical au cours de cette étape, la mini-vis doit être insérée jusqu'à la profondeur voulue avec pour seule composante une force de rotation (ou moment), même une petite force verticale pourrait provoquer des dommages à l'os corticale et compromettre la stabilité primaire.

IV- Échecs, complications et limites

Les complications ont lieu lors de la pose et lors de la fonction (30).

a) Lors de la pose :

- Nécrose thermique suite au forage ;
- Sur-forage du site implantaire ;
- Longueur insuffisante d'ancrage osseux ;
- Perforation radiculaire ou contact radiculaire ;
- Insertion dans un site post-extractionnel ;
- Fracture lors de la pose.

b) Lors de la mise en fonction :

- Application d'un bras de levier trop important par rapport à la qualité et la quantité osseuse ;
- Mobilisation des mini-vis ;
- Infection des tissus mous péri implantaires ;
- Interférence entre la course du mouvement orthodontique et l'implant.

c) Lors de la dépose :

- La vis peut se fracturer dans l'os lors de la dépose.

Le taux de réussite clinique des mini-vis est de l'ordre de 80-90 % (90,91).

La perte d'une mini-vis a peu d'incidence, une autre pouvant être placée, immédiatement, à distance, ou au même endroit, après un délai de cicatrisation de 3 semaines (31).

Ces complications et ces échecs sont liés le plus souvent à :

- Des phénomènes inflammatoires ou infectieux ;
- La qualité de l'os, de densité trop faible pour assurer une stabilité primaire ou en remaniement ;
- L'épaisseur de gencive qui induit un porte-à-faux lors de la charge ou l'absence de gencive attachée ;

- Un mauvais choix des caractéristiques de la vis : diamètre trop fin qui induit une fracture, hauteur de col inadaptée, longueur insuffisante ;
- La technique opératoire lors de la pose : pression excessive lors du vissage ou du forage, serrage excessif, mouvement d'ondulation lors du vissage ou du retrait du tournevis, site trop préparé (avant trou de diamètre trop important), mauvaise direction d'implantation...

Le taux d'échec des mini-vis insérées à la mandibule a tendance à être plus élevé que celles insérées au le maxillaire (92–94).

d) Limites biomécaniques à l'utilisation des mini-vis (37):

- ❖ L'emplacement des mini-vis étant limité par les contraintes anatomiques, le point d'application de la force ne passe pas forcément par le centre de résistance de la dent, entraînant ainsi un mouvement de rotation plutôt que de gression pure. Cependant, pour compenser le problème d'emplacement et obtenir une ligne de force idéale, il est possible d'utiliser un ancrage indirect ou d'avoir recours à des attachements ou à une mécanique d'arc continu.
- ❖ Lorsque les mini-vis sont positionnées entre les racines de deux dents adjacentes, les déplacements mésio-distaux des dents doivent être limités à la distance séparant les deux racines. Ils seront donc inférieurs à 3mm. Si le recul ou l'avancée des dents doit être plus important, de nouvelles mini-vis devront être mises en place.
- ❖ Du fait du positionnement apical des mini-vis, les mécaniques mises en place seront préférentiellement ingressives. Les mini-vis sont en effet moins efficaces pour les mouvements d'égression, d'où la nécessité d'utiliser des forces intermaxillaires, des boucles en compression, un ancrage indirect ou encore une potence.
- ❖ Les déplacements souhaités ne doivent nécessiter que des forces faibles (comprises entre 100 et 200 grammes). Dans le cas contraire, il sera nécessaire d'associer plusieurs mini-vis.

Partie 3. Stratégies et moyens thérapeutiques mis en œuvre

I- Stratégies face aux différentes situations rencontrées

a) Chez l'adolescent

- Si la seconde molaire mandibulaire ne s'est pas encore mésioversée, et que la dent de sagesse est immature et non évoluée, il suffit alors de tracter la deuxième molaire pour la mésialiser et libérer l'espace pour la dent de sagesse qui se mettra à la place de la deuxième molaire spontanément (Figure 49).

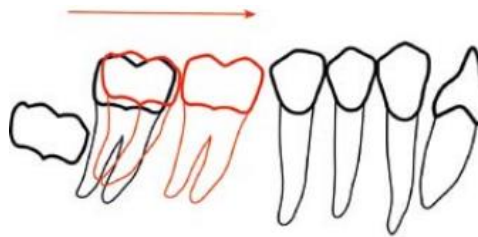


Figure 49: L'objectif du traitement est que la 7 se déplace en mésio-gression pure. La 8 non évoluée, si sa furcation n'est pas encore formée, viendra se placer spontanément parfaitement en position de 7 (95)

Cela tient également au moment du traitement orthodontique. Ainsi, une mésialisation orthodontique trop précoc (la dent de sagesse étant immature et la gaine de Hertwig non encore constituée) ne permettra pas la mésialisation spontanée du germe de la troisième molaire (Figure 50).



Figure 50: (à gauche) 46 présente une très volumineuse obturation, germe de la 48 très immature. (à droite). Après extraction de la 46 et mésialisation de la 47, le germe de la 48, immature, n'a pas suivi (96)

A contrario, si la troisième molaire est au stade d'éruption active, elle « accompagnera » la mésialisation orthodontique de la deuxième molaire. Il se peut également qu'après le traitement orthodontique, la deuxième molaire supérieure soit sans antagoniste tant que la dent de sagesse inférieure n'a pas terminé son évolution. Il est donc indispensable de solidariser les première et deuxième molaires maxillaires par un simple fil collé en attente de l'évolution de la dent de sagesse mandibulaire (Figure 51)(96).



Figure 51: Solidarisation 17 et 16, en l'attente de l'évolution de 48, après extraction de 46 et mésialisation de 47

- **Lorsque la deuxième molaire est mésioversée** et la dent de sagesse est immature et non évoluée : il faut redresser la deuxième molaire sans la distaler et finir de la mésialer pour laisser la place à la dent de sagesse.

b) Chez l'adulte

- **Lorsque la première molaire mandibulaire a disparu, et les deuxième et troisième molaires évoluées se sont mésioversées (Figure 52), il peut être intéressant d'envisager leur redressement et de poursuivre leur mésialisation (Figure 53) pour éviter le recours à une solution prothétique.**



Figure 52: Redressement et mésialisation des quatre molaires mandibulaires à envisager

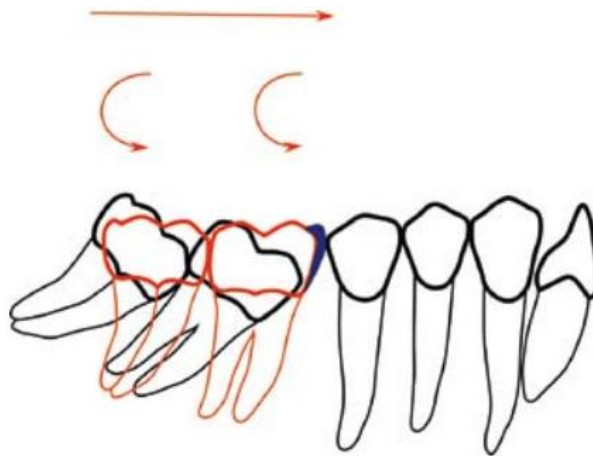


Figure 53 : Principes de la mécanique Les 7 et 8 doivent être d'abord soumises à des couples puis à une force horizontale (95)

- **Lorsqu'il ne reste plus qu'une seule molaire (7 ou 8), elle doit être impérativement remplacée en bout d'arcade, en face de la dernière dent antagoniste, pour à la fois ménager un espace suffisant et assurer un dernier pilier le plus fiable possible à l'élément prothétique et/ou implantaire (Figure 54).**

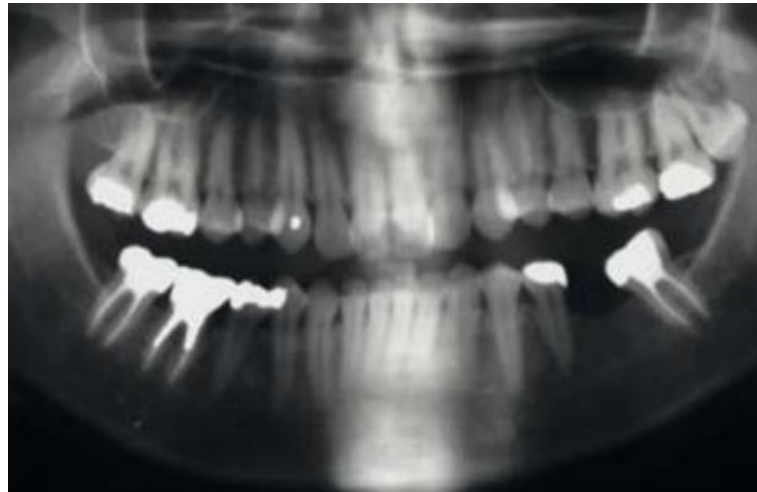


Figure 54: Redressement et distalisation d'une 37 à envisager

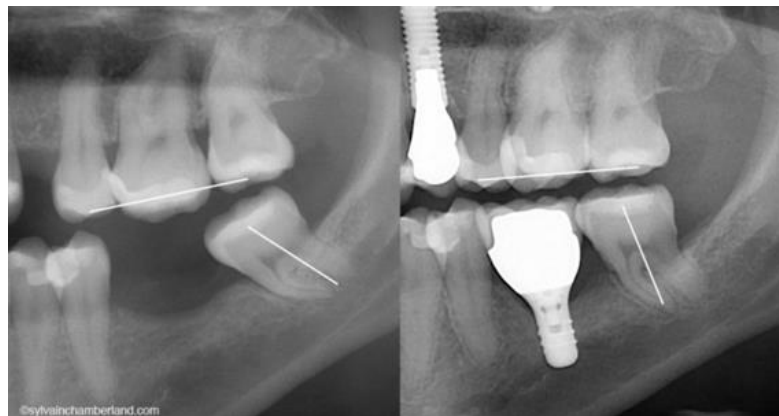


Figure 55: Redressement d'une 37 en vue du remplacement d'une 36 par solution implantaire (sylvain chamberland.com)

Ces différentes stratégies vont faire appel à des mécaniques mésialantes ou distalantes.

II- Moyen thérapeutique : redressement de l'axe molaire mésioversée

Le redressement ou le contrôle d'axe d'une molaire peut s'effectuer de 3 façons (Figure 56) :

- Par rotation autour du centre de résistance de la molaire pour ouvrir l'espace d'extraction, ce mouvement favorisera une stabilité de la position verticale de la molaire ;
- Par rotation autour d'un centre de rotation situé dans la zone apicale pour ouvrir l'espace d'extraction de façon maximale, en contrepartie ce mouvement aura une composante d'égression ;
- Par rotation autour d'un bracket collé sur la couronne pour réaliser un mouvement radiculaire mésial.

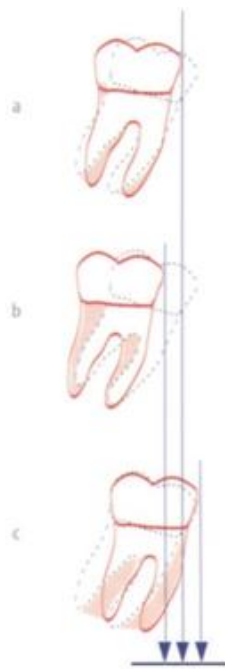


Figure 56: Les 3 types de contrôle d'axe molaire : (a) contrôle d'axe par rotation autour du centre de résistance de la molaire ; (b) contrôle de l'axe par rotation autour d'un centre de rotation situé à proximité de l'apex des racines ; et (c) contrôle de l'axe par le mouvement de la racine. Les zones ombrées indiquent la réaction de l'os alvéolaire nécessaire au mouvement (37)

Parmi ces trois types, le contrôle des axes par le mouvement radiculaire nécessite le plus grand nombre de réactions osseuses alvéolaires (les zones ombrées sur la Figure 56) et nécessite donc plus d'ancrage et une durée de traitement plus longue.

a) Redressement par rotation autour du centre de résistance

Si un redressement de la molaire avec une légère ouverture de l'espace d'extraction sans égression concomitante est recherché alors il faudra appliquer un couple à la molaire via un bracket. Il y aura un déplacement coronaire et radiculaire moyen (Figure 57)(97). Redressement par rotation autour du centre de résistance

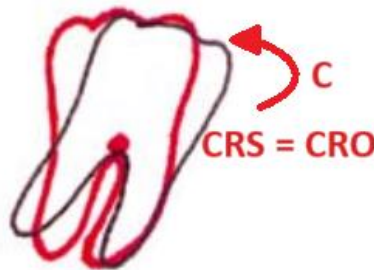


Figure 57: Schématisation d'un couple (C) qui met en rotation la molaire autour de son centre de résistance, dans ce cas le centre de résistance (CRS) et le centre de rotation (CRO) sont confondus (97)

En fonction de la situation clinique et de la mécanique de redressement voulue, le protocole sera différent (53) :

- **Si l'on dispose de suffisamment d'espace sur la crête édentée** entre la molaire mésioversée et les dents adjacentes, une mini-vis pourra être positionnée avec un ressort de redressement en acier ou en TMA (alliage de titane-molybdène)(Figure 58) relié de la molaire à la mini-vis. Ce type de technique nécessite une mini-vis à tête-bracket pour y insérer l'arc sectionnel.

Ici (Figure 58) une composante d'ingression est recherchée, une plicature dit en « v » asymétrique (plus éloignée du bracket de la molaire que du bracket de la mini-vis) est appliquée au fil du ressort en plus de la plicature permettant d'exercer un couple au bracket.

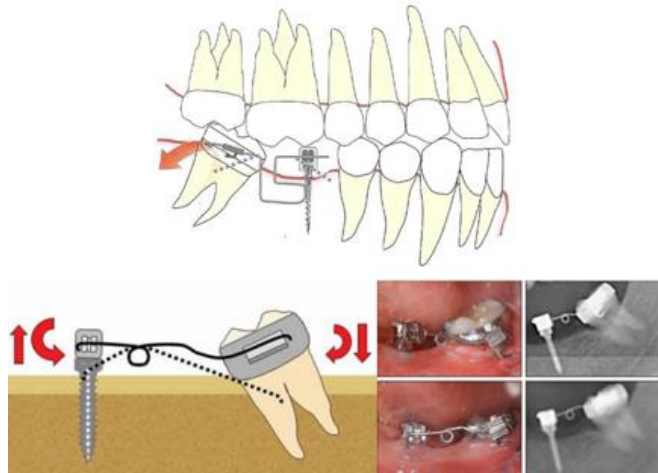


Figure 58:redressement molaire grâce à une mécanique utilisant un ressort de redressement fixé à une mini-vis sur la crête (53,98)

- **Lorsque l'espace est insuffisant en mésial**, il est aussi possible de placer une mini-vis entre les racines des prémolaires. Pour limiter le torque, la pose de deux implants est recommandée. S'il est possible de poser deux implants de part et d'autre des racines des prémolaires, un ancrage direct uniquement implantaire pourra être réalisé en reliant les implants ensemble par un arc segmenté puis en utilisant un arc avec du tip forward (Figure 59a). S'il n'est possible de positionner qu'une seule mini-vis, celle-ci pourra être reliée à un groupe de dents (généralement canines et prémolaires) pour réaliser un ensemble dento-implantaire constituant un ancrage indirect (Figure 59b)(53).

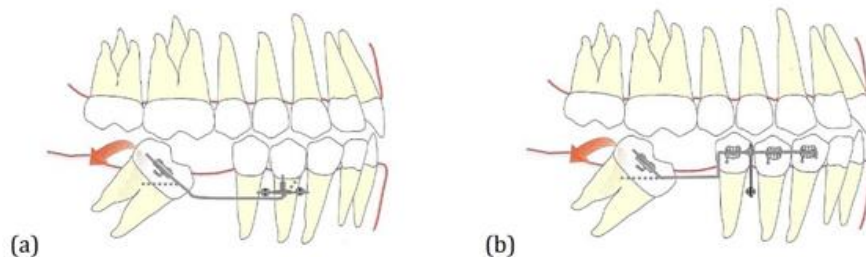


Figure 59: Redressement molaire à l'aide de mini-vis positionnées au niveau des prémolaires selon un mode d'ancrage direct (a) ou un mode d'ancrage indirect (b)(35)

Lorsque l'on souhaite réaliser un redressement molaire avec à la fois un mouvement distal de la couronne et un mouvement mésial des racines, un ressort tel que décrit ci-dessous (Figure 64) pourra être utilisé.

La portion du ressort qui s'insère dans le tube molaire doit être pliée de façon à avoir une courbure dit de « tip back » (segment rouge sur la Figure 60), sans activation d'ouverture ou de fermeture de la boucle. L'intention est de faire tourner la dent autour de son centre de résistance.

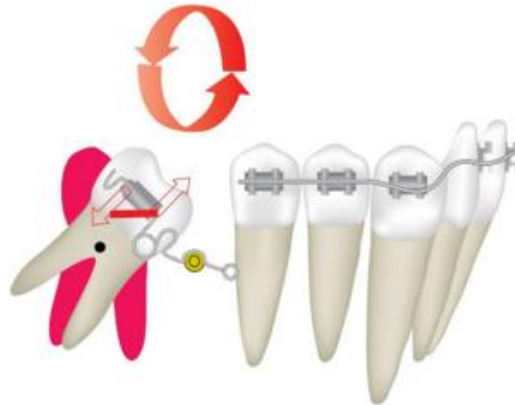


Figure 60 : Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire par mouvement distal de la couronne et mouvement mésial de la racine (99)

b) Redressement par rotation de la couronne

Si une ouverture d'espace avec un composante d'égression est recherchée, il faudra appliquer une force de sens distal ne passant pas par le centre de résistance (CRS), le centre de rotation (CRO) ainsi créé sera situé apicalement au centre de résistance engendrant un déplacement coronaire maximum mais avec une composante d'égression et un déplacement radiculaire minime (Figure 61)(97).

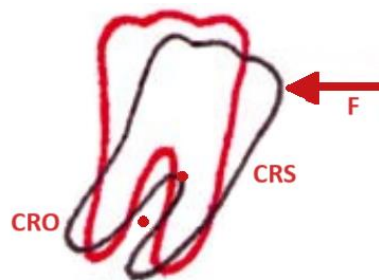


Figure 61: schématisation d'une force de redressement horizontale ne passant pas par le centre de résistance : le centre de rotation est plus apical que le centre de résistance de la molaire, c'est la couronne qui effectue une rotation (97)

Une mini-vis pourra être positionnée avec un ressort à spires ouvertes de compression sur un arc sectionnel (Figure 62).

Ce type de technique nécessite, elle aussi, une mini-vis à tête-bracket pour y insérer l'arc sectionnel.

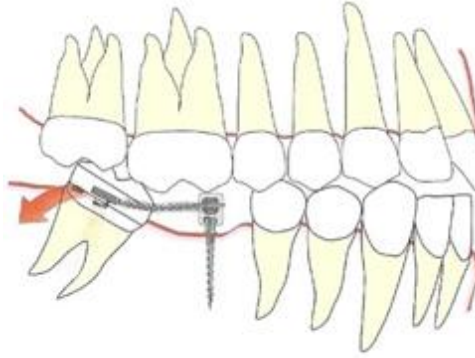


Figure 62: redressement molaire grâce à une mécanique utilisant un ressort de compression sur un arc sectionnel

Si l'espace est insuffisant au niveau de la crête édentée, la mini-vis pourra être placée en distal de la molaire et le redressement se fera par un ancrage direct à l'aide d'une chaînette élastique (Figure 63). Cette méthode est plus complexe à mettre en œuvre du fait de l'accessibilité restreinte en distal de la molaire. De plus, l'épaisseur de la muqueuse à ce niveau impose l'utilisation d'une mini-vis plus longue et les forces masticatoires auront tendance à désinsérer la chaînette élastique.

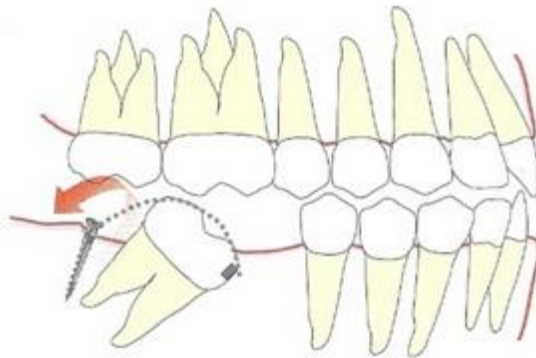


Figure 63: Redressement molaire avec mini-vis en distal (53)

La traction simultanée des boutons vestibulaire et lingual produit un mouvement de distalisation et de redressement et permet d'éviter une rotation indésirable de la molaire. L'égression molaire générée par ce système mécanique dépend de la position verticale de la tête de la mini-vis par rapport aux crochets collés : plus la tête de la vis est haute par rapport aux crochets, plus il y aura d'égression associée au mouvement de distalisation.

Sur la Figure 64, la chaînette élastomérique passant sur la surface occlusale de la molaire, produit une force avec une composante intrusive car la mini-vis est située plus bas que le bouton mésial.

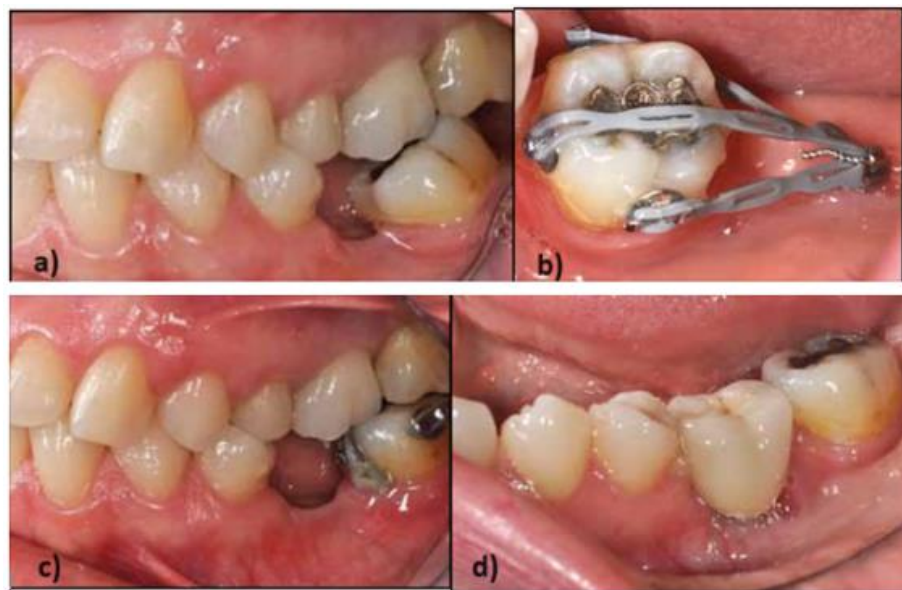


Figure 64 : Redressement d'une deuxième molaire mandibulaire gauche mésio-versée : situation initiale (a) ; système à trois chaînettes mis en place (b) ; situation après 5 mois de traction (c) ; résultat final après pose de d'un implant dans l'espace de la première molaire (d) (100)

Les forces peuvent facilement varier pour corriger des rotations mineures en utilisant différentes longueurs de chaînette (100).

La mini-vis peut être utilisée pour contenir le redressement de la molaire en attendant l'exécution du traitement prothétique en plaçant de simples ligatures métalliques à la place des chaînettes (Figure 65).

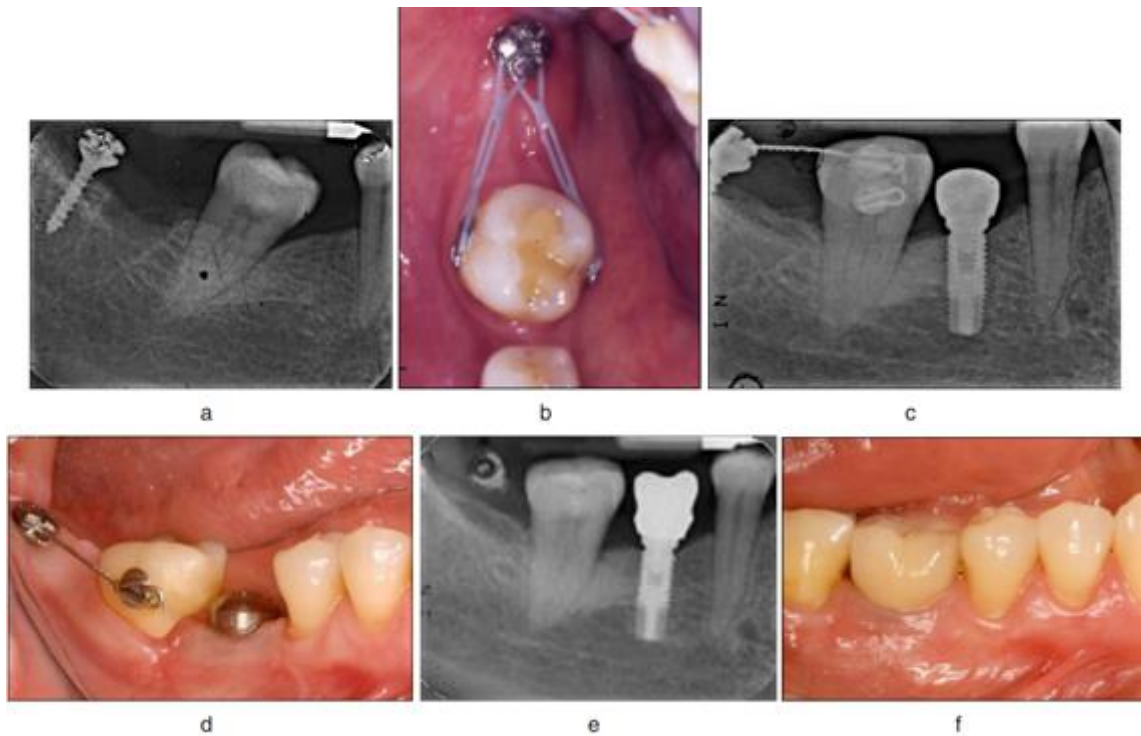


Figure 65: Redressement d'une 47 en vue de la mise en place d'un implant pour remplacer la 36 (a) Radiographie périapicale montrant la mini-vis placée en distal de la seconde molaire. (b) Deux chaînettes élastiques sont reliées à deux crochets collés directement sur les faces vestibulaire et linguale de la molaire. (c) Insertion de l'implant après le redressement de la seconde molaire. (d) Ligature torsadée en acier utilisée pour stabiliser la position de la seconde molaire. (e) Radiographie périapicale de fin de traitement. (f) Après traitement orthodontique et après réhabilitation prothétique (101)

Lorsque le plan de traitement consiste à remplacer la molaire par un élément prothétique (implant ostéo-intégré, prothèse fixe ou amovible), un espace doit être ouvert (comme dans le cas de la Figure 65). Pour réaliser ce mouvement, une mécanique faisant intervenir un ressort (Figure 62) peut être utilisée.

La boucle verticale du ressort doit être ouverte, de sorte qu'elle soit comprimée entre le tube molaire et la mini-vis, provoquant une force dans le sens horizontal pour ouvrir l'espace. Une courbure de « tip back » au niveau du segment de fil inséré dans le tube molaire doit également être effectuée (pointillés sur la Figure 66).



Figure 66: Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire avec ouverture d'espace (99).

c) Redressement par rotation mésiale des racines

L'égression de la molaire est due à deux choses : le redressement de la molaire autour de son centre de résistance et la force égressive de réaction. Quand la dent tourne autour de son centre de résistance, elle effectue un redressement coronaire. Or, si un redressement coronaire n'est pas désiré, il faut alors effectuer un redressement radiculaire. Pour le redressement radiculaire il faut que le centre de rotation soit au niveau du bracket.

Il faut exercer un couple au niveau d'un bracket ne pouvant pas coulisser : il faut donc verrouiller sa position, la couronne ne peut faire son déplacement distal, le centre de rotation se trouve au niveau du bracket verrouillé (Figure 67).



Figure 67 : Schématisation du couple (C) qui met en rotation les racines autour d'un centre de rotation situé au niveau du bracket verrouillé (Ve)(97)

Lorsque l'on souhaite corriger l'axe molaire avec un mouvement radiculaire mésial, en plus de l'activation du « tip back » du segment de fil inséré dans le tube molaire, il faut tendre une chaînette élastomérique à partir du crochet en distale du tube jusqu'à la tête de la mini-vis, et la boucle doit être légèrement fermée (0,5 mm), afin de potentialiser l'effet. La courbure de « tip back » créera un moment de rotation distale de la couronne et de rotation mésiale de la racine. L'effet du déplacement mésial de la racine sera potentialisé par le placement de la chaîne élastique sur le crochet distal du ressort (Figure 68) et l'activation du ressort empêchera la couronne de bouger dans le sens distal.



Figure 68: Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire par un mouvement radiculaire mésial (99)

Lorsqu'il n'y a pas assez de place en distal de la seconde molaire ou si le redressement nécessite une rotation autour de la couronne par mouvement radiculaire pour minimiser la version distale de la couronne, un système biomécanique plus précis doit être mis en œuvre. Il s'agit d'un fil rectangulaire en acier relié à deux mini-vis, l'une insérée au niveau de la zone édentée, en mésial de la molaire à redresser, et l'autre dans la zone interproximale, en mésial de la deuxième prémolaire.

Des modifications sélectives de l'inclinaison et de la hauteur des branches du sectionnel permettent de contrôler précisément le redressement dans la position désirée et éventuellement, si besoin, la position verticale de la molaire (Figure 69).



Figure 69: Schéma (à gauche) et vue clinique (à droite) du redressement molaire au moyen d'un ressort en acier de section .018 x .022 pouces s'appuyant sur deux mini-vis (101)

d) Dégradation des chaînettes

Les chaînettes élastomériques se dégradent dans la salive et leurs propriétés s'en trouvent altérées. La force de la plupart des chaînettes élastomériques diminue de 50 % à 70 % dans les premières 24 heures, suivie d'une phase de diminution plus faible de 10 % à 20 % au cours des 4 premières semaines.

C'est pourquoi habituellement elles se changent toutes les 4 à 6 semaines, cependant si celles-ci subissent une baisse importante de leur force au bout de 4 semaines la diminution ralentit les semaines suivantes. Ainsi 16 semaines après les chaînettes élastomériques conservent une force suffisante pour continuer leur travail de déplacement (102,103).

L'utilisation de ressort Niti permet d'obtenir une traction constante et d'intensité continue mais le coût est plus élevé et concernant les mouvements molaires aucune différence significative n'a été trouvée en comparaison des chaînettes (104,105).

Les mécaniques mises en place doivent contrôler le déplacement molaire dans les trois dimensions de l'espace. Or, le mouvement des racines des molaires est difficile à contrôler et demande un temps de traitement important. Si un mouvement significatif des racines est souhaité, il serait préférable d'opter pour un ancrage indirect, car le contrôle est meilleur et l'ancrage plus stable (37).

III- Moyen thérapeutique : mésialisation molaire

Les options classiquement envisagées en présence d'une première molaire mandibulaire extraite ou très délabrée sont :

- La pose d'une couronne après traitement endodontique ;
- La pose d'un bridge, si la dent est déjà extraite, ou à extraire ;
- Un implant ;
- Une transplantation autogène ;
- Un traitement orthodontique destiné à mésialer la 2ème molaire et qui doit permettre à la dent de sagesse d'être fonctionnelle à la place de celle-ci.

Si les conditions sont réunies, la fermeture de l'espace d'extraction et la mise en place spontanée de la troisième molaire mandibulaire constituent le meilleur choix pour un jeune patient (Figure 70)(96).

a) Indications et contre-indications

Indications :

- Lésion dentaire, telle que la conservation ne semble pas raisonnable ;
- Traitement orthodontique pour lequel il est prévu des extractions, avec l'alternative : avulsion d'une prémolaire versus une première molaire très délabrée (Figure 70).

Contre-indications :

- Dent de sagesse enclavée (contre-indication relative car peut être corrigée) ;
- Extraction ancienne avec rapprochement des corticales et résorption sévère de la crête affectant particulièrement le versant vestibulaire et présentant un risque de déhiscence en cas de mésialisation ;
- Absence de gencive attachée au niveau du site édenté ;
- Lésions parodontales de la molaire à mésialer, avec risque d'aggravation de la lésion parodontale en cas de mésialisation.

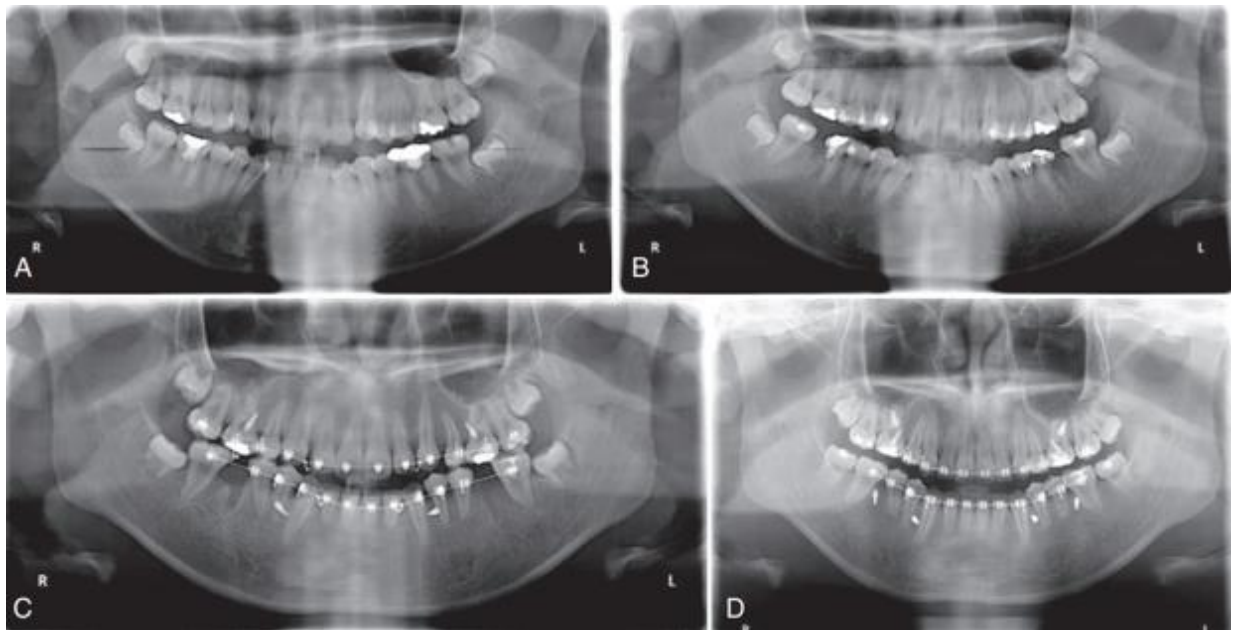


Figure 70: Pour le traitement orthodontique de cette patiente de 18 ans, une extraction des prémolaires a été nécessaire. Cependant, à la mandibule plutôt que deux prémolaires, il a été décidé d'extraire les premières molaires qui étaient compromises par de multiples soins. Lorsqu'une première molaire est extraite, une grande quantité d'espace est laissée, ce qui nécessite un temps de traitement prolongé pour se fermer. Compte tenu de la perte osseuse alvéolaire après extraction, le praticien a, ici, préféré procéder par hémisection des molaires afin que le rétrécissement de la crête alvéolaire ne gêne pas la mésialisation de la seconde molaire. **A**, Radiographie panoramique avant traitement. **B**, Radiographie panoramique après hémisection et extraction de la partie distale de la première molaire. **C**, Radiographie panoramique après extraction de la partie mésiale de la première molaire. **D**, Radiographie panoramique après fermeture de l'espace (106)

b) Stratégies de mésialisation

Dans les situations cliniques où deux molaires sont à mésialer, plusieurs choix sont possibles (107) :

- Ne pas prendre en charge la molaire terminale, dans l'espoir que celle-ci se mésiale naturellement en suivant la première. Ce choix permet en effet de commencer la mésialisation de la molaire terminale dès le début mais peut amener à des pertes de contrôle de celle-ci.

- Prendre en charge la molaire terminale :

- En lui appliquant une force motrice dès le début : les deux molaires sont alors susceptibles de subir des mésio-versions ou des rotations mésio-linguale, difficiles à compenser en première intention par des déformations de l'arc.

- Sans lui appliquer de force motrice : la première molaire est alors mésialée sans déformations appliquées à l'arc, ce dernier étant maintenu à ses deux extrémités. Puis la deuxième est mésialée à son tour comme une dent terminale. Il est à noter que la mésialisation spontanée de la molaire terminale est empêchée par la friction du système et qu'ainsi les deux étapes doivent être distinctes, ce qui allonge la durée de traitement.

c) Considérations biomécaniques

Dans la dimension antéro-postérieure, lorsqu'une force motrice est appliquée sur le tube d'une molaire, elle passe au-dessus de son centre de résistance, entraînant une mésialisation, mais aussi une mésio-version de celle-ci, jusqu'à un contact étroit entre le tube et l'arc (Figure 71b & Figure 72a).

Dans la dimension verticale il pourra y avoir une ingression (Figure 71c) due à la position apicale de la mini-vis par rapport au point d'action de la force.

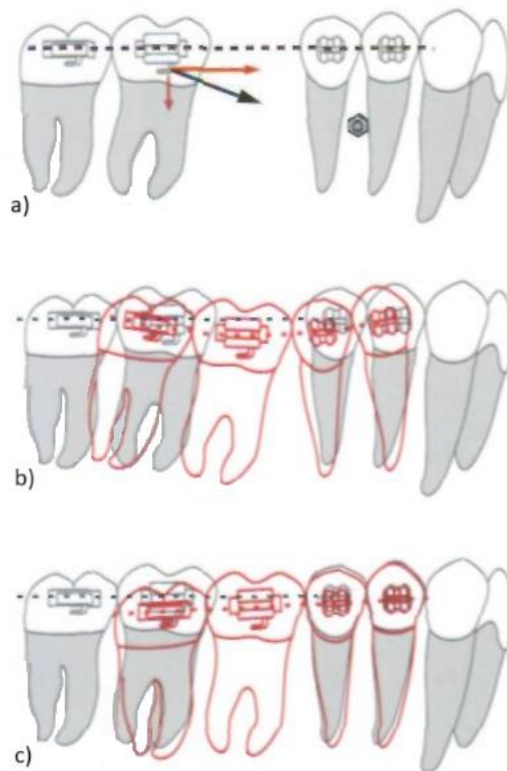


Figure 71: Effets parasites dans la dimension antéro-postérieure (a) d'une force de traction exercée (flèche noire) de la mini-vis sur un crochet vestibulaire provoque (b) une tendance à l'inclinaison mésiale de la molaire et (c) une ingression dues aux composantes (flèches rouge) résultantes de la force traction (37)

Dans la dimension transversale, le tube étant en vestibulaire par rapport au centre de résistance de la molaire, cela entraînera une rotation méso-linguale de la dent (Figure 72b).

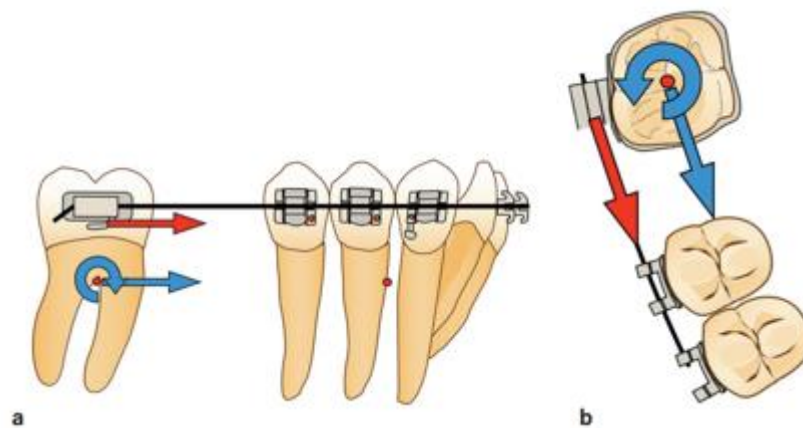


Figure 72: Schématisations des effets parasites (flèches bleues) liés à une force motrice de mésialisation de la deuxième molaire en place de la première molaire (flèches rouges) dans la dimension antéro-postérieure (a) et dans la dimension transversale (b)(107)

Ces effets parasites perturbent la linéarité de la mésialisation et entraînent une perte de contrôle tridimensionnel de la molaire, à l'aide de mini-vis il est possible de pallier ces effets parasites.

Il faudra toutefois être vigilant car si le recours aux mini-vis permet de pallier des effets parasites, il peut aussi en créer. Le positionnement apical de la mini-vis entraînera ainsi une composante ingressive non désirée

Dans la dimension antéro-postérieur, plusieurs solutions existent pour le contrôle de la mésio-version (37) :

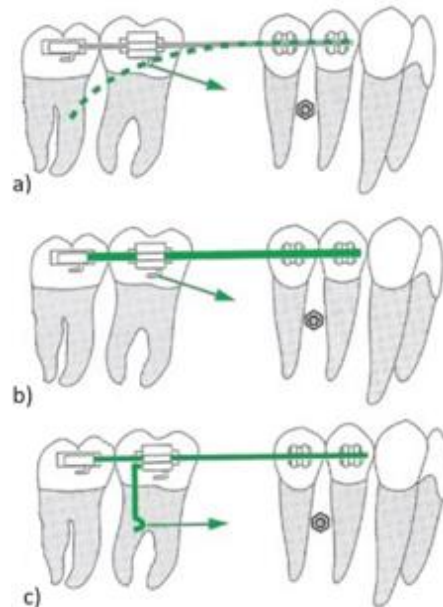


Figure 73: Schématisation du contrôle de la mésio-version avec : (a) Une courbure de compensation sur l'arc peut compenser la tendance au basculement mésial ; (b) L'utilisation d'un fil rigide ; (c) Une potence insérée dans le tube auxiliaire de la première (37)

- Une courbure de compensation de tip-back sur l'arc peut réduire la tendance à la version mésiale (Figure 73a & Figure 74a).
- L'utilisation d'un arc en acier rigide de taille supérieure à 0.017x 0.025 inch peut minimiser les effets parasites mais ne sera pas idéale si le traitement se prolonge et ne permet pas un contrôle précis (Figure 73b).
- Une potence insérée dans le tube auxiliaire d'un double tube peut permettre un contrôle satisfaisant et rapproche le point d'application de la force du centre de résistance de la dent (Figure 73c), avec l'avantage de ne pas générer d'ingression non désirée.

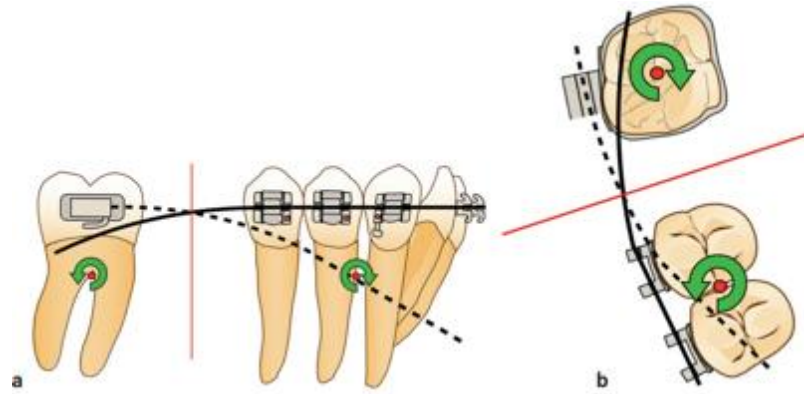


Figure 74: Coubures compensatrices de disto-version (dit de « tip-back ») (a) et de cintrage postérieur (dit de « toe-in ») (b)(107)

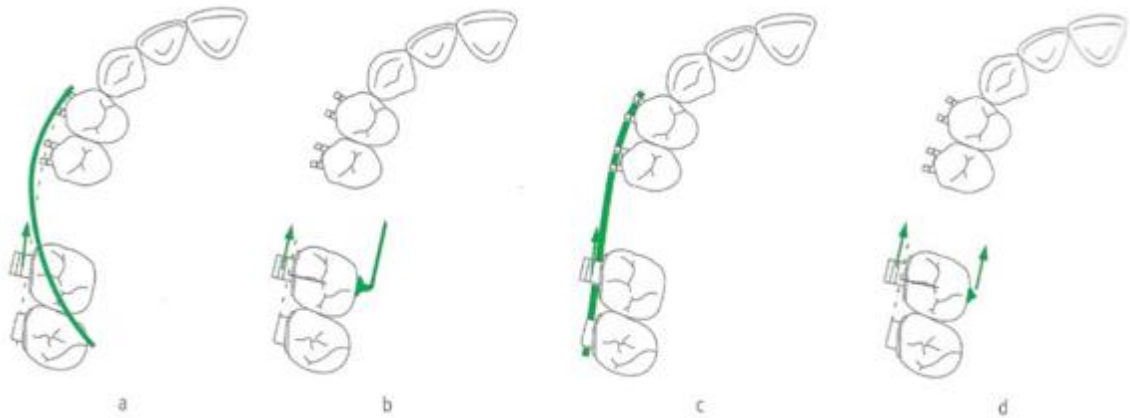


Figure 75: Schématisation du contrôle de la rotation mésio-linguale avec : (a) Une courbure de compensation pour compenser la tendance à la rotation mésio-linguale ; (b) Une barre palatine ou un arc lingual ; (c) L'utilisation d'un fil rigide ; (d) L'utilisation d'un bouton lingual ou palatin (37)

Dans la dimension transversale, plusieurs solutions existent également pour contrôler la rotation mésio-linguale :

- Sur un arc résilient de type TMA, il est possible d'incorporer une courbe de compensation transversale de « toe-in » pour contrer la rotation molaire mais le résultat est très praticien dépendant (Figure 74a & Figure 75a).
- Le recours à des méthodes de solidarisation à travers l'arcade avec des barres palatines ou des arc linguaux est efficace pour maintenir la forme et la dimension transversale de l'arcade et empêcher la rotation molaire mais reste relativement inconfortable pour le patient et ne peut être utilisé en cas de mésialisation unilatérale (b).

- L'utilisation d'un arc en acier rigide d'une taille supérieure à 0.017 x 0.025 inch fonctionne dans une certaine mesure. Cependant, un contrôle précis est difficile et n'est pas idéale pour les traitements longs (c).
- L'utilisation d'un bouton lingual avec l'application de la force à la fois en vestibulaire et en palatin est une méthode simple et efficace (d).

d) Ancrage direct

La force motrice est appliquée directement de la mini-vis à la molaire à mésialer. La traction appliquée pourra être décomposée en une force mésialante et une force ingressive (Figure 76). Son application à distance du centre de résistance entraîne une mésioversion et une rotation mésio-linguale, obligeant alors à incorporer des courbures compensatrices (Figure 74).

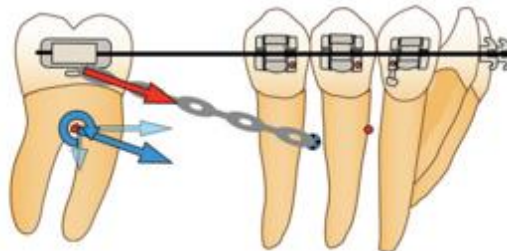


Figure 76: Schématisation de la force de traction (flèche rouge) et de ses composantes aboutissant à une mésioversion de la molaire tractée (flèches bleues)

Il est aussi possible d'avoir recours à une potence qui sera insérée dans le double tube molaire (Figure 77). Cette configuration permet, dans le plan antéro-postérieur, de rapprocher le plus possible le point d'application de la force motrice du centre de résistance de la molaire, la quantité de ce rapprochement sera fonction des conditions anatomiques (profondeur du vestibule, hauteur de gencive attachée). Ainsi, à défaut de le placer au niveau du centre de résistance de la molaire, il sera judicieux de le placer à hauteur du mini-implant pour tracter de manière horizontale (108). Plus la potence sera proche du centre de résistance et plus la force délivrée aboutira à une gression pure sans mésio-

version. En revanche, ce dispositif produit toujours dans le plan occlusal une rotation mésio-linguale de la molaire. Cette dernière est même accentuée lors de l'utilisation d'une potence puisque cette dernière éloigne la force motrice du centre de résistance dans le plan horizontal. Il sera alors nécessaire d'accentuer la courbure de cintrage postérieur (Figure 74b).

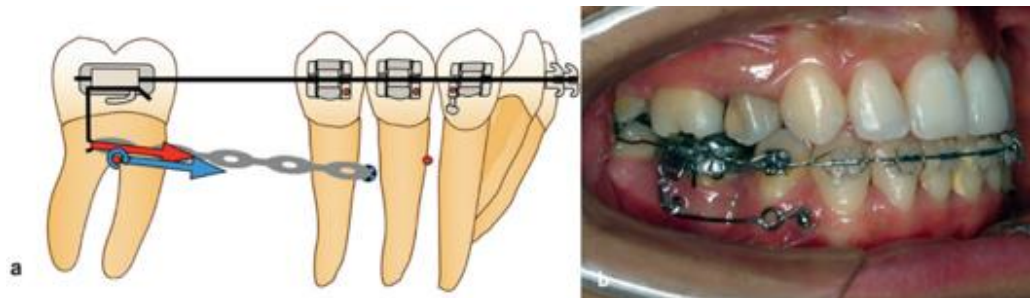


Figure 77: (a) Schématisation des forces en présence sur la molaire lors d'une traction directe par potence. (b) Système de potence.(107)

Une partie de la force motrice délivrée ici est perdue à cause à la friction présente entre le tube et l'arc. Or, dans ces configurations, la friction due au déplacement de la molaire sur l'arc correspond à une force mésialante appliquée à l'arc. En cas de force délivrée trop importante, on peut alors se retrouver face à une situation d'arc-boutement (Figure 78) où la totalité de la force motrice est alors retranscrite en un effet parasite de force mésialante sur l'arc par la molaire. Cet effet parasite se fera ressentir jusque sur les incisives qui subiront alors une vestibulo-version (107,108).

Ce système bien qu'envisageable n'est donc pas à privilégier.

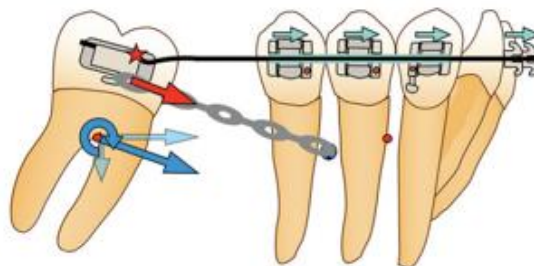


Figure 78: Schématisation des effets parasites dans une situation d'arc-boutement.

e) Ancrage indirect

Afin d'éviter ces effets parasites, il sera préférable d'utiliser la mini-vis comme renfort d'ancrage, en configuration indirecte.

Lorsque la mini-vis est utilisée comme ancrage indirect, elle peut être soit (109) :

- Solidarisée à une dent (Figure 79), la mini-vis est reliée à la dent par un fil de grosse section rigide dont la fonction est d'empêcher la mini-vis et la dent de se rapprocher l'une de l'autre, ce fil de grosse section travaille en compression. Ce système permet alors de garder une réflexion biomécanique conventionnelle en appliquant une force motrice qui reste dans le plan de l'arc, de la dent ancrée à la molaire à mésialiser, néanmoins cette configuration n'écarte pas le risque de l'effet parasite dû à l'arc-boutement précédemment décrit, si la traction est appliquée entre la prémolaire d'ancrage et la molaire.

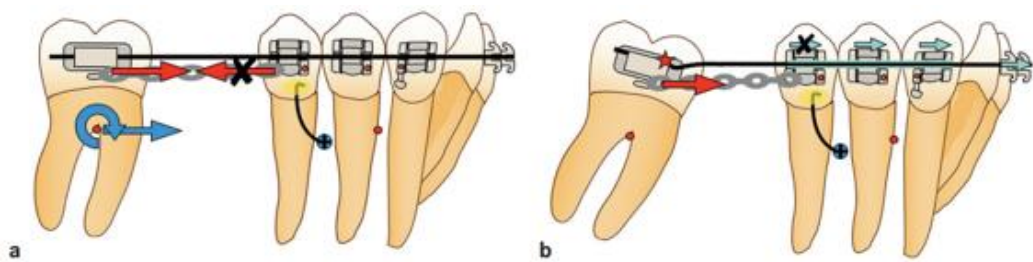


Figure 79: (a) Schématisation des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par solidarisation. (b) Schématisation des effets parasites

- Ligaturée à une dent (Figure 80), la mini-vis est reliée à la dent par une ligature non rigide (fil torsadé) dont la fonction est d'empêcher la mini-vis et la dent de s'éloigner l'une de l'autre, cette ligature travaille en tension. Il faut donc positionner la mini-vis plus antérieurement, entre la canine et la première prémolaire, pour éviter que la prémolaire d'ancrage se voit autoriser une angulation de version trop importante qui pourrait se traduire cliniquement par l'apparition d'un diastème (Figure 80b).

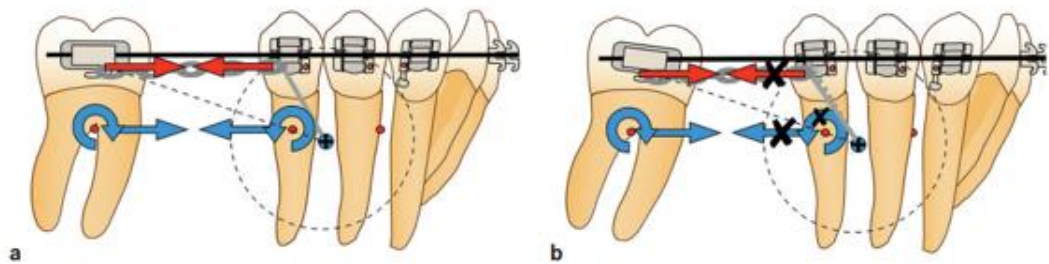


Figure 80 : (a) Schématisation des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par ligature. (b) Schématisation des effets parasites, l'arc de cercle centré sur la mini-vis avec comme rayon la ligature métallique représente le degré de version permis par la ligature

- Solidarisé (Figure 81), la mini-vis sera alors reliée à l'arc par l'intermédiaire d'un segment soudé ou à l'aide d'un tube croisé, ou ligaturé à l'arc via un crochet (Figure 82). Dans ce cas de figure, la force de traction se doit d'être appliquée sur l'arc lui-même, afin d'éviter le mouvement distal le long de l'arc de la prémolaire d'ancrage.



Figure 81: Connexion rigide de la mini-vis à l'arc via un sectionnel en acier inoxydable et un tube croisé (53)

Leclercq et al. ont proposé des systèmes intéressants mêlant les différentes configurations pour tirer profits de leurs avantages, minimiser les effets indésirables et rendre la mésialisation plus prédictible.(107)

Afin d'éviter le risque de dérive mésiale de l'arcade par arc-boutement à l'entrée du tube de la molaire et la disto-version de la dent d'ancrage, la force motrice doit être appliquée entre la molaire et l'arc lui-même. Ainsi, en cas d'arc-boutement, aucune dérive mésiale n'aura lieu, car la force motrice est appliquée entre deux points d'un même système et n'inclut pas un ancrage extérieur. La mini-vis peut alors être ligaturée à l'arc directement via un crochet afin d'éviter le déplacement distal de celui-ci ou à la dernière dent du bloc d'ancrage, en vue d'éviter la perte d'ancrage de ce dernier.

La force motrice est délivrée par un ressort NiTi ou une chaînette élastique entre une potence et un crochet long afin d'éviter la mésio-version de la molaire d'ancrage et l'augmentation de la friction causée par la courbure de disto-version (Figure 82).

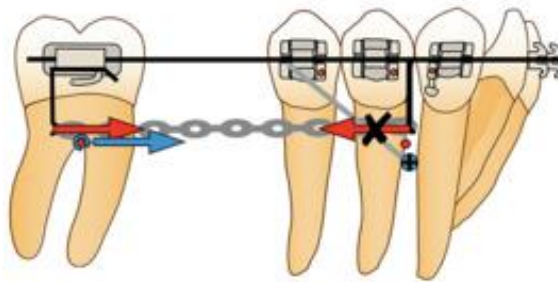


Figure 82: Schématisations des forces en présence lors d'une mésialisation molaire via une potence avec ancrage indirect par ligature (force délivrée entre la molaire et l'arc)(107)

Pour encore plus de sécurité, ils recommandent d'avoir recours à l'ancrage indirect des deux prémolaires par solidarisation à la mini-vis grâce à un sectionnel (Figure 83).

Dans cette situation, la traction pourra être effectuée :

- Entre un crochet court et la molaire, avec les courbures de compensation correspondantes (Figure 83a).
- Entre la potence et un crochet long (Figure 83b).

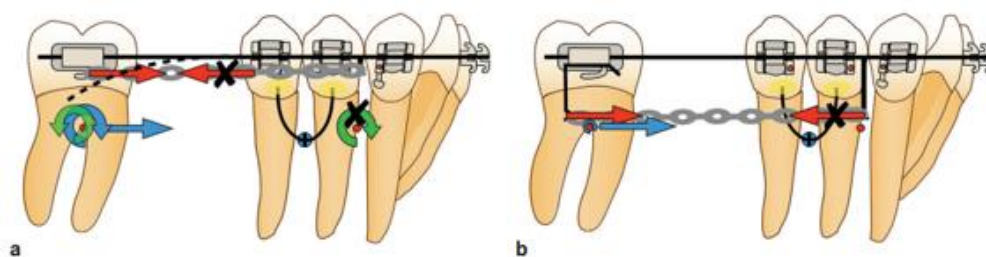


Figure 83: Schématisations des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par solidarisation (force délivrée entre la molaire et l'arc), sans potence (a) et avec potence (b)(107)

De nombreux auteurs ont montré des quantités de mésialisation molaire mandibulaire à l'aide de mini-implants variant de 8 mm (110) à 12 mm (111). Avec une vitesse de déplacement radiculaire situé entre 0,27 mm (112) à 0,33 mm (35) par mois, en moyenne 2ans et demi sont nécessaire à la fermeture de l'espace d'extraction.

La mésialisation orthodontique est une solution thérapeutique intéressante et moins couteuse que les implants ou les prothèses, et elle peut l'être d'autant plus si elle est associée à des malocclusions que le patient souhaite corriger. Cette solution a l'inconvénient de rallonger le temps de traitement par rapport à la solution d'aménagement orthodontique des espaces en vue d'une reconstruction prothétique (108).

IV- Moyen thérapeutique : ingression molaire maxillaire

Dès qu'une dent a été extraite, son antagoniste va égresser jusqu'à ce qu'elle retrouve un contact antagoniste. On peut voir des molaires ainsi évoluer jusqu'à la gencive antagoniste.

Il devient alors impossible de réaliser le remplacement des dents antagonistes absentes.

L'ingression molaire est l'un des mouvements dentaires les plus difficile à réaliser car les molaires ont plusieurs grandes racines et l'ingression nécessite beaucoup de remaniement osseux ainsi qu'un temps de traitement plus long. Plus la durée du traitement est longue, plus les mouvements indésirables apparaissent, car même une force légère peut faire bouger les dents si elle est appliquée pendant une longue période (37).

Ce mouvement aussi difficile soit-il est rendu bien plus facile grâce aux mini-vis, cependant quelques difficultés subsistent :

- Il est difficile de connaître l'emplacement précis du centre de résistance de la dent à déplacer à cause de la grande variabilité dans l'anatomie des racines et du niveau osseux ;
- Il est cliniquement impossible d'appliquer une force orthodontique qui passe par le centre de résistance dans les trois plans de l'espace ;
- Les localisations du point d'application de la force sont limitées car les sites d'implantation sont limités ;
- Lors d'une ingression il n'est pas juste question de contrôle de la dimension verticale ; le contrôle tridimensionnel est essentiel et donc la forme de l'arcade, les axes dentaires, l'inclinaison du plan occlusal et le couple postérieur doivent aussi être contrôlé.

Il est plus efficace et plus efficient d'utiliser une seule force et un système de force statiquement déterminé pour le contrôle vertical de l'ingression. Un système de force statiquement déterminé est un système dans lequel l'intensité et la direction de la force appliquée peuvent être analysées précisément. L'utilisation de mécaniques d'arc complet via des brackets est inefficace pour ingresser des molaires.

a) Stratégies d'ingression

Le centre de résistance des molaires maxillaires n'est pas centré au niveau de l'arcade mais est déporté du côté palatin. Par conséquent, le contrôle du torque est plus difficile (Figure 84). L'application d'une force du côté palatin est très utile pour contrôler le torque des racines palatines et pour augmenter l'efficacité biomécanique. L'utilisation de mini-vis interdentaires palatines ou médio-palatines pour appliquer une force ingressive du côté palatin est recommandée. D'un point de vue biomécanique, les mini-vis médio-palatines sont meilleures que les mini-vis interdentaires palatines entre la première molaire et la deuxième molaire, car les premières peuvent contrôler le point d'application de la force via les attaches (bracket). Cependant, les mini-vis interdentaires palatines sont moins gênantes pour les patients.

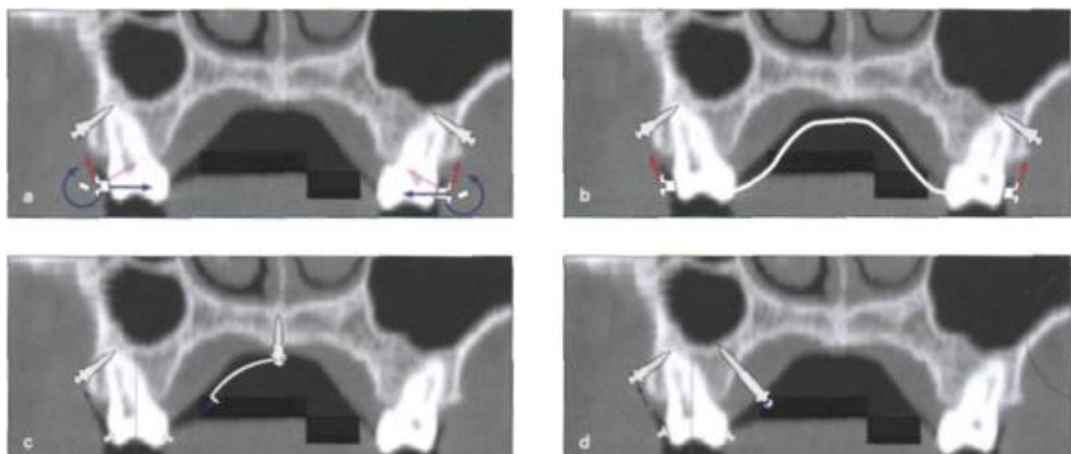


Figure 84: Illustrations des différentes stratégies d'ingression

Le contrôle de la racine palatine est la clef de l'ingression molaire maxillaire. Il est possible de contrôler la vestibulo-version en appliquant du torque à l'arc qui sera inséré dans la fente du bracket (Figure 84a). Cependant, il s'agit d'un système statiquement indéterminé, ce qui rend un contrôle précis difficile et donc une efficacité faible. Il est également possible de contrôler le couple en appliquant une force de constriction (horizontale en direction palatine) ou en appliquant une combinaison de couple et de force de constriction. Cependant, l'utilisation d'un arc transpalatin serait plus efficace (Figure 84b). L'utilisation de forces d'ingression vestibulaires et palatines ensemble est le protocole le plus efficace (Figure 84c et d).

b) Considérations biomécaniques

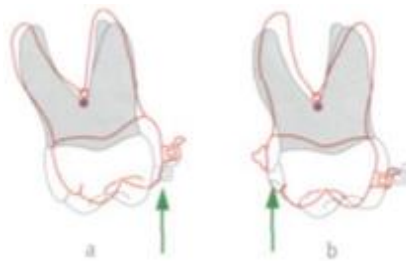


Figure 85: Considérations biomécaniques dans le plan frontal (contrôle de premier et troisième ordre) : une rotation se produit si une force ingressive est appliquée à distance du centre de résistance.

- Lorsqu'une force ingressive est appliquée du côté vestibulaire, une bascule vestibulaire se produit en plus de l'ingression (Figure 85a).
- Lorsque la force ingressive est appliquée du côté palatin, une bascule palatine se produit (Figure 85b).

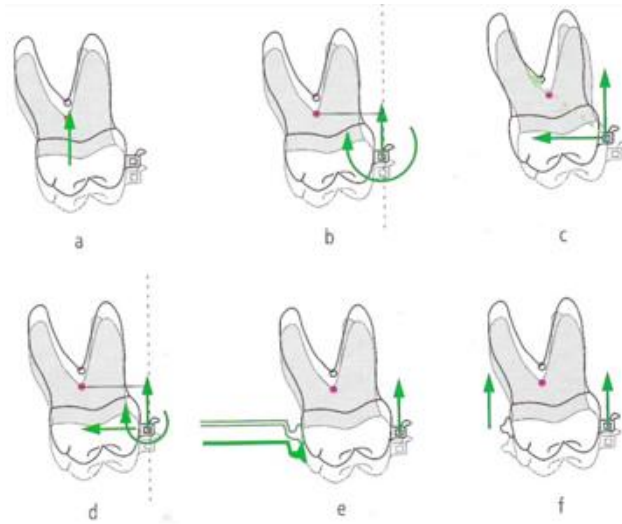


Figure 86: Considérations biomécaniques dans le plan frontal (contrôle de premier et troisième ordre) : les forces vestibulaires ingressives provoquent une bascule vestibulaire

- Cliniquement, il est presque impossible d'appliquer une force orthodontique tridimensionnelle à travers le centre de résistance (Figure 86a).
- Pour l'ingression, la force ingressive et le couple coronaire palatin peuvent être appliqués ensemble, mais il est relativement difficile d'être précis avec ce système (Figure 86b).
- Des forces vestibulaires ingressives et horizontale de sens palatin (constriction d'arcade) peuvent être appliquées simultanément pour réduire la bascule vestibulaire. L'intensité de la force de constriction doit cependant être identique à celle de la force d'ingression, ce qui rend le système également difficile à contrôler avec précision (Figure 86c).
- Il est possible d'utiliser les méthodes (b) et (c) en même temps, mais un ajustement précis est également difficile à obtenir (Figure 86d).
- L'utilisation d'un arc transpalatin peut également être très efficace pour contrôler la version vestibulaire, mais est relativement inconfortable pour les patients et ne peut pas être utilisé en cas d'ingression unilatérale. Si l'utilisation d'un arc transpalatin permet de contrôler la bascule vestibulaire cela diminue également l'efficacité biomécanique du traitement (Figure 86e).
- Le système le plus simple et efficace serait d'avoir une force ingressive de chaque côté, en vestibulaire et en palatin (Figure 86f).

Pour une ingression unilatérale, la mécanique doit idéalement permettre d'appliquer des forces d'ingression depuis les faces vestibulaire et palatine, l'arc transpalatin semble, lui, être tout indiqué lors d'une ingression molaire bilatérale.

c) Ingression bilatérale

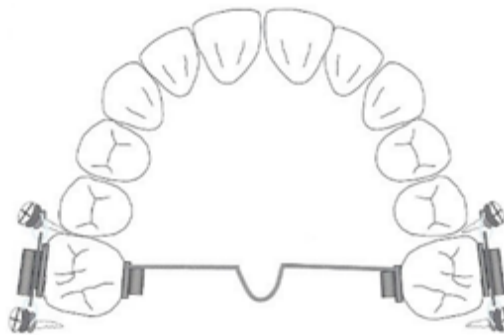


Figure 87 : Schéma du système à arc transpalatin et quatre mini-vis pour l'ingression molaire bilatérale (53)

Lorsqu'une molaire et sa contro-latérale doivent être ingressées, le système mis œuvre comporte quatre mini-vis et un arc transpalatin pour empêcher les molaires de se vestibulo-verser (Figure 87). L'arc transpalatin, qui doit être à distance de la muqueuse palatine (3 à 5mm), présente un avantage supplémentaire car la pression de la langue peut contribuer à potentialiser l'ingression molaire (Figure 88)(72,113).

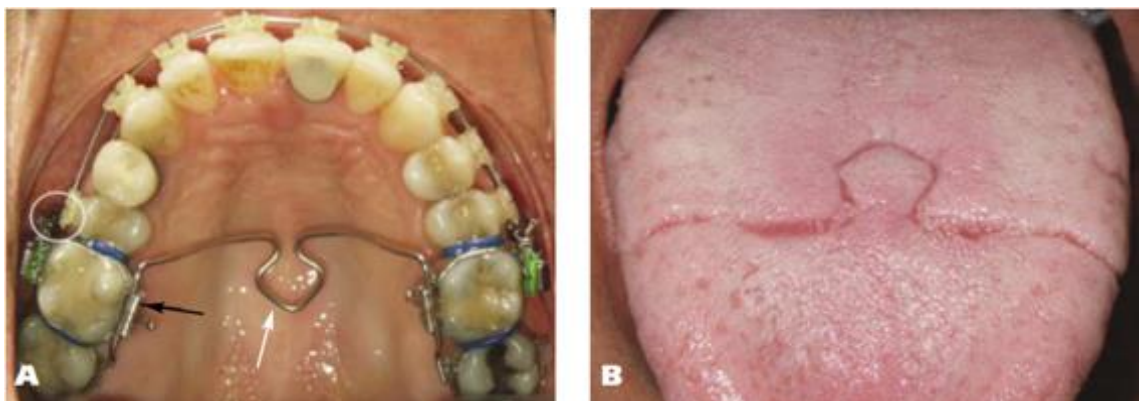


Figure 88: Ingression molaire bilatérale avec une mini-vis et arc transpalatin. A) Placement de la mini-vis entre la deuxième prémolaire et la première molaire (cercle blanc). L'activation d'un torque radiculo-vestibulaire est appliquée sur l'extrémité de l'arc transpalatin (flèche noire). L'arc transpalatin est surélevé de 3 à 5 millimètres par rapport au palais (flèche blanche). B) pression de la langue contre la barre transpalatine facilite les forces intrusives (114)

d) Ingression unilatérale

Pour l'ingression unilatérale, le recours à plusieurs mini-vis est fortement conseillé.

Lorsque deux sont utilisées, l'une d'entre elle doit être placée en vestibulaire entre la première et la deuxième molaire, l'autre en palatin entre la deuxième prémolaire et la première molaire. Une chaînette élastique tendu entre les deux mini-vis passera en diagonale sur la table occlusale afin d'exercer la force nécessaire à l'ingression. A cause de la pente palatine, la molaire a tendance à se palato-verser lors de l'ingression, le contrôle de cette palato-version pourra se faire au moyen d'un sectionnel et de brackets (Figure 89). L'ingression peut en outre être générée par des ressorts NiTi permettant de délivrer une force plus constante, empêchant le remplacement continu et la réactivation ultérieure de la chaînette, réduisant ainsi le nombre de rendez-vous (72,113,114).

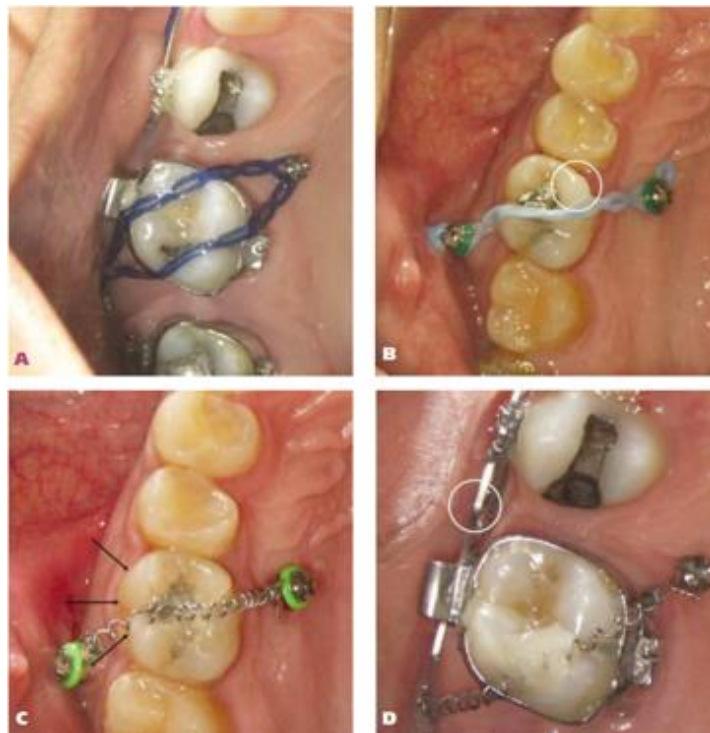


Figure 89: Ingression molaire avec deux mini-vis. A) Conception croisée avec chaînette élastique (en forme de hamac). B) Le fait que la chaînette élastique soit enroulée sur elle-même et l'adjonction d'un plot de composite sur la cuspide palatine (cercle blanc) empêchent la chaîne de glisser de la table occlusale pendant la mastication. C) Un ressort à spires fermées nickel-titane (NiTi) de 150 grammes. D) Un ressort en NiTi de 150 g stabilisée avec une résine sur la surface occlusale. L'arc sectionnel (cercle blanc) permet de minimiser la palato-version indésirable (114)

Pour plus de sécurité il est aussi possible d'avoir recourt à plus de 2 mini-vis (Figure 90).

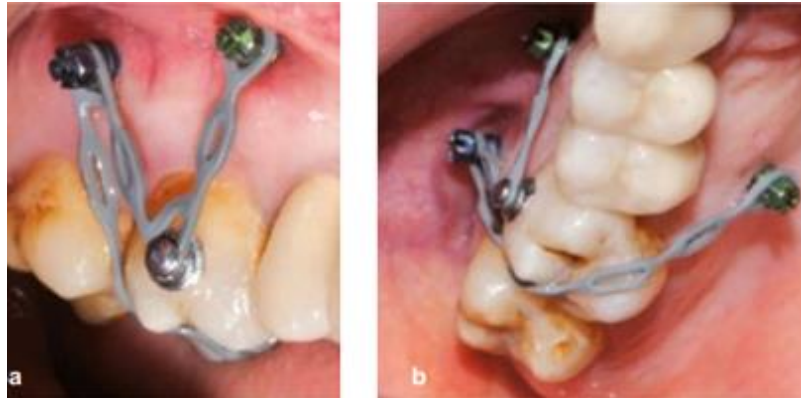


Figure 90 : vue vestibulaire (a) et occlusale d'un système à trois mini-vis (115)

Bien que cela soit moins facile, il est toutefois possible de réaliser une ingression molaire à l'aide d'une ou plusieurs mini-vis placé d'un seul côté de l'arcade (palatin ou vestibulaire) et d'avoir un contrôle de la version (vestibulaire ou palatine) à l'aide d'un sectionnel de la première prémolaire à la deuxième molaire peut être placé pour contrebalancer la bascule de la couronne palatine (37,72,116).



Figure 91 : Configuration à une mini-vis du côté palatin. (a) mini-vis au niveau palatin entre la première molaire maxillaire et la deuxième prémolaire et délivrance d'une force élastique à l'attachement en « V ». (b) Ressort hélicoïdal activé en TMA. (c) vue occlusale, la première prémolaire est solidarisée à la canine et la deuxième molaire avec des fils rigides liés pour minimiser l'égression et la rotation parasite (116)

Pour rappel, les mini-vis placés dans le palais peuvent l'être soit dans la région médiane, soit sur la pente palatine (espace inter-radriculaire). Les mini-vis placées dans la région médiane nécessitent un bras d'extension (Figure 92).

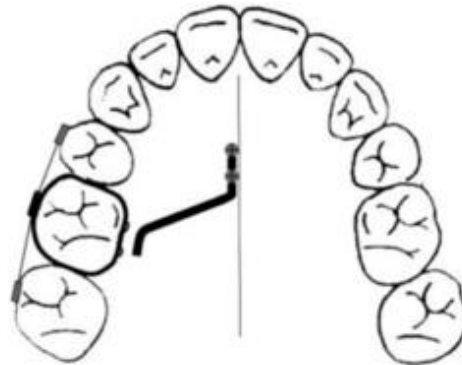


Figure 92: Barre d'extension. Les mini-vis palatines nécessitent une barre d'extension pour atteindre la pente palatine en cas d'ingression molaire. Souvent, deux mini-vis sont placées pour empêcher la rotation de la barre. Un arc sectionnel est posé pour contrer la bascule palatine de la couronne (72)

La quantité d'ingression que l'on peut espérer obtenir est de l'ordre de 3-4mm, avec des cas rapportés à plus de 8mm. Généralement, cette quantité d'ingression est plus importante pour la première molaire maxillaire que pour la seconde. A raison de 0,5 à 1,0 mm par mois, il faut en moyenne de 5 à 7,5 mois pour réaliser ce mouvement (Figure 93).

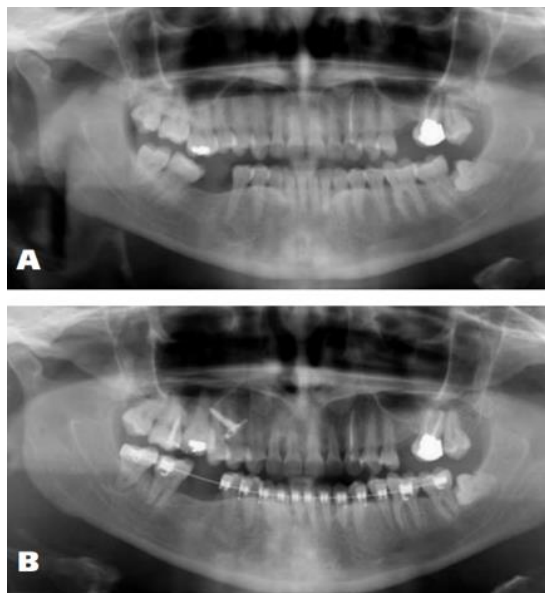


Figure 93: A) Radiographie panoramique avant traitement d'un patient présentant une égression de la 16 suite à la perte précoce de 46. B) Radiographie panoramique après l'ingression réalisée avant retrait du dispositif d'ancrage provisoire, l'ingression obtenue est de 4,4 mm et a été réalisée en moins de six mois sans nécessiter d'appareil fixe. La molaire maxillaire a été ingressée dans le sinus maxillaire sans résorption radiculaire détectable radiographiquement (114)

Conclusion

L'utilisation des mini-vis a révolutionné l'approche de l'ancrage en orthodontie : si elles ne peuvent remplacer les mécaniques conventionnelles, elles les complètent avantageusement dans bien des cas, notamment en limitant l'apparition d'effets parasites, en réduisant les durées de traitement ou en augmentant la compliance du patient au traitement en évitant les méthodes de renfort d'ancrage qui nécessitent un appareillage étendu de l'arcade. La mini-vis est donc un outil thérapeutique particulièrement adapté à la résolution des problèmes engendrés par l'absence de la première molaire mandibulaire. Malgré leur apparente simplicité d'utilisation, les mini-vis répondent à des indications précises, il faudra en outre rester vigilant au choix du site en prenant non seulement en compte les éléments anatomiques mais aussi la projection des mouvements dentaires. Enfin il faudra également veiller au strict respect du protocole de pose qui inclura le respect des règles d'asepsies et des structures anatomiques adjacentes.

Nous concluons notre propos en précisant que les méthodes de redressement, de mésialisation ou d'ingression doivent être déterminées pour chaque cas particulier. Ainsi, que cela soit par des techniques d'ancrage direct ou indirect, le praticien devra toujours prendre en compte la biomécanique pour guider sa prise en charge.

Bibliographie

1. Legris S. Extraction de la première molaire permanente et incidences orthodontiques. Legris S, éditeur. Rev Orthopédie Dento-Faciale. févr 2019;53(1):63-88.
2. Perrin J. Les conséquences du non-remplacement des dents extraites ou absentes. Inf Dent. 22 sept 2021;(32):38-43.
3. Plint DA. The effect on the occlusion of the loss of one or more first permanent molars. Rep Congr Eur Orthod Soc. 1970;329-36.
4. Hofmann T. A propos du diagnostic et du traitement de la perte des premières molaires permanentes. Rev Orthopédie Dento-Faciale. sept 1987;21(3):449-63.
5. Viecilli RF, Chen J, Katona TR, Roberts WE. Force system generated by an adjustable molar root movement mechanism. Am J Orthod Dentofacial Orthop. févr 2009;135(2):165-73.
6. Kojima Y, Mizuno T, Fukui H. A numerical simulation of tooth movement produced by molar uprighting spring. Am J Orthod Dentofacial Orthop. nov 2007;132(5):630-8.
7. Chae J, Kim S. Running loop in unusual molar extraction treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop. oct 2007;132(4):528-39.
8. Gragg KL, Shugars DA, Bader JD, Elter JR, White BA. Movement of Teeth Adjacent to Posterior Bounded Edentulous Spaces. J Dent Res. 1 nov 2001;80(11):2021-4.
9. Kiliaridis S, Lyka I, Friede H, Carlsson GE, Ahlqwist M. Vertical position, rotation, and tipping of molars without antagonists. Int J Prosthodont. 2000;13(6):480-6.
10. Eliazewicz-Wajnszok S, Tavernier B. Analyse des taux de survie et complications des différentes solutions prothétiques : revue de littérature. Rev Odonto Stomatol. sept 2009;38(1):187-207.
11. Batarec É, Buch D. Abrégé de prothèse adjointe partielle. Paris Milan Barcelone: Masson; 1989. (Abrégés d'odontologie et de stomatologie).

12. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod.* nov 1989;15(11):512-6.
13. Denis M, Pereira L, Eid N. Edentement unitaire postérieur et abstention thérapeutique : mythes et réalités. *Réal Clin.* 2015;26(1):69-76.
14. Gesch D, Bernhardt O, Kirbschus A. Association of malocclusion and functional occlusion with temporomandibular disorders (TMD) in adults: a systematic review of population-based studies. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. mars 2004;35(3):211-21.
15. Carlsson GE. Some dogmas related to prosthodontics, temporomandibular disorders and occlusion. *Acta Odontol Scand.* nov 2010;68(6):313-22.
16. Moizan H. Une lésion muqueuse apparue après avulsion dentaire. *Inf Dent.* janv 2000;86(44):3121-3.
17. Yavuz İ, Baydaş B, İkbāl A, Dağsuyu İM, Ceylan İ. Effects of early loss of permanent first molars on the development of third molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* nov 2006;130(5):634-8.
18. Gill DS, Lee RT, Tredwin CJ. Treatment Planning for the Loss of First Permanent Molars. *Dent Update.* 2 juill 2001;28(6):304-8.
19. Tirlet G, Attal JP. Le gradient thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. *Inf Dent.* 25 nov 2009;91(41/42):2561-8.
20. Bassigny F, Bonvarlet JM. L'orthodontie préprothétique pour praticiens initiés et non initiés. Rueil-Malmaison: Éd. CdP; 2009. (Guide clinique).
21. Jean-Marc Retrouvey, Kousaie K. Physics in Orthodontics. 2021 [cité 20 févr 2024]; Disponible sur: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.29754.72640>
22. Faure J. Biomécanique orthodontique. Les Ulis: Éd. SID; 2011. (Les fondamentaux).
23. Kitaura H, Kimura K, Ishida M, Sugisawa H, Kohara H, Yoshimatsu M, et al. Effect of Cytokines on Osteoclast Formation and Bone Resorption during Mechanical Force Loading of the Periodontal Membrane. *Sci World J.* 2014;2014:1-7.
24. Melsen B, Luzi C, éditeurs. Adult orthodontics. Second edition. Hoboken: John Wiley & Sons; 2022. 1 p.

25. Proffit WR. Contemporary orthodontics. 6th edition. Philadelphia, IL: Elsevier; 2018.
26. Massif L, Frapier L. Utilisation clinique des minivis en orthodontie. In: Encyclopédie médico-chirurgicale. Elsevier Masson; 2006. p. 23-492-A-17. (Odontologie/Orthopédie dentofaciale).
27. Nabbout F, Faure J, Baron P, Braga J, Treil J. L'ancrage dentaire en orthodontie : les données du scanner. Int Orthod. sept 2004;2(3):241-56.
28. Melsen B, Verna C. A rational approach to orthodontic anchorage. Prog Orthod. janv 2000;1(1):10-22.
29. Umale V, Jalgaonkar N, Patil C, Bala Gangadhar M, Sheth S. Molar distalization – A review. IP Indian J Orthod Dentofac Res. 28 déc 2020;4(3):146-50.
30. Davarpanah M, Caraman M, Khoury PM, Augeraud E, Agachi A, Szmukler-Moncler S. L'apport de l'ancrage squelettique en orthodontie. Actual Odonto-Stomatol. mars 2007;(237):41-58.
31. Boileau MJosé. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Tome 1: principes et moyens thérapeutiques. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2011.
32. Gainsforth BL, Higley LB. A study of orthodontic anchorage possibilities in basal bone. Am J Orthod Oral Surg. 1 août 1945;31(8):406-17.
33. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson Å. Intra-Osseous Anchorage of Dental Prostheses: *I. Experimental Studies*. Scand J Plast Reconstr Surg. janv 1969;3(2):81-100.
34. Roberts WE, Smith RK, Zilberman Y, Mozsary PG, Smith RS. Osseous adaptation to continuous loading of rigid endosseous implants. Am J Orthod. août 1984;86(2):95-111.
35. Roberts WE, Arbuckle GR, Analoui M. Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. Angle Orthod. 1 oct 1996;66(5):331-8.
36. Kanomi R. Mini-implant for orthodontic anchorage. J Clin Orthod JCO. nov 1997;31(11):763-7.
37. Lee JS, éditeur. Applications of orthodontic mini implants. Chicago: Quintessence; 2007. 274 p.

38. Thébault B, Bédhet N, Béhaghel M, Elamrani K. The benefits of using anchorage miniplates. Are they compatible with everyday orthodontic practice? *Int Orthod.* déc 2011;9(4):353-87.
39. Costi A. Mini-vis : les sources d'échecs. *Orthod Bioprogressive.* déc 2008;41-50.
40. Alkadhimi A, Al-Awadhi EA. Miniscrews for orthodontic anchorage: a review of available systems. *J Orthod.* 3 avr 2018;45(2):102-14.
41. Chang CH, Lin JS, Roberts WE. Failure rates for stainless steel versus titanium alloy infrazygomatic crest bone screws: A single-center, randomized double-blind clinical trial. *Angle Orthod.* 1 janv 2019;89(1):40-6.
42. Canal P, Salavadori A. Orthodontie de l'adulte [Internet]. Elsevier; 2008 [cité 5 juill 2023]. Disponible sur:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9782294703256X50004>
43. Chatzigianni A, Keilig L, Reimann S, Eliades T, Bourauel C. Effect of mini-implant length and diameter on primary stability under loading with two force levels.
44. Brettin BT, Grosland NM, Qian F, Southard KA, Stuntz TD, Morgan TA, et al. Bicortical vs monocortical orthodontic skeletal anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* nov 2008;134(5):625-35.
45. Freudenthaler JW, Bantleon HP, Haas R. Bicortical titanium screws for critical orthodontic anchorage in the mandible: a preliminary report on clinical applications: Biocortical titanium screws for skeletal orthodontic anchorage. *Clin Oral Implants Res.* août 2001;12(4):358-63.
46. Miyawaki S, Koyama I, Inoue M, Mishima K, Sugahara T, Takano-Yamamoto T. Factors associated with the stability of titanium screws placed in the posterior region for orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* oct 2003;124(4):373-8.
47. Fritz U, Diedrich P, Kinzinger G, Al-Said M. The Anchorage Quality of Mini-implants towards Translatory and Extrusive Forces. *J Orofac Orthop Kieferorthop* □die. 1 avr 2003;64(4):293-304.
48. Kim H, Kim TW. Histologic evaluation of root-surface healing after root contact or approximation during placement of mini-implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 2011;139(6):752-60.

49. 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.* déc 2017;13(1):14.
50. Brinley CL, Behrents R, Kim KB, Condoor S, Kyung HM, Buschang PH. Pitch and Longitudinal Fluting Effects on the Primary Stability of Miniscrew Implants. *Angle Orthod.* 1 nov 2009;79(6):1156-61.
51. Jedliński M, Janiszewska-Olszowska J, Mazur M, Grocholewicz K, Suárez Suquía P, Suárez Quintanilla D. How Does Orthodontic Mini-Implant Thread Minidesign Influence the Stability?—Systematic Review with Meta-Analysis. *J Clin Med.* 9 sept 2022;11(18):5304.
52. Bolm I, Goetze E, Kämmerer PW, Sader R, Klos M, Landes C, et al. Self-drilling and self-tapping miniscrews for osteosynthesis fixture after LeFort I osteotomy: An ex vivo trial for primary stability and a randomized clinical study. *J Surg Res.* mai 2017;212:246-52.
53. Ludwig B. Mini-implants in Orthodontics: Innovative Anchorage Concepts. Böhm B, éditeur. Berlin: Quintessence; 2007. 160 p.
54. Lin JCY, Liou EJW, Yeh CL, Evans CA. A comparative evaluation of current orthodontic miniscrew systems. *World J Orthod.* 2007;8(2):136-44.
55. Sakoh J, Wahlmann U, Stender E, Nat R, Al-Nawas B, Wagner W. Primary stability of a conical implant and a hybrid, cylindric screw-type implant in vitro. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21(4):560-6.
56. HDC Italy. HDC-CATALOGUE-SPIDER-screw [Internet]. Health Development Company; 2022 [cité 7 nov 2024]. Disponible sur: <https://hdc-italy.com/wp-content/uploads/2022/11/HDC-CATALOGO-SPIDER-2023-INGLESE.pdf>
57. Manuel du système TOMAS: temporary orthodontic micro-anchorage system. [Internet]. Dentaurem; 2024 [cité 7 nov 2024]. Disponible sur: www.dentaurem.de/files/989-631-30.pdf
58. Ludwig B. Self-ligating brackets in orthodontics: current concepts and techniques. Stuttgart: Thieme; 2012.
59. Chang HP, Tseng YC. Miniscrew implant applications in contemporary orthodontics. *Kaohsiung J Med Sci.* 2014;30(3):111-5.
60. Fujita T, Fujii Y, Goto B. Measurement of Forearm Bone in Children by Peripheral Computed Tomography. *Calcif Tissue Int.* janv 1999;64(1):34-9.

61. Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants, (II). Etiopathogenesis: Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants, (II). Etiopathogenesis. *Eur J Oral Sci.* juin 1998;106(3):721-64.
62. Kim HJ, Yun HS, Park HD, Kim DH, Park YC. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2006;130(2):177-82.
63. Ludwig B, Glasl B, Kinzinger GSM, Lietz T, Lisson JA. Anatomical guidelines for miniscrew insertion: Vestibular interradicular sites. *J Clin Orthod JCO.* mars 2011;45(3):165-73.
64. Steve M, Racy E, Kerbrat JB. Choisir et mettre en place les mini-vis d'ancrages orthodontiques : notions importantes. *Orthod Fr.* déc 2015;86(4):295-302.
65. SFODF. Les mini-vis, ancrages osseux temporaires [Internet]. SFODF. [cité 3 janv 2024]. Disponible sur: http://www.sfodf.org/avada_portfolio/les-mini-vis-ancrages-osseux-temporaires/
66. Chillès JG, Riemenschneider-Chillès S. Utilisation des mini-vis corticales courtes en orthodontie. *Orthod Fr.* sept 2011;82(3):253-68.
67. Chillès D, Chillès JG, Riemenschneider-Chillès S, Doustkam AA. Les micro-vis enfouies, l'ancrage osseux universel. *Orthod Fr.* déc 2016;87(4):443-55.
68. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GSM, Lisson JA. Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites. 2011;(8).
69. Chen YJ, Chang HH, Lin HY, Lai EHH, Hung HC, Yao CCJ. Stability of miniplates and miniscrews used for orthodontic anchorage: experience with 492 temporary anchorage devices. *Clin Oral Implants Res.* nov 2008;19(11):1188-96.
70. Villegas C, Uribe F. A New and Innovative TAD System for Improved Stability and Versatility. In: Park JH, éditeur. *Temporary Anchorage Devices in Clinical Orthodontics* [Internet]. 1^{re} éd. Wiley; 2020 [cité 19 oct 2023]. p. 455-65. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119513636.ch44>
71. 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. juin 2013;143(6):767-72.
72. Kravitz ND, Kusnoto B, Tsay PT, Hohlt WF. Intrusion of Overerupted Upper First Molar Using Two Orthodontic Miniscrews. Angle Orthod. 1 sept 2007;77(5):915-22.
 73. Darque F, Cazenave C, Ellouze S. Mini-vis : l'orthodontie de demain. Actual Odonto-Stomatol. déc 2010;(252):299-309.
 74. Poggio PM, Incorvati C, Velo S, Carano A. « Safe zones »: a guide for miniscrew positioning in the maxillary and mandibular arch. Angle Orthod. mars 2006;76(2):191-7.
 75. Mizrahi E. The use of Miniscrews in Orthodontics: A Review of Selected Clinical Applications. Prim Dent J. déc 2016;5(4):20-7.
 76. Lee KJ, Park YC, Hwang WS, Seong EH. Uprighting Mandibular Second Molars with Direct Miniscrew Anchorage. 2007;(10).
 77. Poletti L, Silvera AA, Ghislanzoni LTH. Dentoalveolar class III treatment using retromolar miniscrew anchorage. Prog Orthod. 23 mai 2013;14:7.
 78. Chang CH, Lin JS, Eugene Roberts W. Ramus screws: the ultimate solution for lower impacted molars. Semin Orthod. mars 2018;24(1):135-54.
 79. Lin SY, Chang C, Roberts WE. Simple Mechanics to Upright Horizontally Impacted Molars with Ramus Screws. Orthod J Nepal. 15 juill 2016;5(2):42-7.
 80. Ghosh A. Infra-Zygomatic Crest and Buccal Shelf - Orthodontic Bone Screws: A Leap Ahead of Micro-Implants – Clinical Perspectives. J Indian Orthod Soc. déc 2018;52(4_suppl2):127-41.
 81. Chang CH, Lin JH, Roberts WE. Success of infrazygomatic crest bone screws: patient age, insertion angle, sinus penetration, and terminal insertion torque. Am J Orthod Dentofacial Orthop. juin 2022;161(6):783-90.
 82. Iijima M, Takano M, Yasuda Y, Muguruma T, Nakagaki S, Sakakura Y, et al. Effect of the quantity and quality of cortical bone on the failure force of a miniscrew implant. Eur J Orthod. 1 oct 2013;35(5):583-9.
 83. Chapitre 1er : Régime juridique des dispositifs médicaux. (Articles L5211-1 à L5211-6) - Légifrance [Internet]. [cité 9 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000046126069/2022-07-31>
 84. Herman R, Cope JB. Miniscrew implants: IMTEC Mini Ortho Implants. Semin Orthod. mars 2005;11(1):32-9.

85. Gantous A, Phillips JH. The Effects of Varying Pilot Hole Size on the Holding Power of Miniscrews and Microscrews: *Plast Reconstr Surg.* juin 1995;95(7):1165-9.
86. Massif L, Frapier L, Micallef JP. Mise en place des mini-vis : avec ou sans avant-trou ? *Orthod Fr.* juin 2007;78(2):123-32.
87. Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clin Oral Implants Res.* févr 2006;17(1):109-14.
88. Son S, Motoyoshi M, Uchida Y, Shimizu N. Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* avr 2014;145(4):480-5.
89. Suzuki M, Deguchi T, Watanabe H, Seiryu M, Iikubo M, Sasano T, et al. Evaluation of optimal length and insertion torque for miniscrews. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2013;144(2):251-9.
90. Schätzle M, Männchen R, Zwahlen M, Lang NP. Survival and failure rates of orthodontic temporary anchorage devices: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* déc 2009;20(12):1351-9.
91. Papadopoulos MA, Papageorgiou SN, Zogakis IP. Clinical Effectiveness of Orthodontic Miniscrew Implants: a Meta-analysis. *J Dent Res.* août 2011;90(8):969-76.
92. Chen Y, Kyung HM, Zhao WT, Yu WJ. Critical factors for the success of orthodontic mini-implants: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* mars 2009;135(3):284-91.
93. Chen Y, Chang H, Huang C, Hung H, Lai EH, Yao CJ. A retrospective analysis of the failure rate of three different orthodontic skeletal anchorage systems. *Clin Oral Implants Res.* déc 2007;18(6):768-75.
94. Deguchi T, Yabuuchi T, Hasegawa M, Garetto LP, Roberts WE, Takano-Yamamoto T. Histomorphometric Evaluation of Cortical Bone Thickness Surrounding Miniscrew for Orthodontic Anchorage: Histomorphometry of Orthodontic Miniscrew. *Clin Implant Dent Relat Res.* sept 2011;13(3):197-205.
95. Bernadat G. Traitement des pertes molaires. *Bull L'Union Natl Pour L'Intérêt L'Orthopédie Dento-Faciale.* 2009;(39):4-16.
96. Bassigny F. Que faire en présence d'une première molaire très délabrée ou déjà extraite ? *Rev Odonto Stomatol.* mai 2008;37(2):135-48.

97. Vion PE. Redressement molaire inférieure. Bull L'Union Natl Pour L'Intérêt L'Orthopédie Dento-Faciale. 2010;(42):8-19.
98. Nienkemper M, Pauls A, Ludwig B, Wilmes B, Drescher D. Preprosthetic Molar Uprighting Using Skeletal Anchorage. 2013;(7).
99. Ruellas AC de O, Pithon MM, dos Santos RL. Miniscrew-supported coil spring for molar uprighing: description. Dent Press J Orthod. 2013;18(1):45-9.
100. Greco M, Meddis V, Giancotti A. The G-Chain and Miniscrew Anchorage: Simple Mechanics for Molar Uprighting.
101. Maino GB, Maino G, Dalessandri D, Paganelli C. Déplacements orthodontiques pré-prothétiques : vers une meilleure efficacité en utilisant des ancrages osseux temporaires (TADs)[**. Orthod Fr. 1 déc 2016;87\(4\):367-73.](#xref_note_FN1)
102. Evans KS, Wood CM, Moffitt AH, Colgan JA, Holman JK, Marshall SD, et al. Sixteen-week analysis of unaltered elastomeric chain relating in-vitro force degradation with in-vivo extraction space tooth movement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. avr 2017;151(4):727-34.
103. Halimi A, Azeroual MF, Doukkali A, El Mabrouk K, Zaoui F. Dégradation de la chaînette élastomérique dans la salive artificielle : étude in vitro. Int Orthod. mars 2013;11(1):60-70.
104. Hashemzadeh H, Soleimani M, Golbar M, Dehghani Soltani A, Mirmalek SP. Canine and molar movement, rotation and tipping by NiTi coils versus elastomeric chains in first maxillary premolar extraction orthodontic adolescents: A randomized split-mouth study. Int Orthod. 1 mars 2022;20(1):100601.
105. Khanemasjedi M, Moradinejad M, Javidi P, Niknam O, Jahromi NH, Rakhshan V. Efficacité des chaînettes élastiques à mémoire versus les ressorts hélicoïdaux en NiTi pour la rétraction des canines : une étude clinique randomisée en bouche divisée en deux centres. Int Orthod. 1 déc 2017;15(4):561-74.
106. Graber LW, Vanarsdall RL, Vig KWL, Huang GJ, éditeurs. Orthodontics: current principles and techniques. Sixth edition. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2017. 1016 p.
107. Leclercq P, Ellouze S, Breton O, Bohar J. Biomécanique de la mésialisation molaire inférieure sur mini-vis en technique multi-attache vestibulaire. 2023;

108. Turrel B, Valran V, Gebeile-Chauty S. Biomechanics of mini-implants : analysis of the adverse effects of four clinical situations and proposed resolutions. *Orthod Fr.* juin 2021;92(2):195-214.
109. Baumgaertel S, Jones CL, Unal M. Miniscrew biomechanics: Guidelines for the use of rigid indirect anchorage mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* sept 2017;152(3):413-9.
110. Nagaraj K, Upadhyay M, Yadav S. Titanium screw anchorage for protraction of mandibular second molars into first molar extraction sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* oct 2008;134(4):583-91.
111. Baik UB, Chun YS, Jung MH, Sugawara J. Protraction of mandibular second and third molars into missing first molar spaces for a patient with an anterior open bite and anterior spacing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 2012;141(6):783-95.
112. Kim SJ, Sung EH, Kim JW, Baik HS, Lee KJ. Mandibular molar protraction as an alternative treatment for edentulous spaces. *J Am Dent Assoc.* nov 2015;146(11):820-9.
113. Ayadi I, Dallel I, Ben Rejeb S, Tobji S, Ben Amor F, Ben Amor A. Ingression orthodontique sur mini-vis d'ancrage. *Orthod Fr.* déc 2018;89(4):397-410.
114. Kravitz ND, Kusnoto B, Tsay TP, Hohlt WF. The use of temporary anchorage devices for molar intrusion. *J Am Dent Assoc.* janv 2007;138(1):56-64.
115. Ré J, Orthlieb J, Manière-Ezvan A. Orthodontie préprothétique en omnipratique. *Réal Clin.* 26.
116. Sivakumar I, Sivakumar A. Intrusion of an overerupted molar using orthodontic miniscrew implant: A preprosthodontic therapy. *Contemp Clin Dent.* 2014;5(3):422-4.

Table des illustrations

Figure 1: Photographie et radiographie de la version d'une deuxième molaire à la suite de la non-compensation de l'extraction de la première (2) _____

11

Figure 2: Radiographie rétro-alvéolaire d'un patient ayant eu une extraction non compensée d'une deuxième molaire objectivant une carie profonde (2)	12
Figure 3 : A gauche fracture longitudinale de la 47 en l'absence non compensée de 36 et 46 ; A Droite usure excessive des dents antérieures à la suite de la non-compensation de trois extractions mandibulaires (2)	13
Figure 4: Ouverture de l'espace d'extraction pour la pose d'implant.	15
Figure 5: Diagramme schématisant le mouvement des dents, l'application d'une force orthodontique sur la dent provoque une compression / extension du desmodonte (23)	16
Figure 6: Les forces agissant au centre de résistance engendrent une translation pure (21)	17
Figure 7: Position du Centre de Résistance sous différents angles de vue : A: radicaire, B: occlusal. C: vestibulo-lingual, D: mésio-distal (21)	17
Figure 8: Moment produit par une force appliquée à une distance du centre de résistance (21)	18
Figure 9: Version libre : force isolée horizontale, F, appliquée sur la couronne de la dent : $F_r = F$ et $M_r = PC_r \times F$ L'importance du bras de levier (PC_r) entraîne la prédominance de la rotation (22)	19
Figure 10: Ancrage conventionnel : Forces d'action et de réaction égales et de sens opposé, $F_1=F_2$ (26)	20
Figure 11: Coefficient d'ancrage selon Nabbout et Al (27)	22
Figure 12: appareil de herbst (29)	22
Figure 13: Place des différents types d'ancrage	23
Figure 14: Masque facial de Delaire (31)	24
Figure 15 : Principe de l'ancrage direct : vue clinique (a) et schéma (b) (38)	25
Figure 16: Principe de l'ancrage indirect, vue clinique (a) et schéma (b) (38)	26
Figure 17: Paramètres influençant la stabilité primaire de la mini-vis (39)	28
Figure 18: Schéma d'une mini-vis type (40)	28
Figure 19 : Vue orthogonale du placement des mini-vis mono-corticales et bi-corticales (44)	30
Figure 20: Intervalles de valeurs du diamètre et de la longueur d'une mini-vis(40)	31
Figure 21: Une mini-vis auto-taraudante à gauche et une mini-vis auto-forante à droite (52)	32
Figure 22: A gauche filetage et pointe mousse auto-taraudant, à droite filetage auto-forant et pointe en «tire-bouchon» (53)	33
Figure 23: Le diamètre du col transmuqueux par rapport au diamètre de la tête. Pour éviter l'inflammation autour de la vis, il est recommandé que le diamètre de la tête soit (a) inférieur ou (b) égal au diamètre du col. La gencive autour de la vis est difficile à nettoyer si la gencive est recouverte par une partie de la tête de la mini-vis (c)(53)	33
Figure 24: les différents types de têtes(56,57)	35
Figure 25: Tête de la mini-vis HDC Spider Screw® (56)	35
Figure 26: mini-vis OrthoEasy® (Forestadent®) servant à la fois d'ancrage direct via le ressort de traction et la potence liée à la bague molaire, et d'ancrage indirect via la connexion rigide entre la mini-vis et la boîtier prémolaire (58)	36

Figure 27: A. Site d'insertion inter-radicaire idéal (cercle bleu). Ligne verte = point de contact proximal (visible) ; ligne noire = rebord crestal (invisible) ; ligne rouge = ligne muco-gingivale ; flèche jaune = distance entre le point de contact et la ligne muco-gingivale ; flèche bleue = distance entre le point de contact et la zone idéale d'insertion. B. Site d'insertion idéal montré sur un cliché rétro-alvéolaire (cercle bleu). Barres vertes = os minimum autour de la mini-vis (0,5mm de chaque côté) ; barre rouge = diamètre de la mini-vis (1,6mm) ; barre blanche = espace inter-radicaire minimum (2x0,5mm + 1,6mm =,2,6mm)(63)	40
Figure 28: (A) Pour la distalisation molaire, la position d'insertion est située à 1 à 2 mm distalement de la ligne médiane imaginaire entre les deux dents.(C) Pour la mésialisation molaire, la position d'insertion est placée 1 à 2 mm en mésial par rapport à la ligne centrale imaginaire. (B) S'il n'y a pas de mouvement mésiodistal des dents adjacentes, la position d'insertion est située sur la ligne centrale. (A, B, C représentent les sites d'insertion.) (M) Molaire;(PM) prémolaire.	41
Figure 29: Pour l'ingression, la position d'insertion doit être située suffisamment apicale ; sinon, les implants limiteront les mouvements ultérieurs lors de l'ingression des dents. (A, B représentent les sites d'insertion.) (Mx) Maxillaire.	42
Figure 30: Site idéal situé à 7 mm de la papille inter-dentaire (64)	42
Figure 31: sélection d'un site vestibulaire maxillaire (a) et mandibulaire (b): les zones sûres sont en bleue et les zones dangereuses sont en rouge (37)	43
Figure 32: La vis est enfouie et vissée uniquement dans l'os corticale, la connectique émerge au fond du vestibule (38)	44
Figure 33: Espace inter-radicaire insuffisant pour l'insertion de la mini-vis dans le processus alvéolaire buccal, pouvant entraîner une défaillance de la mini-vis ou des lésions de la surface radicaire (68)	44
Figure 34: Avec la même force orthodontique appliquée, (a) un implant dans une gencive plus fine est soumis à une charge plus légère que (b) un implant dans une gencive plus épaisse, (pointe de flèche rouge) Potentiel de contrainte supérieur ; (pointe de flèche bleue) moins de potentiel de contrainte (37)	45
Figure 35 : cartographie des sites potentiels d'insertion des mini-vis dans le palais (vert = optimal ; jaune = restreint en raison de la variabilité individuelle de l'épaisseur osseuse ; rouge = inapproprié en raison de l'épaisseur de la muqueuse ou de la présence de paquets vasculo-nerveux. ; point bleu = foramen rétro-incisif)(68)	46
Figure 36: Localisation du plateau mandibulaire vestibulaire. À gauche, en vert à coté de la ligne oblique externe en rouge. À droite, une vue clinique d'une mini-vis insérée dedans (70,80)	48
Figure 37: Localisation de la crête infra-zygomatique (à gauche) et l'émergence de la tête d'un mini-vis placée au niveau de la crête infra-zygomatique(à droite).(81)	48
Figure 38: Procédure d'insertion avec guide chirurgical. (1) Le guide placé sur le site d'insertion prévu. (2) Une radiographie périapicale prise pour définir avec précision le site d'insertion. (3) La muqueuse doit être tendue lors de l'insertion. La direction d'insertion est de 45° par rapport à l'axe long des racines. Dans la mesure du possible, le site d'insertion doit être situé dans la gencive attachée (24)	51

Figure 39: Une insertion oblique (flèche bleue) est recommandée dans les cas où une dent adjacente se déplace mésiodistalement, car elle offre plus d'espace. Cependant, il est préférable que l'implant soit inséré perpendiculairement (flèche jaune) lorsque l'os cortical sera perforé. Par conséquent, l'angle de travail pour l'insertion change pendant la procédure (37)	51
Figure 40: Contrairement aux mini-vis insérées au niveau vestibulaire (flèches de gauche), les mini-vis alvéolaires palatines doivent être insérées perpendiculairement à l'os cortical du début à la fin, sans modification de l'angle d'insertion (flèches de droite), car l'angulation de la paroi corticale au niveau palatin (droite en pointillé rouge) n'est pas la même qu'au niveau vestibulaire. En vestibulaire, l'approche est d'abord perpendiculaire puis changée à 30-45 degrés (37)	52
Figure 41: ligne de référence marquée à l'aide d'une sonde (37)	53
Figure 42: lime endodontique utilisée pour évaluer l'épaisseur de la muqueuse (24)	53
Figure 43: Si la frénectomie est omise, une ulcération des tissus mous apparaît car le mouvement du frein irrite continuellement les tissus environnants (37)	54
Figure 44: Schématisation des contraintes engendrées par effet de coin lors du vissage avec et sans avant-trou (86)	54
Figure 45: schéma d'un mucotome et de son utilisation(57)	55
Figure 46: Procédure chirurgicale pour la pose de mini-vis sans pré-perçage. (a) Étape de perforation : L'opérateur doit s'approcher perpendiculairement à l'os cortical pour éviter tout glissement lors de la perforation de l'os cortical jusqu'à une profondeur de 1 à 2 mm. (b) Étape de guidage I : L'implant est complètement retiré pour modifier l'angle d'insertion, (c) Étape de guidage II : L'implant est inséré selon l'angle d'insertion prévu, (d) Étape de finition : La rotation de finition doit être appliquée sans aucune force verticale pour préserver au maximum l'os cortical.(37)	56
Figure 47 : Procédure chirurgicale pour la pose de mini-implants avec pré-perçage. (a) Stade de perforation I : L'opérateur doit s'approcher perpendiculairement à l'os cortical pour éviter tout glissement lors de la perforation de la corticale, (b) Stade de perforation II : Le foret est entièrement retiré et réinséré selon l'angle d'insertion approprié, (c) Étape de guidage : La mini-vis est insérée selon l'insertion prévue sur environ les deux tiers de la longueur totale, (d) Étape de finition : La rotation de finition doit être appliquée sans aucune force verticale pour préserver au maximum l'os cortical.(37)	57
Figure 48: (a) tournevis manuel ; (b) tournevis manuel avec limiteur de torque ; (c) contre-angle avec limiteur de torque.	58
Figure 49: L'objectif du traitement est que la 7 se déplace en mésio-gression pure. La 8 non évoluée, si sa furcation n'est pas encore formée, viendra se placer spontanément parfaitement en position de 7 (95)	61
Figure 50: (à gauche)46 présente une très volumineuse obturation, germe de la 48 très immature. (à droite). Après extraction de la 46 et mésialisation de la 47, le germe de la 48, immature, n'a pas suivi (96)	61
Figure 51: Solidarisation 17 et 16, en l'attente de l'évolution de 48, après extraction de 46 et mésialisation de 47	62
Figure 52: Redressement et mésialisation des quatre molaires mandibulaires à envisager	63

Figure 53 : Principes de la mécanique Les 7 et 8 doivent être d'abord soumises à des couples puis à une force horizontale (95)	63
Figure 54: Redressement et distalisation d'une 37 à envisager	64
Figure 55: Redressement d'une 37 en vue du remplacement d'une 36 par solution implantaire (sylvain chamberland.com)	64
Figure 56: Les 3 types de contrôle d'axe molaire : (a) contrôle d'axe par rotation autour du centre de résistance de la molaire ; (b) contrôle de l'axe par rotation autour d'un centre de rotation situé à proximité de l'apex des racines ; et (c) contrôle de l'axe par le mouvement de la racine. Les zones ombrées indique la réaction de l'os alvéolaire nécessaire au mouvement (37)	65
Figure 57: Schématisation d'un couple (C) qui met en rotation la molaire autour de son centre de résistance, dans ce cas le centre de résistance (CRS) et le centre de rotation(CRO) sont confondus (97)	66
Figure 58:redressement molaire grâce à une mécanique utilisant un ressort de redressement fixé à une mini-vis sur la crête (53,98)	67
Figure 59: Redressement molaire à l'aide de mini-vis positionnées au niveau des prémolaires selon un mode d'ancrage direct (a) ou un mode d'ancrage indirect (b)(35)	67
Figure 60 : Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire par mouvement distal de la couronne et mouvement mésial de la racine (99)	68
Figure 61: schématisation d'une force de redressement horizontale ne passant pas par le centre de résistance : le centre de rotation est plus apical que le centre de résistance de la molaire, c'est la couronne qui effectue une rotation (97)	68
Figure 62: redressement molaire grâce à une mécanique utilisant un ressort de compression sur un arc sectionnel	69
Figure 63: Redressement molaire avec mini-vis en distal (53)	69
Figure 64 : Redressement d'une deuxième molaire mandibulaire gauche mésio-versée : situation initiale (a) ; système à trois chainettes mis en place (b) ; situation après 5 mois de traction (c) ; résultat final après pose de d'un implant dans l'espace de la première molaire (d) (100)	70
Figure 65: Redressement d'une 47 en vue de la mise en place d'un implant pour remplacer la 36 (a) Radiographie périapicale montrant la mini-vis placée en distal de la seconde molaire. (b) Deux chaînettes élastiques sont reliées à deux crochets collés directement sur les faces vestibulaire et linguale de la molaire. (c) Insertion de l'implant après le redressement de la seconde molaire. (d) Ligature torsadée en acier utilisée pour stabiliser la position de la seconde molaire. (e) Radiographie périapicale de fin de traitement. (f) Après traitement orthodontique et après réhabilitation prothétique (101)	71
Figure 66: Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire avec ouverture d'espace (99).	72
Figure 67 : Schématisation du couple (C) qui met en rotation les racines autour d'un centre de rotation situé au niveau du bracket verrouillé (Ve)(97)	72
Figure 68: Schéma illustrant l'activation du ressort pour obtenir un redressement molaire par un mouvement radiculaire mésial (99)	73

Figure 69:Schéma (à gauche) et vue clinique (à droite) du redressement molaire au moyen d'un ressort en acier de section .018 x .022 pouces s'appuyant sur deux mini-vis (101)	74
Figure 70: Pour le traitement orthodontique de cette patiente de 18 ans, une extraction des prémolaires a été nécessaire. Cependant, à la mandibule plutôt que deux prémolaires, il a été décidé d'extraire les premières molaires qui étaient compromises par de multiples soins. Lorsqu'une première molaire est extraite, une grande quantité d'espace est laissée, ce qui nécessite un temps de traitement prolongé pour se fermer. Compte tenu de la perte osseuse alvéolaire après extraction, le praticien a, ici, préféré procéder par hémisection des molaires afin que le rétrécissement de la crête alvéolaire ne gêne pas la mésialisation de la seconde molaire. A , Radiographie panoramique avant traitement. B , Radiographie panoramique après hémisection et extraction de la partie distale de la première molaire. C , Radiographie panoramique après extraction de la partie mésiale de la première molaire. D , Radiographie panoramique après fermeture de l'espace (106)	76
Figure 71: Effets parasites dans la dimension antéro-postérieure (a) d'une force de traction exercée (flèche noire) de la mini-vis sur un crochet vestibulaire provoque (b) une tendance à l'inclinaison mésiale de la molaire et (c) une ingression dues aux composantes (flèches rouge) résultantes de la force traction (37)	78
Figure 72: Schématisations des effets parasites (flèches bleues) liés à une force motrice de mésialisation de la deuxième molaire en place de la première molaire (flèches rouges) dans la dimension antéro-postérieure (a) et dans la dimension transversale (b)(107)	79
Figure 73: Schématisation du contrôle de la mésio-version avec : (a) Une courbure de compensation sur l'arc peut compenser la tendance au basculement mésial ; (b) L'utilisation d'un fil rigide ; (c) Une potence insérée dans le tube auxiliaire de la première (37)	80
Figure 74: Coubures compensatrices de disto-version (dit de « tip-back ») (a) et de cintrage postérieur (dit de « toe-in ») (b)(107)	81
Figure 75: Schématisation du contrôle de la rotation mésio-linguale avec : (a) Une courbure de compensation pour compenser la tendance à la rotation mésio-linguale ; (b) Une barre palatine ou un arc lingual ; (c) L'utilisation d'un fil rigide ; (d) L'utilisation d'un bouton lingual ou palatin (37)	81
Figure 76: Schématisation de la force de tractation (flèche rouge) et de ses composantes aboutissant à une mésioversion de la molaire tractée (flèches bleues)	82
Figure 77: (a) Schématisation des forces en présence sur la molaire lors d'une traction directe par potence. (b) Système de potence.(107)	83
Figure 78: Schématisation des effets parasites dans une situation d'arcboutement.	83
Figure 79: (a) Schématisation des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par solidarisation. (b) Schématisation des effets parasites	84
Figure 80 : (a) Schématisation des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par ligature. (b) Schématisation des effets parasites, l'arc de cercle centré sur la mini-vis avec comme rayon la ligature métallique représente le degré de version permis par la ligature	85

Figure 81: Connexion rigide de la mini-vis à l'arc via un sectionnel en acier inoxydable et un tube croisé (53)	85
Figure 82: Schématisations des forces en présence lors d'une mésialisation molaire via une potence avec ancrage indirect par ligature (force délivrée entre la molaire et l'arc)(107)	86
Figure 83: Schématisations des forces en présence lors d'une mésialisation molaire avec ancrage indirect par solidarisation (force délivrée entre la molaire et l'arc), sans potence (a) et avec potence (b)(107)	87
Figure 84: Illustrations des différentes stratégies d'ingression	89
Figure 85: Considérations biomécaniques dans le plan frontal (contrôle de premier et troisième ordre) : une rotation se produit si une force ingressive est appliquée à distance du centre de résistance.	90
Figure 86: Considérations biomécaniques dans le plan frontal (contrôle de premier et troisième ordre) : les forces vestibulaires ingressives provoquent une bascule vestibulaire	91
Figure 87 : Schéma du système à arc transpalatin et quatre mini-vis pour l'ingression molaire bilatérale (53)	92
Figure 88: Ingression molaire bilatérale avec une mini-vis et arc transpalatin. A) Placement de la mini-vis entre la deuxième prémolaire et la première molaire (cercle blanc). L'activation d'un torque radiculo-vestibulaire est appliquée sur l'extrémité de l'arc transpalatin (flèche noire). L'arc transpalatin est surélevé de 3 à 5 millimètres par rapport au palais (flèche blanche). B) pression de la langue contre la barre transpalatine facilite les forces intrusives (114)	92
Figure 89: Ingression molaire avec deux mini-vis. A) Conception croisée avec chaînette élastique (en forme de hamac). B) Le fait que la chaînette élastique soit enroulée sur elle-même et l'adjonction d'un plot de composite sur la cuspide palatine (cercle blanc) empêchent la chaîne de glisser de la table occlusale pendant la mastication. C) Un ressort à spires fermées nickel-titane (NiTi) de 150 grammes. D) Un ressort en NiTi de 150 g stabilisée avec une résine sur la surface occlusale. L'arc sectionnel (cercle blanc) permet de minimiser la palato-version indésirable (114)	93
Figure 90 : vue vestibulaire (a) et occlusale d'un système à trois mini-vis (115)	94
Figure 91 : Configuration à une mini-vis du côté palatin. (a) mini-vis au niveau palatin entre la première molaire maxillaire et la deuxième prémolaire et délivrance d'une force élastique à l'attachement en « V ». (b) Ressort hélicoïdal activé en TMA. (c) vue occlusale, la première prémolaire est solidarisée à la canine et la deuxième molaire avec des fils rigides liés pour minimiser l'égression et la rotation parasite (116)	94
Figure 92: Barre d'extension. Les mini-vis palatines nécessitent une barre d'extension pour atteindre la pente palatine en cas d'ingression molaire. Souvent, deux mini-vis sont placées pour empêcher la rotation de la barre. Un arc sectionnel est posé pour contrer la bascule palatine de la couronne (72)	95
Figure 93: A) Radiographie panoramique avant traitement d'un patient présentant une égression de la 16 suite à la perte précoce de 46. B) Radiographie panoramique après l'ingression réalisée avant retrait du dispositif d'ancrage provisoire, l'ingression obtenue est de 4,4 mm et a été réalisée en moins de six mois sans nécessiter d'appareil fixe. La molaire maxillaire a été ingressée dans le sinus maxillaire sans résorption radiculaire détectable radiographiquement (114)	95

ABSENCE DE LA PREMIERE MOLAIRE MANDIBULAIRE PERMANENTE : PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE PAR MINI-VIS./ **Valentin VACHER.** - p. (112) : ill. (93) ; réf. (116).

Domaines : Orthopédie dento-faciale

Mots clés Libres : Mini-vis/minivis/mésialisation molaire/redressement molaire/ingression molaire

Résumé de la thèse en français

L'absence de la première molaire mandibulaire permanente a de nombreuses conséquences sur la sphère buccale dont l'apparition de déplacements dentaires, ces malpositions induites se retrouvent notamment sur les dents adjacentes et antagonistes à l'édentement.

Par son ancrage absolu la mini-vis est, parmi l'arsenal thérapeutique à disposition de l'orthodontiste, un outil de choix.

Après avoir décrit les caractéristiques et les principes de mise en place des mini-vis, ce travail se concentrera sur leur utilisation pour corriger ces malpositions induites et propose des options thérapeutiques pour trois de ces malpositions : le redressement de la molaire mésioversée, la mésialisation molaire et l'ingression sélective de la molaire maxillaire.

JURY :

Président : Pr Thomas Colard

Assesseurs : Dr Amélie De Broucker – Dr Laurent Nawrocki

Membres invités :