

Biomécanique des mini-implants : analyse des effets parasites de quatre situations cliniques et propositions de résolutions

Baptiste TURREL^{1,2*}, Vanessa VALRAN^{1,2}, Sarah GEBEILE-CHAUTY^{1,2}

¹ Unité Fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale, Centre de Traitements Dentaires, Hospices Civils de Lyon, 6-8 place Depéret, 69365 Lyon cedex 03, France

² Faculté d'Odontologie, Université Claude Bernard Lyon 1, 11 rue Guillaume Paradin, 69372 Lyon Cedex 08, France

MOTS CLÉS :

Ancrage /
Mini-vis /
Mécanique /
Échec /
Effet secondaire /
Mouvement dentaire

RÉSUMÉ – Introduction : Les effets parasites biomécaniques générés par nos traitements sont à considérer parmi les échecs des mini-implants, certes excellents moyens d'ancrage. L'objectif de cet article était d'illustrer et de commenter les effets parasites mécaniques et de proposer des solutions. **Matériel et méthode :** Quatre situations cliniques courantes en technique vestibulaire sont analysées, décomposées tri-dimensionnellement et solutionnées. **Résultats :** L'ingression incisive maxillaire en traction directe (mini-implant entre incisives latérales et canines en ancrage direct) peut entraîner une rotation disto-vestibulaire des dents d'appuis et une vestibulo-version incisive. La rétraction incisivo-canine maxillaire (mini-implant entre 5 et 6 en ancrage direct) entraîne une rotation canine voire un décalage des milieux, une rotation horaire du plan d'occlusion et une version des dents adjacentes. La distalisation molaire maxillaire en deux temps (mini-implant entre 5 et 6 avec ligature métal jusqu'à la canine) entraîne une rotation des dents adjacentes au ressort, une vestibulo-version incisive et une disto-version molaire. La protraction d'une molaire mandibulaire (mini-implant entre 3 et 4 en ancrage direct) entraîne une rotation disto-vestibulaire, un torque corono-lingual et une mésio-version de cette molaire ainsi qu'une vestibulo-version incisive et une rotation horaire du plan d'occlusion. Les plis de compensation sur les dents adjacentes, le choix de l'emplacement et du type de mini-implant, l'utilisation de potence pour se rapprocher du centre de résistance font partie des moyens de résolutions. **Conclusion :** Si l'ancrage par mini-implant permet un effet important quantitatif, les effets parasites doivent être appréhendés au cas par cas par une analyse biomécanique tri-dimensionnelle.

KEYWORDS:

Anchorage /
Miniscrew /
Mechanic /
Failure /
Adverse effect /
Tooth movement

ABSTRACT – Biomechanics of mini-implants : analysis of the adverse effects of four clinical situations and proposed resolutions. Introduction: The biomechanical adverse effects generated by our treatments must be considered among the failures of mini-implants, certainly excellent means of anchorage. The aim of this article was to illustrate and comment on mechanical adverse effects and to propose solutions. **Material and Method:** Four common clinical situations in vestibular technique are analyzed, decomposed three-dimensionally and solved. **Results:** Maxillary incisor intrusion in direct traction (mini-implant between lateral incisors and canines in direct anchorage) can lead to a disto-labial rotation of the supporting teeth and an incisor flaring. Maxillary incisivo-canine retraction (mini-implant between 5 and 6 in direct anchorage) leads to a canine rotation, a clockwise rotation of the occlusal plane and a version of the adjacent teeth. The maxillary molar two-steps distalization (mini-implant between 5 and 6 with metal ligation to the canine) causes a rotation of the adjacent to the spring teeth, an incisor flaring and a molar disto-version. The protraction of a mandibular molar (mini-implant between 3 and 4 in direct anchorage) causes a disto-labial rotation, a lingual torque and a mesio-version of the molar as well as an incisor flaring and a clockwise rotation of the occlusal plan. The compensation bends on the adjacent teeth, the choice of the location and the type

* Correspondance : baptiste.turrel@yahoo.fr

of mini-implant, the use of a power arms to get closer to the center of resistance are among the means of resolution. Conclusion: If mini-implants anchorage allows a significant quantitative effect, adverse effects should be considered individually with a three-dimensional biomechanical analysis.

1. Introduction

En quelques dizaines d'années, les ancrages squelettiques temporaires (mini-vis ou mini-implants) se sont imposés, apportant beaucoup à la gestion des traitements, en optimisant nos thérapeutiques d'une part et en élargissant le champ des possibles d'autre part⁶⁸.

Aujourd'hui, les mécaniques sans ancrage osseux sont couramment nommées « traditionnelles » ou « conventionnelles »^{19,41,48,73} (terme ici retenu pour décrire les techniques sur arc continu sans ancrage osseux). Avec ces techniques, les forces orthodontiques s'appliquent en majorité de façon parallèle à l'arc et au plan d'occlusion, l'orthodontiste doit donc gérer ces forces dans un seul plan. Avec les ancrages osseux, parce que la force orthodontique ne s'ancre pas sur une dent mais sur un mini-implant, un certain nombre d'effets parasites peut être évité en simplifiant certaines thérapeutiques. Grâce à leur position apicale, il est possible de réaliser des mouvements de manière plus efficiente car plus proche du centre de résistance. Néanmoins, utilisés en ancrage direct, la force orthodontique générée s'applique aux dents avec une angulation. Le vecteur de force peut donc se décomposer en deux vecteurs, l'un horizontal, l'autre vertical⁶⁴. Par conséquent, un mini-implant peut garantir un ancrage orthodontique quasi idéal⁵⁴ mais ne garantit pas un système de force idéal pour réaliser un quelconque mouvement orthodontique⁴⁹. Une récente revue systématique de Alharbi, *et al.* indique qu'en moyenne le taux d'échec des mini-implants, toute situation confondue, est de 13,5 %² ; ce résultat correspond à une autre méta-analyse de Papadopoulos, *et al.* en 2012⁶⁹. Toutefois, ce taux prend uniquement en compte les échecs biologiques menant à la dépose prématurée de l'ancrage osseux. Or, à ces échecs, s'ajoutent les échecs biomécaniques et leurs effets indésirables : perte d'ancrage, vestibulo-version, bascule du plan d'occlusion, apparition d'infraclusions iatrogènes... Ce système de force doit être appréhendé en prenant en compte la position du mini-implant, les centres de résistances impliqués (dentaires unitaires ou par groupe, ainsi que maxillaires) et les unités mobiles à déplacer ; sans quoi des effets parasites censés être initialement évités

seront évidemment présents comme en mécanique conventionnelle.

L'objectif de cet article était d'identifier et de commenter les effets parasites de situations biomécaniques fréquentes sur un arc continu avec ancrage osseux par une analyse biomécanique et de proposer des moyens cliniques simples pour les résoudre. Les différentes phases de traitement retenues sont l'ingression incisive, la rétraction incisivo-canine, la distalisation et la mésialisation molaire.

Afin de faciliter la compréhension, une discussion est présentée après chaque phase décrite.

La légende retenue est la suivante :

	Centre de résistance concerné sur un groupe de dents ou une arcade suivant la situation.
	Force appliquée sur une dent, un groupe dentaire ou une arcade.
	Vecteurs de décomposition de la force appliquée.
	Moment généré sur une dent, un groupe dentaire ou une arcade.
	Mini-implant.

2. Ingression incisive

2.1. Situation clinique

La correction de la supraclusion peut être effectuée par l'ingression du bloc antérieur, l'égression postérieure ou une combinaison de ces deux mouvements⁶³.

L'ingression pure du bloc antérieur est parfois réalisée à l'aide d'une traction directe sur deux mini-implants antérieurs entre incisive latérale et canine maxillaire.

2.2. Schématisation

La schématisation de la situation clinique d'ingression est représentée sur la [figure 1](#). La traction directe des chaînettes élastomériques crée un vecteur de traction oblique en direction gingivale et distale. Il peut se décomposer en une composante horizontale (verte) en direction distale et une composante verticale (bleue) en direction gingivale. Ces deux composantes sont aussi présentes sur l'incisive controlatérale qui subit la même mécanique de traction.

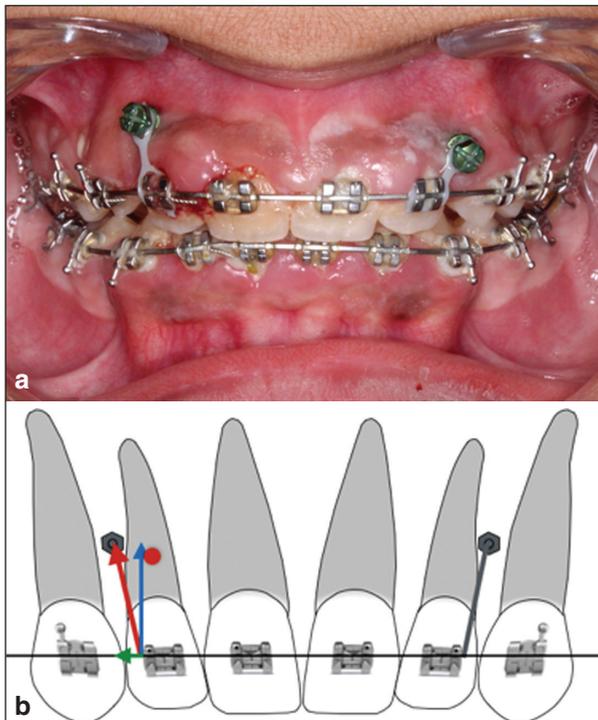


Figure 1

(a) Mécanique d'ingression directe sur mini-implants et traction élastomérique sur incisive latérale. (b) Schématisation de la situation clinique.

2.3. Effets parasites

2.3.1. Dimension antéro-postérieure

Dans cette dimension, la traction verticale est responsable de l'effet parasite le plus important⁸⁷. Sur la [figure 2](#), la force de traction en haut et en arrière est composée d'une force verticale (bleue) et d'une force horizontale (verte).

La composante horizontale est responsable d'un moment de palato-version de l'incisive alors que la composante verticale entraîne un moment de vestibulo-version. Ce dernier étant plus important dans son intensité, le moment résultant est une vestibulo-version de l'incisive ([Fig. 2](#)).

De plus, la traction horizontale visible en vert sur la [figure 3](#) entraîne une traction de part et d'autre du plan antéro-postérieur médian qui tend à distaler les incisives latérales et à augmenter la création d'espaces interproximaux entre incisives centrales et latérales.

2.3.2. Dimension verticale

Dans la dimension verticale, l'ingression antérieure va entraîner une égression du secteur postérieur du fait de l'arc continu et de l'effet de courbure d'arcade généré (*bowing effect*). Il en résulte une rotation antihoraire du plan d'occlusion ([Fig. 4](#)).

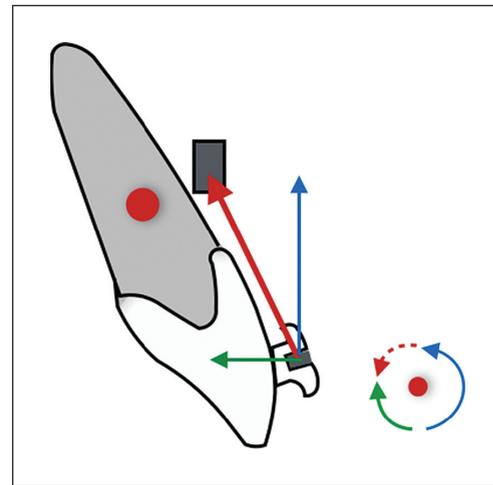


Figure 2

Schématisme des forces et moments appliqués au centre de résistance de l'incisive maxillaire. Le moment de rotation antihoraire (bleu) l'emporte sur le moment de rotation horaire (vert). La résultante est représentée en pointillés rouges.

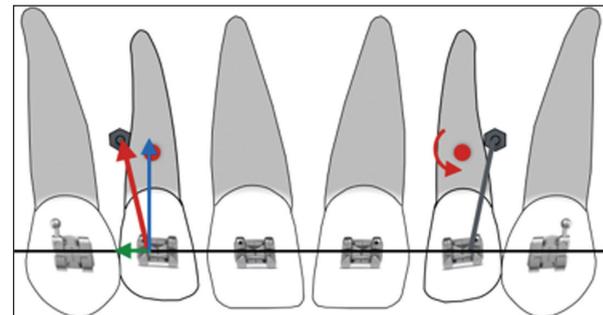


Figure 3

Effets parasites de la dimension antéro-postérieure. La force horizontale (en vert) entraîne un moment de version distale de l'incisive entraînant la création d'espaces interproximaux entre incisive centrale et latérale. Par étirement des fibres parodontales, un diastème entre les incisives centrales peut s'ouvrir.

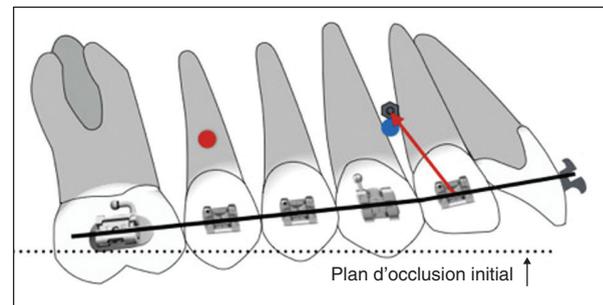


Figure 4

Effets parasites dans la dimension verticale. On note une rotation antihoraire du plan d'occlusion due à l'ingression des incisives et l'égression secondaire des molaires.

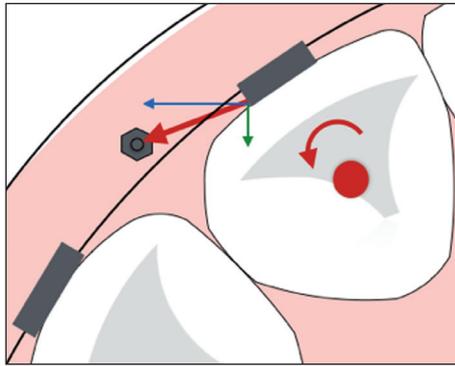


Figure 5

Schématisation et effet parasite dans la dimension transversale.

2.3.3. Dimension transversale

Sur la [figure 5](#), la décomposition de la force de traction (rouge) permet d’obtenir une composante antéro-postérieure en direction postérieure (verte) et une composante latérale en direction externe (bleue).

La composante latérale appliquée à distance du centre de résistance entraîne une rotation méso-vestibulaire de l’incisive latérale. La composante antéro-postérieure accentue ce mouvement de rotation.

2.4. Résolution thérapeutique

L’application de la force de traction élastomérique sur un stop soudé ou clipé en distal de l’incisive latérale, dans la projection verticale du mini-implant permet de s’affranchir de l’effet parasite de disto-version (*tipping distal*) dans la dimension verticale. Cela permet aussi d’éviter tout phénomène de rotation dans la dimension transversale en appliquant la force à l’arc et non pas directement à la dent d’appui ([Fig. 6](#)).

Pour diminuer l’effet de version vestibulaire, une information du troisième ordre peut être incorporée à l’arc. L’insertion de torque coronaire négatif permet de contrer l’effet du moment de vestibulo-version, celui-ci est d’autant plus efficace sur un arc de pleine taille¹⁸. Cependant, il faut que ce moment de palato-version induit par la déformation soit égal au moment de vestibulo-version. Cette solution présente donc l’inconvénient d’être dépendante de l’expérience clinique de l’orthodontiste car il est difficile de quantifier exactement le moment à induire pour contrecarrer l’effet parasite et de le reproduire à l’identique ([Fig. 7](#)).

Une implantation en distal de la canine permet une traction passant plus proche du centre de résistance du bloc antérieur¹⁸. Cette traction plus distale

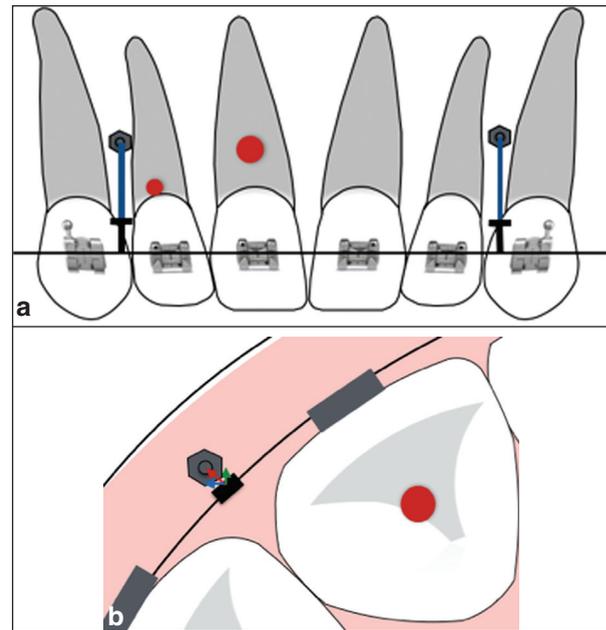


Figure 6

Ingression en traction directe sur crochet clipé à l’arc. (a) Vue frontale, (b) vue occlusale.

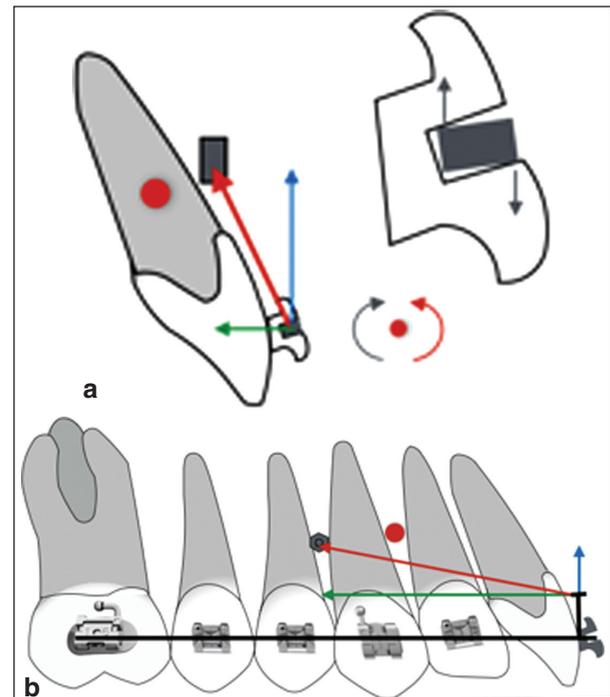


Figure 7

Solutions possibles pour contrer la vestibulo-version du bloc incisif. (a) Torque négatif qui induit un moment de linguo-version (gris). (b) Mini-implant en position distale de canine.

diminue cependant la composante ingressive du vecteur de force⁴⁹.

La pose de mini-implants enfouis ou de mini-implants ayant une émergence gingivale plus fine entre incisive latérale et canine permet une traction

plus oblique en distal, diminuant ainsi la composante verticale responsable de la vestibulo-version^{16,18}.

Il est aussi possible d'ajouter un blocage de l'arc (*tie-back*) pour limiter la vestibulo-version des incisives, cela pour avoir comme effet secondaire la mésialisation des molaires maxillaires (effet « bateau à rames » de Mulligan)^{6,18,60,65}.

2.5. Discussion

D'un point de vue mécanique, selon Philippe, l'ingression est, de tous les déplacements orthodontiques, le plus difficile à obtenir⁷². En effet, pour obtenir une ingression pure, il faut que celle-ci soit effectuée par translation le long du grand axe des incisives. Or l'inclinaison des incisives modifie la direction de la force à appliquer pour les ingresser, une vestibulo-version incisive oblige une traction plus oblique.

Les techniques conventionnelles, bien avant l'arrivée des ancrages osseux, permettent, toutes techniques confondues, une ingression des incisives maxillaires de 1,5 mm en moyenne. Parmi elles, les mécaniques segmentées apparaissent comme des techniques de choix pour la réalisation de ce mouvement⁶⁶. Nous pouvons citer, entre autres, l'arc de base d'ingression de Ricketts et l'arc d'ingression de Burstone. L'arc d'ingression de Burstone permet, via une biomécanique appliquée en V asymétrique¹², de réaliser une ingression incisive en minimisant les effets parasites sur les molaires. Cependant, selon Burstone, il est impossible d'ingresser les six dents antérieures sans entraîner une modification axiale des molaires et ce malgré l'utilisation de forces extra-buccales associées^{14,74,88}.

Sur un arc continu, l'ingression antérieure tend à être réalisée par un collage différentiel entre dents antérieures (collées plus occlusales) et dents postérieures (collées plus gingivales) ou via un arc présentant une courbe de Spee accentuée. Ces techniques réalisent en réalité une égression postérieure associée à une ingression antérieure. Outre le manque de contrôle de ces techniques, et de par le fait que le mouvement d'égression est plus facilement réalisable que l'ingression, nous obtenons avec ces techniques plus une égression molaire qu'une réelle ingression incisive⁹⁶.

En technique segmentée ou continue, les forces directionnelles sont des auxiliaires qui permettent l'ingression du secteur antérieur en contrôlant la composante verticale et horizontale en fonction de la direction de la traction, le tout sans mouvements

secondaires des molaires⁷². Cependant, celles-ci demandent une forte coopération du patient et semblent donc moins utilisées à ce jour.

L'utilisation des ancrages osseux trouve ici une bonne indication ; avec une construction biomécanique appropriée, ils permettent de s'affranchir de la coopération du patient et de limiter les mouvements secondaires des dents adjacentes.

Une étude de Jain, *et al.* en 2014³⁴ comparant les ancrages osseux, l'arc de base d'ingression et les forces directionnelles décrit une meilleure quantité d'ingression dans les groupes mini-implant (2,1 mm) et arc de Burstone (1,4 mm). Cependant, dans ce dernier groupe, l'étude montre une égression molaire concomitante de 0,75 mm, absente dans le groupe par ancrage osseux.

D'un point de vue histologique, l'ingression est le mouvement qui rencontre le plus de résistance de la part de la dent car celle-ci se déplace dans le sens où le parodonte est le mieux organisé pour résister⁴⁹. De plus, l'ingression est un facteur de risque de résorption radiculaire car la pression développée par la force intrusive se concentre uniquement sur l'apex de la dent à ingresser^{77,93}. En outre, les incisives maxillaires, et en particulier les incisives latérales, sont les dents plus sujettes aux résorptions radiculaires⁵³. Costopoulos et Nanda¹⁷, en utilisant un arc d'ingression de Burstone, ont observé une résorption de 0,6 mm après 1,9 mm d'ingression. Un lien direct de cause à effet existe entre quantité d'ingression et quantité de résorption⁵. Deguchi, *et al.* observent cependant que, malgré une ingression plus importante dans le groupe avec mini-implant (4,5 mm) comparée au groupe avec forces directionnelles (3,4 mm), les résorptions radiculaires sont moins sévères dans le groupe avec ancrage osseux (0,8 mm de résorption) que dans le groupe avec forces directionnelles (2 mm)²⁵. Cela semble être expliqué par les forces discontinues développées par ces dernières. Afin de limiter les résorptions radiculaires, Burstone préconise l'emploi de force légère. Selon lui, une force de 10 à 20 g suffit pour ingresser une incisive^{14,92}, 50 g pour une canine.

Ricketts préconise une activation de son arc de base d'ingression de 75 g au maxillaire⁷⁴. Van Steenberg, *et al.* en 2005 démontrent qu'une force de 80 g d'ingression n'est pas plus efficace qu'une force de 40 g⁸⁶.

Comme en technique conventionnelle sur ancrages osseux, la vestibulo-version incisive secondaire à leur ingression est l'effet secondaire le plus fréquent et doit être gérée par différents moyens

mécaniques. Certes, dans certains cas de correction de classe II, division 2, cette version corono-vestibulaire peut être recherchée. Dans la majorité des cas, cet effet constitue un effet parasite. De ce fait, Saxena, *et al.*⁷⁹, Deguchi, *et al.*²⁵ et Nanda⁶⁴ associent une force de rétraction à la force intrusive pour maintenir ou diminuer le surplomb. Une ingression en translation ne peut être obtenue que par un vecteur de traction passant par le centre de résistance du bloc incisivo-canin⁶⁴. Ainsi, la direction de la force de traction doit être déterminée en fonction du nombre de dents à ingresser, car cela conditionne la position du centre de résistance⁸⁹. Le centre de résistance des six dents antérieures est un point se situant à 7 mm du sommet de la crête alvéolaire soit environ à 9 mm de la lumière du boîtier en direction apicale entre la face distale de l'incisive latérale et celle de la canine^{61,70,83,89}. L'implantation des ancrages osseux entre incisives latérales et canines est communément retrouvée dans de nombreux articles traitant de l'ingression incisive^{6,79,91}. Cette position garantit une quantité osseuse suffisante et permet une ingression en limitant les effets parasites⁴⁹.

3. Rétraction incisivo-canine

3.1. Situation clinique

Quoiqu'en légère diminution au cours de ces dernières années^{20,33}, les traitements avec avulsions sont courants en orthodontie³⁵.

Après extraction d'une première prémolaire, l'utilisation d'un mini-implant postérieur entre 6 et 5 en ancrage direct permet d'éviter la perte d'ancrage postérieure. La mécanique directe la plus simple consisterait à utiliser une chaînette du mini-implant jusqu'à la canine, cette dernière étant souvent solidarisée au bloc incisif (Fig. 8).

3.2. Schématisation

Sur la figure 9, le vecteur de traction en direction haute et distale représenté en rouge peut se décomposer en deux vecteurs : un vecteur horizontal vert et un vecteur vertical bleu.

Le centre de rotation du bloc incisivo-canin est situé au niveau de la face distale de l'incisive latérale et est représenté en bleu⁷⁰. Le centre de résistance de toute l'arcade maxillaire après extraction d'une prémolaire est, lui, représenté en rouge au niveau de la deuxième prémolaire²⁹.



Figure 8

Situation clinique de rétraction incisivo-canine sur mini-implant en ancrage direct par traction élastomérique. On considère ici la solidarisation du bloc antérieur à la canine.

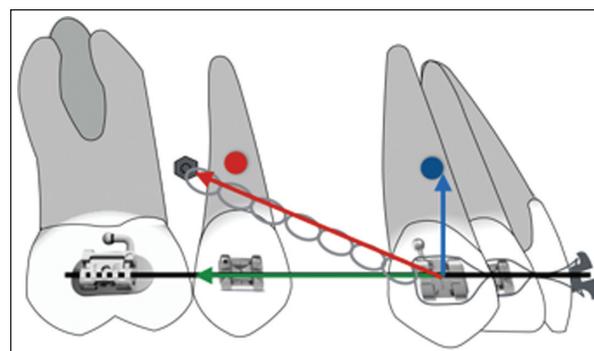


Figure 9

Schématisme de la rétraction incisivo-canine sur mini-implant en ancrage direct par traction élastomérique de la canine solidarifiée au bloc incisif (en bleu est représenté le centre de résistance du bloc antérieur).

3.3. Effet parasite

3.3.1. Dimension verticale

- Au niveau du bloc incisivo-canin : le mouvement réactionnel est une rotation horaire autour de son centre de résistance du fait de l'application de la force en dessous du centre de résistance du bloc antérieur et du moment qui en résulte.
- Au niveau de l'arcade maxillaire : le vecteur de traction passe sous le centre de résistance de l'arcade maxillaire. Cela entraîne une ingression du secteur postérieur et une égression antérieure (Fig. 10).

3.3.2. Dimension antéro-postérieure

Dans la dimension antéro-postérieure, une palato-version du secteur incisivo-canin est observée, laquelle, par effet de courbure d'arcade (*bowing*

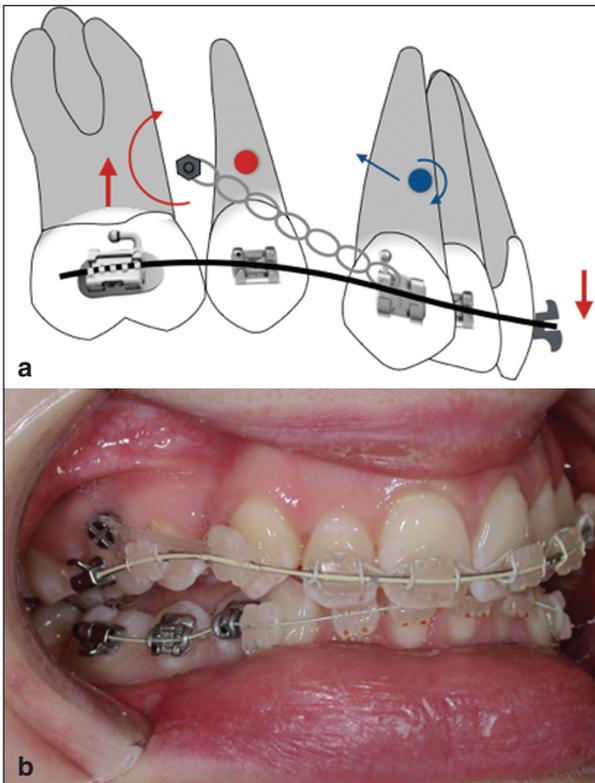


Figure 10

Effets parasites d'une traction élastomérique directe du mini-implant à la canine. (a) Schématisation, (b) vue endobuccale illustrant ces effets parasites.

effect), entraîne une méso-version (*tip forward*) du secteur postérieur.

3.3.3. Dimension transversale

Dans la dimension transversale (Fig. 11), la traction (rouge) se décompose en un vecteur antéro-postérieur (vert) en direction postérieure et un vecteur transversal (bleu) en direction vestibulaire. En rouge est représenté le centre de résistance du groupe incisivo-canin⁷⁰.

Une rotation méso-vestibulaire peut être observée due à l'application directe de la traction au crochet de la canine. Avec la force de friction qui s'exerce au fur et à mesure de la rétraction sur les tubes molaires, une rotation méso-vestibulaire des deuxièmes molaires peut être notée²¹ et peut entraîner, si la traction se poursuit, une déficience transversale postérieure avec un articulé croisé sur les deuxièmes molaires.

Lorsqu'on reporte cette traction au bloc incisivo-canin à son centre de résistance, nous observons une rotation du bloc antérieur en direction du mini-implant si celle-ci est unilatérale, ce qui a pour résultat un décalage du milieu inter-incisif maxillaire.

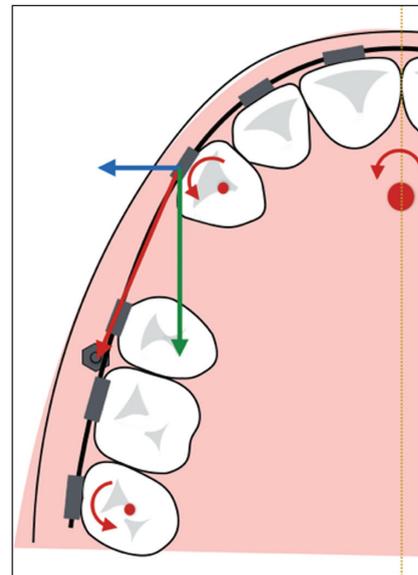


Figure 11

Effets parasites d'une traction directe du mini-implant à la canine dans la dimension transversale.

3.4. Résolution thérapeutique

L'utilisation d'une potence moyenne (environ 8 mm) mise en place sur l'arc entre l'incisive latérale et la canine permet de rapprocher l'application de la force du centre de résistance incisivo-canin (Fig. 12). Dans l'idéal, la position du mini-implant pourra être choisie de sorte que la traction soit la plus horizontale possible et à hauteur du centre de résistance de l'arcade. Cela étant illusoire, certains effets parasites pourront s'exprimer mais dans une moindre mesure. Il sera donc possible d'incorporer une courbe de Spee accentuée sur un arc en acier lourd au maxillaire pour contrecarrer la méso-version réactionnelle à l'effet de courbure d'arcade (*bowing effect*).

La potence clipée ou soudée sur l'arc permet par la même occasion d'éviter la rotation de la canine

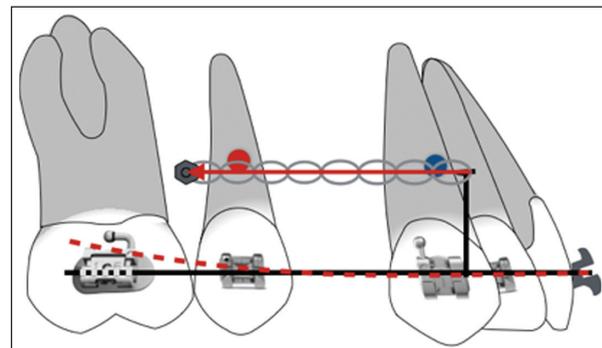


Figure 12

Schématisme de rétraction antérieure sur potence avec courbe de Spee accentuée sur arc.

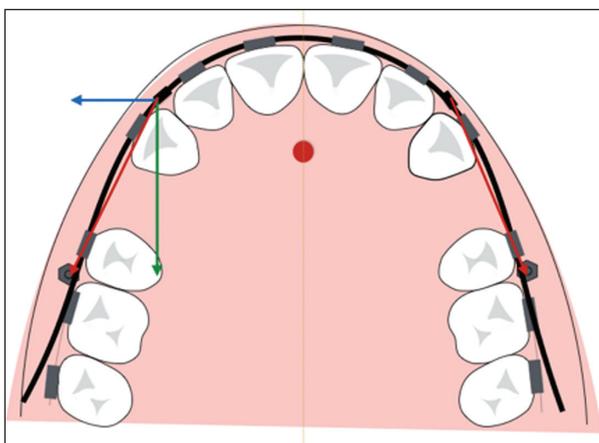


Figure 13

Rétraction bilatérale symétrique sur potence avec courbure de compensation du premier ordre.

tractée (Fig. 13). L'utilisation de deux mini-implants bilatéraux en traction simultanée et ayant de préférence la même direction et la même intensité permet de conserver la position du milieu inter-incisif. Une déformation de premier ordre de type expansion transversale (ou *toe out*) au niveau des molaires permet de limiter l'effet de rotation provoquée par la friction.

3.5. Discussion

Le choix des ancrages osseux pour une rétraction n'est plus contesté⁹. La littérature est riche en articles en faveur de cet ancrage « quasi » absolu³⁰ comparé aux moyens conventionnels (forces directionnelles et arc de Nance). Une revue systématique de Becker, *et al.* en 2018 décrit une légère perte d'ancrage de 0,2 mm des molaires lors d'une rétraction antérieure en ancrage indirect sur mini-implant, alors qu'une traction en ancrage direct n'entraîne aucune perte d'ancrage voire une légère distalisation de la molaire de 0,5 mm en moyenne^{3,8,23,55,84,85,90}. Cette dernière est due aux forces de friction générées au niveau des molaires lors de la rétraction antérieure. En comparaison, pour les techniques conventionnelles, avec renfort d'ancrage conventionnel, la perte d'ancrage molaire moyenne est de 2,3 mm dans sept études totalisant 110 patients. Sans

ancrage osseux, la perte d'ancrage molaire estimée est d'environ 30 % dans l'espace obtenu par l'extraction d'une prémolaire maxillaire^{1,39,46} (Tab. 1).

La situation du mini-implant dans la dimension verticale est généralement dictée par des impératifs anatomiques, obligeant généralement à le placer à environ 8 mm du plan de l'arc²⁸. Les variations du site d'implantation se font dans la dimension antéro-postérieure. Lee, *et al.* démontrent qu'une position du mini-implant en mésial de la 5 entraîne un recul incisif d'amplitude similaire, cependant associé à une ingression apicale et coronaire de plus d'1 mm supérieure à une traction sur mini-implant entre 5 et 6⁵¹.

Les effets secondaires présentés ici peuvent dans certains cas être recherchés si les incisives sont initialement vestibulo-versées ou palato-versées. En fonction de la hauteur de la potence de traction, l'axe de l'incisive pourra être modifié en fonction de la situation clinique²¹ (Fig. 14).

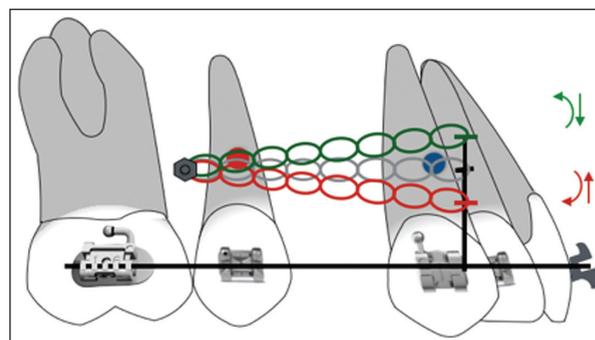


Figure 14

Influence de la taille de la potence dans l'inclinaison du bloc antérieur. Dans le cas d'une traction sur potence courte (en rouge), un moment de palato-version et une force ingressive s'expriment au niveau du centre de résistance du bloc incisivo-canin. Avec une potence longue (en vert), la traction passe au-dessus du centre de résistance, il en résulte un moment de vestibulo-version et une force égressive au niveau du bloc antérieur. Une potence moyenne (grise) permet une traction passant par le centre de résistance entraînant une translation du bloc antérieur en direction distale.

Tableau 1. Perte d'ancrage molaire en fonction de l'ancrage utilisé pour une rétraction antérieure.

	Rétraction sur ancrage osseux en technique indirecte	Rétraction sur ancrage osseux en technique directe	Rétraction avec ancrage conventionnel
Perte d'ancrage molaire	0,2 mm	- 0,5 mm	2,3 mm

4. Distalisation maxillaire en deux temps

4.1. Situation clinique

La distalisation (ou distalage) maxillaire est un moyen thérapeutique permettant de corriger une classe II d'Angle par proalvéolie maxillaire sans avoir recours aux extractions^{54,55}. Dans l'optique de distaler une arcade entière, la mise en place d'un mini-implant entre 5 et 6 permet une double utilisation. Dans un premier temps, le secteur postérieur est l'unité mobile à distaler. L'unité stable antérieure sera renforcée grâce au mini-implant en ancrage indirect. Dans un second temps, dès que le recul prémolaire a été effectué, le secteur antérieur devient l'unité mobile et le mini-implant sert de traction en ancrage direct. La vis est ligaturée directement à l'attache de la canine et la distalisation se fait à l'aide d'un ressort comprimé entre 14 et 16 (la 15 étant by-passée pour faciliter l'insertion du ressort) (Fig. 15).



Figure 15

Distalisation maxillaire en deux temps sur ancrage osseux, (a) en vue latérale et (b) en vue occlusale.

4.2. Schématisation

La décomposition des forces qui s'appliquent au niveau de la 13 est visible sur la figure 16. Nous considérons une situation clinique sans extraction.

La ligature entre l'attache de la 13 et le mini-implant est le rayon d'un cercle dont le mini-implant est le centre. Le ressort comprimé crée au niveau de la 13 une force horizontale en direction mésiale. Cette force se décompose en une force radiale en vert et une force tangentielle en bleu. La composante radiale est contrée par la rigidité de la ligature entre le mini-implant et la 13, il ne persiste que la composante tangentielle. C'est cette dernière qui sera responsable des effets indésirables sur le bloc antérieur.

4.3. Effets parasites

4.3.1. Dimension verticale

La force tangentielle va entraîner une ingression de la canine et du secteur antérieur par rotation de ces derniers le long du cercle associé à une mésio-version (un *tipping* corono-mésial de la canine) (Fig. 17).

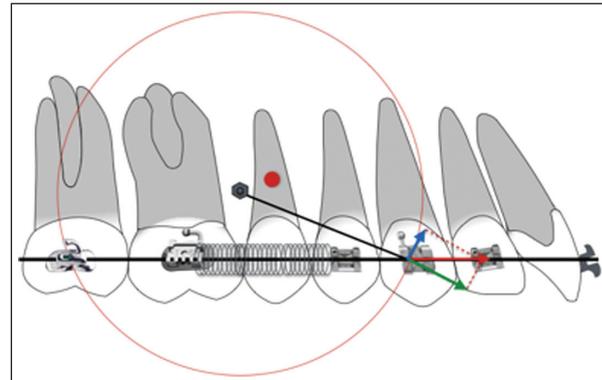


Figure 16

Décomposition des forces exercées sur la dent d'ancrage lors de la distalisation maxillaire en deux temps.

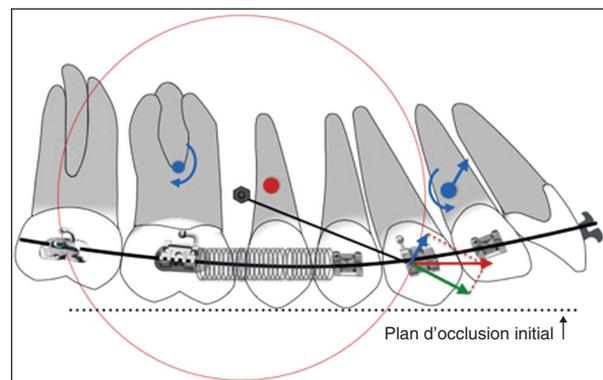


Figure 17

Effets parasites liés à la distalisation maxillaire en deux temps.

4.3.2. Dimension antéro-postérieure

Une vestibulo-version du secteur antérieur est observée, certes moindre que sans ancrage squelettique, ainsi qu'une distorsion sur la molaire à distaler.

4.3.3. Dimension transversale

Dans la dimension transversale, les effets parasites s'expriment principalement sur les dents adjacentes au ressort en compression (Fig. 18).

La composante transversale bleue de la force exprimée (la force distalante, s'appliquant « en vestibulaire » par rapport au centre de résistance) est responsable de la rotation vestibulo-mésiale de la 6 et palato-mésiale de la 4. Celle-ci entraîne une contraction transversale molaire en distal et prémolaire en mésial. Cet effet est davantage exprimé si la dent distale au ressort est la dernière dent prise sur l'arc.

4.4. Résolution

La mise en place d'une potence clipée ou soudée à l'arc de sorte que la vis soit au même niveau vertical permet une liaison horizontale pure.

Par cette liaison horizontale, la composante tangentielle est inexistante. Seule la force radiale verte s'exprime à l'extrémité du crochet. Celle-ci est annulée par la rigidité de la liaison avec le mini-implant. Pour que la distalisation soit stable,

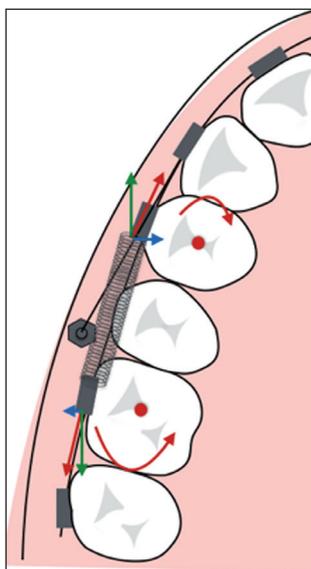


Figure 18

Effets parasites de la distalisation maxillaire en deux temps dans la dimension transversale.

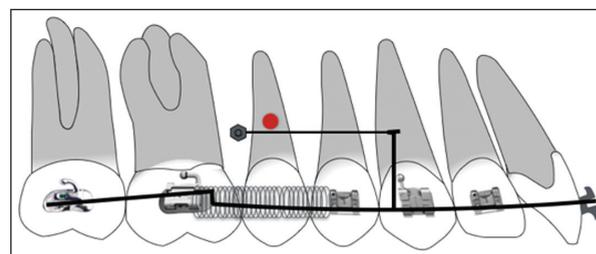


Figure 19

Distalisation maxillaire avec ressort inséré entre 4 et 6. Une ligature métallique est toronnée entre le mini-implant et le crochet clipé à l'arc entre 3 et 4, avec courbures de compensation pour limiter les effets indésirables (pli de redressement molaire par méso-version molaire, courbe de Spee inversée au niveau prémolaire).

il faut que celle-ci soit faite par translation²⁸. L'incorporation de courbe de compensation tout en continuant la distalisation permet de diminuer les effets parasites. Progressivement, une méso-version (*tip forward*) molaire et une courbe de Spee inversée mésialement aux molaires permettent de limiter la disto-version (*tip back*) et de distaler en translation (Fig. 19).

Dans la dimension transversale, des courbures anti-rotations et une légère expansion antérieure sont incorporées dans l'arc pour éviter un articulé croisé postérieur et une contraction antérieure (Fig. 20).

4.5. Discussion

De nombreux moyens de distalisation maxillaire existent. Parmi les techniques conventionnelles, elles peuvent être regroupées en fonction de leur conception et de leur ancrage : la distalisation avec forces extra-buccales, avec ancrage dentaire, avec appui palatin, utilisant des tractions inter-arcades, des ressorts⁷¹... Les dispositifs sur ancrages osseux peuvent être classés en fonction de l'emplacement de l'ancrage : palatin médian ou paramédian, zygomatique ou alvéolaire (vestibulaire oblique ou vertical, palatin).

Kinzinger, *et al.* en 2008, dans une revue systématique, décrivent une distalisation molaire, tout dispositif conventionnel confondu, allant de 5,1 à 0,90 mm avec une moyenne de 2,7 mm sur 27 études⁴¹. La force générée par ces dispositifs variait de 80 à 250 g par quadrant. Les forces les plus lourdes étaient développées par le pendulum^{40,42-44}. Cependant, ils entraînent de nombreux effets secondaires : une perte d'ancrage antérieure se manifestant par une

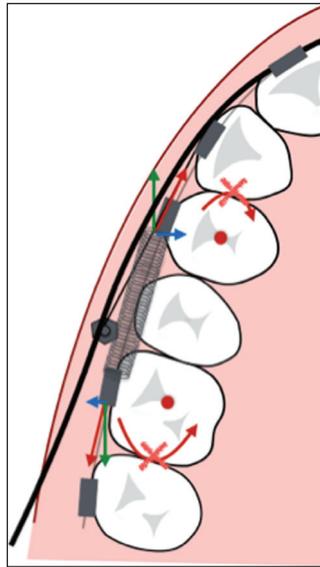


Figure 20
Distalisation avec courbures de compensation sur arc (en noir).

augmentation du surplomb³¹, une version molaire maxillaire, une perte d'ancrage des molaires maxillaires durant la deuxième phase de rétraction antérieure, une sollicitation de l'arcade mandibulaire et de la coopération (avec des tractions inter-arcades de classe II)...

Une revue systématique de Mohamed, *et al.*⁵⁹ en 2018 sur 22 études relève qu'avec une distalisation sur ancrage osseux chez des patients en classe II, la quantité de distalisation varie de 1,8 à 6,4 mm avec une moyenne de 3,9 mm et une version molaire allant de 1,7° à 11,38°. Pour une distalisation sur ancrage osseux en position alvéolaire inter-radicaire, les auteurs emploient des forces de l'ordre de 200 g par quadrant (Tab. 2).

L'avantage des techniques de distalisation sur mini-implant vestibulaire est la simplicité de pose du mini-implant, lequel peut être utilisé dès les

premières phases d'alignement et de nivellement²⁸, ce qui permet une activation plus précoce dans le traitement. La position du mini-implant proche du centre de résistance de l'arcade permet, avec une biomécanique appropriée, de minimiser les effets parasites. De plus, la position vestibulaire du mini-implant est globalement bien tolérée par les patients⁷⁸. Selon Lee, le site d'implantation vestibulaire entre deuxième prémolaire et première molaire est à privilégier de par son accessibilité et car il présente un os de meilleure qualité⁴⁹. La distalisation en deux temps permet une distalisation molaire de plus de 3 mm comparée à la distalisation en un seul temps, du fait de l'interférence entre le mini-implant et les racines limitant le mouvement distal⁹⁷.

Avec la distalisation en deux temps, une fois la quantité de distalisation souhaitée obtenue, le mini-implant est déplacé dans une position plus distale pour tracter les prémolaires puis le bloc antérieur, la position des molaires étant bloquée grâce à des stops sur l'arc.

Concernant le site d'implantation palatin antérieur, celui-ci présente une meilleure qualité osseuse et peu de risque de lésion de structures anatomiques comme des nerfs, artères ou racines dentaires^{27,56}. Les dispositifs de distalisation prenant ancrage dans cette zone sont utilisés depuis plusieurs décennies. Parmi les plus populaires, nous pouvons citer le Distal-jet sur implant palatin, le Beneslider de Wilmes ou le Pendulum avec ancrage osseux^{27,40,48,78,94}. Ce dernier permet une distalisation moyenne entre 4,8 et 6,4 mm selon une revue systématique, sans effets parasites sur les incisives et les prémolaires⁴. Cependant, ce type de dispositif nécessite une confection complexe et onéreuse (si le dispositif est réalisé au laboratoire). Des rotations du dispositif entraînant des effets parasites ainsi que des irritations du palais et de la langue sont aussi décrits⁴⁵. Enfin, ils exigent des procédures de pose et de dépose compliquées⁵⁹.

Tableau 2. Comparatif de distalisation sur ancrage osseux et en technique conventionnelle.

	Distalisation conventionnelle	Distalisation sur ancrage osseux
Quantité de distalisation	2,7 mm (0,90 mm ; 5,1 mm)	3,9 mm (1,8 mm ; 6,4 mm)
Version molaire	5,83° (1° ; 14,5°)	6,5° (1,7° ; 11,38°)
Forces employées	190 g (80 g ; 250 g)	237 g (200 g ; 400 g)
Mésialisation incisive	1,7 mm (0,25 mm ; 3,7 mm)	0,13 mm (- 2,4 mm ; 2,9 mm)
Vestibulo-version incisive	4,3° (0,6° ; 13,7°)	0,5° (- 4,3° ; 5°)

Dans le cas où l'espace inter-radicaire est faible, la mise en place de l'ancrage osseux en position tubérositaire peut être une alternative pour la distalisation molaire. En ancrage direct, cette technique a l'inconvénient de provoquer une disto-version molaire plus marquée et une rotation de l'arcade maxillaire car l'ancrage se trouve à distance du centre de résistance du maxillaire. La mise en place de mini-implant en position antérieure permet de contrecarrer cette bascule du plan d'occlusion. De plus, l'accès à la zone d'implantation est délicat.

Pour pallier les limites de la distalisation dues à l'insertion de l'ancrage osseux entre les racines dentaires, Lee a décrit une distalisation en utilisant un mini-implant en position infra-zygomatique⁵⁰. Ce type d'ancrage, par sa position verticale, n'entrave pas la distalisation et rend possible la rétraction secondaire sans avoir à replacer le mini-implant. De plus, sa situation proche du centre de résistance permet de diminuer les effets biomécaniques parasites. L'inconvénient de cette technique réside dans

la procédure de mise en place du mini-implant qui reste plus technique qu'une insertion vestibulaire inter-radicaire (Tab. 3).

5. Protraction molaire

5.1. Situation clinique

La première molaire mandibulaire est la dent la plus fréquemment absente chez l'adulte⁵⁷. Face à l'absence de cette molaire, le patient peut interroger son chirurgien-dentiste pour trouver une solution de remplacement. Or, le taux de succès d'un bridge à 20 ans est de 65 à 66,2 %^{24,52} et celui d'un implant à 16 ans est de 82,9 %⁸⁰ sachant que le taux de succès définit le fait que l'implant soit toujours en place. Ces résultats soulignent le caractère non-permanent des restaurations prothétiques. La mésialisation orthodontique à l'aide d'ancrage osseux permet un ancrage optimal pour déplacer une molaire dans l'os mandibulaire dense.

Tableau 3. Comparaison des techniques de distalisation en fonction de la position de l'ancrage osseux¹¹.

Localisation de l'ancrage osseux	Avantages	Inconvénients
Vestibulaire inter-radicaire	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité de pose du mini-implant - Faible coût, pas d'étape laboratoire - Peu de gêne pour le patient - Relative bonne densité osseuse - Distalisation de plus de 3 mm possible en technique à deux temps - Mini-implant utilisable dès l'alignement 	<ul style="list-style-type: none"> - Densité osseuse plus faible qu'en palatin donc forces employées plus faibles - Proximité radicaire - Nécessité éventuelle de repositionnement du mini-implant en cours de traitement
Palatin	<ul style="list-style-type: none"> - Nombreuses techniques possibles - Bonne densité osseuse - Forces employées plus lourdes - Pas d'interférence avec le système dentaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Étape laboratoire obligatoire dans certaines techniques - Coût - Irritation des muqueuses et de la langue - Gestion biomécanique plus complexe
Tubérositaire	<ul style="list-style-type: none"> - En cas d'espaces inter-radicaire insuffisants - Recul en masse possible 	<ul style="list-style-type: none"> - Accès - Densité osseuse faible - Effets parasites biomécaniques plus importants - Évolution des dents de sagesse dans cette zone anatomique
Infra-zygomatique	<ul style="list-style-type: none"> - Un seul ancrage osseux pour la distalisation et la rétraction - Pas d'interférence avec les racines 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'une bonne quantité osseuse au niveau de la corticale vestibulaire - Mise en place de l'ancrage plus technique - Risque de fracture si procédure de pose non respectée

La mise en place d'un mini-implant dans l'espace inter-radicaire de canine et première prémolaire permet une traction horizontale sans interférence entre le mini-implant et la molaire à mésialer.

5.2. Schématisation

Sur la *figure 21a*, la traction en ancrage direct du mini-implant à la molaire s'effectue à l'aide d'une chaînette élastomérique, son vecteur de traction est représenté en rouge. Ce dernier se décompose en un vecteur horizontal en direction antérieure vert et un vecteur vertical en direction gingivale bleu. Les *figures 21b et c* montrent respectivement une vue endobuccale et occlusale d'une protraction molaire mandibulaire sur ancrage osseux.

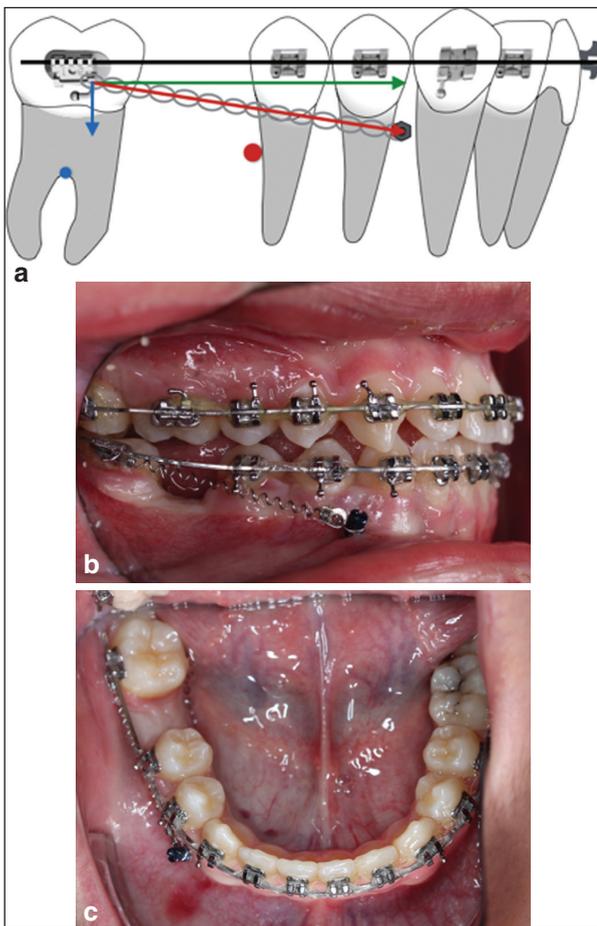


Figure 21

(a) Schématisation de la protraction de molaire mandibulaire sur ancrage osseux en ancrage direct (en bleu est représenté le centre de résistance de la molaire). (b) Vue endobuccale d'une protraction molaire mandibulaire sur ancrage osseux. (c) Même situation clinique en vue occlusale.

5.3. Effets parasites

5.3.1. Dimension antéro-postérieure

Dans la dimension antéro-postérieure s'exprime l'effet indésirable le plus redouté lors de la mécanique de traction⁷. Par l'application de la force de traction sur un point occlusal au centre de résistance de la molaire, un mouvement de méso-version se produit.

La méso-version entraîne un phénomène de friction au niveau du tube molaire. Cet effet de coin entraîne une déformation de l'arc au niveau molaire. Le déplacement est bloqué et la force mésialante de la traction se transmet à l'arc, il en résulte une vestibulo-version incisive par mésialisation de l'arc mandibulaire (*Fig. 22*).

5.3.2. Dimension verticale

Dans la dimension verticale, la méso-version molaire entraîne une égression de celle-ci (*Fig. 23*). Au niveau de l'arcade, le vecteur de traction passe au-dessus du centre de résistance. Il se produit alors une rotation du plan d'occlusion avec ingression antérieure et égression postérieure. Celle-ci peut donc être responsable de l'apparition d'une infraclusion antérieure.

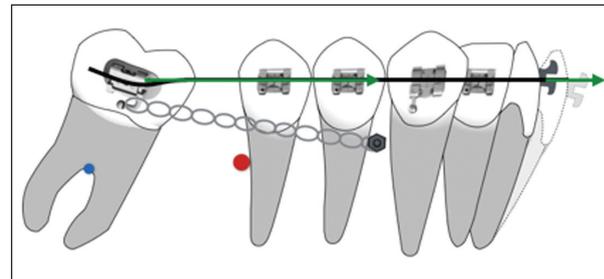


Figure 22

Effet de coin provoqué par la mésoversion de la molaire tractée.

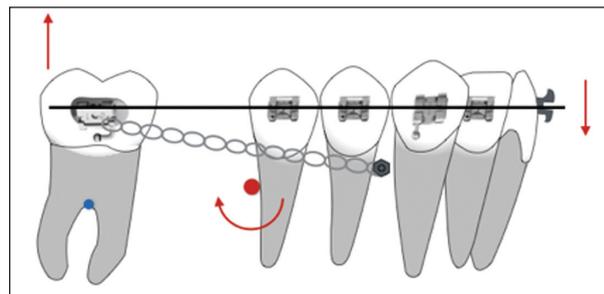


Figure 23

Effets parasites sur l'arcade mandibulaire lors de la protraction molaire avec ancrage direct sur mini-implant.

5.3.3. Dimension transversale

La traction directe sur mini-implant s'appliquant en position vestibulaire par rapport au centre de résistance de la molaire entraîne une rotation méso-linguale de celle-ci. De plus, une linguo-version de la molaire peut entraîner un articulé croisé avec le secteur antagoniste (Fig. 24).

5.4. Résolution

Pour limiter la mésioversion de la molaire lors de sa traction, il est nécessaire de mettre en place un crochet long dans le double tube molaire pour tracter au plus près de son centre de résistance. Celui-ci sera inséré en distal pour favoriser un moment type disto-version (*tip back*). La taille du crochet sera limitée par la profondeur du vestibule. 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 (Fig. 25).

Dans la dimension transversale, la mise en place d'une traction linguale permet de contrebalancer

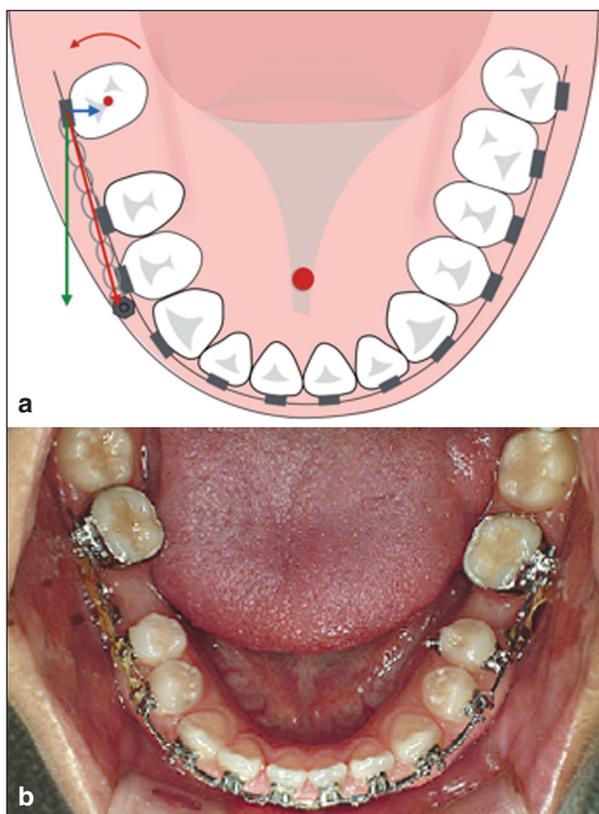


Figure 24

(a) Schématisation de l'effet parasite de rotation méso-linguale de la deuxième molaire mandibulaire par mésialisation sur ancrage osseux. (b) Vue endobuccale similaire, on note la rotation méso-linguale de la 47 suite à sa traction méso-linguale.

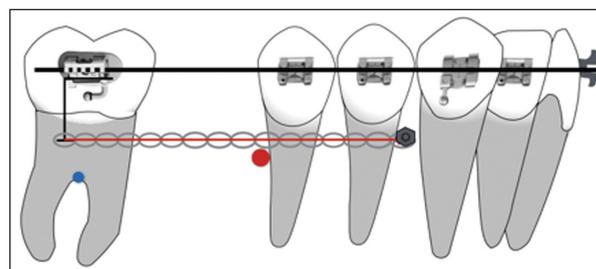


Figure 25

Mésialisation molaire en ancrage direct avec potence longue insérée en distal grâce à un double tube.

la rotation méso-linguale de la molaire. Celle-ci peut être faite par traction élastomérique de la face linguale de la molaire jusqu'à un bouton lingual sur la canine ou directement reliée à l'arc en passant le point de contact entre 2 et 3⁴⁷. Ce dispositif a l'inconvénient d'entraîner une linguo-version incisive si les forces sont excessives⁶² (Fig. 26).

Un arc lingual peut servir de glissière sur laquelle se déplace la molaire à mésialer pour guider son déplacement. Réalisé en fil de diamètre .040'', solidarisé à une bague molaire classique sur la 6 et ayant un tube autorisant le coulissement sur la 7 controlatérale, il est généralement utilisé en cas de fermeture d'espace asymétrique. Si la mésialisation est bilatérale, il faut veiller à déposer ou à adapter l'arc lingual une fois au contact des incisives pour éviter leur vestibulo-version.

Des plis de compensation peuvent être introduits sur l'arc pour contrer les effets parasites : plis de cintrage postérieur (*toe-in* molaire), de disto-version (*tip-back* distal) de la prémolaire pour mésialer sans méso-verser et bloquer le déplacement.

La prise en charge de la troisième molaire, si elle est sur arcade, limite les effets parasites sur la deuxième molaire.

D'autres mécaniques peuvent être utilisées pour pallier les effets parasites de la mécanique en ancrage direct. Le mini-implant peut être solidarisé à la première prémolaire et à la canine par deux bras rigides pour réaliser un ancrage indirect. Cette mécanique entraîne peu (certains vont jusqu'à dire « pas »²⁸) d'effets parasites (type vestibulo-version) du bloc antérieur. La traction sur le plan de l'arc entraîne cependant une mécanique de glissement par version/redressement qui est un facteur de risque de résorption radiculaire²⁸.

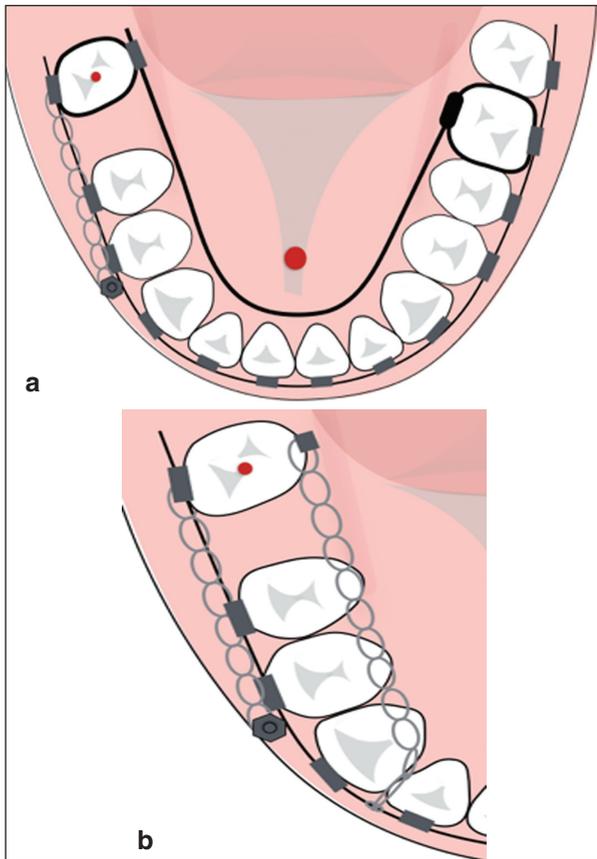


Figure 26

Schématisme des solutions pour limiter la rotation mésiale et la linguo-version de la deuxième molaire lors de sa mésialisation. (a) Arc lingual carré qui sert de glissière autorisant la mésialisation de la 47 tout en empêchant la rotation. (b) Traction en lingual de la molaire contrebalançant sa rotation ; celle-ci peut prendre ancrage sur l'arc entre 2 et 3 ou sur la face linguale de la canine.

5.5. Discussion

La mésialisation de molaires mandibulaires trouve son indication croissante par un fort taux d'extraction des 6 dû aux caries^{26,82,98} et le taux d'agénésies des deuxième prémolaires mandibulaires variant entre 2,5 et 4,0 %^{10,76,95}. Cette solution thérapeutique a été proposée par Stepovich en 1979. La fermeture d'espace se faisait par ancrage réciproque⁸¹. Or, mésialiser une molaire pluriradiculée dans l'os mandibulaire plus dense qu'au maxillaire en technique conventionnelle, sans perte d'ancrage antérieur, représente un challenge orthodontique^{32,47}. Il est nécessaire d'avoir recours à des auxiliaires de redressement sur les dents d'ancrage et de nombreux plis de compensation et dispositifs pour ne pas perdre le milieu inter-incisif et obtenir une linguo-version ou un *tipping* de l'unité d'ancrage. De plus, en cas de fermeture asymétrique,

il y a un risque de modification de la forme d'arcade mandibulaire¹⁵. Dans ces conditions, les mini-implants permettent un ancrage suffisant sans effet sur le secteur antérieur³⁷. De nombreux auteurs ont montré des quantités de mésialisation molaire mandibulaire à l'aide de mini-implants variant de 8 mm pour Nagaraj, *et al.*⁶² à 12 mm pour Baik, *et al.*⁷.

La position du mini-implant varie en fonction des études mais la position entre canine et prémolaire est majoritaire. Certains placent l'ancrage osseux en mésial de l'espace édenté mais cette situation peut bloquer le mouvement en fin de mésialisation⁷. Une position du mini-implant entre canine et incisive latérale entraîne une biomécanique plus complexe du fait du changement de plan d'arcade et le frottement du ressort au niveau de la canine peut entraîner des lésions gingivales²⁸.

La mésialisation orthodontique est une solution thérapeutique intéressante et moins coûteuse que les implants ou les prothèses dentaires 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. En effet, celui-ci est en moyenne de 31,7 mois sur 37 patients selon Kim, *et al.*, avec un taux de déplacement radiculaire de 0,27 mm par mois³⁸. Ces résultats corroborent ceux de Roberts, *et al.* qui ont trouvé un taux de déplacement de 0,33 mm par mois sur cinq adultes⁷⁵.

Certains auteurs ont proposé les bielles de Herbst en renfort d'ancrage pour mésialisation de molaires mandibulaires, en particulier lorsqu'une classe II squelettique est à corriger^{15,22,58}. Metzner, *et al.*⁵⁸ en 2015 comparent ce dispositif à des ancrages osseux temporaires pour la mésialisation molaire à la mandibule en termes de vitesse de fermeture d'espace. Ils observent dans leur étude rétrospective une mésialisation plus rapide sur bielles (0,51 mm/mois) que sur mini-implants (0,35 mm/mois). Les bielles de Herbst ont cependant l'inconvénient d'être irritantes pour les joues du patient et d'entraîner davantage de décollement d'attaches¹³.

La mésialisation molaire peut être obtenue avec une mécanique à boucle sans glissement, associée à un ancrage osseux indirect ou direct^{28,36}. Des déformations de version (*tip back*) et de cintrage (*toe in*) sont associées à la boucle de fermeture pour limiter les effets parasites plus haut. Cette technique a l'avantage de supprimer les effets parasites liés au frottement (système sans friction). Cependant, il

Tableau 4. Auxiliaires et plis de compensation nécessaires en fonction de la mécanique de mésialisation.

Type de mésialisation	Ancrage osseux direct	Ancrage osseux indirect	Boucles sur ancrage osseux	Technique conventionnelle
Disto-version (ou <i>tip back</i>)	X	X	X	X
Cintrage (ou <i>toe in</i>)	X	X	X	X
Potence	X			
Torque négatif incisif				X
Expansion canine				X
Blocage de l'arc secteur controlatéral				X
Traction linguale	X	X		X
Auxiliaire de redressement				X
Avantages	– Fiable, reproductible – Efficace sans coopération	Pas de vestibulo-version antérieure	– Technique sans friction – Mésialisation en translation car plis de compensation renseignés sur la boucle	En cas de refus des mini-implants
Inconvénients	Effets parasites si mal géré	Traction par version/redressement sujette aux résorptions	– Inconfort lié à la taille des boucles – Faible reproductibilité	– Technique fastidieuse – Risque de déformation de la forme d'arcade et perte de milieu inter-incisif

est difficile de contrôler la quantité de force et le moment nécessaire pour effectuer une translation. L'inconfort du patient lié à la taille des boucles est l'inconvénient majeur de ce type de mécanique (Tab. 4).

6. Conclusion

Les mini-implants, excellents moyens d'ancrage, facilitent nos thérapeutiques, les rendant plus efficaces, reproductibles et moins dépendantes de la coopération du patient. Néanmoins, ils ne s'affranchissent en aucun cas des règles de biomécanique orthodontique : leur mise en place n'est pas à elle seule gage de succès thérapeutique. Les effets parasites biomécaniques générés par nos traitements sont à considérer parmi les échecs des mini-implants.

Quatre situations cliniques courantes en technique vestibulaire ont été analysées, décomposées tri-dimensionnellement et solutionnées (Tab. 5).

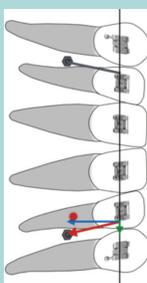
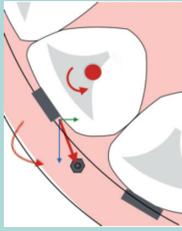
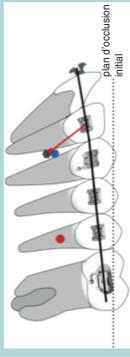
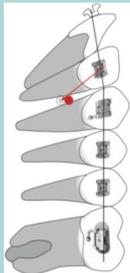
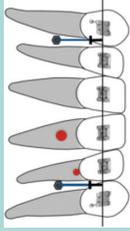
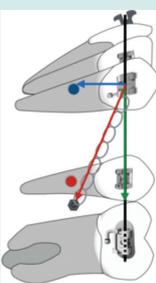
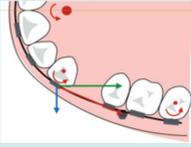
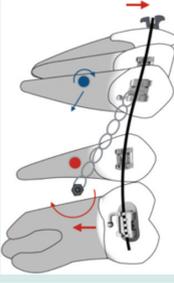
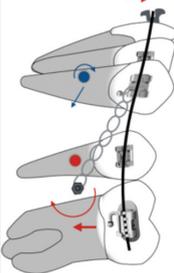
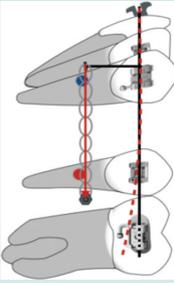
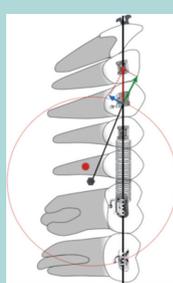
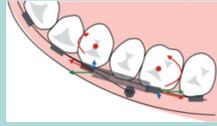
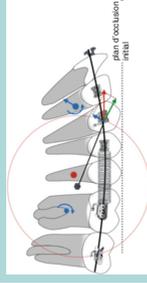
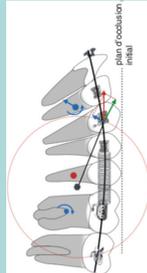
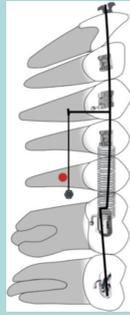
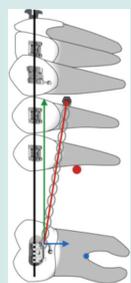
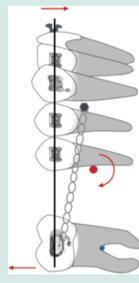
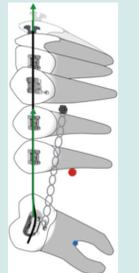
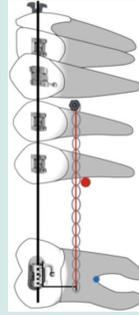
– L'ingression incisive maxillaire en traction directe (mini-implant entre incisives latérales et canines en ancrage direct) peut entraîner une rotation

disto-vestibulaire des dents d'appuis et une vestibulo-version incisive.

- La rétraction incisivo-canine maxillaire (mini-implant entre 5 et 6 en ancrage direct) entraîne une rotation canine voire un décalage des milieux, une rotation horaire du plan d'occlusion et une version des dents adjacentes.
- La distalisation molaire maxillaire en deux temps (mini-implant entre 5 et 6 avec ligature métal jusqu'à la canine) entraîne une rotation des dents adjacentes au ressort, une vestibulo-version incisive et une disto-version molaire.
- La protraction d'une molaire mandibulaire (mini-implant entre 3 et 4 en ancrage direct) entraîne une rotation disto-vestibulaire, un torque corono-lingual et une méso-version de cette molaire, ainsi qu'une vestibulo-version incisive et une rotation horaire du plan d'occlusion.

Les plis de compensation, le choix de l'emplacement et du type de mini-implant, l'utilisation de potence pour se rapprocher du centre de résistance font partie des moyens de résolutions.

Tableau 5. Tableau récapitulatif des effets biomécaniques indésirables et des solutions thérapeutiques pour les éviter.

Situation clinique	Situation clinique pouvant entraîner des effets non souhaités	Conséquence dans la dimension transversale	Conséquence dans la dimension verticale	Conséquence dans la dimension antéro-postérieure	Résolution thérapeutique
Ingression incisive	 <p>Chainette reliée à l'attache incisive</p>	 <p>Rotation de la dent reliée à la mini-vis</p>	 <p>Bascule antihorizontaire du plan d'occlusion</p>	 <p>Vestibulo-version incisive</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - Traction sur crochet - Mini-vis faible émergence ou enfouie - Mini-vis en position distale
Rétraction incisivo-canine après extraction	 <p>Traction directement sur l'attache de canine</p>	 <p>Rotation de la canine et déviation milieu si traction non symétrique</p>	 <p>Égression des incisives et ingression molaire</p>	 <p>Palato-version des incisives et méso-version (ou tip forward) molaire</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - Traction sur crochet au niveau du CR - Plis de compensation
Distalisation molaire maxillaire	 <p>Ligature vis à l'attache antérieure directe</p>	 <p>Rotation des dents adjacentes au ressort</p>	 <p>Ingression du bloc antérieur</p>	 <p>Vestibulo-version du bloc antérieur et disto-version (ou tip back) molaire</p>	 <p>Ligature mini-vis à crochet clipé horizontalement</p>
Protraction molaire mandibulaire	 <p>Traction directe avec une chainette de la molaire au mini-implant</p>	 <p>Linguo-version molaire et rotation méso-linguale</p>	 <p>Égression molaire et ingression incisive</p>	 <p>Mésio-version molaire et vestibulo-version incisive</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - Traction sur potence - Arc lingual, traction linguale associées ou plis compensation

L'analyse fine des forces biomécaniques mises en jeu permet l'identification précoce des effets indésirables afin d'y remédier précocement.

Remerciements

Nous tenons à remercier Un-Bong Baik (Smile with Orthodontic Clinic, 35-5 Songjung-dong, Ecopia B 7F, Seoul 142-100, Korea) et Richard R.J. Cousley (Consultant Orthodontist, Peterborough and Stamford Hospitals NHS Foundation Trust, UK) pour leur aide.

Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

Références

- Aknin J-J. Traitement sans extractions, nouvelles limites, nouveaux moyens. *Orthod Fr* 1995;635-651.
- Alharbi F, Almuzian M, Bearn D. Miniscrews failure rate in orthodontics : systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod* 2018;40:519-530.
- Al-Sibaie S, Hajeer MY. Assessment of changes following en-masse retraction with mini-implants anchorage compared to two-step retraction with conventional anchorage in patients with class II division I malocclusion : a randomized controlled trial. *Eur J Orthod* 2014;36:275-283.
- Al-Thomali Y, Basha S, Mohamed RN. Pendulum and modified pendulum appliances for maxillary molar distalization in Class II malocclusion - a systematic review. *Acta Odontol Scand* 2017;75:394-401.
- Aras I, Tuncer AV. Comparison of anterior and posterior mini-implant-assisted maxillary incisor intrusion : Root resorption and treatment efficiency. *Angle Orthod* 2016;86:746-752.
- Ayadi I, Dallel I, Rejeb SB, Tobji S, Amor FB, *et al*. Ingression orthodontique sur mini-vis d'ancrage. *Orthod Fr* 2018;89:397-410.
- Baik U-B, Chun Y-S, Jung M-H, 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* 2012;141:783-795.
- Basha AG, ShantaraJ R, Moge Gowda SB. Comparative study between conventional en-masse retraction (sliding mechanics) and en-masse retraction using orthodontic micro implant. *Implant Dent* 2010;19:128-136.
- Becker K, Pliska A, Busch C, Wilmes B, Wolf M, *et al*. Efficacy of orthodontic mini-implants for en-masse retraction in the maxilla : a systematic review and meta-analysis. *Int J Implant Dent* 2018;4:35.
- Bergström K. An orthopantomographic study of hypodontia, supernumeraries and other anomalies in school children between the ages of 8-9 years. An epidemiological study. *Swed Dent J* 1977;1:145-157.
- Bernard Granger C. Techniques de distalisation des molaires maxillaires par ancrage osseux maxillaire. Thèse Doct Etat. Lyon : Univ. Claude Bernard-Lyon I, 2015.
- Bourdiol P-M. Mécanique pour vous et moi. *Rev Orthop Dento-Faciale* 1985;19:417-434.
- Bowman AC, Saltaji H, Flores-Mir C, Preston B, Tabbaa S. Patient experiences with the Forsus Fatigue Resistant Device. *Angle Orthod* 2013;83:437-446.
- Burstone CR. Deep overbite correction by intrusion. *Am J Orthod* 1977;72:1-22.
- Chhibber A, Upadhyay M. Anchorage reinforcement with a fixed functional appliance during protraction of the mandibular second molars into the first molar extraction sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;148:165-173.
- Chillès D, Chillès J-G, Riemenschneider-Chillès S, Doustkam A-A. Les micro-vis enfouies, l'ancrage osseux universel. *Orthod Fr* 2016;87:443-455.
- Costopoulos G, Nanda R. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:543-548.
- Cousley R. *The Orthodontic Mini-Implant Clinical Handbook*. New Jersey (USA): John Wiley & Sons, 2013, 184 p.
- Cozzani M, Mazzotta L, Rinchuse DJ, Cozzani P. Asymmetrical mandibular molar protraction with conventional mechanics. *J Clin Orthod* 2015;49:304-311.
- Dardengo C de S, Fernandes LQP, Capelli Júnior J. Frequency of orthodontic extraction. *Dental Press J Orthod* 2016;21:54-59.
- Darque F, Ellouze S. Biomécanique des mini-implants d'ancrage : illustrations cliniques. *Int Orthod* 2007;5:357-392.
- Davoody AR, Feldman J, Uribe FA, Nanda R. Mandibular molar protraction with the Twin Force Bite Corrector in a Class II patient. *J Clin Orthod* 2011;45:223-228.
- Davoody AR, Posada L, Utreja A, Janakiraman N, Neace WP, *et al*. A prospective comparative study between differential moments and miniscrews in anchorage control. *Eur J Orthod* 2013;35:568-576.
- De Backer H, Van Maele G, De Moor N, Van den Berghe L. The influence of gender and age on fixed prosthetic restoration longevity : an up to 18- to 20-year follow-up in an undergraduate clinic. *Int J Prosthodont* 2007;20:579-586.
- Deguchi T, Murakami T, Kuroda S, Yabuuchi T, Kamioka H, *et al*. Comparison of the intrusion effects on the maxillary incisors between implant anchorage and J-hook headgear. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:654-660.
- Demirci M, Tuncer S, Yuceokur AA. Prevalence of caries on individual tooth surfaces and its distribution by age and gender in university clinic patients. *Eur J Dent* 2010;4:270-279.
- Duran GS, Görgülü S, Dindaroğlu F. Three-dimensional analysis of tooth movements after palatal miniscrew-supported molar distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;150:188-197.
- Ellouze S, Darque F. *Mini-Implant : L'orthodontie de demain*. Paris : Quintessence International, 2012, 250 p.
- Faure J. *Biomécanique Orthodontique*. Les Ulis : EDP Sciences, 2011, 132 p.
- Garg KK, Gupta M. Assessment of stability of orthodontic mini-implants under orthodontic loading : A computed tomography study. *Indian J Dent Res* 2015;26:237-243.
- Gelgor IE, Karaman AI, Buyukyilmaz T. Comparison of 2 distalization systems supported by intraosseous screws. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:161.e1-8.

32. Iino S, Sakoda S, Ito G, Nishimori T, Ikeda T, *et al.* Acceleration of orthodontic tooth movement by alveolar corticotomy in the dog. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:448.e1-8.
33. Jackson TH, Guez C, Lin F-C, Proffit WR, Ko C-C. Extraction frequencies at a university orthodontic clinic in the 21st century : Demographic and diagnostic factors affecting the likelihood of extraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:456-462.
34. Jain RK. Comparison of Intrusion Effects on Maxillary Incisors Among Mini Implant Anchorage, J-Hook Headgear and Utility Arch. *J Clin Diagn Res* 2014;8(7):ZC21-24.
35. Janson G, Maria FRT, Bombonatti R. Frequency evaluation of different extraction protocols in orthodontic treatment during 35 years. *Prog Orthod* 2014;15:51.
36. Kim M-J, Park JH, Kojima Y, Tai K, Chae J-M. A finite element analysis of the optimal bending angles in a running loop for mesial translation of a mandibular molar using indirect skeletal anchorage. *Orthod Craniofac Res* 2018;21:63-70.
37. Kim S-H, Kook Y-A, Jeong D-M, Lee W, Chung K-R, *et al.* Clinical application of accelerated osteogenic orthodontics and partially osseointegrated mini-implants for minor tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:431-439.
38. Kim S-J, Sung E-H, Kim J-W, Baik H-S, Lee K-J. Mandibular molar protraction as an alternative treatment for edentulous spaces. *J Am Dent Assoc* 2015;146:820-829.
39. Kim TK, Kim JT, Mah J, Yang WS, Baek SH. First or second premolar extraction effects on facial vertical dimension. *Angle Orthod* 2005;75:177-182.
40. Kinzinger G, Fuhrmann R, Gross U, Diedrich P. Modified pendulum appliance including distal screw and uprighting activation for non-compliance therapy of Class-II malocclusion in children and adolescents. *J Orofac Orthop* 2000;61:175-190.
41. Kinzinger GSM, Eren M, Diedrich PR. Treatment effects of intraoral appliances with conventional anchorage designs for non-compliance maxillary molar distalization : a literature review. *Eur J Orthod* 2008;30:558-571.
42. Kinzinger GSM, Fritz UB, Sander F-G, Diedrich PR. Efficiency of a pendulum appliance for molar distalization related to second and third molar eruption stage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:8-23.
43. Kinzinger GSM, Gross U, Fritz UB, Diedrich PR. Anchorage quality of deciduous molars versus premolars for molar distalization with a pendulum appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:314-323.
44. Kinzinger GSM, Wehrbein H, Diedrich PR. Molar distalization with a modified pendulum appliance - in vitro analysis of the force systems and in vivo study in children and adolescents. *Angle Orthod* 2005;75:558-567.
45. Kircelli BH, Pektaş ZO, Kircelli C. Maxillary molar distalization with a bone-anchored pendulum appliance. *Angle Orthod* 2006;76:650-659.
46. Kocadereli I. The effect of first premolar extraction on vertical dimension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:41-45.
47. Kravitz ND, Jolley T. Mandibular Molar Protraction with Temporary Anchorage Devices. *JCO* 2008;42:351-355.
48. Kuroda S, Yamada K, Deguchi T, Kyung H-M, Takano-Yamamoto T. Class II malocclusion treated with miniscrew anchorage : Comparison with traditional orthodontic mechanics outcomes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:302-309.
49. Lee JS, Kim KJ, Park Y-C, Vanardall RL. Applications of Orthodontic Mini-Implants. Illinois: Quintessence Publishing Co, 2007,274 p.
50. Lee J-Y. Distalisation des molaires utilisant des mini-vis d'ancrage placées verticalement. *Orthod Fr* 2012;83:257-266.
51. Lee K-J, Park Y-C, Hwang C-J, Kim Y-J, Choi T-H, *et al.* Displacement pattern of the maxillary arch depending on miniscrew position in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:224-232.
52. Lindquist E, Karlsson S. Success rate and failures for fixed partial dentures after 20 years of service : Part I. *Int J Prosthodont* 1998;11:133-138.
53. Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:35-43.
54. Liou EJW, Pai BCJ, Lin JCY. Do miniscrews remain stationary under orthodontic forces ? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:42-47.
55. Liu YH, Ding WH, Liu J, Li Q. Comparison of the differences in cephalometric parameters after active orthodontic treatment applying mini-screw implants or transpalatal arches in adult patients with bialveolar dental protrusion. *J Oral Rehabil* 2009;36:687-695.
56. Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GSM, *et al.* Anatomical guidelines for miniscrew insertion : palatal sites. *J Clin Orthod* 2011;45:433-441; quiz 467.
57. Meskin LH, Brown LJ. Prevalence and patterns of tooth loss in U.S. employed adult and senior populations, 1985-86. *J Dent Educ* 1988;52:686-691.
58. Metzner R, Schwestka-Polly R, Helms HJ, Wiechmann D. Comparison of anchorage reinforcement with temporary anchorage devices or a Herbst appliance during lingual orthodontic protraction of mandibular molars without maxillary counterbalance extraction. *Head Face Med* 2015;11:22.
59. Mohamed RN, Basha S, Al-Thomali Y. Maxillary molar distalization with miniscrew-supported appliances in Class II malocclusion : A systematic review. *Angle Orthod* 2018;88:494-502.
60. Mulligan TF. Du bon usage de la mécanique en orthodontie. *Rev Orthop Dento Faciale* 1982;16:299-305.
61. Nabbout F, Faure J, Baron P, Braga J, Treil J. Centres de résistance des groupes dentaires et mécanique orthodontique : 1. Détermination des centres de résistance. *Int Orthod* 2007;5:437-446.
62. 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* 2008;134:583-591.
63. Nanda R. Correction of deep overbite in adults. *Dent Clin North Am* 1997;41:67-87.
64. Nanda R. Esthetics and Biomechanics in Orthodontics. 2nd ed. Saunders; 2015.
65. Nanda R, Uribe FA. Temporary Anchorage Devices in Orthodontics. Mosby; 2009.
66. Ng J, Major PW, Heo G, Flores-Mir C. True incisor intrusion attained during orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:212-219.
67. Onçağ G, Seçkin O, Dinçer B, Arıkan F. Osseointegrated implants with pendulum springs for maxillary molar distalization: a cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:16-26.

68. Paik C-H, Park H-S, Ahn H-W. Treatment of vertical maxillary excess without open bite in a skeletal Class II hyperdivergent patient. *Angle Orthod* 2017;87:625-633.
69. Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA. Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:577-595.e7.
70. Pedersen E, Isidor F, Gjessing P, Andersen K. Location of centres of resistance for maxillary anterior teeth measured on human autopsy material. *Eur J Orthod* 1991;13:452-458.
71. Pernier CM, Challe EJ, Gebeile-Chauty SM, Aknin J-J. Traitements interceptifs de la classe II en denture mixte : thérapeutiques intra-orales de distalisation. *Orthod Fr* 2006;77:139-149.
72. Philippe J. La supraclusion et ses traitements. Editions S.I.D.; 1995.
73. Polat-Ozsoy Ö, Kircelli BH, Arman-Özçırpıcı A, Pektaş ZÖ, Uçkan S. Pendulum appliances with 2 anchorage designs: Conventional anchorage vs bone anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:339.e9-339.e17.
74. Ricketts RM. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs. Part I. *Am J Orthod* 1976;70:241-268.
75. Roberts WE, Arbuckle GR, Analoui M. Rate of mesial translation of mandibular molars using implant-anchored mechanics. *Angle Orthod* 1996;66:331-338.
76. Rølling S. Hypodontia of permanent teeth in Danish schoolchildren. *Scand J Dent Res* 1980;88:365-369.
77. Rudolph DJ, Willes PMG, Sameshima GT. A finite element model of apical force distribution from orthodontic tooth movement. *Angle Orthod* 2001;71:127-131.
78. Sandler J, Murray A, Thiruvengkatachari B, Gutierrez R, Speight P, *et al.* Effectiveness of 3 methods of anchorage reinforcement for maximum anchorage in adolescents: A 3-arm multicenter randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;146:10-20.
79. Saxena R, Kumar PS, Upadhyay M, Naik V. A clinical evaluation of orthodontic mini-implants as intraoral anchorage for the intrusion of maxillary anterior teeth. *World J Orthod* 2010;11:346-351.
80. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long-term implant survival and success: a 10-16-year follow-up of non-submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:772-777.
81. Stepovich ML. A clinical study on closing edentulous spaces in the mandible. *Angle Orthod* 1979;49:227-233.
82. Susin C, Haas AN, Opermann RV, Albandar JM. Tooth loss in a young population from south Brazil. *J Public Health Dent* 2006;66:110-115.
83. Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ. Moment to force ratios and the center of rotation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:426-431.
84. Upadhyay M, Yadav S, NagaraJ K, Patil S. Treatment effects of mini-implants for en-masse retraction of anterior teeth in bialveolar dental protrusion patients: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:18-29.e1.
85. Upadhyay M, Yadav S, Patil S. Mini-implant anchorage for en-masse retraction of maxillary anterior teeth: a clinical cephalometric study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:803-810.
86. Van Steenberghe E, Burstone CJ, Prah-Andersen B, Aartman IHA. The influence of force magnitude on intrusion of the maxillary segment. *Angle Orthod* 2005;75:723-729.
87. Van Steenberghe E, Burstone CJ, Prah-Andersen B, Aartman IHA. The relation between the point of force application and flaring of the anterior segment. *Angle Orthod* 2005;75:730-735.
88. Van Steenberghe E, Burstone CJ, Prah-Andersen B, Aartman IHA. The role of a high pull headgear in counteracting side effects from intrusion of the maxillary anterior segment. *Angle Orthod* 2004;74:480-486.
89. Van den Bulcke MM, Dermaut LR, Sachdeva RC, Burstone CJ. The center of resistance of anterior teeth during intrusion using the laser reflection technique and holographic interferometry. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1986;90:211-220.
90. Victor D, Prabhakar R, Karthikeyan MK, Saravanan R, Vanathi P, *et al.* Effectiveness of mini implants in three-dimensional control during retraction - a clinical study. *J Clin Diagn Res* 2014;8:227-232.
91. Wang X-D, Zhang J-N, Liu D-W, Lei F, Liu W, *et al.* Nonsurgical correction using miniscrew-assisted vertical control of a severe high angle with mandibular retrusion and gummy smile in an adult. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:978-988.
92. Weiland FJ, Bantleon H-P, Droschl H. Evaluation of continuous arch and segmented arch leveling techniques in adult patients - a clinical study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;110:647-652.
93. Weltman B, Vig KWL, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:462-476.
94. Wilmes B, Drescher D. Application and effectiveness of the Beneslider: a device to move molars distally. *World J Orthod* 2010;11:331-340.
95. Wisth PJ, Thunold K, Bøe OE. Frequency of hypodontia in relation to tooth size and dental arch width. *Acta Odontol Scand* 1974;32:201-206.
96. Woods MG. The mechanics of lower incisor intrusion: experiments in nongrowing baboons. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;93:186-195.
97. Yamada K, Kuroda S, Deguchi T, Takano-Yamamoto T, Yamashiro T. Distal Movement of Maxillary Molars Using Miniscrew Anchorage in the Buccal Interradicular Region. *Angle Orthod* 2009;79:78-84.
98. Zhu Y, Hollis JH. Tooth loss and its association with dietary intake and diet quality in American adults. *J Dent* 2014;42:1428-1435.