



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

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

**UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON 1
U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2026

Thèse n° 2026LYO1D024

THESE

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

Présentée et soutenue publiquement le 12 mai 2026

Par

Valentine DRIZARD

Née le 14 juillet 1998, à Chenôve (21300)

**ANCRAGES OSSEUX PALATINS EN ORTHODONTIE : EFFETS
SQUELETTIQUES, DENTO-ALVEOLAIRES, PARODONTAUX ET
FONCTIONNELS – UNE REVUE SYSTEMATIQUE DES ESSAIS
RANDOMISES.**

JURY

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN

Président

Madame le Docteur Sarah CHAUTY

Assesseur

Madame le Docteur Claire PERNIER

Assesseur

Madame le Docteur Elisa LALLEMAND

Assesseur

**UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON 1
U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2026

Thèse n° 2026LYO1D024

THESE

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

Présentée et soutenue publiquement le 12 mai 2026

Par

Valentine DRIZARD

Née le 14 juillet 1998, à Chenôve (21300)

**ANCRAGES OSSEUX PALATINS EN ORTHODONTIE : EFFETS
SQUELETTIQUES, DENTO-ALVEOLAIRES, PARODONTAUX ET
FONCTIONNELS – UNE REVUE SYSTEMATIQUE DES ESSAIS
RANDOMISES.**

JURY

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN

Président

Madame le Docteur Sarah CHAUTY

Assesseur

Madame le Docteur Claire PERNIER

Assesseur

Madame le Docteur Elisa LALLEMAND

Assesseur



UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

PRESIDENT DE L'UCBL	Bruno LINA
Directrice Générale des Services	Séverine BATTIN
VICE-PRESIDENTS ET VICE-PRESIDENTES ELUS	
Conseil d'Administration	Sandrine CHARLES
Commission de la Recherche du Conseil Académique	Arnaud BRIOUDE
Commission de la Formation et de la Vie Universitaire du Conseil Académique	Julie-Anne CHEMELLE
En charge des Ressources Humaines	Fabien DE MARCHI
En charge de la Transition Écologique et de la Responsabilité Sociétale	Gilles ESCARGUEL
En charge des Relations avec les Hospices Civils de Lyon et les Partenaires Hospitaliers	Frédéric BERARD

SECTEUR SANTE

Président du Comité de Coordination des Études Médicales	Philippe PAPAREL
Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est	Gilles RODE
Doyen de l'UFR de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux	Philippe PAPAREL
Directeur de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISPB)	Claude DUSSART
Doyen de l'UFR d'Odontologie	Jean-Christophe MAURIN
Directeur de l'Institut des Sciences & Techniques de Réadaptation (ISTR)	Jacques LUAUTÉ

MAJ : 20 avril 2026



SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Directrice de l'UFR Biosciences	Kathrin GIESELER
Directeur de l'UFR Faculté des Sciences	Olivier DEZELLUS
Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	Guillaume BODET
Directeur de Polytech Lyon	Jean-Baptiste POURET
Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)	Michel MASSENZIO
Administratrice provisoire de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)	Esterina MASIELLO
Directeur de l'Observatoire de Lyon	Emanuela MATTIOLI
Directeur de l'Institut National Supérieur du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)	Thierry TERRET
Directrice du Département-composante Génie Électrique & des Procédés (GEP)	Sophie CAVASSILA
Directrice du Département-composante Informatique	Saida BOUAZAK BRONDEL
Directeur du Département-composante Mécanique	Marc BUFFAT

MAJ : 20 avril 2026

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyen : Pr. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités-Praticien hospitalier

Vice-Doyens : Pr. Maxime DUCRET, Professeur des Universités - Praticien hospitalier
Pr. Brigitte GROSGOGEAT, Professeure des Universités - Praticien hospitalier
Pr. Cyril VILLAT, Professeur des Universités - Praticien hospitalier

SOUS-SECTION 56-01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur Emérite des Universités-PH : M. Jean-Jacques MORRIER,
Professeure des Universités-PH : Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE
Maîtres de Conférences-PH : Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER
Mme Guillemette LIENHART

SOUS-SECTION 56-02 : PREVENTION – EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE – ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités-PH : M. Denis BOURGEOIS
Maître de Conférences-PH : M. Bruno COMTE
Maîtres de Conférences Associés : M. Laurent LAFOREST, Mme Valérie SZÖNYI

SOUS-SECTION 57-01 : CHIRURGIE ORALE – PARODONTOLOGIE – BIOLOGIE ORALE

Professeurs des Universités-PH : M. Jean-Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH
M. Arnaud LAFON, M. François VIRARD
Maîtres de Conférences-PH : Mme Doriane CHACUN, M. Thomas FORTIN
Mme Kadiatou SY

SOUS-SECTION 58-01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESE, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeure Émérite des Universités-PH : Mme Dominique SEUX
Professeurs des Universités-PH : M. Maxime DUCRET, Mme Brigitte GROSGOGEAT-BALAYRE,
M. Christophe JEANNIN, M. Jean-Christophe MAURIN,
Mme Catherine MILLET, Mme Sarah MILLOT-GUARD,
M. Olivier ROBIN, M. Cyril VILLAT
Maîtres de Conférences-PH : Mme Marie-Agnès GASQUI DE SAINT-JOACHIM
Mme Marion LUCCHINI, M. Raphaël RICHERT,
Mme Sophie VEYRE, M. Stéphane VIENNOT
Maîtres de Conférences Associés : Mme Marjorie FAURE, Mme Marie TOHME

SECTION 87 : SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES

Professeure des Universités : Mme Florence CARROUEL

20 avril 2026

Remerciements

À notre président de jury,

Monsieur le Professeur Olivier ROBIN,
Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon
Praticien-Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur d'État en Odontologie
Doyen Honoraire de l'UFR d'Odontologie de Lyon
Habilitation à Diriger des Recherches

*Je vous exprime ma plus profonde gratitude pour
l'honneur que vous me faites en acceptant de présider
cette thèse.*

*J'ai toujours été particulièrement sensible à la qualité
de nos échanges ainsi qu'à votre bienveillance.*

*Je vous suis très reconnaissante de l'intérêt que vous
portez à ce travail et du temps que vous lui consacrez.*

À notre Directeur de thèse

Madame le Docteur Sarah CHAUTY,
Maitre de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon
Praticien Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Ancien Interne en Odontologie
Spécialiste Qualifié en ODF

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de diriger ce travail.

Je vous remercie également pour l'accompagnement que vous m'avez accordé durant mon internat.

J'ai particulièrement apprécié de pouvoir travailler à vos côtés, ainsi que la richesse de nos échanges, toujours constructifs et ouverts.

Votre attachement à la spécialité, votre disponibilité et l'attention que vous avez apporté à ce travail sont précieux pour moi.

Je vous en suis profondément reconnaissante.

À notre jury de thèse,

Madame le Docteur Claire PERNIER,
Maitre de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon
Praticien Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Ancien Interne en Odontologie
Spécialiste Qualifié en ODF
Responsable du département pédagogique d'ODF

*Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de siéger
au sein de ce jury.*

*J'ai pleinement mesuré, au cours de ces années, la
richesse de vos enseignements et la qualité de votre
expertise dont j'ai eu le privilège de bénéficier.*

*Votre sens clinique et vos conseils avisés ont
largement contribué à structurer ma pratique.*

*Soyez assurée de ma gratitude et de mon plus profond
respect.*

À notre jury de thèse

Madame le Docteur Elisa LALLEMAND,
Chef de clinique des Universités – Assistant Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Spécialiste Qualifié en ODF

Je te remercie d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury.

Je te remercie également sincèrement pour la qualité de nos échanges en clinique, toujours particulièrement riches en réflexion et stimulants, dans un esprit à la fois d'ouverture et de rigueur.

Je tiens également à te dire toute mon admiration pour ton engagement dans notre spécialité ainsi que pour ta bienveillance et ton humour, qui te distinguent au quotidien.

Madame le Professeur Carole Charavet,
Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Nice,
Praticien-Hospitalier,
Docteur en Chirurgie Dentaire,
Habilité à Diriger des Recherches,
Spécialiste Qualifié en ODF,
Responsable du département pédagogique d'ODF de Nice,

Je tiens à vous remercier sincèrement pour l'aide précieuse que vous m'apportez dans la réalisation de ce travail. Vos remarques, toujours pertinentes, ont joué un rôle essentiel en m'aidant à donner du sens et de la cohérence à cette revue systématique.

Table des matières

1. Introduction	1
2. Matériels et méthodes	2
2.1. <i>Enregistrement du protocole</i>	<i>2</i>
2.2. <i>Question de recherche et critères d'éligibilité</i>	<i>2</i>
2.3. <i>Stratégie de recherche (électronique et manuelle) et sources d'information</i>	<i>5</i>
2.4. <i>Sélection des études</i>	<i>5</i>
2.5. <i>Recueil des données</i>	<i>6</i>
2.6. <i>Évaluation des risques de biais.....</i>	<i>8</i>
2.7. <i>Appréciation du niveau de preuve selon l'approche GRADE.....</i>	<i>8</i>
3. Résultats.....	8
3.1. <i>Recherche de la littérature</i>	<i>8</i>
3.2. <i>Caractéristiques des études sélectionnées</i>	<i>9</i>
3.2.1. <i>Caractéristiques générales.....</i>	<i>9</i>
3.2.2. <i>Protocoles et critères de jugement</i>	<i>23</i>
3.2.3. <i>Résultats des biais</i>	<i>24</i>
3.2.4. <i>Résultats des études individuelles</i>	<i>26</i>
3.2.5. <i>Synthèse des résultats.....</i>	<i>26</i>
3.2.6. <i>Certitude globale des preuves (approche GRADE).....</i>	<i>26</i>
4. Discussion	32
5. Conclusion	39
Références bibliographiques	41

1. Introduction

Depuis deux décennies, les ancrages osseux temporaires (*Temporary Anchorage Devices*, TADs) ont profondément transformé la pratique orthodontique en offrant un ancrage stable, mini-invasif et réversible (1). Initialement développés pour pallier les limites de l'ancrage dentaire naturel, ces dispositifs ont progressivement élargi leur champ d'application, notamment dans les traitements nécessitant un contrôle squelettique important, comme les expansions maxillaires non chirurgicales, les mouvements de protraction du maxillaire ou les distalisations en masse.

Parmi les différentes localisations possibles, le palais s'est rapidement imposé comme un site d'ancrage de choix (1). Sa corticale dense, son éloignement des racines et la stabilité qu'il confère ont permis le développement de dispositifs innovants tels que les systèmes d'expansion palatine assistée par mini-vis (MARPE : Mini screw Assisted Rapid Palatal Expansion), les distracteurs hybrides de type Hyrax, ainsi que certaines mécaniques de traction orthopédique non chirurgicale. Ces approches ont permis d'étendre les indications des traitements orthopédiques, notamment chez l'adolescent et le jeune adulte, et de repousser les limites des thérapeutiques conventionnelles (2), y compris dans des situations cliniques complexes telles que les syndromes de Brodie ou les déficits transversaux sévères.

L'usage de ces TADs palatins ne se limite toutefois pas à la seule correction squelettique. Leur impact potentiel s'étend à d'autres domaines :

- **Effets dentoalvéolaires** liés aux différentes modalités d'expansion, de distalisation et de traction de dents incluses,
- **Répercussions parodontales et tissulaires**, notamment au niveau de la muqueuse palatine et des zones d'insertion des mini-vis,
- **Impact sur la fonction ventilatoire et les voies aériennes supérieures**, notamment dans le cadre des expansions palatines assistées par mini-vis,
- **Retentissement sur la qualité de vie et le confort des patients**, critère de plus en plus central dans l'évaluation des dispositifs orthodontiques modernes.

Si au début des années 2000, le nombre de publications concernant l'ancrage osseux sur TADs était nul ou quasi nul, ce nombre a augmenté crescendo pour atteindre plus de 50 publications

en 2024 et en 2025 avec un nombre doublé des publications entre 2023 et 2024. Et pour cause, en plus des indications à visée orthodontique, s'ajoutent désormais les indications orthopédiques (MARPE), fronde mentonnière à appui osseux... Les revues systématiques existantes portant sur les ancrages palatins (3)(4)(5) suggèrent des bénéfices cliniques de ces ancrages, mais soulignent également un niveau de preuve encore insuffisant pour établir des recommandations cliniques robustes et consensuelles. De plus, le nombre limité d'études disponibles par indication et la diversité des critères de jugement rendent nécessaire une synthèse critique afin de mieux appréhender le niveau de preuve actuel. Une synthèse actualisée est donc justifiée pour dégager les principales conclusions issues des essais cliniques des trois dernières années, période particulièrement riche en essais cliniques randomisés, en études tridimensionnelles et en analyses centrées sur le patient.

L'objectif de cette revue systématique était d'évaluer les effets squelettiques, parodontaux, fonctionnels et subjectifs associés à l'utilisation des ancrages osseux temporaires palatins en orthodontie.

2. Matériels et méthodes

2.1. Enregistrement du protocole

Cette revue systématique a été conduite selon les recommandations PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) 2020 (Page et al., 2021) (6). Le protocole a été enregistré dans la base de données internationales PROSPERO (*Prospective Register of Systematic Review*, CRD420261348463). Ce travail a été réalisé dans le cadre du cursus d'internat et n'a fait l'objet d'aucun financement extérieur.

2.2. Question de recherche et critères d'éligibilité

Cette revue systématique avait pour objectif de répondre à la question de recherche suivante : « Quels sont, selon la littérature récente, les effets squelettiques, parodontaux, fonctionnels et subjectifs associés à l'utilisation des ancrages osseux temporaires palatins en orthodontie ? ».

Une fois la question de recherche formulée, la définition de la PICOS (Population, Intervention, Comparaison, Outcome, Study design) a été établie :

- P (Population/Problème) : patients sains en croissance ou jeunes adultes nécessitant un traitement orthodontique/orthopédique impliquant des mini vis palatines,
- I (Intervention) : utilisation de mini vis palatines (seules ou intégrées à un dispositif type MARPE, C-plate, Hybrid Hyrax, etc...) comme ancrage orthodontique,
- C (Comparaison) : ancrage dentaire conventionnel, mini plaques extra-palatines, autres types de mini-implants (vestibulaires par exemple) ou absence de comparateur,
- O (*Outcome*) : effets cliniques dento-squelettiques et/ou parodontaux rapportés (mesurés par CBCT, céphalométrie...), la tolérance et la douleur par suite d'une expansion, distalisation, protraction maxillaire, rétraction incisive, etc...
- S (*study design*) : études cliniques prospectives contrôlées randomisées.

Les critères d'inclusion et de non-inclusion ont été définis avant le début de la recherche bibliographique et appliqués de manière identique par les deux investigateurs (le Docteur Sarah Gebeile-Chauty et Valentine Drizard, interne en Orthopédie Dento-Faciale).

Les critères d'inclusion des études pour cette revue systématique ont été définis selon les critères suivants : essais cliniques prospectifs contrôlés randomisés dans une fenêtre temporelle de publication ≤ 3 ans.

Les critères de non-inclusion ont regroupé : les essais cliniques prospectifs contrôlés non randomisés, les études *in vivo* non comparatives, les séries de cas, les rapports d'un cas, les études transversales, les études animales, les études *in vitro*, les revues systématiques et les méta-analyses, les opinions d'auteurs, les avis d'experts, les questionnaires et les éditoriaux.

Les critères d'inclusion/non inclusion des patients ont été définis selon les critères suivants : les patients présentant des syndromes ou des fentes labio-palatines, ceux traités avec des ancrages non conformes à notre PICOS. ou appartenant à des protocoles dont la comparaison était non pertinente. Ont également été exclus les patients inclus dans des études centrées principalement sur la sélection du site d'ancrage ainsi que ceux pour lesquels aucun résultat clinique dento-squelettique, parodontal ou lié à la douleur n'était disponible.

Ces différents critères sont détaillés dans le tableau 1.

Tableau 1: Critères d'éligibilité

	Critères d'inclusion	Critère de non-inclusion	Critères d'exclusion
Population	Patients sains, en croissance ou jeunes adultes, nécessitant un traitement orthodontique/orthopédique impliquant des mini-vis palatines		Population spécifique : études sur patients syndromiques ou avec fentes labio-palatines.
Intervention	Traitement comportant des mini-vis palatines (seules ou intégrées à un dispositif type MARPE, C-plate, Hybrid Hyrax, etc...) comme ancrage orthodontique		<p><u>Ancrage non conforme :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - mini-vis vestibulaires seules (inter-radiculaires, infra-zygomatiques...); - mini-plaques extra palatines (BAMP, zygomatiques) sans mini-vis palatines <p><u>Comparaison non pertinente :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - études où tous les groupes utilisent des mini-vis palatines et où la seule variable est l'ajout d'ancrages vestibulaires <p><u>Objectif hors champ clinique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - études centrées sur la sélection de site
Comparaison	Ancrage dentaire conventionnel, mini-plaques extra-palatines, autres types de mini-implants (vestibulaires par exemple) ou pas de comparateur		
Outcome	Effets cliniques dento-squelettiques et/ou parodontaux rapportés (mesurés par CBCT, céphalométrie...), tolérance ou douleur par suite d'une expansion, distalisation, protraction maxillaire, rétraction incisives, etc...		<i>Outcome</i> insuffisant : pas de résultats cliniques dento-squelettiques ou parodontaux, pas de résultats sur la douleur et la tolérance exploitables.
Study design	Essais cliniques prospectifs randomisés	Essais cliniques prospectifs contrôlés non randomisés, les études <i>in vivo</i> non comparatives, séries de cas, les rapports d'un cas, études transversales, études animales, études <i>in vitro</i> , revues systématiques et méta-analyses, opinions d'auteurs, avis d'experts, questionnaires et éditoriaux	

2.3. Stratégie de recherche (électronique et manuelle) et sources d'information

Afin de sélectionner des études répondant à notre problématique, une réflexion menée par trois investigateurs (Sarah Gebeile-Chauty, Valentine Drizard et Carole Charavet) autour de la mise en place d'une équation de recherche précise comprenant des opérateurs booléens et des mots clés a été engagée, et a donné lieu à l'équation suivante :

(TADs OR miniplate OR plate OR miniscrew OR bone screw OR ancrage OR mini-implant OR MARPE) AND (palatal) AND (orthodontics)

Cette équation a été utilisée dans les bases de données de différents moteurs de recherche : *PubMed, Embase et Cochrane Central Register of Controlled trials (CENTRAL)*.

La recherche électronique a couvert la période comprise entre janvier 2022 et septembre 2025. Les filtres appliqués limitaient les résultats aux études réalisées chez l'humain, publiées en langue anglaise et identifiées comme essais cliniques randomisés. La recherche informatique a été conduite pour la dernière fois le 21/09/2025. En complément de la recherche électronique, une recherche manuelle a été effectuée, en se basant sur l'ensemble des références citées dans les articles validés sur le titre et le résumé.

2.4. Sélection des études

Afin d'établir l'éligibilité des études, l'évaluation des articles sélectionnés a été réalisée en 3 étapes, après élimination des doublons entre les bases de données à l'aide d'un logiciel de références bibliographiques (Zotero).

Dans un premier temps, les articles ont été sélectionnés en se basant sur leur titre, puis leur résumé et enfin la lecture complète de l'article.

Deux investigateurs (Sarah Gebeile-Chauty et Valentine Drizard) ont participé à chaque étape de manière indépendante.

L'ensemble du flux de sélection est synthétisé dans le diagramme PRISMA 2020 présenté en Figure 1.

2.5. Recueil des données

Les données ont été récupérées de manière indépendante en doublons par deux investigateurs (Sarah Gebeile-Chauty et Valentine Drizard) à partir des articles ayant rempli les critères d'inclusion, selon l'approche PICOS.

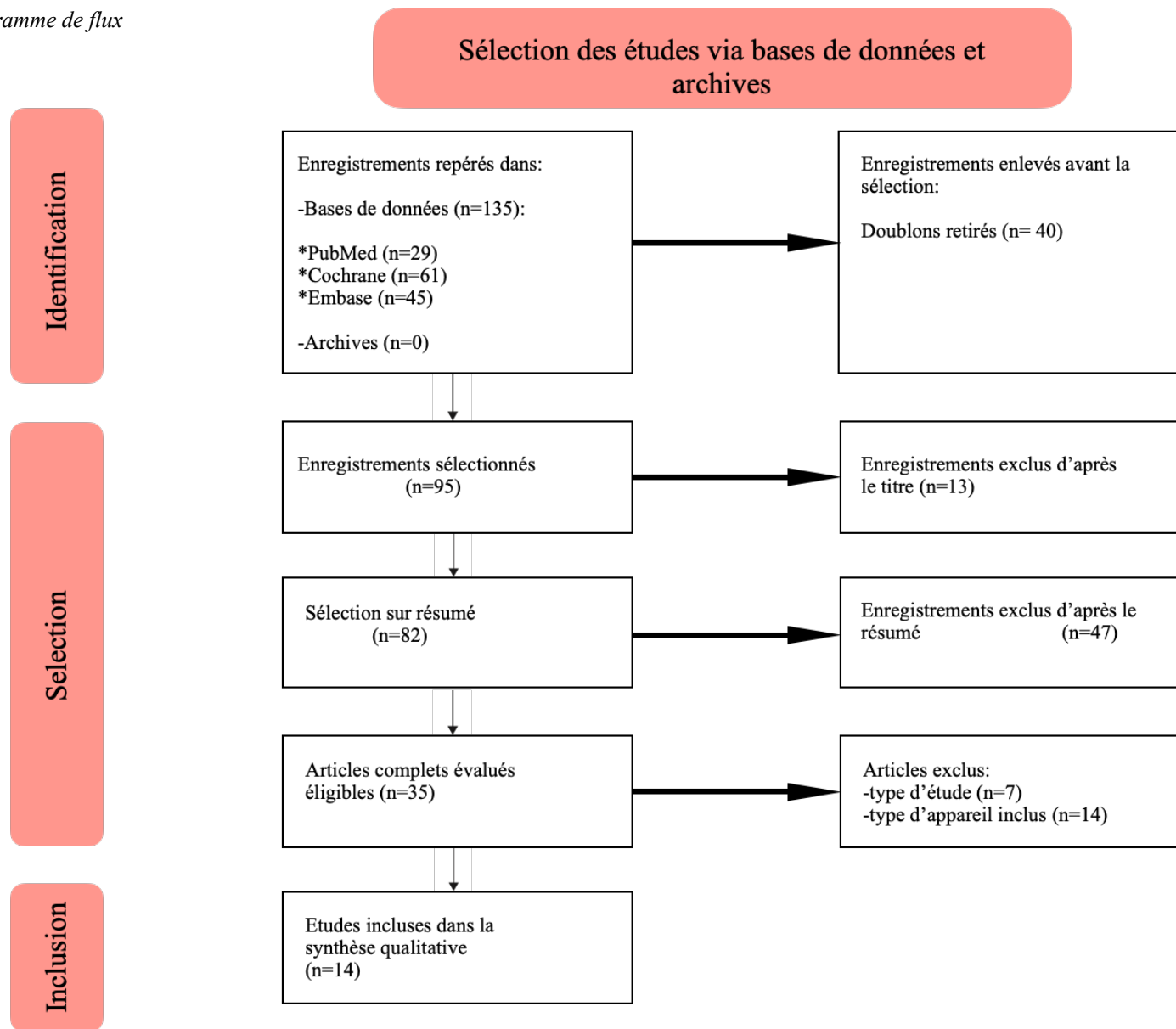
Pour chaque étude incluse, les variables suivantes ont été recueillies :

- Informations générales : nom de l'auteur, année, pays, journal de publication, design de l'étude,
- Caractéristiques des participants : âge, critères d'inclusion et d'exclusion propres à chaque essai,
- Détails de l'intervention : type de dispositif utilisé, localisation des mini-vis, protocole d'activation, modalités du comparateur,
- Critères de jugement : critère principal, critères secondaires, outils de mesure utilisés (CBCT, céphalométrie, échelles de douleur, analyses parodontales...),
- Résultats : valeurs rapportées pour chaque critère de jugement, avec les données statistiques associées.

En cas de données manquantes, seule l'information disponible dans l'article a été retenue, aucune imputation n'a été réalisée. Aucun auteur n'a été contacté pour obtenir des informations complémentaires.

Considérant l'hétérogénéité des méthodes des études incluses, ainsi que des analyses méthodologiques et des critères de jugement, une méta-analyse n'a pas été envisagée. Ainsi, l'analyse des articles sera qualitative et descriptive.

Figure 1. Diagramme de flux



2.6. Évaluation des risques de biais

L'évaluation des risques de biais a été réalisée par les deux investigateurs (Sarah Gebeile-Chauty et Valentine Drizard) de manière indépendante. Le risque de biais des essais cliniques contrôlés randomisés éligibles a été évalué selon la « Revised Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials (RoB 2) » (7). Cet outil examine cinq domaines : 1) le processus de randomisation, 2) les déviations par rapport aux interventions prévues, 3) les données manquantes, 4) la mesure des critères de jugement et 5) la sélection des résultats rapportés.

Un score de jugement a été attribué (« faible », « modéré » ou « élevé ») suivant les recommandations du « *Cochrane Handbook for systematic reviews of interventions 6.0* » (<http://handbook.cochrane.org>) pour chaque domaine. Le jugement global attribué à chaque étude correspondait au niveau de risque le plus défavorable observé parmi les cinq domaines. L'algorithme décisionnel du RoB2 a été respecté pour chaque domaine afin de garantir la reproductibilité et la transparence du processus d'évaluation.

2.7. Appréciation du niveau de preuve selon l'approche GRADE

La certitude globale des preuves a été évaluée selon l'approche GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) (8). Cette méthode permet d'apprécier la qualité globale des données disponibles pour chaque critère de jugement, en tenant compte notamment du risque de biais, de l'incohérence des résultats, de l'imprécision, du caractère indirect des preuves et du risque de biais de publication.

3. Résultats

3.1. Recherche de la littérature

La stratégie de recherche détaillée précédemment a permis d'obtenir 135 résultats parmi les trois moteurs de recherche utilisés, 40 doublons ont été retirés. 13 articles parmi les 95 articles restants n'ont pas été retenus d'après leur titre. Sur les 82 articles restants, une nouvelle sélection a été effectuée à la lecture du résumé et 47 articles ont été exclus. Sur les 35 articles restants, 14 ont été choisis à la lecture complète de l'article et inclus dans la revue systématique. Les articles exclus ne répondaient pas aux critères d'inclusion : il s'agissait principalement d'études non randomisées (études de cohorte, études transversales, essais contrôlés non

randomisés), ainsi que d'articles dont les dispositifs d'ancrage ne correspondaient pas à la question PICOS retenue (mini-vis vestibulaires seules, mini-plaques extra-palatines, adjuvants chirurgicaux...). Une recherche manuelle effectuée à partir des références des articles présélectionnés n'a pas permis d'identifier d'études supplémentaires répondant aux critères d'éligibilité.

3.2. Caractéristiques des études sélectionnées

3.2.1. Caractéristiques générales

Les caractéristiques de chaque étude sélectionnée sont décrites dans les tableaux 2 et 3. Les 14 articles inclus sont des essais cliniques randomisés publiés entre 2022 et 2025.

Concernant la localisation géographique, deux essais cliniques ont été conduits en Corée du Sud (9,10), trois en Égypte (11–13), quatre au Brésil (14–17), un à Malte (18), un en Syrie (19), deux en Turquie (20,21) et un en Malaisie (22). Un total de 488 patients, toutes études confondues, ont participé.

Dispositifs utilisés :

Les différentes études s'intéressaient à une large variété de dispositifs d'ancrage palatin :

- 7 études s'intéressaient au MARPE (Mini-implant Assisted Rapid Palatal Expansion),
- 4 études s'intéressaient à des mini-vis intégrées à des Hyrax hybrides,
- 2 études s'intéressaient à des MARPE modifiés (micro-ostéoperforations, implants de différents diamètres),
- 2 études s'intéressaient au Casted-palatal-plates / plaques spécifiques,
- 3 études s'intéressaient à des systèmes de protraction assistée par mini-vis palatines,
- 1 étude s'intéressait à des mini-vis palatines isolées.

Tableau 2 : Caractéristiques générales des études sélectionnées selon l'approche PICOS

Auteurs et pays de l'étude	Journal et année de publication	Design de l'étude	Population	Critères d'inclusion et exclusion	Intervention	Comparaison	Conflits d'intérêt
Chun et al. Corée du Sud	BMC Oral Health, 2022	RCT	36 participants	Inclus : Occlusion postérieure bout-à-bout / Occlusion inversée / Patients âgés de 7 à 25 ans / Bonne hygiène bucco-dentaire / Aucun antécédent de traitement orthodontique et de chirurgie orthognathique / Aucune anomalie dentofaciale significative telles qu'une fente labiale ou palatine / Patients qui ont consenti à participer à cette étude. Exclus : Absence de dents offrant un ancrage suffisant pour le traitement orthodontique / Maladie parodontale.	Expansion transversale maxillaire par MARPE (Micro-implant Assisted Rapid Palatal Expansion).	Expansion transversale maxillaire par RPE (Rapid Maxillary Expansion).	Non
Choi et al. Corée du Sud	The Angle Orthodontist, 2023	RCT	31 participants	Inclus : Patients qui avaient subi un CBCT avant un traitement orthodontique et qui avaient reçu un diagnostic de déficit transversal maxillaire / Age minimum de 19 ans / Patient sans dents manquantes / Traitement par MARPE prévu. Exclus : Antécédents de traitement orthodontique / Présence de maladie parodontale / Antécédents de syndrome ou de déformations craniofaciales / Incapacité à lire et à comprendre le consentement éclairé / Refus de participer à l'étude.	Expansion transversale maxillaire par MARPE avec des mini-vis antérieures de 8 mm de longueur et postérieures de 6 mm.	Expansion transversale maxillaire par MARPE avec des mini-vis antérieures de 13 mm et postérieures de 11 mm.	Non précisé
Elshehaby et al. Egypte	BMC Oral Health, 2024	RCT	18 participants	Inclus : Patients âgés de 20 à 25 ans / Déficit transversal maxillaire avec occlusion inversée unilatérale ou bilatérale (différence par côté pas plus de 5 mm) / Denture permanente maxillaire jusqu'aux deuxièmes molaires / Encombrement de l'arcade maxillaire inférieure à 8 mm. Exclus : Patients présentant des conditions ou des médicaments qui affectent l'os / Traitement orthodontique antérieur / Maladie parodontale active / Habitudes pernicieuses orales / Anomalies congénitales craniofaciales (telles que la fente labiale et/ou palatine) / Femmes enceintes.	Expansion transversale maxillaire par MARPE avec Micro-Ostéo-Perforations (MOP).	Expansion transversale maxillaire par MARPE sans Micro-Ostéo-Perforations (MOP).	Non
Alzoubi et al. Malte	European Journal of Orthodontics, 2023	RCT	34 participants	Inclus : Patients âgés de 8 à 10,99 ans / Stade de maturation vertébrale cervicale (CVM) CS 1 ou 2 / Dentition mixte / Surplomb négatif d'au moins -2 mm / Classe squelettique III avec ANB au moins -1 degré / Ethnicité caucasienne. Exclus : Anomalies de croissance craniofaciale (fentes labiales et/ou palatines) / Antécédents de traitement orthodontique.	Traitement orthopédique de protraction par FM-Alt-RAMEC ostéo-porté par 2 mini-vis.	Traitement orthopédique de protection par FM-Alt-RAMEC dento-porté.	Non

Auteurs et pays de l'étude	Journal et année de publication	Design de l'étude	Population	Critères d'inclusion et exclusion	Intervention	Comparaison	Conflits d'intérêt
Pasqua et al. Brésil	Wiley, 2022	RCT	42 participants	Inclus : Déficit maxillaire transversale / Occlusion croisée postérieure unilatérale ou bilatérale / Patients âgés entre 11 et 14 ans / Présence de premières prémolaires maxillaires (droite et gauche) et de premières molaires permanentes maxillaires (droite et gauche). Exclus : Antécédents de traitement orthodontique / Fentes (labiales et/ou palatine) / Maladies systémiques / Déformation congénitale / Perte de dents permanentes ou agénésie.	Expansion transversale maxillaire par Hybrid Hyrax.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax conventionnel.	Non
Miranda et al. Brésil	Springer, 2022	RCT	35 participants	Inclus : Stade de denture mixte tardive ou permanente précoce / Classe III squelettique avec déficience maxillaire (évaluation de Wits de -1 mm ou moins) / Occlusion croisée antérieure ou relation bout à bout incisive. Exclusion : Antécédents de traitement orthodontique / Canines permanentes mandibulaires non éruptées / Patients ayant des besoins spécifiques ou des syndromes.	Traitement orthopédique de protraction maxillaire via mini-vis mandibulaires + Hyrax hybride.	Traitement orthopédique de protraction maxillaire via mini-vis mandibulaires+ Hyrax conventionnel	Non
Raghis et al. Syrie	Research Square, 2023	RCT	40 participants	Inclus : Patients âgés de plus de 16 ans aux stades V ou VI de la maturation vertébrale cervicale (CVM) selon Baccetti et al. / Classe I squelettique I ou classe II squelettique légère / Classe II dentaire / Type de croissance faciale normale ou horizontale / Encombrement modéré de l'arcade maxillaire (< 5 mm). Exclus : Classe II avec rétroposition de la mandibule / Occlusion croisée postérieure / Mauvaise hygiène bucco-dentaire / Traitement orthodontique antérieur / Maladies ou syndromes systémiques.	Traitement orthodontique de distalisation maxillaire par Casted Palatal Plate.	Traitement orthodontique de distalisation maxillaire par mini-vis vestibulaire .	Non
Pasqua et al. Brésil	Journal of orofacial orthopedics, 2024	RCT	42 participants	Inclus : Déficit maxillaire transversal / Occlusion croisée postérieure unilatérale ou bilatérale / Présence d'une première prémolaire maxillaire et d'une première molaire permanente maxillaire / Absence d'inflammation gingivale et de maladie parodontale. Exclus : Antécédents de traitement orthodontique / Présence de maladies systémiques / Présence de déformations congénitales, de fissures nasogénales / Perte de dents permanentes ou agénésies.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax hybride.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax conventionnel.	Non
Zaher et al. Egypte	Elsevier Masson, 2023	RCT	28 patients	Inclus : Patients âgés entre 14 et 18 ans / Classe II division 1 d'Angle / Recouvrement normal / Absence ou léger encombrement / Absence de traitement orthodontique antérieur / Absence de maladie systématique / Hygiène bucco-dentaire correcte / Absence de problèmes parodontaux / Absence d'habitudes buccales anormales. Exclus : Non décrits explicitement.	Traitement orthodontique de rétraction incisive par mini-vis palatines.	Traitement orthodontique de rétraction incisive par mini-vis vestibulaires.	Non

Auteurs et pays de l'étude	Journal et année de publication	Design de l'étude	Population	Critères d'inclusion et exclusion	Intervention	Comparaison	Conflits d'intérêt
Gokce et al. Turquie	Springer, 2023	RCT	46 participants	Inclus : Aucun traitement orthodontique ou chirurgical (du nez, des amygdales ou des tonsilles palatines) antérieur / Toutes les dents permanentes éruptées complètement / Présence de constriction maxillaire et indication clinique de traitement par expansion rapide du maxillaire (RME) / Diagnostic d'apnée du sommeil obstructive (OSA) légère à modérée confirmé par polygraphie : AHI>1 événement par heure. Exclus : Pathologie nasopharyngée ou anomalie craniofaciale / IMC>30kg/m2 (obésité) / Maladie systémique / Défaut d'hygiène buccodentaire / Habitudes orales pouvant favoriser l'OSA (respiration buccale...) indépendamment d'une constriction du maxillaire.	Expansion transversale maxillaire par MARPE.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax à appui dento-gingival et Hyrax à appui dentaire.	Non
Pasqua et al. Brésil	Dental Press Journals of Orthodontics, 2023	RCT	41 participants	Inclus : Patient âgé entre 11 et 14 ans / Déficit maxillaire transversal / Occlusion croisée postérieure bilatérale ou unilatérale / Présence de premières prémolaires maxillaires et de premières molaires permanentes maxillaires. Exclus : Antécédents de traitement orthodontique / Présence de fente labiale et palatine / Présence de déformations congénitales / Agénésies ou pertes de dents permanentes.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax hybride.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax conventionnel.	Non
Gokce et al. Turquie	International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, 2022	RCT	46 participants	Inclus : Pas d'antécédents de chirurgie amygdalienne, nasale ou adénoïde antérieure / Aucun antécédent de traitement orthodontique antérieur / Présence d'une occlusion croisée bilatérale et besoin de de RME / Ventilation orale / Dents permanentes éruptées. Exclus : Présence d'hypertrophie amygdalienne / Présence de pathologies nasales-nasopharyngées-oropharyngées / Syndromes cranio-faciaux / Maladie systémique / Indice de masse corporelle (IMC) ≥30 [poids (kg)/taille (m2)], / Mauvaise hygiène bucco-dentaire.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax ostéo-porté.	Expansion transversale maxillaire par Hyrax dento-porté et dento-gingivo-porté.	Ce travail a été soutenu par l'Université Izmir Katip Celebi.
Allam et al. Malaisie	BMC Oral Health, 2025	RCT	29 participants	Inclus : Patients âgés de 18 à 25 ans / Déficit squelettique maxillaire (antéro-postérieur ou transversal, bilatérale ou unilatérale) / Pas de procédures orthopédiques orthognathiques ou faciales antérieures / Pas d'antécédents de traumatisme craniofacial grave ou d'anomalies craniofaciales / Pas d'antécédents d'état médical mettant la vie en danger, de diabète sucré, ou ancienne chimiothérapie ou radiothérapie. Exclus : Première molaire supérieure absente ou impactée / Perte osseuse / Récession gingivale ou une inflammation gingivale persistante / Réflexe nauséux important.	Expansion transversale maxillaire par MARPE combiné au protocole ALT-RAMEC.	Expansion transversale maxillaire par MARPE seul.	Non
Raghib et al. Egypte	Journal of the World Federation of Orthodontists, 2025	RCT	20 patients	Inclus : Patients en dentition mixte tardive / Patients âgés entre 9 et 13 ans / Classe II squelettique par déficit maxillaire / Relation molaire de classe III / Angle ANB <-1 et SNA < 79) / CVM entre les stade deux et trois. Exclus : Patients avec une relation squelettique verticale non normodivergente / Antécédents de traitements orthodontiques-orthopédiques antérieurs / Mauvaises habitudes qui peuvent mettre en danger l'appareil / Maladies systémiques / Déformations congénitales (fente labiale et/ou palais) / Pseudo classe III.	Traitement orthopédique par masque de protraction maxillaire + plaques palatines (C-palatal plate).	Traitement orthopédique par masque de protraction maxillaire + plaques zygomatiques.	Non

Tableau 3. Résultats des études incluses.

Auteurs	Protocole	Critère de jugement	Résultats
Chun et al.	CBCT low-dose à T0 (pré-expansion), T1 (post-expansion) et T2 (après 3 mois de consolidation). Activation quotidienne 1/4 tour (0,20 mm), 35 activations (≈ 7 mm). Période de consolidation de 3 mois durant laquelle les dispositifs sont maintenus en place. Même opérateur dans les deux groupes.	<u>Critère principal</u> : ouverture de la suture médio-palatine. <u>Critères secondaires</u> : mesures squelettiques, dento-alvéolaires et parodontales au CBCT.	La séparation de la suture palatine s'est produite chez 18/20 patients RPE et 19/20 MARPE (90 % vs 95 %, $p > 0,99$). Le groupe MARPE a montré une augmentation significativement plus importante de la largeur maxillaire (M-NW, PM-MW) à T1–T0 et T2–T0 ($p < 0,05$). Les deux groupes ont présenté des changements dento-alvéolaires comparables, mais le RPE a entraîné un déplacement vestibulaire plus marqué des dents d'ancrage ($P < 0,05$). Concernant l'épaisseur osseuse corticale, le M-BBPT (épaisseur de la corticale vestibulaire des molaires) a significativement diminué dans le groupe RPE durant la consolidation (T2–T1), tandis que le groupe MARPE présentait des modifications minimes (faible diminution ou légère augmentation), entraînant une différence significative entre les groupes ($p < 0,05$).
Choi et al.	CBCT low-dose avant expansion (T1) et après retrait du MARPE (T2). Dispositif MARPE Hyrax II (tooth–bone–borne) ancré par quatre mini-vis auto-perforantes (Ø1,5 mm) insérées perpendiculairement au palais. Randomisation 1:1 en deux groupes : – Groupe S : mini-vis antérieures 8 mm / postérieures 6 mm – Groupe L : mini-vis antérieures 13 mm / postérieures 11 mm. Activation : 0,2 mm/jour. À 2 semaines, un cliché péri-apical vérifiait l'ouverture de la suture. En cas d'ouverture, l'activation se poursuivait jusqu'à ce que les cuspides palatines des premières molaires maxillaires entrent en contact avec les cuspides vestibulaires des premières molaires mandibulaires. Les appareils étaient maintenus 3 mois (période T1–T2), puis retirés ; la stabilité des vis était contrôlée au retrait.	<u>Critère principal</u> : changements squelettiques et dentoalvéolaires après expansion mesurés sur CBCT (10 mesures incluant largeur zygomatique, largeur ectocanine, inclinaison dentoalvéolaire, déplacements transversaux des points repères maxillaires). <u>Critères secondaires</u> : -succès de la séparation de la suture médio-palatine (confirmation radiographique). -stabilité des mini-vis postérieures au moment du retrait du MARPE -absence de complications (perte de vis, inflammation, douleur excessive).	Aucune différence significative entre les groupes à l'inclusion. Le groupe L (mini-vis longues) a montré une expansion plus squelettique, avec une augmentation significativement plus importante de la largeur du processus zygomatique ($P = 0,010$) et de la largeur ectocanine ($P = 0,001$). Le taux de stabilité des mini-vis postérieures était également plus élevé dans le groupe L ($P = 0,024$). Aucune différence n'a été observée concernant le succès de la séparation de la suture ni sur les modifications d'inclinaison dentoalvéolaire. Aucune complication notable n'a été rapportée.
Elshehaby et al.	CBCT complet 2 mois avant le début de l'expansion et 3 mois après la fin des 28 jours d'activation. MARPE MSE II (10 mm) ancré par 4 mini-implants (Ø1,8 mm, 11 mm antérieurs, 13 mm postérieurs). Activation : deux quarts de tour toutes les 12 h (≈ 0,26 mm) pendant les 2 premières semaines, puis un quart de tour toutes les 12 h pendant 2 semaines (28 jours au total). Dans le groupe MOP, 8 micro-ostéoperforations (2 mm d'intervalle, 5 mm de profondeur) étaient réalisées le long de la suture médio-palatine à l'aide d'un guide CBCT avant l'insertion du MARPE.	<u>Voies aériennes</u> : -mesures linéaires de la cavité nasale : NCW, WAR, WMR, WPR, AOS, POS -mesures volumétriques : volume de passage nasal (NPV), volume oropharyngé (OPV), zone minimale constrictive (Min Area) <u>Douleur</u> : Intensité de la douleur via échelle VAS (0–100 mm), relevée 4 h après chaque activation, deux fois par jour pendant 28 jours.	Une ouverture de suture importante a été observée dans les deux groupes. Toutes les mesures linéaires de la cavité nasale et les mesures volumétriques nasales et des voies respiratoires oropharyngées ont augmenté de manière significative dans les deux groupes, sans différence significative entre eux. Une douleur modérée a été ressentie au cours des deux premières semaines d'expansion dans le groupe MOP ($5,11 \pm 0,30$), tandis que la douleur plus significative a été enregistrée dans le groupe sans MOP ($6,87 \pm 0,40$). La douleur a diminué de manière significative au cours des deux semaines suivantes dans MMG ($2,77 \pm 0,39$) et dans NMG ($5,11 \pm 0,32$), avec une différence significative entre les deux groupes tout au long de la durée de l'expansion.

Alzoubi et al.	<p>Cephalométries réalisées T0 et T1 (9 mois), toutes tracées après retrait des appareils pour assurer l'aveuglement de l'examineur.</p> <p>Protocole Alt-RAMEC pendant 7 semaines : cycles d'activation et de constriction deux fois par jour (1 tour = 0,25 mm), la première semaine étant un cycle d'ouverture deux fois par jour et la deuxième semaine un cycle de fermeture deux fois par jour, etc</p> <p>Après la 7^e semaine, début de la protraction : masque facial (450–500 g/côté, vecteur de 30°), portée 12–14 h/jour pendant 9 mois, jusqu'à obtention d'un surplomb positif de +2 mm.</p> <p>Le port réel était enregistré objectivement via un capteur TheraMon placé dans le front-pad (patients informés mais trompés sur la fonction du capteur).</p>	<p><u>Critère principal :</u> Changements squelettiques et dentoalvéolaires mesurés par céphalométrie (SNA, ANB, Wits, IMPA, overjet, Co–A, Co–Gn...).</p> <p><u>Critère secondaire :</u> Compliance vis-à-vis du port du masque facial, mesurée via TheraMon (heures/jour, régularité). Autres paramètres évalués : -modifications des tissus mous (angle nasolabial) -stabilité des mini-implants (rapportée par absence d'échec).</p>	<p>Les deux protocoles ont entraîné des améliorations squelettiques et dentoalvéolaires significatives.</p> <p>Dans le groupe dento-porté (Groupe I), les augmentations de SNA (+2,10°, p = 0,007), ANB (+3,90°, p = 0,001) et Wits (+4,70 mm, p = 0,001) étaient significatives ; dans le groupe ancrage squelettique (Groupe II), ANB (+3,10°, p = 0,001) et Wits (+3,20 mm, p = 0,002) étaient significatifs.</p> <p>Le surplomb s'est amélioré dans les deux groupes (G1 : +5,40 mm ; G2 : +4,50 mm ; p > 0,05). IMPA diminué dans les deux groupes (-4° et -6,1°), indiquant une légère linguoversion des incisives inférieures.</p> <p>La compliance mesurée réellement était comparable (7,87 ± 2,88 h/j pour G1 vs 6,98 ± 2,68 h/j pour G2 ; NS).</p> <p>Aucune différence intergroupe significative n'a été observée sur les paramètres squelettiques ou dentaires.</p>
Pasqua et al. 2022	<p>CBCT réalisé avant expansion (T0) et 3 mois après la fin de l'activation (T1).</p> <p>Activation : 1 tour initial (0,8 mm), puis 2 quarts de tour/jour (0,4 mm/j) jusqu'à obtention d'une sur-correction (occlusion de la cuspide palatine des molaires maxillaires avec la cuspide vestibulaire des molaires mandibulaires).</p> <p>Tous les traitements réalisés par le même orthodontiste. Les mini-vis de l'Hybrid Hyrax (HHG) étaient insérées sous anesthésie locale (Ø1,5 mm, 8 mm ; paramédian 2–3 mm derrière la 3^e ruga palatine). Les appareils étaient retirés avant le CBCT final.</p>	<p><u>Critère principal :</u> Changements squelettiques transversaux mesurés par CBCT : -largeur de la cavité nasale (prémolaire / molaire) -largeur du plancher nasal -largeur palatine -largeur maxillaire (convexités osseuses) (Évalués sur coupes coronales aux régions des PM1 et M1).</p> <p><u>Critères secondaires :</u> Changements dentaires au niveau des M1 et PM1 : -inclinaison -distances entre les cuspides vestibulaires -distances entre les apex palatins</p>	<p>L'HyraX hybride a induit une expansion squelettique significativement plus importante que l'HyraX conventionnel, en particulier au niveau prémolaire : +1,5 mm dans la cavité nasale (p=0,004), +1,4 mm au plancher nasal (p=0,019) et +1,1 mm pour la largeur maxillaire (p=0,022). En région molaire, un avantage squelettique significatif persiste (+0,9 mm au niveau de la cavité nasale, p=0,005 ; +0,9 mm pour la largeur maxillaire, p=0,042).</p> <p>Sur le plan dento-alvéolaire, l'HyraX conventionnel montre davantage de torque prémolaire (14 : +2,7° vs -0,6° ; 24 : +2,8° vs +0,3°), avec des différences significatives (p=0,009 et p=0,043), ainsi qu'un élargissement prémolaire plus marqué au niveau des cuspides (+1,8 mm, p=0,006), indiquant une expansion plus dentaire que squelettique.</p>
Miranda et al.	<p>CBCT T1 avant traitement et T2 après 12 mois, avec orientation standardisée (plan de Francfort et plan orbital horizontaux). Expansion rapide du maxillaire : ¼ de tour, deux fois par jour pendant 14 jours (≈ 5,6 mm).</p> <p>Traction de classe III : élastiques maxillaire-molaire → mini-vis mandibulaires (150 g/côté le premier mois, 250 g ensuite), changés 2x/jour, jusqu'à correction du crossbite ou 12 mois max. Après retrait de l'appareil, un chin-cup était porté la nuit.</p>	<p><u>Critère principal :</u> Changements volumétriques et morphologiques de l'oropharynx (volume total et minimum axial area, minAx) : -Segmentations semi-automatiques dans ITK-SNAP -Shape analysis 3D via SPHARM-PDM (SlicerSALT) -Volume et minAx également mesurés dans Dolphin 3D</p> <p><u>Critères secondaires :</u> Changements squelettiques maxillaires (SNA, Wits, largeur inter-molaire).</p>	<p>Les deux groupes ont présenté des augmentations significatives de l'oropharynx :</p> <ul style="list-style-type: none"> - augmentation du volume oropharyngé dans HH (p = 0,015 SPHARM ; p = 0,025 Dolphin) - augmentation du minimum axial area dans HH (p = 0,009 SPHARM). <p>Les augmentations étaient similaires entre les groupes HH et CH (p > 0,05 pour toutes les comparaisons intergroupes).</p> <p>Les modifications squelettiques (SNA, Wits) étaient également similaires entre groupes. Instabilité des mini-vis mandibulaires : 15,7 % (HH) et 17,8 % (CH), remplacées sans complication.</p>

<p>Raghis et al.</p>	<p>Des téléradiographies céphalométriques ont été réalisées avant (T1) et après distalisation (T2), et superposées. Les patients portaient un appareil multi-attaches (brackets MBT 0.022) avant le début du traitement, 2 systèmes de distalisation maxillaire ont été utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> -groupe Plaque Palatine (PP) ou « Casted Palatal Plate » : une plaque palatine moulée fixée au palais par deux mini-vis paramédianes, reliée à une barre transpalatine sur les molaires. La traction en distalisation était appliquée entre la plaque et la barre par des élastiques d'environ 200 g. -groupe Mini-vis Buccales (MB) : deux mini-vis vestibulaires interradiculaires, placées entre les racines des molaires maxillaires, utilisées comme ancrage pour tirer tout l'arc maxillaire en arrière via une chaînette élastomérique (~200 g) attachée à un crochet de 7 mm soudé distalement au bracket de la canine. Distalisation juste après la pose des ancrages. Suivi toutes les 3-4 semaines. 	<p><u>35 variables céphalométriques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Molaire maxillaire U6 : distalisation, intrusion, tipping -Molaire U7 : translation et tipping -Incisives U1 : position & inclinaison -Angles squelettiques : SNA, SNB, ANB, Ar-Go-Me, Wits... -Tissus mous : UL/LL position labiale, angles naso-labial et labiomental 	<p>On observe une meilleure correction de l'ANB dans le groupe "Casted palatal plate" (-1,58° contre -0,65° avec les mini-vis vestibulaires, p=0,05), une meilleure amélioration de la relation sagittale dans le groupe "Casted palatal plate" (B-angle -1,1° contre +0,5° dans le groupe des mini-vis vestibulaires, p=0,015), une distalisation molaire 2,3 x plus importante pour le groupe "Casted palatal plate" (p<0.001). Les deux groupes ont présenté un tipping distal molaire significatif entre T1 et T2 (PP : -3,10° ; BM : -2,00°), mais la différence inter-groupes n'était pas significative (p = 0,46). Les deux groupes ont présenté une intrusion molaire significative entre T1 et T2 (PP: 1,85mm ; BM ; 0,8mm) mais la différence inter-groupe n'était pas significative. Aucune différence intergroupe significative n'a été observée pour les incisives maxillaires ni pour les paramètres des tissus mous, bien que les lèvres supérieure et inférieure se soient rétractées significativement dans les 2 groupes.</p>
<p>Pasqua et al. 2024</p>	<p>L'activation initiale était de 0,8 mm puis de 0,4 mm/jour (1/4 de tour toutes les 12 heures) jusqu'à obtention de la surcorrection (cuspidé palatine maxillaire en occlusion avec la cuspidé vestibulaire mandibulaire). Un CBCT était réalisé avant traitement (T0) et 3 mois après la fin de l'activation (T1). Les mesures parodontales cliniques (CAL, récession, gencive attachée, saignement) étaient enregistrées à T0 et T1 par un examinateur unique sur les premières prémolaires et les premières molaires maxillaires à l'aide d'une sonde parodontale Michigan Williams. Tous les traitements étaient réalisés par le même praticien.</p>	<p><u>Critère principal :</u> Modification de la corticale osseuse vestibulaire et palatine au niveau des PM1 et M1 à 3, 6 et 8mm de la jonction amélo-cémentaire.</p> <p><u>Critères secondaires :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Niveau d'attache clinique (CAL) -Récession gingivale -Hauteur de gencive attachée -Indice de saignement 	<p>Le groupe Hyrax tooth-borne (TB) présente une perte osseuse vestibulaire significativement plus importante que le groupe Hybrid Hyrax (TBB) : 14-3 mm (-0,90 vs -0,19 mm, p < 0,001), 24-3 mm (-0,54 vs +0,05 mm, p < 0,001), 16-3 mm (-0,81 vs -0,31 mm, p = 0,003) et 26-3 mm (-0,87 vs -0,48 mm, p = 0,016). Le TB montre également un épaississement palatin supérieur : 14-3 mm (+0,91 vs -0,02 mm, p < 0,001) et 24-6 mm (+1,04 vs +0,05 mm, p < 0,001), suggérant davantage de torque vestibulaire. Une différence clinique significative est observée uniquement pour le CAL de 26 (TB +0,55 mm vs TBB +0,19 mm ; p = 0,030), différence attribuée par les auteurs à une difficulté d'accès à l'hygiène plutôt qu'à l'appareil en lui-même.</p>
<p>Zaher et al.</p>	<p>Après alignement et nivellement avec brackets MBT 0.022, des mini-vis ont été placées soit vestibulairement soit en zone palatine entre 15-16 et 25-26. Les canines ont été rétractées en premier suite aux extractions de prémolaires (par ancrage indirect sur un fil d'acier inoxydable continu 0,017x0,025 en reliant les PM1 et les M1 supérieures aux mini-implants), puis les 4 incisives ont été rétractées en bloc via des ressorts NiTi fermés (200 g) attaché aux mini-vis. La rétraction incisive était évaluée sur modèles 3D à T0 (avant rétraction), T1 (4 semaines), T2 (8 semaines) et T3 (12 semaines).</p>	<p><u>Critère principal :</u> Taux mensuel de rétraction des incisives maxillaires, mesuré en mm sur superpositions de modèles 3D (T0 → T1 → T2 → T3) par superposition 3D (3Shape).</p>	<p>La rétraction incisive était significativement plus rapide avec les mini-vis palatines pendant les deux premiers mois : T1 (diff. = 0,55 mm ; p = 0,001) et T2 (diff. = 1,40 mm ; p = 0,001). À T3, la différence n'était plus significative (diff. = 1,15 mm ; p = 0,945). Les deux groupes ont montré une progression significative de T0 à T3 (ANOVA p = 0,001), avec absence de différence entre T2 et T3 dans le groupe palatal (p = 0,09).</p>

Gokce et al. 2023	<p>Tous les appareils (tooth-tissue-borne, tooth-borne ou bone-borne) utilisaient une mini-vis Hyrax 9 mm. L'activation était de 2/4 de tour par jour (0,5mm/jour) jusqu'à l'obtention de la sur-correction (cuspidé palatine maxillaire en appui sur cuspidé vestibulaire mandibulaire). Après expansion, les appareils étaient laissés passivement en contention pendant 3 mois. Le suivi était toutes les deux semaines pour la phase active puis tous les mois durant la phase de contention. Chaque patient réalisait une téléradiographie de face ainsi qu'une polygraphie nocturne à domicile, toutes deux avant traitement et après 3 mois (T1). L'analyse des données du sommeil était effectuée en aveugle par un spécialiste du sommeil.</p>	<p><u>Critère principal :</u> Changements polygraphiques des paramètres du sommeil (AHI, apnées, hypopnées, ODI, SpO₂ minimale/moyenne...) <u>Critère secondaire :</u> -correction du crossbite postérieur -changement de la largeur inter-molaire et largeur maxillaire sur radiographie postéro-antérieure</p>	<p>La polygraphie du sommeil n'a montré aucune amélioration significative des paramètres respiratoires après traitement : ni l'Apnea-Hypopnea Index (AHI), ni l'Oxygen Desaturation Index (ODI), ni la saturation minimale en oxygène (SpO₂ min), ni l'AHI en position dorsale ne se sont modifiés de façon statistiquement significative ($p > 0,05$ intra- et inter-groupes). Toutes les formes d'expansion (tooth-tissue-borne, tooth-borne et bone-borne) ont permis une augmentation significative des dimensions transversales maxillaires ($p < 0,05$ intra-groupe) et une correction du crossbite postérieur ($p < 0,05$ intra-groupe) mais aucune différence intergroupe n'a été observée quant à l'amplitude de l'expansion obtenue.</p>
Pasqua et al. 2023	<p>Les patients étaient répartis en deux groupes : Hybrid Hyrax tooth-bone-borne (TBB) et Hyrax tooth-borne (TB). Dans les deux groupes, la première activation était un tour complet de la vis de l'expansion (0,8 mm), et par la suite, l'activation s'est poursuivie avec deux quarts de tours par jour jusqu'à ce que la correction du crossbite soit obtenue avec une sur-correction (occlusion de la cuspidé palatale des premières molaires maxillaires avec la cuspidé buccale correspondante des premières molaires mandibulaires). La douleur et le retentissement fonctionnel étaient évalués pendant la première semaine d'activation par échelle numérique de douleur (NRS, 0-10) et questionnaire MFIQ, à T1 (J1) et T2 (J4).</p>	<p><u>Critère principal :</u> Comparer douleur, gêne et limitation fonctionnelle entre TBB et TB pendant la première semaine de RME : -NRS (9 questions : douleur globale, molaires, incisives, maxillaire, palais, langue + tensions/gêne + douleur liée à l'appareil). -MFIQ (sous-scores « functional capacity », « feeding » et score total de limitation fonctionnelle). <u>Critère secondaire :</u> Effet du sexe, de l'âge et du stade de maturation de la suture palatine sur la douleur et le MFIQ (corrélations de Spearman).</p>	<p>Les deux appareils ont induit une douleur et un inconfort initiaux de faible intensité, sans différence inter-groupes. En revanche, des différences significatives selon le sexe ont été observées. À T1 et T2, les patientes présentaient une limitation fonctionnelle plus marquée (T1 : 0,4 vs 0,2 ; $p = 0,031$ – T2 : 0,3 vs 0,1 ; $p = 0,025$), une gêne alimentaire plus importante (T1 : 0,7 vs 0,5 ; $p = 0,010$ – T2 : 0,5 vs 0,3 ; $p = 0,027$), ainsi qu'un score fonctionnel global (MFIQ) significativement plus élevé (T1 : 0,5 vs 0,3 ; $p = 0,005$ – T2 : 0,4 vs 0,2 ; $p = 0,011$). Aucune corrélation n'est retrouvée entre douleur/MFIQ et l'âge ou la maturation de la suture.</p>
Gokce et al. 2022	<p>Les patients étaient randomisés en 3 groupes selon le type de disjoncteur Hyrax utilisé : TTB tooth-tissue-borne, TB tooth-borne, BB bone-borne avec deux mini-vis 1,6×10 mm entre 2^e prémolaire et 1^{re} molaire (60-70°). L'activation était de 2/4 de tour/jour (0,5 mm) durant ≈ 8 jours, puis 1/4 de tour/jour durant ≈ 10 jours jusqu'à ce que les cuspides palatines des 1^{res} molaires maxillaires viennent en contact avec les cuspides vestibulaires des molaires mandibulaires (sur-correction standardisée). Les appareils étaient ensuite laissés en contention pendant 3 mois, puis remplacés par un arc transpalatin. Les mesures d'acoustic rhinometry (AR) étaient réalisées par un ORL unique avec décongestion nasale, à T0 (avant RME), T1 (immédiatement après expansion active) et T2 (3 mois de rétention).</p>	<p><u>Critère principal :</u> Variation des minimal cross-sectional areas nasales MCA1 (valve nasale) et MCA2 (segment 2,2-5,4 cm) entre T0, T1 et T2, mesurées par AR. <u>Critère secondaire :</u> Variation du volume nasal total (Vol, cm³) sur la même période. Les résultats de la section transversale et de la cavité nasale obtenus à partir des courbes après la mesure ont été déterminés par le programme Rhinoscan (Version 2.6, RhinoMetrics, Lyng).</p>	<p>Les trois types de RME ont entraîné une augmentation significative des dimensions nasales mesurées par rhinométrie acoustique, sans différence inter-groupes pour MCA1, MCA2 ou le volume nasal (ANOVA, $p = 0,146-0,576$). Intra-groupe, MCA1 augmente significativement de T0 à T1 dans les trois groupes ($p < 0,05$), puis se stabilise en rétention. Les complications se limitent à une gingivite liée à la plaque (tous groupes) et à une version vestibulaire des dents d'ancrage dans TTB/TB.</p>

<p>Allam et al.</p>	<p>Tous les patients recevaient un MSE type II avec 4 mini-vis bicorticales (1,8 × 11 mm). Un CBCT était réalisé avant activation. Le groupe MARPE était activé de 2 quarts de tour le matin + 2 quarts le soir jusqu'à sur-correction. Le groupe ALT-RAMEC suivait un cycle ouverture/fermeture hebdomadaire pendant 7 semaines, puis ouverture seule jusqu'à sur-correction. Un CBCT final était réalisé immédiatement après l'expansion. Les patients ont eu des visites de suivi hebdomadaires pour évaluer l'HBD et le diastème.</p>	<p><u>Critère principal :</u> Ouverture de la suture médio-palatine et sutures crânio-faciales associées (inter-maxillaire, fronto-nasale, zygomatoco-maxillaire) mesurées sur CBCT T1–T2.</p> <p><u>Critères secondaires :</u> Changement de : -external maxillary width (distance entre les parois latérales des sinus maxillaires) -palatal width (distance entre les jonctions du palais dur et de l'os alvéolaire lingual au niveau des 1^{re} molaires) -inter-molar width (fosse central et apex palatin) -angle de torque vestibulaire de la 1^{re} molaire Analyse du pattern d'ouverture : pyramidale vs en V.</p>	<p>Les deux protocoles ont obtenu 100 % de succès d'ouverture suturale. Les sutures : médiane palatine, frontonasale et intermaxillaire ont augmenté significativement dans les deux groupes ($p \leq 0,001$). La suture zygomatoco-maxillaire a diminué en largeur avec le MARPE conventionnel ($-0.19 / -0.13$ mm) mais augmenté avec l'ALT-RAMEC ($+0.09 / +0.12$ mm), avec une différence inter-groupes hautement significative ($p < 0,001$). L'expansion maxillaire externe a été plus importante en MARPE conventionnel ($+2.37$ mm vs $+1.58$ mm ; $p = 0.006$), tandis que les largeurs palatines et inter-molaires ont augmenté de façon comparable dans les deux groupes (NS). Le MARPE conventionnel a produit un torque molaire significatif ($+3.75^\circ$, $p < 0.001$) alors que l'ALT-RAMEC n'a pas induit de vestibuloversion, suggérant un mouvement plus translationnel ($p = 0.01$).</p>
<p>Raghib et al.</p>	<p>Les patients étaient alloués à un ancrage palatin (C-palatal plate fixée par 4 mini-vis 2.1×11 mm via guide chirurgical, flapless) ou à un ancrage vestibulaire (plaques au buttress zygomatique fixées par 2 plaques × 4 vis chacune, sous lambeau). Après 3 semaines de cicatrisation, la traction faciale était appliquée 16 h/jour : élastiques 500 g par côté durant 2 mois puis 700 g jusqu'à obtention d'un surplomb positif. Les patients devaient porter le masque facial 16 heures par jour (principalement la nuit et à domicile). La compliance était suivie à l'aide d'un carnet de port journalier, contrôlé par les parents, complété par des rappels quotidiens par SMS et un appel hebdomadaire de l'équipe clinique. Les contrôles étaient effectués toutes les deux semaines pendant les deux premiers mois, puis mensuellement jusqu'à la fin de la traction. Une fois la correction obtenue, la contention a été assurée par une chin cup portée pendant 6 mois, tandis que les mini-plaques étaient maintenues en place pour permettre un éventuel rechargement. Céphalométrie pré-traitement et post-traitement (T1–T2).</p>	<p><u>Critères principaux :</u> Changements squelettiques céphalométriques entre le début (T1) et la fin du traitement (T2), évaluant la protraction maxillaire et l'amélioration du rapport maxillo-mandibulaire. Les mesures incluaient les angles SNA, SNB, ANB, SN–PoG, angle de convexité, SN–MP et Y-axis, ainsi que les mesures linéaires Co–A, Co–Gn et Wits appraisal, complétées par les distances PTM–VRL, OR–VRL, A–VRL, B–VRL et Pog–VRL pour quantifier le déplacement antéro-postérieur des bases squelettiques.</p> <p><u>Critères secondaires :</u> Changements dentaires (inclinaison des incisives : U1–SN et L1–MP).</p>	<p>Les deux protocoles ont permis une correction significative de la Classe III squelettique. Le groupe palatal a présenté une augmentation significative du SNA ($+4,30 \pm 1,49^\circ$; $p = 0,038$) par rapport au groupe vestibulaire ($+2,80 \pm 1,23^\circ$). L'ANB s'est amélioré significativement dans les deux groupes ($p < 0,05$), mais avec un gain supérieur dans le groupe palatal ($+3,98 \pm 1,18^\circ$ vs $+2,40 \pm 0,52^\circ$; $p = 0,0099$). L'angle de convexité a augmenté de manière significative dans les deux groupes ($p < 0,05$), avec un changement plus important dans le groupe palatal ($+6,10 \pm 1,79^\circ$ vs $+4,60 \pm 1,17^\circ$; $p = 0,0309$).</p> <p>Concernant les mesures linéaires, l'avancement du point A (A–VRL) et du plan PTM–VRL (reflet du déplacement antéro-postérieur de la région ptérygomaxillaire) ont été significativement plus élevés dans le groupe palatal ($+5,80 \pm 2,23$ mm vs $+3,90 \pm 1,40$ mm ; $p = 0,013$ et $+5,20 \pm 1,32$ mm vs $+4,00 \pm 1,41$ mm ; $p = 0,045$, respectivement).</p> <p>La durée de traitement a été significativement plus courte dans le groupe palatal ($7,5 \pm 1,8$ mois vs $11,2 \pm 1,9$ mois ; $p = 0,0004$).</p> <p>Aucune différence significative n'a été observée pour les paramètres mandibulaires (SNB, Co–Gn ; $p > 0,05$) ni pour les paramètres dentaires (U1–SN, L1–MP ; $p > 0,05$).</p>

Indications cliniques :

Les indications cliniques variaient sensiblement selon les essais :

- 12 études s'intéressaient à des thérapeutiques orthopédiques, parmi lesquelles 9 études s'intéressaient au seul objectif d'expansion maxillaire (parmi lesquelles une étude s'intéressait aux effets parodontaux de cette thérapeutique et 2 études s'intéressaient aux effets ventilatoires et aux conséquences sur les voies aériennes), 2 études s'intéressaient au seul objectif de protraction maxillaire et une étude s'intéressait à la protraction combinée à l'expansion transversale maxillaire (cette étude s'intéressait aux effets ventilatoires et aux conséquences sur les voies aériennes de cette thérapeutique)
- 2 études s'intéressaient à des thérapeutiques orthodontiques, parmi lesquelles l'une concernait la distalisation en masse au maxillaire et l'autre à la rétraction incisive dans le cadre d'un traitement par extractions de prémolaires.

Cette diversité témoigne de l'extension progressive des applications des ancrages palatins.

Populations étudiées :

Les quatorze essais randomisés inclus dans cette revue portaient sur des populations relativement comparables sur le plan général, mais présentant des variations attendues en fonction des indications cliniques. Les participants étaient globalement jeunes, en denture mixte tardive ou permanente, indemnes de pathologies syndromiques ou d'anomalies crânio-faciales, en bonne santé générale, présentant une hygiène bucco-dentaire satisfaisante, n'ayant reçu aucun traitement orthodontique ou chirurgie orthognathique par le passé.

L'analyse transversale des âges montre une structure très homogène par type d'indication, reflétant les protocoles cliniques actuellement en usage.

Ainsi :

- les études sur l'expansion maxillaire assistée par mini-vis (MARPE ou Hyrax ostéo-porté) rassemblaient des adolescents et jeunes adultes (généralement de 10 à 25 ans). Ce spectre d'âge correspond aux situations dans lesquelles une expansion squelettique non chirurgicale reste possible et cliniquement indiquée.
- les études sur la protraction maxillaire incluaient exclusivement des sujets en croissance active, généralement âgés de 8 à 14 ans, reflétant la fenêtre thérapeutique optimale pour l'avancée orthopédique du maxillaire.
- les études sur la distalisation maxillaire en masse et la rétraction incisive concernaient des jeunes adultes, entre 14 et 25 ans, une population typique des traitements

orthodontiques avec extractions. Dans le cadre des protocoles avec extractions, la rétraction incisive impose un contrôle d'ancrage renforcé, tandis que les stratégies de distalisation en masse constituent une alternative aux extractions, nécessitant également un ancrage important pour permettre le déplacement de l'ensemble de l'arcade.

- les études sur les effets parodontaux des ancrages palatins portaient sur des adolescents en denture permanente, âgés d'environ 11 à 14 ans, chez qui l'évaluation des indices gingivaux et parodontaux constitue un enjeu important lors des expansions assistées.
- les études sur le confort et la douleur concernaient des adolescents et jeunes adultes, âgés de 11 à 25 ans, correspondant à la population majoritaire recevant un traitement par MARPE.

Modalités radiologiques et critères de mesure :

Les études incluses dans cette revue systématique présentaient une grande diversité de modalités de mesure, reflétant à la fois l'évolution technologique récente en imagerie orthodontique et l'hétérogénéité des objectifs cliniques poursuivis.

- Mesures tridimensionnelles issues de CBCT :

Les analyses CBCT constituaient l'approche la plus fréquente dans les études portant sur l'expansion maxillaire assistée par mini-vis et sur les voies aériennes supérieures.

Évaluations transversales squelettiques (expansion) :

Plusieurs études utilisant des dispositifs MARPE ou Hyrax hybrides (Chun et al. 2022, Choi et al. 2023, Pasqua et al. 2022, Miranda et al. 2022, Allam et al. 2025) ont employé des CBCT pré- et post-expansion pour mesurer :

- Les distances inter-molaires et inter-canines,
- L'élargissement nasal, palatin et zygomatique,
- Les rapports entre expansion dentoalvéolaire et expansion squelettique.

Ces études utilisaient des logiciels variés (Dolphin 3D, Invivo...), reflet de la diversité technologique actuelle.

Analyse suturale :

Les études sur MARPE (Chun et al. 2022, Choi et al. 2023, Allam et al. 2025) rapportaient l'analyse de la suture intermaxillaire, en évaluant le succès de la disjonction suturale.

Voies aériennes supérieures :

Les études axées sur les effets fonctionnels (Miranda et al. 2022, Elshehaby et al. 2024) utilisaient le CBCT pour étudier :

- Les volumes nasopharyngiens et oropharyngiens,
- Les aires minimales transversales,
- La perméabilité nasale.

- Mesures céphalométriques bidimensionnelles (2D) :

Les analyses céphalométriques étaient principalement utilisées dans les études portant sur la protraction maxillaire et la distalisation maxillaire.

Protraction maxillaire (orthopédie) :

Les essais publiés comme ceux de Raghib et al. 2025 et Alzoubi et al. 2023 mesuraient :

- SNA, Co-A, A-VRL : avancée maxillaire,
- SNB, ANB : rapport maxillo-mandibulaire,
- SN-MP, Y-axis : rotation mandibulaire,

Ces paramètres permettaient d'évaluer l'efficacité des ancrages palatins pour protracter le maxillaire avec ou sans protocole Alt-RAMEC.

Distalisation maxillaire (orthodontie) :

L'étude de Raghis et al. 2023 utilisait des mesures telles que :

- Position sagittale des premières et secondes molaires maxillaires (U6, U7)
→ évaluation de l'efficacité de la distalisation maxillaire en termes de déplacement postérieur molaire.
- Inclinaison des molaires maxillaires (angulation U6 et U7)
→ appréciation de la nature du mouvement molaire (translation corporelle versus bascule distale).
- Position sagittale des incisives maxillaires (U1C-Y, U1R-Y)
→ analyse des effets dentaires antérieurs secondaires et du contrôle de l'ancrage lors de la distalisation en masse.
- Inclinaison des incisives maxillaires (U1 angulation)
→ évaluation du contrôle de l'inclinaison incisive associée au mouvement distal.
- Paramètres des tissus mous (position des lèvres par rapport à la ligne esthétique, angle nasolabial...) → évaluation des répercussions esthétiques faciales du traitement.

Ces paramètres permettaient d'apprécier de façon globale l'efficacité de la distalisation maxillaire en masse, la qualité du contrôle de l'ancrage, ainsi que les effets dentaires, squelettiques et esthétiques associés, selon le type d'ancrage utilisé.

- Mesures parodontales cliniques :

Pasqua et al. 2024 constituait la seule étude à explorer les effets parodontaux. Les mesures comprenaient :

- Récession gingivale,
- Hauteur de gencive attachée,
- Indice de saignement,
- Niveau d'attache clinique (CAL).

Réalisées typiquement au niveau des molaires et prémolaires (notamment 16/26 ou 14/24) pour évaluer l'impact des forces d'expansion sur la santé gingivale et parodontale. Les paramètres parodontaux ont été mesurés à différents moments du traitement pour apprécier les changements cliniques associés à l'implantation et à l'activation des dispositifs palatins.

- Mesures fonctionnelles et subjectives :

En parallèle des critères morphologiques, plusieurs études ont exploré des paramètres fonctionnels et centrés sur le patient, reflétant l'intérêt croissant pour l'expérience clinique et la tolérance des dispositifs orthodontiques.

Douleur et tolérance :

Deux essais randomisés ont spécifiquement analysé la douleur associée aux dispositifs palatins :

- Elshehaby et al. 2024 :
 - Utilisation d'une échelle visuelle analogique (EVA) pour quantifier la douleur durant les premiers jours d'activation du MARPE
 - Comparaison de protocoles avec et sans micro-ostéoperforations → évaluation de la tolérance immédiate du dispositif et de l'impact d'un adjuvant chirurgical léger
- Pasqua et al. 2023 :
 - Mesure de la douleur par échelle numérique de douleur et questionnaire au cours de la phase d'activation

- Suivi de l'évolution de la douleur au fil du temps → appréciation du confort patient et de l'acceptabilité clinique des dispositifs d'expansion

Fonction respiratoire et sommeil :

Les effets respiratoires de l'expansion maxillaire ont été explorés selon deux approches distinctes : fonctionnelle et morphologique.

- Gökçe et al. 2023 : évaluation par polygraphie du sommeil, paramètres analysés :
 - Indice d'apnées-hypopnées (IAH),
 - Indice de désaturation en oxygène (IDO),
 - Saturation minimale en oxygène.

→ analyse de l'impact de différents types d'expansurs sur la qualité du sommeil et la sévérité de l'apnée obstructive du sommeil (AOS)
- Miranda et al. 2022 : analyse tridimensionnelle par CBCT, mesures volumétriques des voies aériennes supérieures, paramètres analysés :
 - minAx,
 - volume total.
- Elshehaby et al. 2024 : analyse bi et tridimensionnelle par CBCT, mesures linéaires et volumétriques des voies aériennes supérieures, paramètres analysés :
 - volume de passage nasal (NPV),
 - volume oropharyngé (OPV).
- Gökçe et al. 2022 : évaluation par rhinométrie acoustique des effets de l'expansion transversale sur les voies aériennes supérieures, paramètres analysés :
 - Variation des minimal cross-sectional areas nasales,
 - Variation du volume total nasal.

3.2.2. Protocoles et critères de jugement

Les essais cliniques randomisés inclus présentaient des modalités d'activation et des temporalités de suivi directement conditionnées par le type de dispositif et l'objectif thérapeutique, avec des critères de jugement spécifiquement adaptés aux mouvements étudiés.

Dans les protocoles d'expansion maxillaire, l'activation était généralement rapide et concentrée sur une période courte. Les études de Chun et al. 2022, Choi et al. 2023, Pasqua et al. 2022, Pasqua et al. 2023, Pasqua et al. 2024, Miranda et al. 2022 et Elshehaby et al. 2024, utilisaient des activations quotidiennes ou biquotidiennes, menées sur des durées de l'ordre de 1 à 4 semaines, correspondant à la phase active d'expansion. Les évaluations comprenaient un temps initial pré-activation et un temps post-expansion immédiat, parfois complété par un suivi à court terme (1 à 3 mois post-expansion). Les critères de jugement principaux portaient alors sur les modifications dento-squelettiques transversales, incluant les largeurs interdentaires, l'élargissement maxillaire et, dans certaines études, l'ouverture de la suture palatine, évaluées par CBCT (Chun et al. 2022 ; Choi et al. 2023 ; Allam et al. 2025) ou par téléradiographies postéro-antérieures (Gökçe et al. 2023).

À l'inverse, les études de Gökçe et al. 2022 et 2023 intégraient une temporalité de suivi plus longue, avec des évaluations réalisées juste après la phase d'expansion et après une période de stabilisation (d'environ 3 mois), afin d'analyser les critères fonctionnels respiratoires et du sommeil, mesurés par polygraphie (AHI, ODI, saturation en oxygène), les modifications transversales étant évaluées parallèlement sur des téléradiographies de face.

L'étude centrée sur les effets parodontaux (Pasqua et al., 2024) adoptait une temporalité spécifique, avec des évaluations cliniques réalisées avant la mise en place du dispositif et après la phase d'expansion, les critères de jugement reposant sur des indices parodontaux standardisés (PI, GI, BOP, PPD, CAL), sans suivi longitudinal prolongé de l'inflammation.

Dans les protocoles d'orthodontie avec déplacement dentaire, la temporalité était plus étendue. L'étude de Raghis et al. 2023 évaluait une distalisation maxillaire en masse appliquée de manière continue sur plusieurs mois, avec une analyse avant/après centrée sur des critères céphalométriques sagittaux dentaires et squelettiques mesurés sur téléradiographies de profil. À l'inverse, Zaher et al. 2023 utilisaient une temporalité rapprochée et séquentielle, avec des

évaluations mensuelles pendant trois mois, fondées sur des modèles dentaires numériques tridimensionnels, le critère de jugement principal étant la vitesse de rétraction incisive.

Les essais de protraction maxillaire d'Alzoubi et al. 2023 et de Raghieb et al. 2025 reposaient sur des protocoles d'activation orthopédique étendus dans le temps, en adéquation avec la cinétique lente des déplacements squelettiques de protraction maxillaire. Le suivi était structuré autour de temps d'évaluation espacés, centrés sur l'état pré-traitement et l'issue de la phase de protraction. Les critères de jugement privilégiaient l'analyse des relations sagittales maxillo-mandibulaires (SNA, ANB, Wits), permettant d'apprécier l'impact squelettique du traitement, tandis que les modifications dentaires induites étaient rapportées de manière secondaire.

3.2.3. Résultats des biais

L'ensemble des études présentaient un risque de biais faible à modéré, avec une prédominance de jugements « quelques préoccupations » dans certains domaines. Le processus de randomisation (D1) était jugé à faible risque dans toutes les études. Le domaine concernant les déviations par rapport aux interventions prévues (D2) constituait la principale source de préoccupations, avec un risque jugé modéré dans l'ensemble des essais. Cette évaluation s'explique principalement par l'impossibilité pratique de mettre en aveugle les participants et les cliniciens en orthodontie, en raison de la nature visible et différenciable des dispositifs utilisés (appareils palatins ou vestibulaires, mini-vis, plaques ou dispositifs dento-portés). Les données manquantes (D3) étaient bien maîtrisées dans toutes les études, avec un risque de biais faible. Lorsque des pertes de suivi ou des données manquantes étaient rapportées, celles-ci étaient généralement expliquées et quantitativement limitées, sans déséquilibre majeur entre les groupes comparés.

Le domaine relatif à la mesure des critères de jugement (D4) présentait majoritairement un faible risque de biais, les *outcomes* étant évalués à l'aide de méthodes standardisées et reproductibles (céphalométrie, CBCT, indices cliniques validés, échelles de douleur). Quelques études montraient néanmoins des préoccupations modérées, liées à l'absence d'aveugle de l'évaluateur ou à des modalités de mesure insuffisamment précisées. Enfin, la sélection des résultats rapportés (D5) était jugée à faible risque dans la grande majorité des essais, les critères de jugement annoncés étant globalement cohérents avec ceux rapportés dans les résultats. Une étude présentait toutefois un risque modéré, en lien avec l'absence de protocole pré-enregistré ou de description détaillée des analyses prévues a priori.

Finalement, aucune étude n'a été jugée à risque de biais élevé global. L'ensemble des essais inclus présentait un risque de biais global modéré, principalement lié aux contraintes inhérentes aux essais cliniques orthodontiques, notamment l'impossibilité de mise en aveugle des interventions. Ces éléments ont été pris en compte dans l'interprétation qualitative des résultats de cette revue systématique.

Les graphiques de visualisation du risque de biais ont été générés à l'aide du logiciel Microsoft Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA, États-Unis) et présentés en figure 2 et en tableau 4.

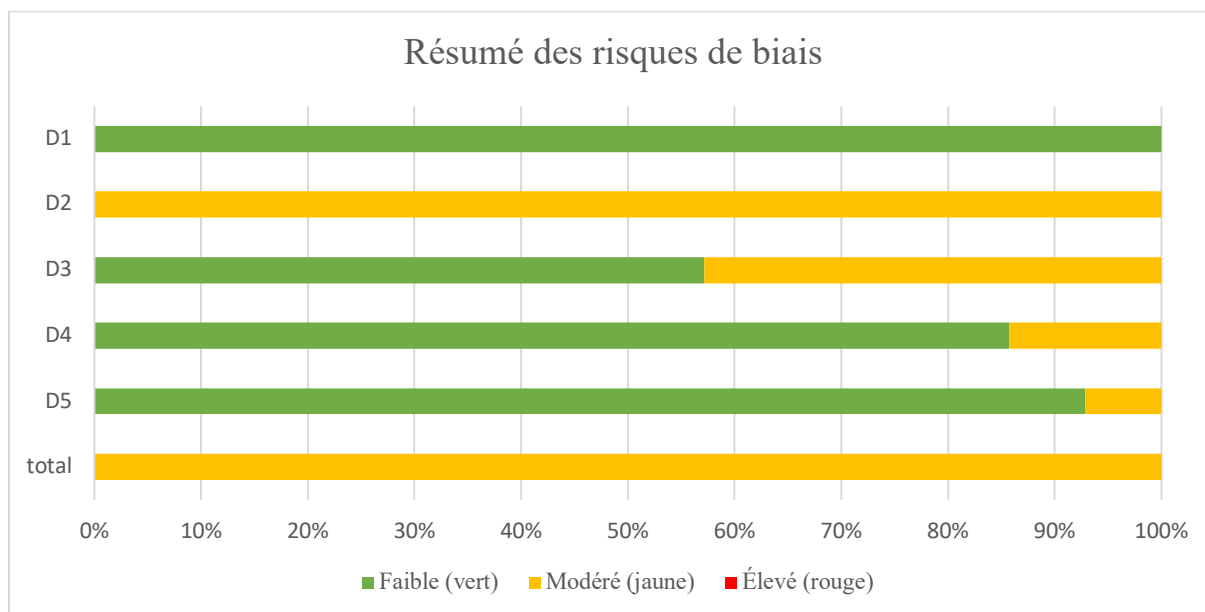
Les évaluations détaillées du risque de biais pour chaque étude incluse, réalisées à l'aide de l'outil RoB 2, sont présentées en annexe (Annexe 1).

Tableau 4. Évaluation des risques de biais, selon l'outil The Cochrane Collaboration's tool pour les essais contrôlés randomisés.

Légende : D1 = Processus de randomisation · D2 = Déviations par rapport aux interventions prévues · D3 = Données manquantes · D4 = Mesure des critères de jugement · D5 = Sélection des résultats rapportés.

Étude (14 RCTs)	D1	D2	D3	D4	D5	Total
Pasqua 2024	●	●	●	●	●	●
Zaher 2023	●	●	●	●	●	●
Gökce 2022	●	●	●	●	●	●
Raghib 2025	●	●	●	●	●	●
Allam 2025	●	●	●	●	●	●
Pasqua 2023	●	●	●	●	●	●
Choi 2023	●	●	●	●	●	●
Alzoubi 2023	●	●	●	●	●	●
Miranda 2022	●	●	●	●	●	●
Chun 2022	●	●	●	●	●	●
Raghis 2023	●	●	●	●	●	●
Pasqua 2022	●	●	●	●	●	●
Elshehaby 2024	●	●	●	●	●	●
Gökce 2023	●	●	●	●	●	●

Figure 2. Résumé des risques de biais.



3.2.4. Résultats des études individuelles

L'ensemble des résultats est décrit dans le tableau 3.

3.2.5. Synthèse des résultats

Les résultats obtenus concernant les paramètres squelettiques, dentaires, dentoalvéolaires/parodontaux et fonctionnels ont été synthétisés dans les tableaux 6, 7, 8 et 9.

Après extraction des données et avis d'un statisticien, la réalisation d'une méta-analyse n'a pas été retenue. Cette décision s'explique par le nombre insuffisant d'essais cliniques randomisés disponibles pour chaque comparaison.

3.2.6. Certitude globale des preuves (approche GRADE)

Selon l'approche GRADE, la certitude globale des preuves était jugée faible à modérée selon les critères de jugement analysés, principalement en raison de l'hétérogénéité méthodologique et du nombre limité d'essais randomisés disponibles pour certaines indications.

La certitude globale des preuves pour les principaux critères de jugement a été évaluée selon l'approche GRADE et est présentée de manière synthétique dans le tableau 5.

Les tableaux détaillant l'évaluation GRADE par thématique et par critère de jugement sont disponibles en annexe (Annexe 2).

Tableau 5. Synthèse de la certitude globale des preuves selon l'approche GRADE

Outcome	Études contributives (RCTs)	Risque de biais	Incohérence	Imprécision	Indirectness	Biais de publication	Certitude GRADE	Justification synthétique
Effets squelettiques transversaux (ouverture suturale, largeurs maxillaires, protraction)	Pasqua 2022 ; Chun 2022 ; Choi 2023 ; Allam 2025 ; Alzoubi 2023 ; Raghib 2025 ; Raghis 2023	↑ Faible à modéré	↑ Non sérieuse	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕⊕○ Modérée	Les dispositifs à ancrage squelettique montrent des effets squelettiques globalement cohérents et comparables entre études, avec une tendance à une part plus basale et un contrôle dentaire amélioré, mais la petite taille des échantillons et le suivi à court terme limitent la précision des estimations.
Dentoalvéolaire – inclinaison / mouvements dentaires	Pasqua 2022 ; Choi 2023 ; Allam 2025 ; Zaher 2023 ; Chun 2022 ; Raghib 2025 ; Raghis 2023	↑ Faible à modéré	↑ Non sérieuse	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕⊕○ Modérée	Les études montrent des effets dentaires globalement cohérents, avec un meilleur contrôle du mouvement et du torque sous ancrage squelettique ou hybride ; toutefois, la faible taille des échantillons limite la précision des estimations.
Dentoalvéolaire – os alvéolaire / parodontal (CBCT + clinique)	Pasqua 2024 ; Chun 2022	↑ Faible à modéré	↑ Non sérieuse	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕⊕○ Modérée	Les deux ECR montrent de manière cohérente que les appareils hybrides ou MARPE préservent mieux l'os alvéolaire vestibulaire et palatin que les dispositifs dento-portés ; toutefois, la précision des estimations reste limitée par la taille des échantillons et le suivi court.

Voies aériennes – volumétrie CBCT (volume, surface min oropharyngée)	Miranda 2022 ; Elshehaby 2024	↑ Faible à modéré	↑ Non sérieuse	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕⊕○ Modérée	Les deux ECR montrent de manière cohérente une augmentation des volumes aériens (nasal/oropharyngé) après expansion maxillaire, sans différence inter-protocoles ; cependant, la précision reste limitée par les faibles effectifs et un suivi court.
Voies aériennes – rhinométrie acoustique (MCA1/MCA2, volume nasal)	Gökce 2022	↑ Faible à modéré	↑ Non applicable	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕⊕○ Modérée	Améliorations intra-groupe ; pas de différence inter-groupe ; une seule étude.
Sommeil – polygraphie (AHI, ODI, SpO ₂)	Gökce 2023	→ modéré	↑ Non applicable	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕○○ Faible	Pas de différence inter-groupe sur AHI/ODI ; un seul essai, forte imprécision (faibles effectifs et intervalles de confiance larges).
Douleur / inconfort / MFIQ (échelles NRS, VAS, MFIQ)	Pasqua 2023 ; Elshehaby 2024	→ modéré	↑ Non sérieuse	↓ Sérieuse	→ Non sérieuse	→ Impossible à juger	⊕⊕○○ Faible	Les deux ECR évaluent des contextes douloureux distincts - - douleur mécanique liée au type d'appareil (Pasqua 2023) et douleur procédurale post-MOP (Elshehaby 2024) - mais rapportent tous deux une variabilité importante des scores VAS et des effectifs limités, entraînant une imprécision notable malgré des protocoles méthodologiquement corrects.

Tableau 6. Synthèse des résultats concernant les effets squelettiques des ancrages osseux temporaires palatins

Paramètre	Étude(s)	Comparaison	Résultat significatif (p < 0,05)	Interprétation clinique
Largeur basale / squelettique	Pasqua 2022 ; Chun 2022 ; Alzoubi 2023	Hybrid / MARPE vs dispositifs dento-portés, MARPE vs MARPE + Alt-RAMEC	↑ largeur basale	L'ancrage squelettique (Hybrid, MARPE) produit une expansion basale/squelettique significativement supérieure à celle des appareils dento-portés, avec moins de compensation dentaire. Le MARPE conventionnel induit une expansion transversale du maxillaire plus importante que le protocole MARPE + ALT-RAMEC.
Largeur nasale	Chun 2022	MARPE vs RPE	↑ largeur nasale	Le MARPE induit une augmentation significative de la largeur nasale par rapport au RPE.
Largeur inter-zygomatique	Choia 2023	MARPE à vis longues vs vis courtes	↑ largeur inter-zygomatique (vis longues)	Les vis longues génèrent un gain zygomatique postérieur significativement supérieur.
SNA / ANB / convexité	Raghib 2025	Plaque palatine (ISP) vs vis zygomatiques (ZM)	↑ SNA ; ↑ ANB ; ↑ convexité	L'ancrage palatin entraîne une protraction maxillaire plus efficace, avec augmentation significative des paramètres sagittaux maxillaires.
Largeur zygomatique-maxillaire	Allam 2025	ALT-RAMEC + MARPE vs MARPE	↑ largeur zygomatique-maxillaire	L'ajout d'un protocole ALT-RAMEC augmente la largeur de la suture zygomatique-maxillaire.

Raghib 2023 : aucun effet sagittal significatif entre les groupes

Tableau 7. Synthèse des résultats concernant les effets dentaires des ancrages osseux temporaires palatins

Paramètre	Étude(s)	Comparaison	Résultat significatif (p < 0,05)	Interprétation clinique
Tipping molaire (vestibulo-version)	Pasqua 2022 ; Allam 2025	Hyrax conventionnel vs Hybrid Hyrax ; MARPE conventionnel vs MARPE + ALT-RAMEC	↑ vestibuloversion molaire (Hyrax et MARPE conventionnel)	L'Hyrax conventionnel induit un torque coronovestibulaire molaire significativement plus important que l'Hybrid Hyrax, de même que le MARPE conventionnel par rapport au MARPE+ALT-RAMEC.
Torque / contrôle incisif	Zaher 2023	Ancrage palatin vs ancrage buccal	↑ vitesse avec ancrage palatin	L'ancrage palatin permet une rétraction incisive plus rapide.
Distalisation molaire / prémolaire	Raghis 2023	Plaque palatine vs mini-vis buccales	↑ distalisation molaire (plaque palatine)	La plaque palatine induit une distalisation molaire nettement supérieure.
Largeur alvéolaire antérieure	Choi 2023	Vis longues vs vis courtes	↑ distance inter-ectocanine	Les vis longues induisent une expansion alvéolaire antérieure canine plus importante.
Largeur alvéolaire postérieure (prémolaire et molaire)	Chun 2022 ; Pasqua 2022	MARPE vs RPE ; Hyrax hybride vs Hyrax conventionnel	↓ de la largeur moindre en phase de consolidation avec MARPE ↑ largeur entre cuspides prémolaires	Le MARPE limite mieux la récidence alvéolaire post-expansion par rapport au RPE (Chun et al.). Pasqua et al. (2022) confirme que les différences prémolaires observées entre Hyrax hybride et conventionnel relèvent d'un effet dentaire (<i>tipping</i>), non d'une expansion alvéolaire réelle.

Alzoubi 2023, Raghis 2023 et Raghiba 2025 ont évalué le contrôle du torque incisif, mais aucune différence significative entre les groupes n'a été observée. Chun 2022 a également évalué l'inclinaison molaire, mais aucune différence significative n'a été observée entre MARPE et RPE.

Tableau 8. Synthèse des résultats concernant les effets dento-alvéolaires et parodontaux des ancrages osseux temporaires palatins

Paramètre	Étude(s)	Comparaison	Résultat significatif (p < 0,05)	Interprétation clinique
BBPT (épaisseur osseuse vestibulaire)	Pasqua 2024 ; Chun 2022	Dispositifs dento-portés vs hybrides / MARPE	↓ BBPT (dento-porté)	Les appareils dento-portés entraînent une réduction significative de l'épaisseur osseuse vestibulaire par rapport aux dispositifs à ancrage squelettique.
PBPT (épaisseur osseuse palatine)	Chun 2022	MARPE vs RPE	↑ PBPT (MARPE)	Un léger gain d'épaisseur osseuse palatine est observé avec MARPE sur un niveau anatomique spécifique, de façon statistiquement significative mais avec un impact clinique modeste.

Pasqua 2024 a également évalué la hauteur de la crête osseuse vestibulaire, mais aucune différence significative entre les groupes n'a été observée pour ce paramètre.

Tableau 9. Synthèse des résultats concernant les effets fonctionnels (douleurs, volumes des voies aériennes supérieures...) des ancrages osseux temporaires palatins

Paramètre	Étude(s)	Comparaison	Résultat significatif (p < 0,05)	Interprétation clinique
Sections nasales (MCA1 / MCA2)	Gokce 2022	TTB vs TB vs BB	↑ MCA1/MCA2 (tous groupes)	La rhinométrie acoustique montre une augmentation significative des sections transversales nasales après expansion dans les trois types d'appareils, sans différence inter-groupe.
Douleur post-MOP	Elshehaby 2024	MARPE+MOP vs MARPE	↓ douleur immédiate et précoce (MOP)	L'ajout de MOP est associé à une douleur initiale significativement plus faible et à une décroissance plus rapide de la douleur par rapport au MARPE seul.

Pasqua 2023 a également étudié la douleur liée à l'appareil Hyrax conventionnel vs Hyrax hybride sans relever de résultats statistiquement significatifs inter-groupe, seule une différence significative entre les sexes concernant la limitation fonctionnelle, la gêne alimentaire et le score fonctionnel global a été notée, les femmes étant plus concernées par ces gênes et limitations. L'étude de Miranda 2022 ne rapporte pas d'effet inter-groupe significatif sur la volumétrie des voies aériennes et n'est donc pas incluse dans le tableau synthétique même si on note une augmentation intragroupe des volumes aériens. Elshehaby 2024 a également évalué les volumes des voies aériennes oropharyngées et nasopharyngées, sans différence inter-groupe significative. Gökçe 2022 a évalué les voies aériennes par rhinomanométrie/débit respiratoire après expansion, mais aucune différence inter-groupe significative n'a été observée. Gökçe 2023 a évalué les effets de l'expansion maxillaire sur les paramètres du sommeil (polygraphie), sans différence inter-groupe statistiquement significative

4. Discussion

Cette revue systématique, conduite selon les recommandations PRISMA et fondée sur l'analyse d'essais cliniques randomisés récents, avait pour objectif d'évaluer les effets squelettiques, dento-alvéolaires, parodontaux et fonctionnels des ancrages osseux temporaires palatins en orthodontie. Le choix de se concentrer sur les trois dernières années se justifie par l'augmentation récente du nombre d'essais contrôlés randomisés et par l'évolution des techniques et dispositifs, permettant une analyse actualisée des données cliniques disponibles. L'analyse des essais cliniques contrôlés randomisés récents met en évidence que l'intérêt des ancrages osseux temporaires palatins ne réside pas tant dans l'obtention d'effets cliniques radicalement nouveaux que dans la modulation qualitative des réponses biomécaniques, selon le type de mouvement recherché. Dans le contexte de l'expansion maxillaire, les études convergent vers une meilleure expression squelettique de l'expansion (y compris au niveau du plancher nasal et des cavités nasales dans l'étude de Pasqua et al. 2022) lorsque l'ancrage palatin osseux est utilisé, associée à une réduction des effets dento-alvéolaires indésirables, notamment la vestibuloverision dentaire et la perte osseuse vestibulaire, par rapport aux dispositifs dento-portés. En revanche, les effets fonctionnels associés, tels que la douleur perçue, les paramètres du sommeil ou les volumes des voies aériennes supérieures, apparaissent globalement comparables entre les différentes modalités d'ancrage, suggérant que ces effets dépendent davantage de l'expansion par elle-même que du type d'ancrage utilisé.

Les résultats indiquent, par ailleurs, que certains paramètres techniques jouent un rôle déterminant dans l'efficacité des dispositifs palatins. La longueur et la stabilité des mini-vis, l'association à des micro-ostéoperforations, ainsi que l'utilisation de protocoles spécifiques d'expansion suturale, tels que l'Alt-RAMEC, semblent influencer favorablement l'ampleur de l'expansion et sa tolérance, sans toutefois modifier substantiellement les effets fonctionnels rapportés. Ces observations soulignent que l'efficacité clinique des ancrages palatins repose autant sur la conception du protocole que sur le choix du dispositif lui-même.

En ce qui concerne la protraction maxillaire, les données apparaissent plus contrastées. Si certaines études rapportent un avantage de l'ancrage palatin par rapport à des ancrages extra-palatins pour l'obtention d'une avancée maxillaire plus marquée, d'autres ne mettent pas en évidence de différence significative entre les dispositifs dento-portés et ostéo-portés. Ces divergences soulignent l'influence probable de facteurs confondants, tels que l'âge des patients ou la maturation suturale limitant la portée des comparaisons directes.

Enfin, dans le cadre des mouvements orthodontiques de grande amplitude, les ancrages palatins semblent offrir un avantage biomécanique plus constant. Les études portant sur la distalisation maxillaire en masse et la rétraction incisive rapportent une meilleure correction sagittale, ainsi qu'une cinétique de déplacement plus favorable en début de mouvement, lorsque l'ancrage est assuré par des mini-vis palatines plutôt que par des dispositifs vestibulaires. Ces résultats suggèrent que l'intérêt des ancrages palatins est particulièrement marqué lorsque le contrôle de l'ancrage conditionne directement l'efficacité du mouvement orthodontique.

Dans l'ensemble, ces éléments indiquent que l'apport des ancrages palatins doit être envisagé de manière différenciée selon l'indication clinique. Leur bénéfice apparaît clairement établi pour l'optimisation du contrôle dento-squelettique, tandis que leurs effets fonctionnels et subjectifs restent plus discutables. Cette distinction constitue un point central pour l'interprétation des résultats et pour l'élaboration de futures recommandations cliniques.

Les résultats issus du corpus de la présente revue systématique sont cohérents avec les conclusions rapportées dans les revues systématiques antérieures consacrées à l'expansion maxillaire assistée par mini-vis (MARPE) : en 2023, la revue systématique et méta-analyse de Huang et al. (23) concluait à une augmentation significative des largeurs inter-molaire et inter-prémolaire après MARPE, avec une part d'expansion squelettique supérieure à celle observée avec la RPE conventionnelle ; cette étude rapportait également une moindre vestibuloversion des secteurs latéraux et une moindre réduction de la hauteur alvéolaire avec MARPE qu'avec RPE à l'instar de notre présente revue. En 2025, dans la revue systématique de Lázaro-Abdulkarim et al. (24) le MARPE apparaît comme une approche particulièrement efficace chez les adolescents en fin de croissance et les jeunes adultes, avec un taux de succès élevé de l'expansion et une prédominance des effets squelettiques par rapport aux effets dentoalvéolaires, notamment une vestibuloversion dentaire et une perte osseuse vestibulaire moindres comparativement aux dispositifs dento-portés conventionnels. Ces résultats sont concordants avec ceux de notre revue. En 2024, à l'image de notre présente étude, la revue systématique de Villa-Obando et al. (25) concluait que l'expansion transversale maxillaire par mini vis améliore l'expansion squelettique nasale et maxillaire, diminue la vestibuloversion dentaire et réduit les effets négatifs par rapport aux approches traditionnelles. Sur le plan biomécanique, l'intérêt des ancrages osseux temporaires dans l'expansion maxillaire peut s'expliquer par la position plus apicale du point d'application des forces par rapport au centre de résistance du complexe dento-squelettique maxillaire. L'application d'une force à distance du centre de résistance induit nécessairement un moment responsable d'effets de rotation ou de

bascule, tandis qu'un rapprochement du vecteur de force de ce centre favorise une composante translationnelle plus marquée du déplacement. Dans le cadre des dispositifs d'expansion par mini-vis, la transmission des forces avec un ancrage squelettique permet ainsi de limiter les moments parasites responsables de la vestibuloversion classiquement observée avec les appareils dento-portés, sans pour autant garantir une absence totale de déplacements indésirables, ceux-ci restant dépendants du montage biomécanique utilisé.

En 2022, dans la revue systématique de Prévé et al. (26), les auteurs rapportent que l'expansion maxillaire assistée par mini-vis induit une expansion squelettique nasale significativement plus importante que l'expansion palatine rapide conventionnelle (RPE), en particulier au niveau du plancher des fosses nasales, à l'instar de notre présente étude. En revanche, aucune des études de notre corpus n'a mis en évidence une augmentation significativement supérieure du volume des voies aériennes supérieures avec le MARPE par rapport au RPE conventionnel. L'étude de Prévé et al. (26) suggère que l'expansion assistée par mini vis s'accompagne d'une plus grande amélioration à court terme des paramètres respiratoires fonctionnels, tels que le débit aérien nasal et la résistance nasale, évalués par rhinomanométrie. Les études incluses dans notre revue systématique n'ont, elles, pas évalué directement ces paramètres fonctionnels ventilatoires. Ainsi, si les modifications morphologiques transversales observées dans notre étude pourraient théoriquement être associées à des bénéfices ventilatoires, l'absence de différence volumétrique significative des voies aériennes supérieures et de mesures fonctionnelles directes dans notre corpus impose une interprétation prudente. Ces éléments soulignent la nécessité d'études futures combinant analyses tridimensionnelles précises des structures nasales et évaluations fonctionnelles respiratoires standardisées afin de mieux établir le lien entre expansion squelettique et retentissement ventilatoire.

En 2017, l'essai clinique randomisé de Feldmann et Bazargani (27) a montré une absence de différence statistiquement significative en termes de douleur, inconfort et limitation fonctionnelle entre le groupe traité par Hyrax conventionnel et le groupe traité par Hyrax hybride ancré sur mini-implants, conclusions concordantes avec celles de notre présente étude, suggérant que la présence de mini-vis palatines n'entraîne pas d'augmentation de la morbidité douloureuse à court terme.

Concernant la protraction maxillaire, les résultats de la présente revue systématique mettent en évidence des effets variables de l'ancrage palatin selon l'âge et le stade de maturation des patients. Deux essais randomisés incluant des patients jeunes, en denture mixte ou en début de denture permanente, n'ont pas montré de différence significative entre les dispositifs dento-

portés et ostéo-portés en termes de correction squelettique sagittale. Ces résultats suggèrent qu'à ces âges, la réponse suturale reste suffisante pour permettre une protraction efficace indépendamment du type d'ancrage utilisé.

À l'inverse, l'étude de Raghis et al. 2023, incluant une population légèrement plus âgée, a mis en évidence une amélioration plus marquée des paramètres squelettiques avec un ancrage palatin. Cette différence pourrait s'expliquer par une diminution progressive de la réactivité suturale avec l'âge, rendant les dispositifs à ancrage dentaire plus susceptibles de générer des compensations dentoalvéolaires au détriment de l'effet orthopédique recherché.

Ces observations sont en accord avec les tendances générales rapportées dans la littérature récente, comme dans l'analyse bibliométrique de Si et al. (28) publiée en 2023, selon lesquelles l'intérêt des ancrages squelettiques dans la protraction maxillaire devient plus évident lorsque les limites biologiques des approches dento-portées sont atteintes. Ainsi, les résultats de notre corpus suggèrent que l'ancrage palatin ne constitue pas un prérequis systématique à la protraction maxillaire chez les patients jeunes, mais constitue une option particulièrement pertinente chez les patients plus âgés ou ayant une réponse suturale réduite.

Les résultats cliniques observés dans les études de notre corpus, montrant une distalisation maxillaire plus efficace et un meilleur contrôle de l'ancrage avec l'utilisation de mini-vis palatines, peuvent être partiellement expliqués par des considérations biomécaniques.

À cet égard, certaines études de modélisation par éléments finis, comme celle de Guo et al. publiée en 2024 (29) ont suggéré que l'ancrage palatin permettrait une transmission plus directe et plus homogène des forces de distalisation vers le complexe maxillaire, avec une réduction des mouvements de *tipping* appliqués aux molaires. Bien que ces études ne reposent pas sur des données cliniques et ne permettent pas d'évaluer les effets biologiques ou parodontaux, elles offrent un cadre théorique cohérent avec les résultats cliniques rapportés dans les essais randomisés inclus dans cette revue.

Une revue systématique avec méta-analyse de Ceratti et al. (30), publiée en 2024 a montré que la distalisation molaire maxillaire réalisée à l'aide de dispositifs ancrés sur des TADs est globalement efficace, sans différence significative de quantité de déplacement selon la localisation de l'ancrage (palatin, vestibulaire ou zygomatique) - conclusions qui, elles, diffèrent de notre présente étude. Malgré l'intérêt clinique croissant pour les mini-vis palatines, peu d'études, et encore moins d'essais cliniques contrôlés randomisés, se sont spécifiquement intéressées à leur utilisation dans les protocoles de distalisation maxillaire et de rétraction incisive.

Les essais cliniques contrôlés randomisés inclus dans cette revue mettent en évidence une orientation nette de la recherche actuelle concernant les ancrages osseux temporaires palatins, comme le confirme l'analyse bibliométrique de Ferrillo et al., publiée en 2023. La majorité des études se concentrent sur des indications à visée orthopédique, en particulier l'expansion maxillaire assistée par mini-vis, tandis que les applications orthodontiques, telles que la distalisation maxillaire ou la rétraction antérieure, demeurent plus marginales dans la littérature récente, observation encore une fois confirmées par l'étude de Ferrillo et al.

Cette prédominance des études portant sur l'expansion maxillaire se reflète clairement dans la composition du corpus, où les travaux évaluant les effets transversaux squelettiques sont largement majoritaires par rapport à ceux s'intéressant aux mouvements dentaires de grande amplitude.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette distribution thématique. Sur le plan biomécanique, l'intérêt des ancrages palatins apparaît particulièrement marqué dans les traitements orthopédiques où l'objectif principal est d'optimiser les effets squelettiques tout en limitant les effets dentoalvéolaires indésirables. À l'inverse, pour les mouvements orthodontiques tels que la distalisation maxillaire, les bénéfices par rapport à des ancrages vestibulaires peuvent être perçus comme moins déterminants (*tipping* des dents, vitesse de rétraction...), ce qui pourrait expliquer un moindre développement de cette indication dans les essais cliniques récents. Cette observation est cohérente avec les données biomécaniques rapportées par Turrel et al. (31), qui montrent que la distalisation molaire maxillaire sur mini-implants pouvait s'accompagner d'effets parasites tels qu'une disto-version molaire ou encore des rotations dentaires adjacentes, en lien avec la direction et le point d'application des forces. Les auteurs soulignent ainsi que, malgré l'efficacité quantitative des mini-implants en tant qu'ancrage, le contrôle tridimensionnel des déplacements dentaires reste étroitement dépendant du montage biomécanique et de la gestion des vecteurs de force.

Parallèlement, le corpus analysé témoigne d'un intérêt croissant pour les dimensions fonctionnelles et centrées sur le patient. Trois essais cliniques randomisés inclus s'intéressaient aux effets des traitements sur les voies aériennes supérieures, tandis que deux études évaluaient spécifiquement la douleur et la tolérance des dispositifs. Cette évolution traduit une prise en compte progressive des critères fonctionnels et subjectifs, en complément des paramètres strictement dento-squelettiques, dans l'évaluation des ancrages palatins.

Cette attention accrue portée au confort et à la tolérance des patients pourrait également contribuer à expliquer la place plus limitée des ancrages palatins dans certaines indications

orthodontiques, notamment la rétraction incisive ou la distalisation maxillaire. Dans ces situations, l'utilisation d'ancrages vestibulaires, perçus comme plus simples ou potentiellement mieux tolérés, pourrait être privilégiée en pratique clinique, en particulier dans un contexte où les critères centrés sur le patient prennent une importance croissante dans la décision thérapeutique. Cette hypothèse apparaît cohérente avec la relative rareté des essais randomisés évaluant la distalisation maxillaire à l'aide d'ancrage palatin, en comparaison des nombreuses études consacrées à l'expansion maxillaire. Notons que dans l'essai randomisé de Raghis et al. 2023 (19), la distalisation molaire obtenue à l'aide de mini-vis vestibulaires apparaît quantitativement limitée, avec un déplacement moyen d'environ 1,9 mm. Une telle amplitude de distalisation, bien que statistiquement mesurable, interroge la pertinence clinique du recours à un ancrage osseux temporaire, compte tenu du caractère invasif du dispositif et des alternatives orthodontiques conventionnelles disponibles pour des déplacements de faible amplitude. Ces résultats suggèrent que les mini-vis dans les protocoles de distalisation maxillaire pourraient être réservées à des situations nécessitant des déplacements plus importants ou un contrôle d'ancrage particulièrement exigeant, plutôt qu'à des indications de distalisation modérée.

Par ailleurs, certaines indications potentielles des ancrages palatins, telles que la traction de canines incluses, ne sont représentées par aucune étude randomisée dans le corpus analysé, soulignant un « angle mort » important de la littérature actuelle.

Enfin, cette répartition des thématiques étudiées est cohérente avec l'évolution récente de la production scientifique observée sur PubMed, où l'on constate une augmentation notable du nombre de publications consacrées aux ancrages palatins au cours des dernières années, principalement centrées sur les dispositifs de type MARPE et leurs effets orthopédiques. Cette dynamique témoigne d'un intérêt croissant pour ces dispositifs dans le champ de l'orthopédie dento-faciale, tandis que leurs applications orthodontiques restent encore relativement peu explorées dans des essais contrôlés de haut niveau de preuve.

Limitations :

L'interprétation des résultats de cette revue systématique doit être nuancée au regard de plusieurs limites méthodologiques observées au sein du corpus inclus. Tout d'abord, certaines études incluent des patients relativement jeunes, chez lesquels une croissance résiduelle était encore présente. Dans ce contexte, il demeure difficile de distinguer précisément la part des

effets attribuables au dispositif thérapeutique de celle relevant de la croissance naturelle, en particulier dans les études à visée orthopédique.

Par ailleurs, les populations étudiées présentent une hétérogénéité importante en termes d'âge, notamment dans les études portant sur l'expansion maxillaire assistée par mini vis, avec des patients allant approximativement de 10 à 25 ans. Cette variabilité limite la comparabilité des résultats, d'autant plus que le potentiel de réponse squelettique diffère significativement selon le stade de maturation.

Concernant les protocoles thérapeutiques, certaines études (16) (13) rapportent le port d'une fronde mentonnière (*chin-cup*) durant une phase qualifiée de stabilisation. Ce type de dispositif constitue néanmoins un traitement actif susceptible d'influencer les résultats squelettiques observés, ce qui perturbe l'interprétation des effets propres aux dispositifs étudiés.

De plus, les délais de suivi rapportés dans la majorité des essais restent courts, n'excèdent généralement pas trois mois. Cette durée limitée ne permet pas d'évaluer de manière fiable la stabilité des corrections obtenues ni d'exclure la survenue de récurrences secondaires, qui pourraient apparaître plusieurs mois après la fin du traitement actif comme le précise Baccetti et al. en 2000 (32).

Une hétérogénéité des critères d'évaluation est également observée, notamment dans les études portant sur la protraction maxillaire chez les patients de classe III : certaines utilisant l'analyse de Wits (16) tandis que d'autres se fondent sur l'angle ANB (13,18), limitant ainsi la comparabilité directe des résultats. Dokovska et al. (33) ont montré que l'angle ANB présente des limites méthodologiques importantes liées à la position du nasion, à la rotation des bases osseuses et au schéma de croissance verticale, ce qui en limite l'utilisation comme critère d'inclusion ou de mesure unique. L'indice de Wits a été proposé afin de réduire ces biais et apparaît comme un outil complémentaire plus pertinent bien qu'il reste lui-même dépendant de la position du plan occlusal.

Bien que le MARPE soit décrit dans la littérature comme une approche permettant d'étendre les indications de l'expansion maxillaire à des âges plus avancés, cette notion n'est pas clairement mise en évidence dans le corpus analysé. Les populations incluses restent majoritairement jeunes, avec une sous-représentation des patients adultes plus âgés, ce qui limite la portée des conclusions concernant l'élargissement réel des indications en fonction de l'âge.

Enfin, le CBCT constitue un outil d'imagerie tridimensionnelle parfois utilisé pour l'analyse des voies aériennes supérieures toutefois, plusieurs revues systématiques soulignent des limites méthodologiques importantes. Guijarro-Martínez et Swennen (34) rapportent que les mesures

volumétriques sont fortement influencées par des facteurs techniques et physiologiques, tels que l'absence de contrôle de la ventilation pendant l'examen, la position de la langue, la posture du patient lors de l'acquisition ainsi que l'absence de standardisation des frontières anatomiques et des protocoles de segmentation. De manière complémentaire, Zimmerman et al. (35) montrent que, bien que certaines études rapportent une fiabilité intra- et inter-examineur modérée à excellente, celle-ci concerne principalement des étapes isolées de l'analyse, réalisées sur des volumes déjà segmentés et dans des conditions méthodologiques contrôlées, sans évaluation de la fiabilité de l'ensemble du processus de mesure. Ainsi, si le CBCT offre des perspectives pour l'exploration tridimensionnelle des voies aériennes, les données volumétriques qu'il fournit doivent être interprétées avec prudence en l'absence de protocoles standardisés.

Par ailleurs, l'hétérogénéité des protocoles thérapeutiques, des populations étudiées et des critères de jugement constitue une limite majeure, rendant les comparaisons directes difficiles et excluant la réalisation d'une méta-analyse quantitative.

Par ailleurs, bien que toutes les études incluses soient des essais cliniques contrôlés randomisés, le risque de biais global apparaît modéré, notamment en raison de l'impossibilité de mise en aveugle des participants et des opérateurs dans les essais orthodontiques, ainsi que de la variabilité des durées de suivi. Les critères fonctionnels et subjectifs reposent souvent sur des méthodes d'évaluation hétérogènes, limitant la robustesse des conclusions dans ces domaines.

5. Conclusion

Cette revue systématique réalisée sur 14 essais cliniques met en évidence l'intérêt des ancrages osseux temporaires palatins :

- Principalement dans les traitements à visée orthopédique :
 - majoritairement l'expansion maxillaire assistée par mini-vis MARPE sur l'adolescent ou le jeune adulte ;
 - ou le traitement par masque facial ou seulement par élastiques de la dysmorphose de classe III.

Dans ces indications, les dispositifs palatins sont associés à des effets squelettiques plus marqués et à une limitation des effets dento-alvéolaires indésirables par rapport aux dispositifs dento-portés conventionnels.

En revanche, les bénéfices fonctionnels et les applications orthodontiques des ancrages palatins restent moins clairement établis, en raison du nombre limité d'essais randomisés et de l'hétérogénéité méthodologique des études disponibles.

- Et également dans les traitements à visée orthodontique de distalisation ou rétraction incisive.

Dans ces indications orthodontiques, les essais cliniques inclus ne mettent pas en évidence de différences cliniquement significatives entre l'utilisation de mini-vis palatines et vestibulaires concernant l'ampleur et la nature des déplacements dentaires obtenus.

Par ailleurs, certaines applications cliniques potentielles des ancrages osseux temporaires, telles que la traction des canines incluses, la correction des syndromes de Brodie, la gestion des infraclusions, la bascule du plan d'occlusion ou encore la correction de certaines asymétries, restent peu représentées dans les essais cliniques randomisés actuellement disponibles, malgré leur intérêt clinique peut-être parce que pour ces indications, les mini-vis vestibulaires s'avèrent efficaces, plus confortables et aisément manipulables. Finalement, c'est essentiellement sur le MARPE chez le grand adolescent et jeune adulte que les mini-implants offrent une indication novatrice.

Ces résultats soulignent la nécessité de futurs essais cliniques bien standardisés afin de préciser la place des ancrages palatins dans les stratégies thérapeutiques orthodontiques et orthopédiques actuelles.

Liens d'intérêts

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

Références bibliographiques

1. Ferrillo M, Nucci L, Gallo V, Bruni A, Montrella R, Fortunato L, et al. Temporary anchorage devices in orthodontics: a bibliometric analysis of the 50 most-cited articles from 2012 to 2022. *Angle Orthod.* 1 sept 2023;93(5):591-602.
2. Winsauer H, Walter A, Katsaros C, Ploder O. Success and complication rate of miniscrew assisted non-surgical palatal expansion in adults - a consecutive study using a novel force-controlled polycyclic activation protocol. *Head Face Med.* 11 déc 2021;17(1):50.
3. Raghis TR, Alsulaiman TMA, Mahmoud G, Youssef M. Efficiency of maxillary total arch distalization using temporary anchorage devices (TADs) for treatment of Class II-malocclusions: A systematic review and meta-analysis. *Int Orthod.* sept 2022;20(3):100666.
4. Abu Arqub S, Mehta S, Iverson MG, Yadav S, Upadhyay M, Almuzian M. Does Mini Screw Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) have an influence on airway and breathing in middle-aged children and adolescents? A systematic review. *Int Orthod.* mars 2021;19(1):37-50.
5. Kapetanović A, Theodorou CI, Bergé SJ, Schols JGJH, Xi T. Efficacy of Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) in late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 8 juin 2021;43(3):313-23.
6. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 29 mars 2021;n71.
7. Higgins JPT, Altman DG, Gotzsche PC, Juni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 18 oct 2011;343(oct18 2):d5928-d5928.
8. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ.* 26 avr 2008;336(7650):924-6.
9. Chun JH, De Castro ACR, Oh S, Kim KH, Choi SH, Nojima LI, et al. Skeletal and alveolar changes in conventional rapid palatal expansion (RPE) and miniscrew-assisted RPE (MARPE): a prospective randomized clinical trial using low-dose CBCT. *BMC Oral Health.* déc 2022;22(1):114.
10. Choi EHA, Lee KJ, Choi SH, Jung HD, Ahn HJ, Deguchi T, et al. Skeletal and dentoalveolar effects of miniscrew-assisted rapid palatal expansion based on the length of the miniscrew: a randomized clinical trial. *Angle Orthod.* 1 juill 2023;93(4):390-7.
11. Elshehaby M, Albelasy NF, Elbially MA, Hafez AM, Abdelnaby YL. Evaluation of pain intensity and airway changes in non-growing patients treated by MARPE with and without micro-osteoperforation: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health.* 20 nov 2024;24(1):1411.
12. Zaher GR, Hafez AM, El-Bialy AAK. Rate of upper incisor retraction in Class II division 1 patients managed with palatal versus buccal miniscrew supported segmental orthodontics: Randomized parallel clinical trial. *Int Orthod.* mars 2023;21(1):100710.
13. Raghieb MA, Elsharty MA, Mohammad MH, Shamaa M, El-Bialy AA. Palatal versus buccal protraction using plates assisted with facemask in growing Class III patients: A randomized clinical trial. *J World Fed Orthod [Internet].* août 2025 [cité 17 sept 2025]; Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221244382500044X>

14. Machado Pasqua B de P, Sendyk M, Barros André C, Batista de Paiva J, Wilmes B, Rino Neto J. Periodontal evaluation after maxillary expansion with a tooth-bone-borne expander in growing patients : A randomized clinical trial. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie OrganOfficial J Dtsch Ges Kieferorthopadie*. 5 août 2024;
15. Pasqua B de PM, André CB, Paiva JB, Tarraf NE, Wilmes B, Rino-Neto J. Dentoskeletal changes due to rapid maxillary expansion in growing patients with tooth-borne and tooth-bone-borne expanders: A randomized clinical trial. *Orthod Craniofac Res*. nov 2022;25(4):476-84.
16. Miranda F, Garib D, Pugliese F, da Cunha Bastos JC, Janson G, Palomo JM. Upper airway changes in Class III patients using miniscrew-anchored maxillary protraction with hybrid and hyrax expanders: a randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*. janv 2022;26(1):183-95.
17. Pasqua BDPM, André CB, De Paiva JB, Neto JR. Short-term assessment of pain and discomfort during rapid maxillary expansion with tooth-bone-borne and tooth-borne appliances: randomized clinical trial. *Dent Press J Orthod [Internet]*. 2023;28(4). Disponible sur: <https://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&id=L2025916736&from=export>
18. Alzoubi EE, Camilleri S, Al Muzian M, Attard N. The effect of tooth borne versus skeletally anchored Alt-RAMEC protocol in early treatment of Class III malocclusion: a single-centre randomized clinical trial. *Eur J Orthod*. 18 sept 2023;45(5):517-27.
19. Raghis TR, Alsulaiman TMA, Mahmoud G, Youssef M. Skeletal and dentoalveolar changes after total maxillary arch distalization using the casted palatal plate vs. buccal miniscrews: A randomized clinical trial. *Int Orthod*. déc 2023;21(4):100808.
20. Gokce G, Basoglu OK, Veli I. Polygraphic evaluation of the effects of different rapid maxillary expansion appliances on sleep quality: A randomized clinical trial. *Sleep Breath*. 2023;27(2):651-9.
21. Gokce G, Gode S, Ozturk A, Kirazlı T, Veli I. Evaluation of the effects of different rapid maxillary expansion appliances on airway by acoustic rhinometry: A randomized clinical trial. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. avr 2022;155:111074.
22. Allam A, Mostafa M, Ahmad B, Salama A, Rahman NA. The sutural and dentoskeletal effects of alternate expansion and constriction of deficient maxilla in young adults: a randomized controlled clinical trial. *BMC Oral Health [Internet]*. 13 juill 2025 [cité 17 sept 2025];25(1). Disponible sur: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-025-06489-y>
23. Huang X, Han Y, Yang S. Effect and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion: A systematic review and meta-analysis. *Korean J Orthod*. 18 juill 2022;52(5):334-44.
24. Lázaro-Abdulkarim A, Hernández-Alfaro F, Puigdollers-Pérez A, Giralt-Hernando M, Elnayef B, Valls-Ontañón A. Is efficacy of miniscrew-assisted rapid palatal expansion in mid to late adolescents and young adults related to craniofacial sutures opening? A systematic review and meta-analysis. *Med Oral Patol Oral Cirurgia Bucal*. 1 mars 2025;30(2):e271-81.
25. Villa-Obando YA, Correa-Osorio SM, Castrillon-Marin RA, Vivares-Builes AM, Ardila CM. Effect of Anchorage Modifications on the Efficacy of Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*. oct 2024;16(10):e72008.
26. Prévé S, García Alcázar B. Interest of miniscrew-assisted rapid palatal expansion on the upper airway in growing patients: A systematic review. *Int Orthod*. sept 2022;20(3):100657.

27. Feldmann I, Bazargani F. Pain and discomfort during the first week of rapid maxillary expansion (RME) using two different RME appliances: A randomized controlled trial. *Angle Orthod.* mai 2017;87(3):391-6.
28. Si M, Hao Z, Fan H, Zhang H, Yuan R, Feng Z. Maxillary Protraction: A Bibliometric Analysis. *Int Dent J.* déc 2023;73(6):873-80.
29. Guo R, Li L, Lam XY, Qin Q, Zheng Y, Huang Y, et al. Tooth movement analysis of maxillary dentition distalization using clear aligners with buccal and palatal mini-screw anchorages: A finite element study. *Orthod Craniofac Res.* déc 2024;27(6):868-76.
30. Ceratti C, Serafin M, Del Fabbro M, Caprioglio A. Effectiveness of miniscrew-supported maxillary molar distalization according to temporary anchorage device features and appliance design: systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod.* 1 janv 2024;94(1):107-21.
31. 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.
32. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Treatment and posttreatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* oct 2000;118(4):404-13.
33. Dokovska H, Maneva Ristovska M. Comparative analysis of the use of ANB angle and Wits appraisal for determination of the sagittal jaw relationship. *Македонски Стоматолошки Преглед.* 2021;44(1):7-12.
34. Guijarro-Martínez R, Swennen GRJ. Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* nov 2011;40(11):1227-37.
35. Zimmerman JN, Lee J, Pliska BT. Reliability of upper pharyngeal airway assessment using dental CBCT: a systematic review. *Eur J Orthod.* 20 déc 2016;cjw079.

ANNEXES

Annexe 1 : évaluation détaillée des risques de biais, selon l'outil The Cochrane Collaboration's tool pour les essais contrôlés randomisés

	Nom étude	CHUN 2022	CHOI 2023	ELSHEHABY 2024	PASQUA 2022
Domaine 1:	La séquence de randomisation était-elle véritablement aléatoire ?	OUI. Randomisation informatisée par blocs (“computer-generated random sequence”).	OUI. Randomisation générée par ordinateur (“random block sizes of 4 using Excel”).	OUI. Séquence générée par RANDOM.ORG.	OUI. Séquence générée avec la fonction RANDOM d'Excel.
Biais liés au processus de randomisation	La séquence d'attribution a-t-elle été dissimulée jusqu'à l'inclusion ?	OUI. Allocation cachée par enveloppes opaques, numérotées et scellées (SNOSE).	OUI. Allocation cachée par enveloppes opaques, numérotées et scellées.	OUI. Allocation cachée par enveloppes opaques et numérotées.	OUI. Anonymisation + enveloppes opaques.
	Les groupes présentaient-ils des différences initiales suggérant un problème de randomisation ?	NON. Pas de différence significative à T0 entre groupes (p > 0.05).	NON. Pas de différence significative à T0 entre groupes (p > 0.05).	NON. Pas de différence significative à T0 entre groupes (p > 0.05).	Variables équivalentes sauf maxillary width 1 M (P = .008).
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
Domaine 2:	Les participants savaient-ils à quel groupe ils appartenaient ?	OUI. Appareils visiblement différents (RPE vs MARPE).	Probable absence de mise en aveugle des patients en raison de dispositifs différents entre les groupes.	OUI. Procédures différentes entre les groupes.	OUI. Appareils visiblement différents (HH vs H).
	Est-ce que les patients savaient qu'ils étaient dans un essai?	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.
	Le personnel soignant savait-il à quel groupe appartenaient les participants ?	OUI. Même opérateur, impossibilité de mise en aveugle.	OUI. Même opérateur, impossibilité de mise en aveugle.	OUI. Même opérateur, impossibilité de mise en aveugle.	OUI. Même opérateur, impossibilité de mise en aveugle.
	Cette absence d'aveugle a-t-elle pu modifier la prise en charge ?	Probablement non. Protocole d'activation identique, mesures CBCT objectives.	Probablement non. Protocole d'activation identique et soins standardisés.	Probablement non. Protocole d'activation identique et soins standardisés.	Probablement non. Protocole d'activation identique et soins standardisés.
	Des écarts au protocole ont-ils été observés ?	Non. Aucun écart rapporté ; même fréquence et durée d'activation.	NON. Aucun écart rapporté; même protocole d'activation 0.2 mm/jour pour tous.	NON. Aucun écart signalé.	NON. Aucun écart signalé, même fréquence d'activation.
	Ces écarts ont-ils pu influencer les résultats ?				
	Les écarts étaient-ils équilibrés entre les groupes ?				

	L'analyse a-t-elle été effectuée selon le groupe initial ("intention to treat") ?	Non : analyse per-protocol. Quatre abandons exclus de l'analyse (3 RPE, 1 MARPE).	Non : 1 abandon pour grossesse, exclu. Pour le critère principal, une analyse per-protocol a été réalisée, avec exclusion des patients chez qui la suture ne s'est pas ouverte (4 dans L et 1 dans S).	Non : analyse per-protocol. Les 6 abandons ont été exclus bien que l'analyse soit effectuée selon les groupes initiaux.	OUI. Aucun abandon post-randomisation (100 % analysés).
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE
Domaine 3:	Les données de résultats étaient-elles disponibles pour tous les participants ?	NON. 36/40 patients analysés (4 abandons).	NON. 31/32 patients analysés pour le critère secondaire et 26/32 pour le critère principal. Partiellement : 1 abandon dans le suivi (groupe S).	NON. 18/24 analysés.	OUI. Aucune perte signalée.
	Le pourcentage de données manquantes est-il faible et comparable entre groupes ?	Partiellement : 3 exclusions dans le groupe RPE et 1 dans MARPE (15 % vs 5 %). Les pertes restent modérées mais ne sont pas parfaitement équilibrées.	Partiellement : 1 abandon dans le suivi (groupe S). Pour le critère principal, 4 exclusions dans le groupe L et 1 dans le groupe S (faillure of suture opening). Les pertes sont modérées et légèrement déséquilibrées, mais restent limitées au regard de l'effectif total.	Partiellement : 3 abandons dans chaque groupe (25 % dans MMG et NMG). Les pertes sont importantes en proportion mais parfaitement équilibrées.	
Biais dû aux données manquantes	Les raisons des données manquantes sont-elles plausibles et indépendantes du résultat ?	Oui : les exclusions sont liées à l'échec d'ouverture de la suture (événement technique) ou à l'absence de données de suivi. Ces raisons sont plausibles, mais l'échec d'ouverture pourrait être lié à la réponse au traitement, et il est plus fréquent dans RPE.	Oui : abandon pour grossesse indépendant des résultats. Les exclusions du critère principal sont liées à l'échec technique d'ouverture de la suture indépendant de la mesure du résultat, mais différenciellement fréquent entre les groupes (4 L vs 1 S).	Oui : les abandons sont liés à une douleur jugée insupportables, cause plausible mais potentiellement en lien avec le traitement. Mais ils surviennent dans les 2 groupes en proportion identique, limitant l'impact.	
	Des méthodes statistiques adaptées ont-elles été utilisées pour gérer les données manquantes ?	Non, les analyses ont été réalisées uniquement sur les participants disponibles (per-protocol).	Non, les analyses ont été réalisées uniquement sur les participants disponibles (mITT pour les outcomes secondaires et per-protocol pour le critère principal).	Non, les analyses ont été réalisées uniquement sur les participants disponibles (per-protocol).	
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	FAIBLE RISQUE
	Les critères de jugement ont-ils été mesurés de la même manière dans tous les groupes ?	OUI. protocole CBCT identique pour tous.	OUI. protocole CBCT identique pour tous.	OUI. protocole CBCT identique pour tous.	OUI. protocole CBCT identique pour tous.

Domaine 4: Biais dans la mesure des critères de jugement	Les évaluateurs connaissaient-ils le traitement reçu ?	OUI. Évaluateur non aveugle (visible sur CBCT).	NON. Radiographies codées et mélangées avant analyse.	NON. Radiographies codées et mélangées avant analyse.	NON. Scans dé-identifiés avant analyse.
	Cette connaissance aurait-elle pu influencer la mesure ?	Probablement non. Mesures CBCT automatisées, ICC > 0.8.			
	Les méthodes de mesure étaient-elles valides et fiables ?	OUI. ICC > 0.80 → fiabilité excellente.	OUI. ICC = 0.894–0.999 → fiabilité excellente.	OUI. ICC = 0.902 → fiabilité excellente.	OUI. ICC = 0.987 → fiabilité excellente.
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
Domaine 5: Biais dans la sélection des résultats rapportés	Le protocole était-il enregistré ou publié avant la fin de l'étude ?	OUI. Essai enregistré : KCT0006871 (Clinical Research Information Service).	OUI. Enregistré KCT0005452.	NON. Enregistrement après le démarrage, reconnu par les auteurs.	OUI. REBEC RBR-48g9q6 avant inclusion.
	Tous les critères de jugement prévus ont-ils été rapportés ?	OUI.	OUI.	OUI.	OUI.
	Les analyses et résultats publiés correspondent-ils au plan initial ?	OUI.	OUI.	OUI.	OUI.
	RISQUE GLOBAL:	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	RISQUE MODERE	FAIBLE RISQUE
RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE: Étude solide, biais (limités) par absence d'aveugle.	RISQUE MODERE: Bonne qualité méthodologique, seul l'aveugle partiel limite la robustesse complète.	RISQUE MODERE: Étude bien conduite, seul l'enregistrement tardif et l'absence d'aveugle clinique limitent le niveau.	RISQUE MODERE: Étude robuste, seule limite = absence d'aveugle clinique inévitable.	

	Nom étude	RAGHIS 2023	ALZOUBI 2023	MIRANDA 2022	PASQUA 2024	ZAHER 2023	
Domaine 1:	La séquence de randomisation était-elle véritablement aléatoire ?	OUI. Séquence générée par ordinateur.	OUI. Séquence générée via Randomizer software.	OUI. Séquence générée électroniquement via Randomization.com.	OUI. Séquence générée via la fonction RANDOM d'Excel.	OUI. Enveloppes tirées au sort après brassage.	
Biais liés au processus de randomisation	La séquence d'attribution a-t-elle été dissimulée jusqu'à l'inclusion ?	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Enveloppes opaques, séquentielles.	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Anonymisation par un second opérateur.	OUI. Enveloppes opaques, tirage par le patient.	
	Les groupes présentaient-ils des différences initiales suggérant un problème de randomisation ?	Probablement oui. Variables légèrement différentes (3 paramètres dentaires).	Probablement oui. Deux variables différaient (Co-A, Co-Gn) sans impact clinique majeur.	NON. Âge, sexe, indices squelettiques comparables.	Probablement oui. Déséquilibre de sexe mais autres paramètres similaires.	NON. pas de différence à T0.	
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	
Domaine 2:	Les participants savaient-ils à quel groupe ils appartenaient ?	OUI. Appareils visiblement différents (plaque vs minivis).	OUI. Appareils visiblement différents (tooth-borne vs skeletal).	OUI. Appareils visiblement différents (hybrid vs hyrax).	OUI. Appareils visiblement différents	OUI. Appareils visiblement différents	
	Est-ce que les patients savaient qu'ils étaient dans un essai?	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	OUI. Consentement éclairé obtenu, conscience d'être dans une étude clinique.	
	Le personnel soignant savait-il à quel groupe appartenaient les participants ?	OUI. Même opérateur, pas d'aveugle possible.	OUI. Même opérateur, pas d'aveugle possible.	OUI. Même opérateur, pas d'aveugle possible.	OUI. Même opérateur, pas d'aveugle possible.	OUI. Même opérateur, pas d'aveugle possible.	
	Biais dû aux déviations par rapport aux interventions prévues	Cette absence d'aveugle a-t-elle pu modifier la prise en charge ?	Probablement non. Force standardisée (200 g/side) ; même fréquence de suivi.	Probablement non. Protocole identique (force, durée, activation).	Probablement non. Activation, forces et suivi identiques.	Probablement non. Protocole identique pour tous.	Probablement non. Protocole strict et identique (force = 200 g, suivi = 4 semaines).
	Des écarts au protocole ont-ils été observés ? Ces écarts ont-ils pu influencer les résultats ? Les écarts étaient-ils équilibrés entre les groupes ?	NON.	NON.	NON.	NON.	NON.	NON.

	L'analyse a-t-elle été effectuée selon le groupe initial ("intention to treat") ?	OUI. 40 patients inclus, 0 perte.	NON. 1 abandon (leucémie) non analysé.	OUI. Analyse ITT avec imputation multiple.	OUI. pour le critère principal, 100 % des participants randomisés inclus dans l'analyse CBCT.	OUI : analyse en intention de traiter, tous les participants randomisés ont été analysés (28/28).
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE
Domaine 3: Biais dû aux données manquantes	Les données de résultats étaient-elles disponibles pour tous les participants ?	OUI. Données complètes pour les 40 patients.	NON. 1 perte sur 35 (3 %).	NON : données manquantes chez 7/20 participants (35 %) dans HH et 3/15 (20 %) dans CH, en raison d'abandons ou de CBCT non exploitables.	OUI : aucune perte pour l'outcome principal (CBCT). Quatre patients ont manqué l'examen clinique secondaire.	OUI : 100 % des participants randomisés (28/28) ont complété l'étude sans aucune perte de données.
	Le pourcentage de données manquantes est-il faible et comparable entre groupes ?		Partiellement : un abandon dans le groupe I (6 %), aucun dans le groupe II ; proportion faible mais non équilibrée.	Non : données manquantes importantes (7/20 dans HH et 3/15 dans CH), proportions modérées mais non équilibrées.	OUI : aucune donnée manquante pour le critère principal dans les deux groupes (0 % dans TB et 0 % dans TBB).	OUI : aucune donnée manquante dans les deux groupes (0 %).
	Les raisons des données manquantes sont-elles plausibles et indépendantes du résultat ?		OUI. Maladie grave, indépendante du traitement.	Partiellement : exclusions liées à des CBCT non exploitables (raison technique), cause indépendante du traitement mais plus fréquente dans HH.	OUI. absence au contrôle clinique.	
	Des méthodes statistiques adaptées ont-elles été utilisées pour gérer les données manquantes ?		Non : aucune imputation ; l'analyse a été réalisée uniquement sur les 34 patients ayant complété l'étude (per-protocol).	Oui : imputation multiple appliquée pour permettre l'analyse ITT.	OUI. CBCT analysé pour 100 % des cas.	
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
	Les critères de jugement ont-ils été mesurés de la même manière dans tous les groupes ?	OUI. Même cephalostat, même protocole.	OUI. Même cephalostat, même protocole.	OUI. Même cephalostat, même protocole.	OUI. Même cephalostat, même protocole.	OUI. Mêmes modèles 3D et protocole.

Domaine 4: Biais dans la mesure des critères de jugement	Les évaluateurs connaissaient-ils le traitement reçu ?	NON. Radiographies codées et anonymisées.	NON. Radiographies codées et anonymisées.	NON. Radiographies anonymisées.	NON. Scans codés.	NON. Modèles masqués.
	Cette connaissance aurait-elle pu influencer la mesure ?					
	Les méthodes de mesure étaient-elles valides et fiables ?	OUI. ICC 0.993–1.000 → fiabilité excellente.	OUI. ICC 0.88-0.96 → fiabilité excellente.	OUI. ICC 0.808–0.997 → fiabilité excellente.	OUI. ICC 0.96 → fiabilité excellente.	OUI. ICC > 0.98 → fiabilité excellente.
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
Domaine 5: Biais dans la sélection des résultats rapportés	Le protocole était-il enregistré ou publié avant la fin de l'étude ?	Probablement non. Approbation éthique, mais pas de registre public.	OUI. ISRCTN12197405 avant démarrage.	OUI. ClinicalTrials.gov NCT03712007 avant inclusion.	OUI. RBR-48g9q6.	OUI. ClinicalTrials.gov NCT05542745.
	Tous les critères de jugement prévus ont-ils été rapportés ?	OUI.	OUI.	OUI.	OUI.	OUI.
	Les analyses et résultats publiés correspondent-ils au plan initial ?	OUI. Tests prévus et réalisés (t-tests).	OUI. Tests non paramétriques prévus et réalisés.	OUI. Tests non paramétriques ITT prévus et réalisés.	OUI. ANCOVA prévue et réalisée.	OUI. ANOVA + tests t prévus et réalisés.
	RISQUE GLOBAL:	RISQUE MODERE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE: Étude rigoureuse, limite : absence d'aveugle et d'enregistrement prospectif.	RISQUE MODERE: Étude rigoureuse, limite = absence d'aveugle clinique.	RISQUE MODERE: Étude rigoureuse, seule limite = absence d'aveugle clinique.	RISQUE MODERE: Étude robuste, limite : absence d'aveugle clinique.	RISQUE MODERE: ANOVA + tests t prévus et réalisés.

	Nom étude	ALLAM 2025	RAGHIB 2025	GOKCE 2022	PASQUA 2023	GOKCE 2023
Domaine 1:	La séquence de randomisation était-elle véritablement aléatoire ?	OUI. Séquence générée par enveloppes scellées et mélangées.	OUI. Séquence générée via la fonction RANDOM d'Excel.	OUI. Séquence générée par ordinateur.	OUI. Séquence générée via la fonction RANDOM d'Excel.	OUI. Séquence générée par ordinateur.
Biais liés au processus de randomisation	La séquence d'attribution a-t-elle été dissimulée jusqu'à l'inclusion ?	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.	OUI. Enveloppes opaques, numérotées.
	Les groupes présentaient-ils des différences initiales suggérant un problème de randomisation ?	NON. âge et sexe comparables, $p > 0.05$.	NON. Age et sexe comparables.	NON. Variables similaires à T0.	Probablement oui. Déséquilibre du sexe mais aucune autre différence initiale.	NON.
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
Domaine 2:	Les participants savaient-ils à quel groupe ils appartenaient ?	OUI. Appareils visiblement différents.	OUI. Appareils visiblement différents.	OUI. Appareils visiblement différents.	OUI. Appareils visiblement différents.	OUI. Appareils visiblement différents.
	Est-ce que les patients savaient qu'ils étaient dans un essai ?	OUI. Consentement écrit obtenu.	OUI. Consentement parental obtenu.	OUI. Consentement écrit obtenu.	OUI. Consentement écrit obtenu.	OUI. Consentement écrit obtenu.
	Le personnel soignant savait-il à quel groupe appartenaient les participants ?	OUI. Même opérateur.	OUI. Même opérateur.	OUI. Même opérateur.	OUI. Même opérateur.	OUI. Même opérateur.
	Cette absence d'aveugle a-t-elle pu modifier la prise en charge ?	Probablement non. Protocole standardisé et mécanique identique.	Probablement non. Protocole standardisé et mécanique identique.	Probablement non. Protocole standardisé et mécanique identique.	Probablement non. Protocole standardisé et mécanique identique.	Probablement non. Protocole standardisé et mécanique identique.
	Des écarts au protocole ont-ils été observés ?	NON	NON	NON	NON	NON
Biais dû aux déviations par rapport aux interventions prévues	Ces écarts ont-ils pu influencer les résultats ?					

	Les écarts étaient-ils équilibrés entre les groupes ? L'analyse a-t-elle été effectuée selon le groupe initial ("intention to treat") ?	NON. Analyse per-protocole.	OUI. 0 perte.	OUI. 0 perte.	Non : analyse per-protocole, un participant du groupe TB n'a pas été inclus dans l'analyse finale.	OUI. 0 perte.
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE
Domaine 3: Biais dû aux données manquantes	Les données de résultats étaient-elles disponibles pour tous les participants ?	NON : données manquantes chez 5 participants (2 dans le groupe contrôle et 3 dans ALT-RAMEC).	OUI. 0 perte.	OUI. 0 perte.	Presque tous. 1 perte (2 %).	OUI. 0 perte.
	Le pourcentage de données manquantes est-il faible et comparable entre groupes ?	Partiellement : 2/17 (12 %) de pertes dans le groupe contrôle et 3/17 (18 %) dans ALT-RAMEC ; proportions faibles mais légèrement déséquilibrées.			Partiellement : aucune donnée manquante dans TBB (0 %) et 1/21 manquante dans TB (4,8 %). Pourcentage faible, mais non parfaitement équilibré.	
	Les raisons des données manquantes sont-elles plausibles et indépendantes du résultat ?	OUI. En raison du COVID-19, d'un abandon et d'une exclusion de l'analyse.			Oui : la perte est due à un patient ayant manqué l'examen/questionnaires, cause indépendante du traitement et du résultat.	
	Des méthodes statistiques adaptées ont-elles été utilisées pour gérer les données manquantes ?	NON : aucune imputation ; l'analyse a été réalisée uniquement sur les 29 participants complets (per-protocole).			NON : aucune imputation ; l'analyse a été réalisée sur les participants complets (20/21 dans TB et 21/21 dans TBB).	
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
Domaine 4:	Les critères de jugement ont-ils été mesurés de la même manière dans tous les groupes ?	OUI. Même CBCT, même protocole.	OUI. Même CBCT, même protocole.	OUI. Même appareil RhinoMetrics® et protocole.	OUI. Mêmes échelles (NRS + MFIQ).	OUI. Même système de polygraphie, même protocole.
	Les évaluateurs connaissaient-ils le traitement reçu ?	NON. Evalueur indépendant et codage.	NON. Evalueur indépendant et codage.	NON. Spécialiste ORL non informé.	OUI. C'est de l'auto-rapporté.	NON. Spécialiste du sommeil en aveugle.

Biais dans la mesure des critères de jugement	Cette connaissance aurait-elle pu influencer la mesure ?				Probablement oui. La perception de l'appareil peut moduler la douleur ressentie.	
	Les méthodes de mesure étaient-elles valides et fiables ?	OUI. ICC ≈ 1 → fiabilité parfaite.	OUI. Kappa élevé → excellente reproductibilité.	OUI. 4 mesures répétées, moyenne retenue.	OUI. Echelles validées (NRS, MFIQ).	Plutôt oui mais la polygraphie est un outil objectif OSA, mais moins complet que la polysomnographie, 1 seule nuit de mesure à domicile.
	RISQUE GLOBAL	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	RISQUE MODERE	RISQUE MODERE
Domaine 5:	Le protocole était-il enregistré ou publié avant la fin de l'étude ?	OUI. NCT04908540.	OUI. NCT06452368.	OUI. NCT04529057.	OUI. REBEC RBR-48g9q6.	OUI. NCT04604392.
	Tous les critères de jugement prévus ont-ils été rapportés ?	OUI. sutures + largeurs + inclinaison molaire = prévu.	OUI. résultats céphalométriques complets.	Probablement oui. MCA1, MCA2, Vol.	OUI. Douleur (NRS) et MFIQ annoncés et publiés.	OUI. AHI (principal), ODI, minimum O ₂ , moyenne O ₂ , supine AHI.
Biais dans la sélection des résultats rapportés	Les analyses et résultats publiés correspondent-ils au plan initial ?	OUI. tests t et Bootstrap annoncés et utilisés.	OUI. tests t prévus et réalisés.	OUI. ANOVA et Bonferroni comme prévu.	OUI. Tests de Mann–Whitney prévus et utilisés.	Probablement oui.
	RISQUE GLOBAL:	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE	FAIBLE RISQUE
	RISQUE GLOBAL	RISQUE MODERE: Essai bien conduit, seule limite : non-aveugle clinique inévitable.	RISQUE MODERE: Étude solide, seule limite : absence d'aveugle clinique.	RISQUE MODERE: Étude rigoureuse, seule limite : absence d'aveugle clinique.	RISQUE MODERE: Étude robuste, limiteS : non-aveugle clinique inévitable, caractère subjectif des mesures de douleur.	RISQUE MODERE: Contrairement aux études CBCT, les biais peuvent ici influencer directement le critère principal (résultats polygraphiques).

Annexe 2 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Effets squelettiques

Articles inclus : Pasqua 2022, Chun 2022, Choi 2023, Allam 2025, Alzoubi 2023, Raghieb 2025, Raghieb 2023

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	↑ Faible à modéré	Les essais randomisés présentent une randomisation adéquate, une allocation souvent dissimulée et une analyse reproductible (CBCT, céphalométrie). Cependant, l'impossibilité de mise en aveugle des opérateurs et patients, ainsi que quelques pertes de suivi ou exclusions, limitent légèrement la solidité interne.
Incohérence	→ Non sérieuse	Les 7 ECR inclus abordent des situations cliniques différentes (expansion, protraction, distalisation) avec des comparateurs variés. Ils montrent de façon cohérente que les dispositifs à ancrage squelettique permettent d'obtenir des modifications squelettiques maxillaires significatives, au moins comparables à celles des appareils dento-portés, et souvent associées à une part légèrement plus basale et à moins de version dentaire. Dans plusieurs essais, les différences inter-groupes ne sont pas significatives, ce qui reflète surtout la faible taille des échantillons et la modeste ampleur des effets, plutôt qu'une contradiction de direction. Aucun essai ne rapporte un effet squelettique défavorable de l'ancrage squelettique par rapport au dento-porté.
Indirectness	→ Non sérieuse	Les populations diffèrent (enfants en croissance, adolescents, jeunes adultes) et les dispositifs testés sont variés, mais la question clinique centrale reste identique : évaluer les effets squelettiques maxillaires induits par des ancrages squelettiques VS dento-portés. Les mesures sont toutes pertinentes et directement liées à l'outcome recherché.
Imprécision	↓ Sérieuse	Les tailles d'échantillons sont systématiquement faibles ($\approx 15-20$ sujets/bras), les intervalles de confiance larges, et le suivi est à court terme. Ces éléments réduisent la précision de l'estimation et justifient une dégradation du niveau de preuve.
Biais de publication	→ Impossible à juger	Absence d'analyse formelle (funnel plot), mais présence de plusieurs essais enregistrés et absence de signal évident de biais dans le corpus.
Certitude globale	Modérée	Départ élevé (ECR), dégradation d'un niveau pour imprécision.

Annexe 3 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Effets dentaires

Articles inclus : Pasqua 2022, Choi 2023, Allam 2025, Zaher 2023, Chun 2022, Raghbi 2025, Raghbi 2023

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	⬆ Faible à modéré	Les 7 ECR présentent une randomisation claire, une allocation souvent dissimulée et des mesures reproductibles (CBCT, modèles 3D, céphalométrie). Mise en aveugle difficile voire impossible pour l'opérateur et le patient, mais les mesures sont généralement réalisées en aveugle. Taille d'échantillon modeste pouvant introduire un risque d'erreur, mais globalement bonne qualité méthodologique.
Incohérence	➡ Non sérieuse	Malgré la variété des dispositifs (Hyrax, Hybrid Hyrax, MARPE, Alt-RAMEC, plaques palatines, mini-vis buccales/palatines), la direction des effets dentaires reste cohérente : les ancrages squelettiques ou hybrides tendent à réduire la vestibuloversion dentaire, permettent un meilleur contrôle du mouvement, et évitent certains effets indésirables (expansion excessive, pertes d'ancrage). Les différences intergroupes sont parfois non significatives, reflétant surtout les faibles effectifs. Aucun essai ne montre un effet dentaire défavorable d'un ancrage squelettique comparé à un ancrage dento-porté.
Indirectness	➡ Non sérieuse	Les patients, dispositifs et protocoles varient, mais l'outcome étudié reste systématiquement le mouvement dentaire (version, translation, vitesse de rétraction). Toutes les mesures rapportées sont pertinentes pour l'outcome dentoalvéolaire. Pas de décalage clinique entre les populations incluses et la question posée.
Imprécision	⬇ Sérieuse	Petits échantillons (≈14–20 par groupe), IC larges, effets modestes, variations inter-études. Les conclusions restent fragiles faute de puissance statistique. Certains résultats cliniquement pertinents n'atteignent pas la significativité, plus par manque de puissance que par contradiction réelle.
Biais de publication	➡ Impossible à juger	Domaines récents, absence d'analyses formelles. Plusieurs essais sont pré-enregistrés et les résultats publiés incluent des conclusions négatives ou neutres, ne suggérant pas de biais manifeste.
Certitude globale	Modérée	Départ élevé (ECR), dégradation d'un niveau pour imprécision.

Annexe 4 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Effets dentoalvéolaires et parodontaux

Articles inclus : Chun 2022 + Pasqua 2024

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	↑ Faible à modéré	Les deux ECR présentent une randomisation claire, une analyse par CBCT standardisée, et une reproductibilité élevée des mesures (ICC >0.80 dans Chun ; ICC >0.95 dans Pasqua 2024). La mise en aveugle des opérateurs est impossible mais les mesures sont réalisées en aveugle. Taille d'échantillon modeste dans les deux essais (≈40 patients chacun), ce qui reste acceptable.
Incohérence	→ Non sérieuse	Les résultats parodontaux des deux études vont dans la même direction : les appareils dento-portés provoquent davantage de réduction de l'épaisseur osseuse vestibulaire , tandis que les dispositifs hybrides ou MARPE maintiennent mieux la corticale vestibulaire/palatine. Chun 2022 montre moins d'amincissement osseux vestibulaire sous MARPE. La cohérence est donc bonne malgré des designs différents.
Indirectness	→ Non sérieuse	Les deux études portent sur la bonne population (patients en croissance/adolescents), les bons appareils (RPE/MARPE/Hyrax Hybrid), et mesurent exactement les outcomes parodontaux recherchés : BBPT, PBPT, buccal crest level, CAL, gingival recession, bleeding index. Outcome parfaitement aligné avec la question clinique.
Imprécision	↓ Sérieuse	Les échantillons restent limités (n≈38–40), les intervalles de confiance sont parfois larges (notamment dans Chun 2022), et le grand nombre de mesures CBCT analysées indépendamment augmente le risque d'erreur multiplicative, ce qui rend certaines différences statistiques isolées peu fiables. Suivi court (3 mois) dans les deux études → limite la précision sur la stabilité parodontale réelle.
Biais de publication	→ Impossible à juger	Présence d'essais pré-enregistrés (Pasqua 2024) et transparence des résultats (incluant résultats négatifs dans Chun 2022). Pas de signal de biais évident.
Certitude globale	Modérée	Départ élevé (ECR), cohérence excellente, mais imprécision notable → dégradation d'un niveau.

Annexe 5 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Volumétrie des voies aériennes (CBCT)

Articles inclus : Miranda 2022 + Elshehaby 2024

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	↑ Faible à modéré	Les deux études sont des ECR avec randomisation claire. Les mesures CBCT volumétriques et linéaires sont effectuées avec protocoles standardisés : segmentation Dolphin 3D et ITK-SNAP pour Miranda ; Invivo + OnDemand 3D pour Elshehaby et al. Mise en aveugle des analyseurs assuré dans les deux essais. Taille d'échantillon modeste (≈18-24/bras) mais acceptable.
Incohérence	→ Non sérieuse	Les deux essais montrent une augmentation significative des volumes aériens après expansion (naso- et oropharyngée), avec absence de différence inter-groupe dans les comparaisons testées (Hybrid vs Hyrax pour Miranda ; MARPE±MOP pour Elshehaby). Les méthodes de mesure et les régions analysées varient, mais la direction des effets est cohérente : expansion maxillaire = amélioration volumétrique des voies aériennes , sans supériorité d'un protocole sur l'autre.
Indirectness	→ Non sérieuse	Les populations (jeunes adultes en post-pubertaire ou adultes jeunes) correspondent exactement à la question clinique. Les dispositifs (Hybrid Hyrax, Hyrax, MARPE avec ou sans MOP) sont représentatifs des techniques modernes d'expansion non chirurgicale. Les outcomes mesurés sont directement pertinents : <i>NPV (Nasal Passage Volume)</i> , <i>OPV (Oropharyngeal airway volume)</i> , <i>MinConstrArea</i> , <i>MinAx</i> , <i>largeur nasale</i> , volumes CBCT segmentés. Aucun décalage population-intervention-outcome.
Imprécision	↓ Sérieuse	Les effectifs sont restreints (Miranda n≈40, Elshehaby n≈18 analysés), plusieurs sous-segmentations volumétriques augmentent l'incertitude, les intervalles de confiance ne permettent pas d'exclure une faible différence réelle entre protocoles. Suivi court (≈3 mois) dans les deux essais, ne permettant pas de juger de la stabilité des modifications des voies aériennes.
Biais de publication	→ Impossible à juger	Domaine émergent. Pas de signe évident de biais : essais randomisés, protocoles enregistrés (Elshehaby : ClinicalTrials.gov NCT06502041). Mais absence de données suffisantes pour analyser une asymétrie de publication.
Certitude globale	Modérée	Niveau initial élevé (ECR). Dégradation d'un niveau pour imprécision. Pas de dégradation pour incohérence ni indirectness.

Annexe 6 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Voies aériennes (Rhinométrie acoustique)

Article inclus : Gokce et al., 2022

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	↑ Faible à modéré	Essai randomisé en trois bras (tooth-borne, tooth-tissue-borne, bone-borne) avec protocole clair. L'acoustic rhinometry (AR) est réalisée selon les standards internationaux (calibrage, répétitions ×4, exclusion automatique des tracés non fiables, moyennage des courbes). L'opérateur ne peut pas être mis en aveugle au type d'expansion, mais les mesures AR sont objectives et standardisées, ce qui réduit le risque de biais de détection. Taille d'échantillon modeste mais acceptable pour cet outil instrumental.
Incohérence	↑ Non applicable	Un seul essai randomisé existe pour cet outcome spécifique. Il n'y a donc aucune hétérogénéité inter-étude possible. Les résultats internes sont cohérents : toutes les modalités d'expansion améliorent MCA1/MCA2 et le volume nasal, avec une amélioration supérieure dans les groupes comportant un ancrage plus squelettique.
Indirectness	→ Non sérieuse	La population (adolescents et jeunes adultes), les dispositifs, et la méthode de mesure (rhinométrie acoustique) correspondent parfaitement à la question clinique : <i>effet de l'expansion maxillaire sur la perméabilité nasale</i> . L'outcome est direct, clinique et pertinent.
Imprécision	↓ Sérieuse	Effectifs limités par groupe et variabilité inter-individuelle importante sur les mesures MCA et volume nasal (mesures qui varient beaucoup selon la respiration du patient, la position de la sonde etc). Les intervalles de confiance ne permettent pas toujours d'exclure une différence réelle entre certains protocoles. Suivi immédiat uniquement, sans données sur la stabilité respiratoire à moyen/long terme.
Biais de publication	→ Impossible à juger	Un seul essai fait référence, pas de registre disponible, pas d'analyse d'asymétrie possible. Absence de signal de biais, mais impossibilité d'exclure un biais de publication dans un domaine où les essais sont rares.
Certitude globale	Modérée	Qualité initiale élevée (ECR), dégradation d'un niveau pour imprécision.

Annexe 7 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Sommeil : Polygraphie

Article inclus : Gokce et al., 2023

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	➡ Modéré	Randomisation correcte (logiciel dédié + enveloppes opaques), absence totale de pertes de suivi. Toutefois, le clinicien et les patients ne pouvaient pas être mis en aveugle au type d'appareil, et la polygraphie, moins complète que la polysomnographie, peut introduire une variabilité dans la mesure du critère principal. Ces biais sont modérés mais plausiblement liés au résultat.
Incohérence	⬆ Non applicable	Un seul essai randomisé évalue cet outcome. Aucune hétérogénéité inter-études n'est possible. Les résultats internes sont cohérents : absence d'amélioration significative du AHI, ODI ou SpO ₂ quel que soit le type d'appareil.
Indirectness	➡ Non sérieuse	Population pertinente (enfants/adolescents OSA mild à moderate), intervention standard (RME), et outcome direct (AHI, ODI, saturation). Les mesures polygraphiques évaluent correctement la sévérité de l'OSA, même si elles sont moins complètes qu'une polysomnographie. Pas de décalage clinique majeur.
Imprécision	⬇ Sérieuse	Taille d'échantillon faible (≈15 patients/groupe). IC larges pour AHI, ODI et SpO ₂ , ne permettant pas d'exclure de petites différences réelles entre protocoles. Polygraphies réalisées sur une seule nuit (variabilité nocturne importante). Suivi court à 3 mois, insuffisant pour juger des effets durables.
Biais de publication	➡ Impossible à juger	Domaine peu étudié, un seul essai disponible. Essai enregistré sur ClinicalTrials.gov et rapport transparent des résultats, mais impossibilité d'évaluer la présence d'un biais de publication.
Certitude globale	Faible	Départ élevé (ECR), dégradation pour risque de biais modéré et imprécision. Aucun domaine n'atteint le seuil « sérieux », mais deux dégradations justifient une certitude faible.

Annexe 8 : évaluation détaillée de la certitude des preuves selon l'approche GRADE – Douleur / Inconfort

Articles inclus : Elshehaby 2024 + Pasqua 2023

Critère	Évaluation	Justification détaillée
Risque de biais	→ Modéré	Les deux essais sont randomisés avec protocoles clairs. Dans Pasqua 2023, la douleur et l'inconfort sont auto-rapportés, donc impossibles à aveugler (patient et clinicien). Dans Elshehaby 2024, l'utilisation de MOP empêche également la mise en aveugle complète. Cependant, les mesures reposent sur des échelles validées (VAS, questionnaires), et les données sont complètes. Les biais sont modérés mais non sérieux.
Incohérence	→ Non sérieuse	Les deux études montrent la même tendance : la douleur augmente au début puis diminue rapidement. Les différences inter-groupes sont limitées et cohérentes : Pasqua 2023 montre un inconfort initial plus faible avec le dispositif hybride ; Elshehaby 2024 montre une douleur plus faible les premiers jours avec les MOP. Les tendances sont compatibles malgré les dispositifs différents.
Indirectness	→ Non sérieuse	Les populations, dispositifs et mesures (VAS, MFIQ, questionnaires validés) sont pertinents pour l'outcome. Pas de décalage clinique : la douleur perçue est évaluée entre 4h et 4 jours après le geste.
Imprécision	↓ Sérieuse	Effectifs modestes (≈20 patients/bras), intervalles de confiance larges, variabilité importante dans les réponses subjectives (VAS). Pas de suivi moyen/long terme.
Biais de publication	→ Impossible à juger	Deux essais seulement, impossibilité d'évaluer une asymétrie ou publication sélective. Aucun signe évident de biais mais données insuffisantes pour conclure.
Certitude globale	Faible	Départ élevé (ECR), dégradation pour risque de biais modéré et imprécision.

Ancrages osseux palatins en orthodontie : effets squelettiques, dento-alvéolaires, parodontaux et fonctionnels – Une revue systématique des essais randomisés.

Résumé :

Les ancrages osseux temporaires palatins (Temporary Anchorage Devices, TADs) ont profondément modifié les stratégies thérapeutiques en orthodontie en permettant un ancrage stable, mini-invasif et indépendant des unités dentaires. Si au début des années 2000, le nombre de publications concernant l'ancrage osseux sur TADs était nul ou quasi nul, ce nombre a augmenté crescendo pour atteindre plus de 50 publications en 2024 et en 2025 avec un nombre doublé des publications entre 2023 et 2024. Et pour cause, en plus des indications à visée orthodontique, s'ajoutent désormais les indications orthopédiques (MARPE), fronde mentonnière à appui osseux...

Conduite selon les recommandations PRISMA 2020 et enregistrée dans PROSPERO (CRD420261348463), cette revue inclut 14 essais cliniques randomisés publiés entre 2022 et 2025, représentant un total de 488 patients.

Les résultats montrent que les dispositifs à ancrage palatin, en particulier les systèmes de type MARPE et Hyrax hybrides, permettent une expression plus marquée des effets squelettiques lors de l'expansion maxillaire, associée à une réduction des effets dento-alvéolaires indésirables tels que la vestibuloversion des secteurs postérieurs et la perte osseuse vestibulaire. Les effets sur les voies aériennes supérieures sont favorables en termes d'augmentation volumétrique, sans supériorité démontrée d'un type d'ancrage sur un autre, tandis que les paramètres fonctionnels, notamment la qualité du sommeil et la douleur, apparaissent comparables entre les différentes modalités thérapeutiques. En orthodontie, les ancrages palatins semblent offrir un meilleur contrôle biomécanique et une cinétique de déplacement initiale plus favorable.

Ainsi, les ancrages palatins apparaissent comme une option particulièrement pertinente pour optimiser le contrôle dento-squelettique, notamment dans les traitements à visée orthopédique, tandis que leurs bénéfices fonctionnels et leurs indications orthodontiques nécessitent encore d'être précisés par des essais cliniques randomisés de plus grande ampleur et à plus long terme.

Mots clés :

- Mini-vis palatines
- Ancrages osseux temporaires
- Orthodontie
- Effets dento-squelettiques
- Voies aériennes supérieures

Jury :

Président : Monsieur le Professeur Olivier ROBIN
 Assesseurs : Madame le Docteur Sarah CHAUTY
 Madame le Docteur Claire PERNIER
 Madame le Docteur Elisa LALLEMAND

Adresse de l'auteur :

DRIZARD Valentine, 5 rue Grolée, 69002 LYON

