

ORTHODONTIE FONCTIONNELLE DIGITALE

L'approche fonctionnelle digitale : du dépistage à la stabilité

Un nouveau standard de soin en orthodontie

Pyramide SPF — intégrer la prise en charge myofonctionnelle en cabinet d'orthodontie.



Sarah Daunay

Kinésithérapeute maxillo-facial



Pierre Leclercq

Spécialiste qualifié en Orthopédie Dento-Faciale

Sommaire

1 Introduction

- 1.1 Consensus professionnel et recommandations internationales
- 1.2 Grands principes (neuro-fonctionnels et biomécaniques)
- 1.3 Pyramide fonctionnelle (logique hiérarchique de prise en charge)

2 Les fonctions et structures oro-myo-faciales

- 2.1 Frein lingual
- 2.2 Ventilation
- 2.3 Parafunctions
- 2.4 Posture
- 2.5 Mastication
- 2.6 Posture linguale et déglutition
- 2.7 Phonation

3 Situations cliniques orthodontiques liées aux dysfonctions oro-faciales

- 3.1 Le déficit transversal maxillaire, dénominateur commun
- 3.2 Adaptations cinétiques mandibulaires
- 3.3 Étiologies fonctionnelles : la cascade
- 3.4 Prise en charge : mécanique et fonctionnelle
- 3.5 Le « syndrome du fil » : une récurrence apparente, à moteur fonctionnel
- 3.6 Importance de la rééducation des dysfonctions en contexte chirurgical

4 Discussion

- 4.1 Parcours de soins actuel : orientation vers les professionnels de la rééducation
- 4.2 Dispositifs de rééducation dite « passive »
- 4.3 Principes de la rééducation active : neuroplasticité
- 4.4 Observance thérapeutique en rééducation oro-myofonctionnelle
- 4.5 Ouverture : vers des parcours appuyés par le numérique
- 4.6 Limites actuelles et perspectives de recherche

5 Conclusion

6 Légendes des figures

7 Références bibliographiques

Abstract

Introduction. Contemporary orthodontics integrates oro-myo-facial functions that actively participate in craniofacial growth, sleep quality, attentional behavior, and therapeutic stability. Beyond dental alignment, the clinical challenge is twofold: early detection of dysfunctions (nasal vs oral breathing, tongue posture/swallowing, mastication, phonation) and their correction through a hierarchical and reproducible sequence.

Material and method. Narrative review based on a selection of clinical studies, systematic reviews, expert consensus, and international clinical recommendations, focusing on the prevalence, pathophysiology, and management of oro-myofunctional dysfunctions in orthodontics.

Results. Seven oro-facial functions and structures are detailed: lingual frenulum ($\approx 8\%$ prevalence of ankyloglossia, with a doubled overall risk of malocclusion), breathing (robust associations between mouth breathing, maxillary transverse deficiency, hyperdivergent Class II, and anterior open bite), parafunctions (digital sucking correlated with open bite and posterior crossbite), cranio-cervical posture (bidirectional relationships between cervical posture and sagittal skeletal class), mastication (habitual unilateral chewing associated with 73% condylar asymmetries vs 21% in controls), tongue posture/swallowing (dysfunctional swallowing perpetuating malocclusions), and phonation (strong correlations between articulation disorders and open bite/Class II–III). A controlled study shows that combining orthodontics with orofacial myofunctional therapy significantly reduces relapse of anterior open bite (63% without relapse vs 0% with orthodontics alone; mean relapse 0.48 mm vs 3.38 mm; $p < 0.0001$). This article presents the SPF pyramid (Structure–Posture–Function), a revisited functional framework that integrates all elements of myofunctional therapy within orthodontic care and hierarchizes management into three steps: (i) removal of obstacles; (ii) correction of the functional environment; (iii) active rehabilitation.

Discussion. The gold standard pathway relies on referral to specialized speech therapists and orofacial myofunctional therapists. Passive myofunctional appliances can complement but not replace active rehabilitation based on neuroplasticity principles (Kleim & Jones 10 principles) and biofeedback. Digital tools offer opportunities to improve access to care and traceability.

Conclusion. Systematic integration of functional screening and oro-myofunctional rehabilitation into the orthodontic pathway, according to a hierarchical sequence (breathing, frenulum, parafunctions, posture, swallowing, mastication, phonation), improves therapeutic stability and justifies structured interdisciplinary coordination.

Keywords: Orthodontics / Myofunctional Therapy / Mouth Breathing / Malocclusion / Tongue Position / Ankyloglossia / Nasal Breathing / Craniofacial Growth / Functional Orthodontics / Orofacial Dysfunctions

POINTS CLÉS

- › **Stabilité / récurrence** — associer la rééducation myofonctionnelle à l'orthodontie réduit nettement la récurrence des béances antérieures : 63 % sans récurrence vs 0 %, amplitude divisée par ~7 (81).
- › **Frein lingual** — un frein court double le risque global de malocclusion, lien marqué pour les Classes III (9) ; corrélation frein restrictif ↔ béance antérieure, constriction maxillaire, diastème incisif inférieur (86).
- › **Ventilation** — corrélation ventilation orale ↔ occlusion inversée postérieure, Classe II, béance antérieure et hyperdivergence (68, 17).
- › **Parafunctions** — suctions non nutritives associées à béance antérieure, étroitesse maxillaire et occlusion inversée postérieure (68, 87, 89).
- › **Mastication** — mastication unilatérale non alternée associée à une asymétrie condylienne (85).
- › **Posture** — corrélation significative malocclusion ↔ posture corporelle (21, 79).
- › **Phonation** — les enfants avec troubles articulatoires ont des malocclusions plus fréquentes et plus sévères (64, 3).
- › **Déglutition** — la déglutition dysfonctionnelle influence les malocclusions via la posture linguale et l'équilibre musculaire (59, 42).
- › **Consensus** — un consensus d'experts international (2024) reconnaît les dysfonctions orofaciales comme facteurs locaux de malocclusion et que leur prise en charge réduit le risque de récurrence (94).

1 Introduction

L'orthodontie contemporaine s'inscrit dans une approche médicale où les fonctions oro-myofaciales participent activement à la croissance cranio-faciale, à la bonne conduite du traitement d'orthodontie ainsi qu'à la stabilité de ses résultats. Au-delà de l'alignement dentaire, l'enjeu clinique est double : dépister précocement les dysfonctions et les corriger dans une séquence hiérarchisée et reproductible (16, 20, 63). La forte prévalence des troubles oro-myofonctionnels en dentitions temporaire et mixte — avec, par exemple, une déglutition dysfonctionnelle chez 62–63,5 % des enfants et la présence d'au moins un trouble oro-myofonctionnel chez près de 9 enfants sur 10 (88,8 % en denture temporaire et 89,8 % en denture mixte précoce) — justifie l'intégration de la prise en charge fonctionnelle en parallèle du traitement orthodontique (ODF) (83, 32). En population orthodontique pédiatrique, environ 10,8 % des enfants présentent un risque positif de trouble respiratoire obstructif du sommeil, soit près du double de la population pédiatrique générale (1). Historiquement, le lien entre fonctions orofaciales, croissance et stabilité orthodontique est posé de longue date, Rogers ayant décrit dès 1939 les principes d'une thérapie myofonctionnelle adossée à l'équilibre musculaire orofacial (77).

Objectif — Proposer une revue narrative critique des données récentes et présenter un cadre clinique opérationnel, la pyramide SPF (Structure-Posture-Fonction), pour structurer la prise en charge des dysfonctions oro-myo-faciales en orthodontie selon une séquence hiérarchisée (dépistage, levée des obstacles, rééducation active) et en renforcer la stabilité thérapeutique ainsi que la coordination interdisciplinaire.

1.1 Consensus professionnel et recommandations internationales

L'évaluation des fonctions oro-faciales s'impose progressivement comme une composante reconnue du diagnostic et de la conduite du traitement orthodontique. La plupart des recommandations cliniques internationales et des sociétés savantes reconnaissent aujourd'hui qu'un examen orthodontique complet doit inclure une évaluation fonctionnelle (ventilation, déglutition, frein et posture linguale, phonation, mastication, parafunctions) — et que le praticien doit pouvoir démontrer qu'elle a été réalisée (16, 20, 63, 94). Ces mêmes recommandations préconisent la correction précoce des troubles identifiés. Concernant spécifiquement les troubles respiratoires obstructifs du sommeil, le White Paper de l'American Association of Orthodontists confère à l'orthodontiste un rôle de dépistage — anamnèse, examen clinique et questionnaire validé — avant orientation vers le médecin du sommeil (8), position réaffirmée dans sa mise à jour (67). Loin d'être une exigence isolée ou propre à un pays, cette orientation fait l'objet d'une convergence internationale qui positionne le dépistage fonctionnel intégré au bilan orthodontique comme un standard clinique reconnu, directement lié à la qualité et à la stabilité des traitements. Elle justifie une traçabilité du dépistage, des mesures et des orientations, ainsi qu'une organisation de soins pluridisciplinaire et protocolisée.

1.2 Grands principes (neuro-fonctionnels et biomécaniques)

La sur-représentation de la langue, des lèvres et de la région péri-buccale dans l'homunculus sensorimoteur de Penfield souligne la densité proprioceptive et la capacité d'apprentissage moteur de la sphère oro-faciale (69). La théorie des matrices fonctionnelles (Moss) postule que la morphogenèse cranio-faciale est largement déterminée par l'activité des fonctions et des tissus mous adjacents ; en pratique, une langue au palais stimule la croissance transverse du maxillaire et le développement des fosses nasales, tandis qu'une ventilation orale persistante abaisse la langue, réduit la stimulation palatine et entretient la dysmorphose (65). La loi de Wolff rappelle que l'os, matériau vivant anisotrope, s'adapte aux contraintes mécaniques : l'absence de pressions physiologiques (ex. posture linguale basse qui empêche les micropressions répétées de la langue sur le palais) favorise des architectures palatines étroites et ogivales (90). Ces principes fournissent le socle biologique et neuro-fonctionnel de la rééducation myofonctionnelle.



Figure 1. Homunculus sensorimoteur de Penfield, illustrant la représentation corticale des différentes parties du corps, avec une dominance marquée des structures orofaciales et des mains.

1.3 Pyramide fonctionnelle (logique hiérarchique de prise en charge)

Dans cet article, nous proposons une pyramide fonctionnelle revisitée — la pyramide SPF (Structure–Posture–Fonction) — qui formalise une hiérarchisation opératoire intégrant, au-delà des fonctions oro-faciales, les déterminants structurels et posturaux pertinents en thérapie myofonctionnelle appliquée à l'orthodontie.

S — Structures : frein lingual restrictif ; obstacles naso-pharyngés impactant la perméabilité.

P — Postures : posture linguale de repos et posture cervico-céphalique.

F — Fonctions :

- **Ventilation nasale :** restaurer la perméabilité et l'automatisation de la bouche fermée.
- **Parafonctions :** supprimer les interférences.
- **Posture linguale au repos & déglutition :** rééduquer l'appui palatin et les schémas de déglutition sans contractions parasites.
- **Mastication :** viser une mastication unilatérale alternée.
- **Posture globale :** intégrer les déterminants posturaux cervico-céphaliques.
- **Phonation :** réhabiliter les patterns articulatoires.

Cette organisation se traduit en une temporalité opératoire en trois temps, qui peuvent s'entremêler tout en respectant l'ordre directeur :

1. **Levée des obstacles :** restaurer la ventilation nasale, traiter un frein lingual restrictif lorsque présent, et sevrer les parafonctions.
2. **Correction de l'environnement fonctionnel :** dans le cadre du traitement d'orthodontie.
3. **Rééducation active :** entraîner et automatiser les fonctions oro-myo-faciales dans le nouvel environnement.

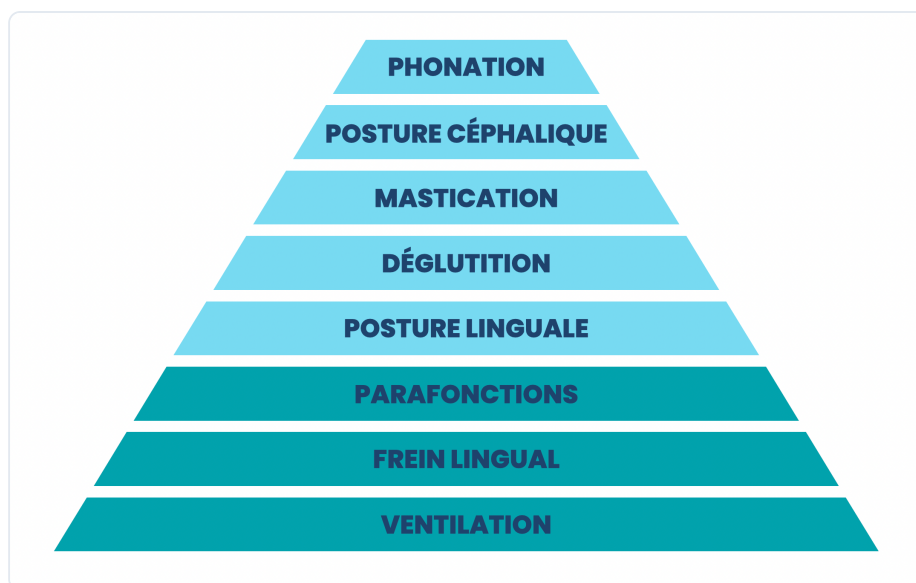


Figure 2. Pyramide SPF (structure – posture – fonction) des déterminants oro-myofaciaux, hiérarchisant la prise en charge thérapeutique.

La pertinence clinique de l'intégration de la rééducation fonctionnelle dans les traitements orthodontiques est illustrée par l'étude comparative de Smithpeter & Covell : chez 76 patients avec bécance antérieure, l'association orthodontie + rééducation myofonctionnelle (programme individualisé jusqu'à 49 exercices, ≈ 14 séances) a significativement diminué la récidence par rapport à l'orthodontie seule ; 63 % des sujets du groupe myofonctionnel n'ont présenté aucune récidence contre 0 % dans le groupe contrôle, et l'ampleur des rechutes était nettement inférieure ($0,48 \pm 0,8$ mm vs $3,38 \pm 1,3$ mm ; $p < 0,0001$) (81). Cette preuve clinique, associée à la prévalence élevée des dysfonctions en population pédiatrique générale (83), renforce la nécessité d'intégrer la rééducation myofonctionnelle dans les thérapeutiques orthodontiques (Figure 3).

63% vs 0% sans récidence de bécance antérieure

Association orthodontie + rééducation myofonctionnelle versus orthodontie seule ; récidence moyenne **0,48 mm vs 3,38 mm** ($p < 0,0001$). — Smithpeter & Covell (81).

Table II. Relapse differences

	Experimental group	Control group
Subjects (n)	27	49
Relapse range (mm)	0-4	1-7
Relapse mean (mm)	0.48 ± 0.8	3.38 ± 1.3
Standard deviation	0.8	1.3

Statistical comparison of the means confirmed a significant difference ($P = 0.0000$).

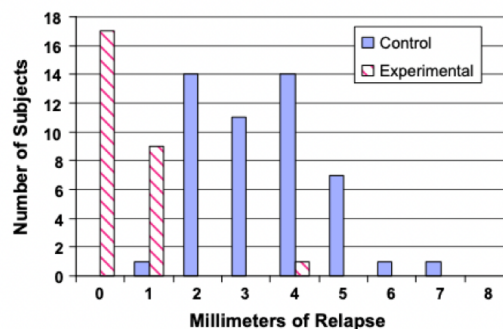


Fig 2. Comparison of the amounts of relapse in the control subjects vs the experimental subjects.

Figure 3. Schéma de l'étude de Smithpeter & Covell (2010) comparant les récides du groupe contrôle (orthodontie seule) au groupe expérimental (orthodontie + rééducation myofonctionnelle).

Cette problématique ne se limite pas à l'enfant. Chez l'adulte, les dysfonctions oro-myo-faciales demeurent des facteurs de retard et de complications dans la conduite des traitements orthodontiques, et constituent un facteur reconnu de récurrence après la fin du traitement, la persistance d'un déséquilibre neuromusculaire s'opposant à la stabilité du résultat obtenu (59,42,81).

2 Les fonctions et structures oro-myo-faciales

2.1 Frein lingual

L'ankyloglossie est une variation du développement embryologique du frein qui limite la mobilité physiologique de la langue. Une méta-analyse portant sur 24 536 nourrissons (< 1 an) rapporte une prévalence d'environ 8 %, avec une prédominance masculine proche de 2:1 ($p < 0,01$) (38). Au-delà de la seule difficulté de succion-déglutition du nourrisson, plusieurs travaux associent l'ankyloglossie à des désordres dento-squelettiques : une étude multicentrique, appariée et en aveugle menée chez 100 enfants montre qu'**un frein court double le risque global de malocclusion**, avec un lien renforcé pour les Classes III ($p = 0,029$) (9). Dans une cohorte multicentrique de 700 enfants, des freins classés Kotlow III-V sont corrélés à la bécane antérieure, à un maxillaire étroit et aux diastèmes incisifs inférieurs ($p < 0,05$), alors que les freins très courts sont moins représentés en Classes I-II (86). Enfin, concernant la stabilité, l'ajout d'une rééducation myofonctionnelle à l'orthodontie améliore significativement la pérennité des résultats (cf. Smithpeter & Covell, supra) (81).

Les études récentes confirment que la frénectomie linguale, lorsqu'elle est associée à une rééducation oro-myofonctionnelle, améliore significativement la mobilité de la langue, la posture linguale de repos et la qualité des fonctions oro-faciales, avec un impact favorable sur la déglutition, la phonation et la stabilité orthodontique. Tecco et al. (2015) ont montré que la combinaison chirurgie + rééducation entraîne une normalisation plus rapide des schémas de déglutition et une meilleure élévation comparée à la chirurgie seule (84). Ces résultats sont corroborés par Zaghi et al. (2019, 2023), qui rapportent, dans des cohortes importantes, une amélioration de la ventilation nasale, de la posture et de la fonction linguale dans > 80 % des cas après frenuloplastie associée à la myothérapie, avec un excellent profil de sécurité (92, 93). Baxter et al. (2020) soulignent que cette approche intégrée s'inscrit dans une logique fonctionnelle moderne du frein restrictif, considéré comme un résidu embryologique limitant la mobilité physiologique de la langue (6). Dans un contexte orthodontique, Nammour et al. (2019) indique que la frénectomie, notamment assistée par laser, favorise un positionnement lingual optimal, soutient la ventilation nasale et peut contribuer à la croissance transversale maxillaire en supprimant des contraintes mécaniques antérieures (66). Lichnowska et al. (2021) montrent enfin que la récupération articulaire dépend étroitement de la rééducation post-chirurgicale (53). Sur le plan biomécanique et postural, Rocabado (1983) et Giannakopoulos et al. (2013) rappellent les relations entre langue, os hyoïde et posture cervico-céphalique, suggérant qu'une libération du frein peut participer à un meilleur équilibre musculo-squelettique cranio-facial (76, 29). Dans l'ensemble, la littérature soutient

que la frénectomie est un levier anatomique permettant à la rééducation myofonctionnelle d'exprimer pleinement son efficacité lorsque la coordination interdisciplinaire est respectée (84,6).

2.1.1 Définition et physiologie

On désigne par ankyloglossie un frein lingual congénitalement court, épais ou fibreux, limitant l'élévation, la protraction et parfois la latéralité de la langue (38). L'International Affiliation of Tongue-Tie Professionals s'est accordé plus récemment sur la définition du frein de langue restrictif, en le définissant comme un « résidu embryologique de tissu au niveau de la ligne médiane entre la surface inférieure de la langue et le plancher buccal qui restreint les mouvements linguaux normaux » (6). Cette définition aborde l'ankyloglossie sous un plan plus fonctionnel car permet de mettre en lumière l'aspect limitant de la mobilité sans que le frein semble anormal visuellement.

Sur le plan physiologique, l'architecture des arcades résulte d'un équilibre musculaire. Selon le principe du « couloir dentaire » de Château ou de la « zone 0 » de Danguy, la position des dents se stabilise dans une zone neutre où s'équilibrent les forces centripètes (muscles buccinateurs latéraux, orbiculaire des lèvres en antérieur) et les forces centrifuges exercées par la langue au repos et lors des fonctions. Un frein restrictif limite l'appui palatin de la langue, altère sa posture de repos haute et modifie l'équilibre du couloir dentaire, exposant à des conséquences morphologiques.



Figure 4. Photographie endo-buccale d'un frein lingual restrictif.

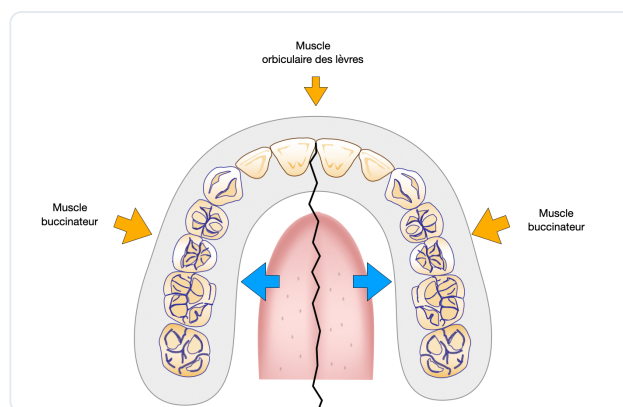


Figure 5. Représentation du « couloir dentaire », schématisant la zone neutre et les principales forces musculaires en présence : centripètes (muscles orbiculaire des lèvres et buccinateur) et centrifuges (muscles de la langue).

2.1.2 Physiopathologie et cascade dysmorpho-fonctionnelle

Les retentissements touchent les 3 dimensions :

- **Transversale** : lorsque l'élévation linguale est entravée, la langue reste basse et antérieure. La diminution des pressions palatines laisse prédominer les forces des joues et des lèvres : la zone neutre migre vers l'intérieur, entraînant une endomaxillie/endoalvéolie qui favorise cliniquement les occlusions inversées. Pour rechercher l'intercuspidation maximale, la mandibule peut dévier à la fermeture (latérodéviations fonctionnelles), avec décalage des milieux incisifs ; maintenu pendant la croissance, cette anomalie cinétique évolue alors en anomalie squelettique (latérogathie).

- **Antéro-postérieure** : une arcade supérieure étroite se comporte comme un verrou transversal. Chez certains patients, la mandibule se projette pour s'emboîter, réalisant une occlusion inversée antérieure (Classe III fonctionnelle) – cohérente avec l'association rapportée entre frein court et phénotype de Classe III (9). À l'inverse, le verrou peut masquer une occlusion inversée latérale, par une rétroposition mandibulaire : on parle alors d'endoalvéolie maxillaire relative, qui se révèle transversalement lorsque l'on positionne le patient en rapport de classe I d'Angle.
- **Verticale** : la langue interposée à la déglutition empêche le contact incisif et entretient la béance antérieure, avec vestibulo-version des incisives par pressions répétées (86).



Figure 6. Photographie endo-buccale de face objectivant une béance antérieure chez une patiente présentant une dysfonction ventilatoire.

2.1.3 Dépistage et mesures

L'examineur appréciera 3 déterminants lors de l'examen du frein :

- texture ;
- implantation ;
- atteinte de la fonctionnalité linguale.

Le dépistage combine examen clinique et tests fonctionnels simples : demander au patient de toucher les papilles rétro-incisives sans compensation mandibulaire, en ouverture buccale maximale (Test de Wilder et Gelesko). On parlera de frein restrictif lorsque la quantité d'ouverture buccale avec l'apex de la langue sur les papilles rétro-incisives est inférieure à la moitié de l'ouverture buccale maximale du patient. La classification de Kotlow repose sur la mesure de la distance entre la pointe de la langue et l'attache antérieure du frein lorsque la langue est soulevée. Elle permet d'estimer la longueur libre de la langue, considérée comme un indicateur de la sévérité d'un frein restrictif (48).

2.1.4 Prise en charge

La stratégie est pluridisciplinaire et hiérarchisée. En première intention, lorsque la mobilité est partiellement préservée, on privilégie des exercices d'étirement. Lorsque le frein est trop restrictif, une frénectomie est indiquée. Deux points conditionnent le pronostic fonctionnel :

- **Pré-opératoire** : le patient doit prendre connaissance des exercices avant l'intervention afin d'en maîtriser le geste en fonction des possibilités anatomiques.
- **Post-opératoire immédiat** : la reprise précoce des exercices (dans les heures suivant l'acte) est essentielle pour prévenir la cicatrisation fibreuse/ré-attachement, faute de quoi le gain de mobilité est perdu et la gêne peut persister ou s'aggraver. On parlera alors de bride cicatricielle.

La prise en charge associe, selon les cas, chirurgien-dentiste/ORL-CMF, rééducateur et orthodontiste. **La frénectomie seule n'est pas suffisante : l'ancrage des bénéfices requiert une rééducation myofonctionnelle immédiate après le geste.**

2.2 Ventilation

2.2.1 Définition et physiologie

La ventilation nasale est la voie ventilatoire physiologique de l'être humain. Elle assure trois fonctions indissociables — filtration, réchauffement et humidification — qui conditionnent la qualité de l'air trachéo-bronchique et la dépense ventilatoire. En traversant les fosses nasales, l'air est piégé par les vibrisses et le mucus puis balayé par l'épithélium cilié, ce qui élimine la majorité des particules de taille supérieure à 5 µm. Les cornets inférieurs et moyens agissent comme un échangeur thermique et hygrométrique : l'air inspiré est porté à ~33-34 °C et son humidité relative s'approche de 80-98 %, paramètres indispensables des échanges efficaces. Comparée à la ventilation orale, la ventilation nasale permet d'obtenir une consommation d'oxygène équivalente pour une ventilation minute réduite de 35 à 38 %, s'accompagnant typiquement d'une **fréquence respiratoire plus basse** et d'un **volume courant légèrement accru**, traduisant une **meilleure efficacité ventilatoire** à l'exercice (18, 22). Cette supériorité tient notamment à la production d'oxyde nitrique paranasal, dont les effets vasodilatateurs et anti-infectieux optimisent la diffusion alvéolaire et la perfusion pulmonaire.

Le « cycle nasal » — alternance toutes les deux à six heures d'une narine dominante puis de l'autre — résulte de variations toniques neurovégétatives des cornets et doit être connu pour interpréter correctement les tests de perméabilité. Enfin, la ventilation nasale possède une dimension morphogénique : le passage quotidien de 12 000 à 15 000 L d'air exerce des contraintes répétées sur les parois nasales et le plancher fossal, mécaniquement solidaire de la voûte palatine ; dans la logique de la matrice fonctionnelle, cette stimulation contribuerait à la croissance transversale du massif médio-facial (65).

Plusieurs enquêtes observationnelles relient la ventilation orale aux malocclusions. Chez 1 616 enfants d'âge préscolaire, Paolantonio et coll. ont montré une association significative entre ventilation orale, occlusion inversée postérieure, surplomb modéré et bécane antérieure. Dans une cohorte de 128 sujets ventilateurs oraux, Cozza et coll. rapportent une prévalence accrue de Classe II, d'hyperdivergence et de bécane antérieure. Souki et coll., sur 401 enfants évalués en clinique ORL spécialisée, confirment la fréquence élevée d'occlusion inversée postérieure (~ 30 % en denture mixte et ~ 48 % en denture permanente) chez les ventilateurs oraux. Le modèle expérimental de Harvold chez le primate — obstruction nasale par bouchons en silicone — reproduit une augmentation de la hauteur faciale inférieure, une posture linguale basse et une mandibule descendue et reculée, rapprochant le phénotype de

l'hyperdivergence clinique. Ces travaux, observationnels et expérimentaux, convergent vers une association robuste entre ventilation orale chronique, déficit transversal maxillaire, schéma de Classe II par rotation mandibulaire et bécane antérieure (68, 17, 82, 37, 54).

2.2.2 Physiopathologie et cascade dysmorpho-fonctionnelle

La ventilation orale prolongée s'installe sur un double terrain :

- un facteur obstructif favorise la ventilation orale ;
- une incompétence labiale et/ou des habitudes posturales pérennisent l'ouverture buccale.

La langue, contrainte d'abandonner sa posture palatine de repos pour laisser passer l'air, cesse de stimuler latéralement les sutures maxillaires : le couloir dentaire se modifie et aboutit à un déficit transversal. Ce verrou transversal freine l'avancée mandibulaire et favorise une rotation (Classe II hyperdivergente) par la position mandibulaire en ventilation orale. Parallèlement, l'interposition linguale lors des fonctions entretient la bécane antérieure. L'ensemble illustre une cascade dysmorpho-fonctionnelle bidirectionnelle où squelettique et fonctionnel s'auto-entretiennent (17, 37, 65, 68, 82).

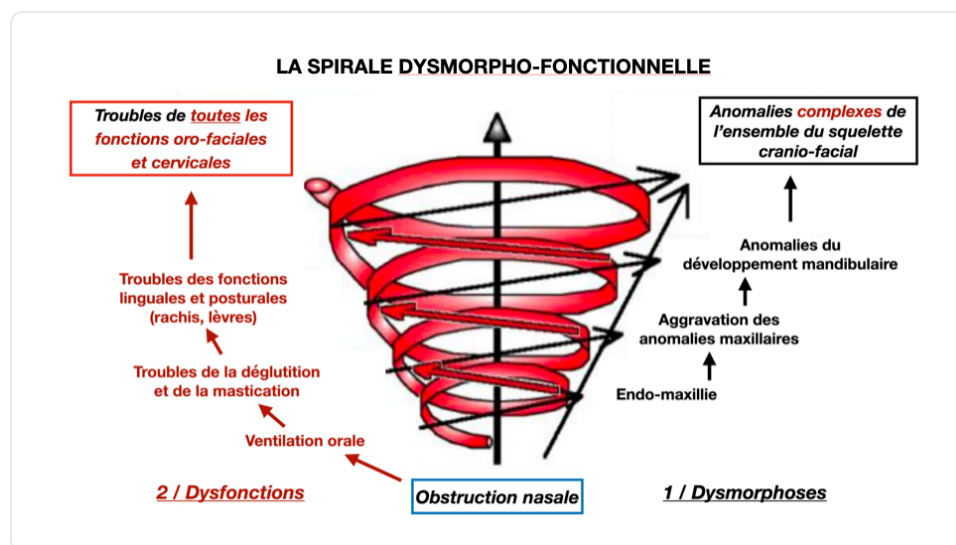


Figure 7. Cascade dysmorpho-fonctionnelle.

2.2.3 Dépistage et diagnostic

Le test de Glatzel (condensation symétrique de la buée sur miroir métallique froid sous les narines) fournit une appréciation simple de la perméabilité, à interpréter à la lumière du cycle nasal. Le test de Gudín met en lumière une incompétence nasale qui peut être ou non liée à une obstruction anatomique. Le test de Rosenthal permet d'évaluer la capacité du patient à garder une ventilation nasale stricte durant 15 cycles reflétant ainsi sa capacité fonctionnelle à ventiler par le nez. L'examen extra-buccal recherche les stigmates du faciès adénoïdien (cernes infra-orbitaires, narines fines, bouche entrouverte, lèvres sèches, typologie hyperdivergente, fentes palpébrales tombantes) ; l'examen endobuccal apprécie posture linguale et compétence labiale. L'évaluation oropharyngée peut être objectivée par le score de Friedman et de Mallampati modifié (27, 57).

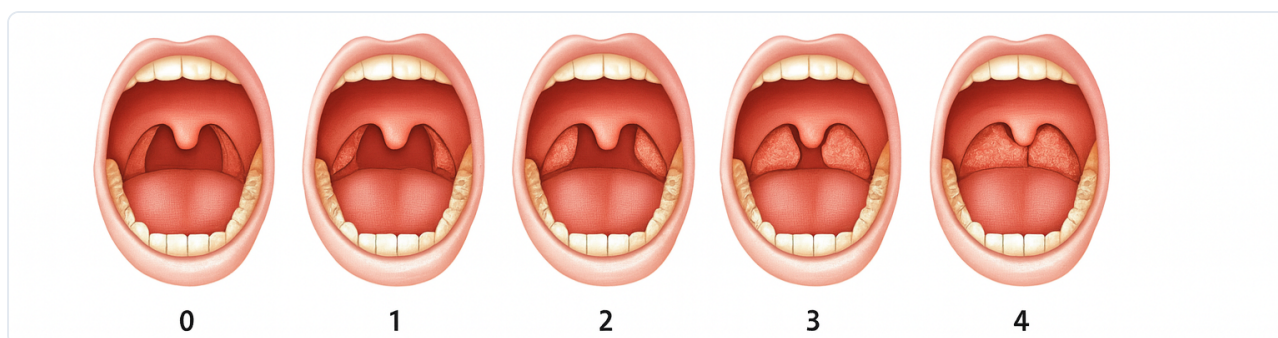


Figure 8. Grades de Friedman pour l'évaluation du volume amygdalien : Grade 0 — la luette et les piliers de la loge amygdalienne sont visibles ; Grade 1 — les amygdales sont cachées dans la loge ; Grade 2 — les amygdales dépassent la loge ; Grade 3 — les amygdales dépassent largement la loge sans passer le milieu ; Grade 4 — les amygdales sont jointives au niveau de la luette.

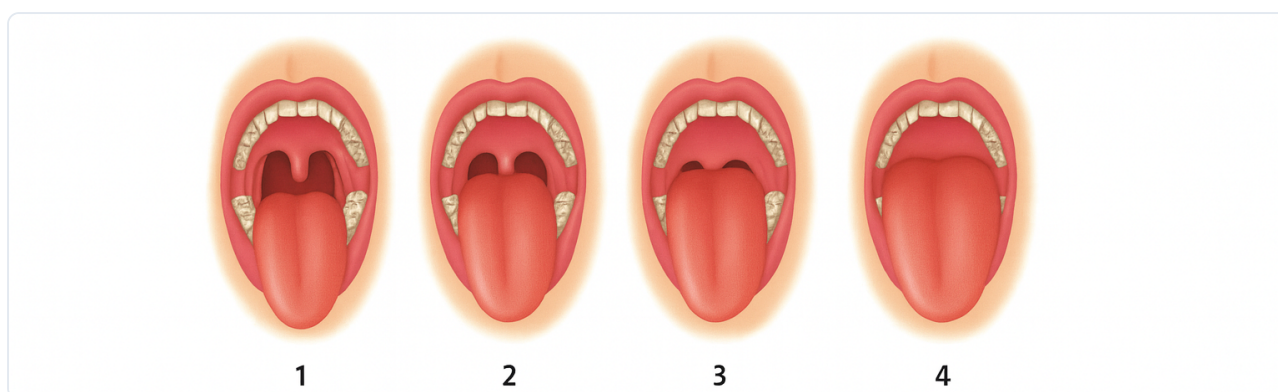


Figure 9. Score de Mallampati modifié : outil d'évaluation de l'encombrement oropharyngé et du risque d'obstruction des voies aériennes supérieures. Classe 1 — la luette et les loges amygdaliennes sont visibles ; Classe 2 — la luette est partiellement visible ; Classe 3 — seul le palais membraneux est visible ; Classe 4 — seul le palais osseux est visible.

2.2.4 Retentissements orthodontiques et cranio-faciaux

Dans la dimension transversale, la conséquence la plus constante est l'endomaxillie, souvent associée à des occlusions inversées postérieures (17, 68, 82). La latérodéviation mandibulaire qui peut en découler illustre la genèse fonctionnelle d'asymétries susceptibles de se squelettiser. Dans la dimension antéro-postérieure, le verrou transversal favorise la Classe II par rotation mandibulaire ; dans la dimension verticale, l'hyperdivergence et la béance antérieure reflètent l'abaissement lingual et l'ouverture buccale persistante (17, 37, 82). Les arcades supérieures étroites majorent le risque d'anomalies d'éruption, en particulier d'inclusion canine.

2.2.5 Prise en charge : principes et protocoles

Le traitement est séquentiel et interdisciplinaire. Il commence par la levée des obstacles (ORL / allergologue, par chirurgie ou traitement local) puis par la normalisation des volumes. L'augmentation de la dimension transversale maxillaire (chirurgicale ou orthopédique) augmente le volume des fosses nasales et diminue la résistance au flux ; la loi de Poiseuille explique que de faibles gains transversaux puissent produire un bénéfice respiratoire majeur (18, 22). La consolidation repose sur une rééducation myofonctionnelle.

Par ailleurs, s'il n'y a pas d'obstacle anatomique, la rééducation peut débuter dans le cas d'une immaturité nasale/labiale/jugale. Cette dernière s'appuiera sur un travail proprioceptif, postural et conseils en mouchage et en hygiène nasale.

2.2.6 Génomoplastie fonctionnelle

Chez certains patients, la fermeture labiale passive reste impossible sans contraction du muscle mentalis malgré l'absence d'obstacle anatomique et la rééducation. Dans ces situations, la génomoplastie fonctionnelle est une chirurgie brève qui modifie le soutien des tissus mous, restaure la compétence labiale et facilite la ventilation nasale, améliorant de manière indirecte la déglutition, la phonation et la stabilité orthodontique, en particulier lorsqu'un excès vertical du tiers inférieur ou une classe II squelettique persistent. Indiquée lorsque la ventilation orale au repos et l'incompétence labiale perdurent, elle bénéficie d'un timing pubertaire : réalisée autour du pic de croissance pubertaire, des séries prospectives rapportent une redirection mandibulaire (augmentation du SNB, rotation antérieure) comparativement aux interventions plus tardives (25). Chez des adolescents avec troubles ventilatoires obstructifs, on observe après génomoplastie un retour de la ventilation nasale, une fermeture labiale spontanée et une amélioration des symptômes nocturnes (26). D'autres travaux décrivent un gain de l'espace rétro-lingual et une meilleure perméabilité oropharyngée (7), sans effet délétère sur la croissance et avec un remodelage osseux plus marqué chez les plus jeunes (12). Une revue systématique signale en moyenne une augmentation de l'espace pharyngé postérieur d'environ 4 mm et, dans plusieurs séries, des gains volumétriques des voies aériennes supérieures après génomoplastie (30). Le geste n'est pas substitutif : il crée un environnement favorable qui doit être consolidé par la rééducation oro-myofonctionnelle.

2.2.7 Apnées du sommeil : repères pour l'orthodontiste

Le syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil (SAHOS) se définit par la répétition d'épisodes d'obstruction partielle ou complète des VADS pendant le sommeil, induisant désaturations et micro-réveils. L'indice apnées-hypopnées (IAH) qualifie la sévérité (adulte : $\geq 5/h$, $\geq 15/h$, $\geq 30/h$; enfant : $\geq 1/h$, $\geq 5/h$, $\geq 10/h$). La maladie est fréquente et largement sous-diagnostiquée (14, 44). Elle concerne environ 1 à 5 % des enfants en population générale (58), mais **près de 10,8 % en population orthodontique pédiatrique** (1). Cette sur-représentation s'explique vraisemblablement par le lien entre les dysmorphoses fréquentes chez ces patients (endomaxillie, rétromandibulie, hyperdivergence) et le risque obstructif (15). Chez l'enfant, elle s'accompagne de troubles attentionnels, de baisse des performances scolaires et, du fait de la fragmentation du sommeil profond, d'un retard staturo-pondéral (31). Chez l'adulte, elle majore la mortalité cardio-vasculaire, la somnolence diurne et le risque d'accidents. Les sites de collapsus prédominants des voies aériennes supérieures sont le voile du palais (~84 %) et la base de langue (~52 %) (51), d'où l'importance d'une rééducation visant la tonification de ces structures en l'absence d'étiologie neuro-musculaire (apnées centrales). Les étiologies se partagent entre :

- facteurs anatomiques (adénoïdes/amygdales, macroglossie, bascule de l'épiglotte, déviation septale, rétromandibulie, endomaxillie, surpoids) ;
- fonctionnels (hypotonie des muscles oropharyngés, incompétence narinaire, habitudes de ventilation orale) ;
- positionnels (décubitus dorsal) ;
- autres causes plus rares (acromégalie, anomalies cranio-faciales...).

Toute suspicion clinique justifie orientation et bilan du sommeil. En effet, l'appréciation seule du phénotype craniofacial est peu fiable pour identifier le SAOS pédiatrique, l'effet des caractéristiques faciales étant modulé par l'âge et l'indice de masse corporelle (23) ; chez l'enfant, le dépistage repose donc sur un questionnaire validé tel que le PSQ (14). Chez l'adulte, on recourt à des outils dédiés comme le STOP-BANG et l'échelle d'Epworth (44).

Les récentes méta-analyses confirment l'intérêt de la rééducation orofaciale dans la prise en charge des apnées obstructives du sommeil (SAOS), chez l'adulte comme chez l'enfant. Les travaux de Camacho et al. (2023), Xie et al. (2022), Hu et al. (2025) et Cammaroto et al. (2024) montrent que la thérapie myofonctionnelle, axée sur le renforcement des muscles linguaux, vélares et péri-buccaux, réduit en moyenne de 30 à 50 % l'indice d'apnée-hypopnée (AHI), améliore la saturation minimale en oxygène et diminue la somnolence diurne (10, 11, 39, 91, 34, 72). Chez l'adulte, elle optimise l'efficacité et l'observance des traitements conventionnels (CPAP, orthèse d'avancée mandibulaire). Chez l'enfant, elle contribue à la restauration de la ventilation nasale et à la correction des dysfonctions oro-myofonctionnelles souvent associées. Dans cette perspective, Cohen-Lévy et al. (2023) soulignent que la rééducation constitue un complément thérapeutique indispensable dans la prise en charge multidisciplinaire du SAOS pédiatrique, en renforçant la ventilation nasale et la stabilité des résultats orthodontiques. En agissant sur la tonicité et la coordination des structures oro-pharyngées, la rééducation apparaît comme une approche étiologique complémentaire essentielle (15). À titre illustratif, un essai contrôlé randomisé a montré qu'un entraînement quotidien au didgeridoo, tonifiant la langue et le voile du palais, réduisait la somnolence diurne et la sévérité du SAHOS (74).

2.3 Parafunctions

Les parafunctions orales regroupent des habitudes qui ne servent aucun but physiologique (nutrition, phonation, déglutition) et qui, lorsqu'elles sont répétées ou prolongées, modifient l'environnement neuromusculaire et l'équilibre des forces appliquées sur les arcades. Les plus fréquentes sont les suctions non nutritives (pouce, doigt, tétine, lèvres), les mordillages d'objets (ongles, stylos, « peaux ») et, plus largement, certaines parafunctions masticatoires (bruxisme). Leur impact morpho-fonctionnel s'explique par une altération de l'équilibre des forces en présence dans le couloir dentaire : l'interposition du doigt ou de la tétine empêche l'élévation linguale contre le palais et diminue la stimulation transversale (forces centrifuges), tandis que la succion hyperactive le buccinateur, muscle constricteur, et augmente les forces centripètes sur le couloir dentaire. Par l'appui et le mouvement de « décapsulage », le pouce induit une vestibuloversion des incisives maxillaires et creuse le palais. Il favorise aussi la linguoversion des incisives inférieures et freine la croissance mandibulaire. L'interposition digitale entretient une béance antérieure et une posture linguale basse, avec déglutition dysfonctionnelle et troubles phonétiques associés.

Plusieurs études cliniques confirment l'association entre parafunctions et malocclusions. Chez 444 enfants en denture mixte, Warren et al. ont rapporté des liens entre les suctions non nutritives et la survenue d'une béance antérieure ainsi que d'occlusions inversées postérieures (89). Dans une population de 265 sujets, Cozza et al. ont montré qu'une habitude de succion est associée à une étroitesse maxillaire et à une prévalence accrue d'occlusion

postérieure, en particulier dans les phénotypes hyperdivergents ($p < 0,01$) (17). Enfin, dans une cohorte de 1 099 enfants, Viggiano et al. ont mis en évidence une association significative entre parafunctions et occlusion inversée postérieure ($p < 0,0001$) (87).

2.3.1 Conséquences fonctionnelles et cascade dysmorpho-fonctionnelle

La succion du pouce installe une déglutition dysfonctionnelle par interposition et une posture linguale basse au repos, ce qui entretient la ventilation orale et perturbe mastication et phonation. Sur le temps long, ces perturbations s'inscrivent dans une cascade dysmorpho-fonctionnelle : l'habitude (succion) induit une dysfonction (langue basse, déglutition dysfonctionnelle) qui alimente des anomalies de développement maxillaire (insuffisance transversale) et, par continuité, contrarie la croissance mandibulaire, avec retentissement global sur l'équilibre cranio-facial.

2.3.2 Dépistage et principes de prise en charge

Le dépistage repose sur l'interrogatoire du patient et des parents si c'est un enfant, l'examen extra/intra-buccal et l'évaluation des fonctions.

La prise en charge est éducative et comportementale : information claire de l'enfant et des parents, responsabilisation et renforcement, stratégies de substitution. Des aides simples peuvent être utilisées (vernis amer, gants anti-pouce) lorsque l'adhésion est présente.

Les dispositifs coercitifs (grilles anti-pouce, picots collés) ne sont pas recommandés : ils n'adressent ni l'intention comportementale ni la motivation et peuvent être contournés, au prix d'effets indésirables (mouvements indésirables sur les dents d'ancrage). Un accompagnement psychologique est indiqué si l'habitude persiste à l'adolescence/âge adulte, ou coexiste avec une anxiété significative.

2.4 Posture

2.4.1 Définition et cadre physiopathologique

La posture résulte d'une intégration multimodale (visuelle, vestibulaire, somatosensorielle) au sein d'un continuum crânio-cervico-mandibulaire. Les afférences et efférences des chaînes musculaires cervico-faciales conditionnent la position de repos mandibulaire et linguale. Inversement, l'occlusion et la cinématique mandibulaire modifient les schémas toniques cervicaux, illustrant une relation bidirectionnelle entre posture et morphologie cranio-faciale (21, 79).

Une revue systématique PRISMA (2010–2023) regroupant 24 études transversales (6 199 sujets de 4 à 18 ans) met en évidence des corrélations significatives entre malocclusion et (i) posture globale, (ii) posture crânio-cervicale, (iii) paramètres du système podal, et (iv) marche (79).

Une seconde revue systématique PRISMA (2015–2025, 14 études, 1 064 participants) confirme des associations statistiquement significatives entre posture cervicale et classes squelettiques sagittales. Les auteurs insistent sur un effet bidirectionnel : la malocclusion influence la posture cervicale et, réciproquement, une modification de la posture cervicale peut infléchir la morphologie cranio-faciale — en particulier chez l'enfant en croissance — et recommandent une prise en charge intégrée (orthodontie, kinésithérapie/posturologie, thérapie myofonctionnelle orofaciale) pour limiter les récurrences (21).

Par ailleurs, comme démontré par Rocabado (1983), il existe une relation statique entre la position de la langue, de l'os hyoïde, de la colonne cervicale et de la tête mandibulaire. Les variations de la posture cranio-cervicale modifient directement la position de l'hyoïde et, par conséquent, celle de la langue, via les chaînes myo-fasciales supra- et infra-hyoïdiennes. Ce travail fondateur a établi le modèle cranio-cervico-mandibulaire, décrivant l'interdépendance entre posture, équilibre mandibulaire et fonctions oro-faciales, et constitue encore aujourd'hui une référence essentielle pour comprendre les interactions entre langue, ventilation nasale et posture (76).

2.4.2 Port de tête et classes sagittales

Sur le plan mécanistique, un port de tête en avant induit une adaptation des muscles cervico-mandibulaires et une majoration des contraintes des supra/infracoréens qui tendent à postéro-positionner la mandibule, orientant vers des phénotypes de classe II. À l'inverse, une hyper-extension (port de tête en arrière) module ces contraintes dans le sens d'une projection mandibulaire relative, compatible avec un phénotype de classe III (21, 75).

Par ailleurs, les asymétries toniques (p. ex., port unilatéral de charge) et certaines anomalies posturales idiopathiques (scolioses) s'accompagnent d'asymétries faciales et de bascules du plan d'occlusion. Une mastication unilatérale peut entretenir ces asymétries — et réciproquement — par des boucles réflexes tonico-posturales (79).

2.4.3 Évaluation clinique

L'interdépendance posture-occlusion peut être objectivée au cabinet par le test de Meersseman : une modification occlusale transitoire (p. ex., cales/cotons symétriques en secteurs postérieurs) est suivie d'une évaluation posturale immédiate. Des variations reproductibles soutiennent l'hypothèse d'un couplage fonctionnel entre bloc d'occlusion et contrôle postural (61). Un deuxième test, le Occlusal Kinesthetic Sensitizing Test (OKST) (von Piekartz, 2015), explore la capacité à modifier les signes et la symptomatologie neuromusculaire par une altération des afférences dentaires pendant l'occlusion habituelle. Il permet d'apprécier la sensibilité du système manducateur aux entrées proprioceptives occlusales et leur retentissement sur la coordination crânio-cervicale (88). Cependant, il convient de rester prudent dans l'interprétation de ces deux tests car les données disponibles ne permettent pas d'établir une relation causale directe entre occlusion et posture, les corrélations observées pouvant relever de mécanismes adaptatifs ou compensatoires (Perinetti 2009). En complément, un troisième test consiste en l'évaluation objective de la posture globale du patient, idéalement pieds nus, nuque dégagée, afin d'observer la symétrie corporelle, l'alignement axial (tragus – acromion – grand trochanter – condyle fémoral externe – malléole externe) et les éventuelles compensations segmentaires dans des conditions neutres (60, 70). (Figure 10)



Figure 10. Repères de l'alignement de l'axe sagittal (tragus – acromion – grand trochanter – condyle fémoral externe – malléole externe).

2.4.4 Prise en charge fonctionnelle

La conduite à tenir s'articule autour de trois axes :

- Restaurer un environnement anatomique propice à la fonction (équilibres transversaux et sagittaux, perméabilité des VADS (21)) afin de réduire les contraintes toniques compensatoires.
- Rééduquer par des exercices de contrôle moteur et de renforcement musculaire.
- S'adapter aux contraintes anatomiques craniofaciales et dysmorphoses existantes.

2.5 Mastication

2.5.1 Physiologie et rôle cranio-facial

La mastication physiologique est unilatérale alternée, équilibrée, indolore et bouche fermée. Ce mode d'activation répartit symétriquement les charges au niveau des ATM, sollicite de manière coordonnée les muscles et participe à la stabilité posturale crânio-cervicale. Dans ce cadre, le maxillaire reçoit un modelage fonctionnel régulier, la mandibule suit une cinématique centrée et le tonus neuromusculaire demeure équilibré.

À l'inverse, une réduction de l'effort masticatoire (alimentation molle) diminue la stimulation mécanique de l'os. Conformément à la loi de Wolff (90), l'os — matériau anisotrope et viscoélastique — se forme et se résorbe selon les contraintes qu'il subit : moins de contraintes entraîne moins de modelage transversal du maxillaire et peut favoriser une endomaxillie.

Les capacités de charge du système masticateur sont considérables : classiquement, $\approx 10 \text{ kgf/cm}^2$ de section musculaire ont été rapportés, pour une surface totale moyenne d'élévateurs de $\approx 19,5 \text{ cm}^2$, soit une force théorique pouvant approcher $\approx 195 \text{ kgf}$ lors de la

morsure maximale. Ces niveaux de charge expliquent l'impact potentiel de la fonction masticatoire sur la croissance et le remodelage squelettiques. Le système manducateur est un des systèmes musculaires les plus puissants du corps humain et le plus finement régulé (62).

2.5.2 Dysfonctions et mécanismes

La mastication unilatérale non alternée habituelle constitue le tableau le plus fréquent. Elle peut être entretenue par une :

- douleur dentaire ;
- asymétrie de tonus/posture ;
- latérodéviation mandibulaire.

Sur le plan biomécanique, le côté travaillant concentre les contraintes, tandis que le côté non-travaillant est sous-sollicité ; s'installe alors un cercle vicieux dysmorpho-fonctionnel associant latérodéviation, rotation du tiers inférieur et déséquilibres musculaires.

Les données cliniques confirment ce lien fonction-structure. Dans une étude comparative portant sur des enfants porteurs d'occlusion inversée postérieure unilatérale, 73 % **présentaient une asymétrie condylienne supérieure à 6 % contre 21 % des témoins**, avec un écart moyen d'asymétrie de 10,7 % vs 4,2 % ($p < 0,001$) (85). Cette observation soutient l'hypothèse selon laquelle un trouble fonctionnel unilatéral peut induire des adaptations osseuses asymétriques.

2.5.3 Conséquences cliniques et orthodontiques

Ces schémas conduisent à des asymétries faciales et des arcades étroites, des occlusions inversées, des latérodéviation, ainsi qu'une usure asymétrique liée à des parcours mandibulaires non centrés. À long terme, ces altérations majorent le risque de dysfonction des ATM.

2.5.4 Dépistage clinique

Le dépistage s'appuie sur l'interrogatoire (préférence de mastication, textures alimentaires), l'examen extra-oral (symétries, trajectoires d'ouverture/fermeture, déviation), l'examen intra-oral (prématurités, endo-alvéolies/endomaxillies, facettes d'usure) et, si besoin, sur des examens complémentaires (analyse du cycle masticatoire en situation réelle). L'analyse des trajectoires mandibulaires et des contacts en propulsion/latéralités aide à objectiver la latérodéviation fonctionnelle.

2.5.5 Principes de prise en charge

L'objectif est double : rétablir l'environnement anatomique propice à une mastication unilatérale alternée, puis rééduquer la fonction.

- **Mesures éducatives et diététiques.** Information du patient et des parents sur le rôle de la mastication dans la croissance, la formation du bol alimentaire et l'équilibre neuromusculaire ; diversification progressive des textures et adaptation du rythme des prises afin de rehausser l'effort masticatoire dès le plus jeune âge.
- **Rééducation oro-myofonctionnelle.** Exercices de prise de conscience et d'entraînement volontaire répété, avec biofeedback naturel, visant à (ré)engrammer un schéma unilatéral alterné et à coordonner l'action des muscles élévateurs et la trajectoire mandibulaire.

- **Corrections occlusales ou orthopédiques.** Selon l'âge et l'étiologie, recours possible aux plaques à pistes (type Planas) pour guider la mandibule vers des relations plus symétriques et stimuler la mastication alternée pendant la croissance. Une expansion transversale (disjoncteur, quad-helix) peut être indiquée en cas d'endomaxillie ou d'endoalvéolie entretenant une latérodéviation.

Ces interventions s'intègrent idéalement dans une prise en charge pluridisciplinaire (odontologie pédiatrique, orthodontie, kinésithérapie oro-faciale, diététique), avec suivi de l'adhésion et de l'évolution clinique.

2.6 Posture linguale et déglutition

La littérature récente confirme l'imbrication étroite entre posture linguale, schémas de déglutition et morphogenèse cranio-faciale. Dans une étude clinique portant sur 100 patients, Deregibus et coll. rapportent une prévalence plus élevée d'ankyloglossie chez les sujets en classe III ainsi qu'une altération de la posture linguale au repos dans ces mêmes groupes, suggérant un couplage structure-fonction qui participe à l'expression antéro-postérieure des malocclusions (19). Cette relation ne se limite pas à des observations transversales. Une revue systématique conclut que la déglutition dysfonctionnelle influence de manière significative et mesurable les malocclusions par l'intermédiaire de la position de la langue et de l'équilibre neuromusculaire orofacial. Les auteurs recommandent, pour améliorer la stabilité occlusale, une prise en charge combinée associant traitement orthodontique et rééducation oromyofonctionnelle, éventuellement adossée à des dispositifs oraux adjuvants (42). Cette dynamique est bidirectionnelle : une revue narrative souligne qu'une malocclusion peut induire ou entretenir une déglutition anormale, laquelle, en retour, pérennise la dysmorphose et expose à la récurrence si la fonction n'est pas rééduquée parallèlement au traitement orthodontique (59). Pris ensemble, ces travaux justifient une stratégie intégrée qui cible simultanément la forme (arcades, rapports intermaxillaires) et la fonction (posture linguale, praxies de déglutition).

2.6.1 Définition et physiologie

La déglutition est un acte réflexe complexe assurant le transfert du bol (ou de la salive) de la cavité buccale vers l'estomac. Elle apparaît in utero (déglutition du liquide amniotique), puis mûrit au cours de l'enfance pour évoluer d'un pattern infantile, caractérisé par des composantes labiales et péri-buccales marquées, vers un pattern adulte. Dans la déglutition physiologique adulte, la phase orale volontaire se distingue par l'élévation de la langue contre le palais — pointe en appui sur les papilles rétro-incisives — et par une ondulation postérieure du dos lingual qui propulse le bol vers l'oropharynx (mouvement de péristaltisme). Les lèvres restent au repos, sans hypertonie, tandis que le voile du palais s'élève précocement et que les dents rentrent brièvement en contact. Les phases pharyngée (réflexe) et œsophagienne (automatique) assurent ensuite la protection des voies aériennes et la progression du bol. Au repos, la posture physiologique est celle d'une langue haute, dont les bords latéraux sont en contact avec les versants palatins, participant à la stimulation transversale et à la stabilité de l'architecture maxillaire. À l'inverse, la persistance d'un pattern infantile au-delà de l'âge de transition constitue une déglutition dysfonctionnelle, susceptible d'entretenir des déséquilibres occluso-fonctionnels (59, 42).

2.6.2 Physiopathologie, origines et cascade dysmorpho-fonctionnelle

Les origines sont multifactorielles :

- **Fonctionnel :**
 - la ventilation orale maintient la langue basse ;
 - les parafunctions font obstacle mécaniquement à l'élévation linguale ;
 - une mastication unilatérale non alternée ou réduite appauvrit la sollicitation latérale et verticale de la langue, affaiblissant son rôle de modelage palatin.
- **Anatomique :**
 - une endomaxillie restreint l'espace palatin disponible ;
 - un frein lingual court limite l'élévation ;
 - une macroglossie relative peut gêner l'ajustement palatin (19, 59, 42) ;
 - une hypotonie orofaciale rend plus difficile le maintien d'une posture haute.

Ces facteurs alimentent une cascade : une langue basse et une déglutition dysfonctionnelle privent le palais de stimulation, favorisant un rétrécissement transversal (souvent une arcade « en lyre », signe évocateur d'une contraction excessive du muscle buccinateur), ainsi que l'apparition d'occlusions inversées et d'asymétries. En outre, la propulsion linguale contribue aux béances et aux proalvéolies incisives, et l'interposition peut mimer ou entretenir une classe II. La littérature insiste sur le caractère réciproque de ces influences et sur le fait qu'un traitement purement morphologique expose à la récurrence si la fonction n'est pas corrigée (59, 42).

2.6.3 Dépistage et prise en charge

Le dépistage combine anamnèse fonctionnelle ciblée, observation au repos (posture linguale, compétence labiale, contraction péri-buccales) et en fonction (poussée antérieure, interpositions, mobilité/élévation de la langue), complétés, si besoin, par l'analyse des arcades et des rapports intermaxillaires. La hiérarchisation des soins est cruciale : restaurer un contexte ventilatoire et un environnement anatomique favorables (mobilité linguale), puis engager une rééducation oro-myofonctionnelle.

Sur le plan thérapeutique, une revue systématique plaide pour une approche combinée associant orthodontie et rééducation afin d'obtenir une stabilité occlusale et d'éviter les rechutes (42). Un essai contrôlé randomisé récent en denture mixte illustre l'intérêt de cette approche dans la béance antérieure : l'ajout d'une thérapie oro-myofonctionnelle brève au traitement orthodontique atténue l'augmentation de la pression linguale lors de la déglutition et réduit la persistance d'une déglutition dysfonctionnelle après dépose de l'appareil — un élément favorable à la stabilité du résultat ; la fonction linguale y est par ailleurs quantifiée de façon objective, par mesure de la pression linguale au dynamomètre intra-oral (50). Les adjuvants passifs peuvent aider à guider en complément d'un protocole actif (42).

2.7 Phonation

Chez l'enfant, les troubles du son de la parole s'accompagnent d'une prévalence plus élevée et d'une sévérité accrue des malocclusions par rapport aux pairs à développement phonatoire typique ($p < 0,01$) (64). Une scoping review incluant 12 études (plus de 2 500 participants) met en évidence des corrélations fortes et cohérentes entre bécane antérieure et difficultés d'articulation des sibilantes (/s/, /z/, /ʃ/), ainsi qu'entre classes II/III et altérations de /r/, /t/, /d/ (3). L'ensemble des données converge vers une interaction bidirectionnelle : la posture/motricité linguales affectent l'articulation et la croissance maxillo-faciale, tandis que la morphologie dento-squelettique façonne l'espace phonatoire et peut pérenniser la dyslalie (64,3).

Les consonnes /t d n l/ exigent une élévation antérieure précise de la langue contre le palais alvéolaire, une étanchéité labiale neutre et une stabilité mandibulaire. Toute altération de ces paramètres — liée à une dysfonction ou dysmorphose — perturbe l'articulation, entraînant des phénomènes d'interdentalisation ou de dorsalisation. Les études récentes confirment des distorsions articulatoires récurrentes dans les bécane antérieures, une dorsalisation des appuis linguaux dans les palais ogivaux, et une langue basse et rétropositionnée dans les classes III (5, 33, 45). Après chirurgie orthognathique, les phonèmes alvéolaires demeurent souvent altérés, nécessitant une rééducation linguale spécifique (53). Les revues récentes soulignent une corrélation significative entre malocclusion et troubles articulatoires, notamment pour la bécane antérieure et la morsure croisée postérieure (2, 3). Ces observations traduisent une interaction bidirectionnelle entre la morphologie dento-squelettique et la motricité linguale : la forme des arcades conditionne l'espace phonatoire, tandis que la fonction articulaire influence la croissance oro-faciale. La rééducation myofonctionnelle ciblée des appuis apico-alvéolaires est donc essentielle pour normaliser la production de /t d n l/ et prévenir les récurrences fonctionnelles.

2.7.1 Définition & physiologie

La phonation résulte de l'intégration de la respiration, de la vibration laryngée et de l'articulation supra-laryngée. La langue module les cavités de résonance et la précision des points d'articulation. Une langue élevée vers le dôme palatin antérieur stabilise le couloir aérien ; à l'inverse, une langue basse ou antérieure réduit l'espace vélolinguale, déplace les appuis et induit des compensations labio-mandibulaires défavorables à la stabilité occlusale.

2.7.2 Physiopathologie, origine & cascade dysmorpho-fonctionnelle

Le trouble phonatoire peut imposer un schéma lingual inadapté (repos bas ou antérieur, appuis répétés) qui altère l'équilibre dentaire antérieur, favorise la bécane et perturbe les relations incisives. Inversement, une endomaxillie, une bécane antérieure ou un décalage sagittal restreignent l'espace phonatoire, imposent des trajectoires de contournement et entretiennent la dyslalie (notamment pour /s/, /z/, /ʃ/, /r/). Cette interaction illustre une cascade dysmorpho-fonctionnelle justifiant une prise en charge conjointe de la forme et de la fonction (3).

2.7.3 Dépistage & prise en charge

Le dépistage combine l'examen orthodontique et fonctionnel, l'observation de la posture linguale au repos, des points d'appui pendant la parole et une analyse phonétique ciblée (sibilantes, apico-alvéolaires, rhotiques). L'évaluation des co-facteurs (ventilation nasale, frein, volumétrie amygdalienne) est indispensable.

La prise en charge repose sur une rééducation oro-myofonctionnelle visant la stabilisation linguale, la coordination souffle-voile-langue et la reconstruction des gestes articulatoires spécifiques avec transferts en parole spontanée. Il sera important d'axer la rééducation sur une nouvelle engrammation de cette reconstruction grâce à la répétition des exercices et la prise de conscience du patient. En parallèle, le traitement orthodontique corrige les obstacles morphologiques. Une coordination interdisciplinaire est recommandée pour rompre durablement la boucle fonction-forme (3, 64).

3 Situations cliniques orthodontiques liées aux dysfonctions oro-faciales

3.1 Le déficit transversal maxillaire, dénominateur commun

Un palais étroit constitue l'expression la plus fréquente de la cascade dysmorpho-fonctionnelle. Il résulte d'un déséquilibre entre **forces centrifuges** (langue) et **forces centripètes** (joues/lèvres), avec deux mécanismes principaux :

- **Insuffisance de forces centrifuges (langue) :**
 - *Liée aux structures.* Un frein lingual restrictif limite l'appui palatin et l'élévation apicale de la langue, diminuant les micropressions répétées de la langue qui permettent la stimulation transverse du maxillaire et favorisant ainsi l'endo-alvéolie (9, 86).
 - *Liée aux attitudes posturales.* Une posture linguale basse — fréquemment associée à des déterminants cervico-céphaliques défavorables et aux relations langue-os hyoïde-rachis cervical — réduit également les micropressions palatines physiologiques et contribue à l'étroitesse maxillaire (21, 29, 79).
 - *Liée aux fonctions.*
 - *Ventilation orale.* Le passage aérien oral maintient la langue en position basse et appauvrit en conséquence les stimulations palatines répétées, tout en privant les fosses nasales du flux morphogénique qui participe à l'élargissement du plancher nasal/palatin par jeu de pressions successives (37, 82, 18, 22, 65).
 - *Mastication insuffisante/peu tonique.* Une sollicitation masticatoire réduite, souvent avec schémas unilatéraux, diminue les contraintes transverses constructives et participe au déficit transversal (85).
 - *Parafonctions.* Les habitudes de succion et mordillements empêchent la montée de la langue et participent à l'endomaxillie (68, 87, 89).
 - *Déglutition dysfonctionnelle.* L'absence d'appui palatin efficace lors de la déglutition pérennise l'insuffisance de forces centrifuges et l'étroitesse palatine (59, 42).

- **Excès de forces centripètes (joues/lèvres) :** *lié aux fonctions.* Une déglutition dysfonctionnelle (hyperactivité du buccinateur et/ou de l'orbiculaire) et/ou une succion digitale augmentent les pressions centripètes, décalent la zone neutre vers l'intérieur et favorisent l'endo-alvéolie (59, 17, 87, 89, 68).

Cliniquement, le déficit transversal peut être :

- manifeste (occlusions inversées unilatérales/bilatérales, bout-à-bout latéral) ;
- ou masqué (endo-alvéolie relative révélée après repositionnement en Classe I).

La stratégie thérapeutique vise alors à restaurer la stimulation linguale palatine et à réduire les contraintes jugales, en cohérence avec la hiérarchie de prise en charge.

3.2 Adaptations cinétiques mandibulaires

Face à une arcade maxillaire étroite et instable, la mandibule recherche une voie d'occlusion compatible avec le couloir dentaire. Deux adaptations sont particulièrement typiques :

- **Latérodéviation :** la mandibule glisse latéralement pour franchir une prématurité. Cliniquement, on retrouve une occlusion inversée unilatérale, une déviation de la ligne médiane mandibulaire par rapport au plan sagittal médian et, du côté du glissement, des rapports de classe II. Du côté opposé, les rapports sont le plus souvent classe I (parfois classe III).
- **Classe III :** la mandibule peut avancer cinétiquement pour dépasser un verrou transversal antérieur (classe III cinétique). La prématurité incisive ou latérale induit alors un bout-à-bout ou une occlusion inversée antérieure et/ou postérieure.
- **Classe II :** le maxillaire étroit peut fonctionner comme un verrou transversal qui bloque la croissance mandibulaire et la maintient en rapport de classe II. Dans cette situation, le défaut transversal n'est parfois visible qu'en simulation clinique ou numérique de la correction antéro-postérieure. Une fois replacé en classe I, le patient révèle une occlusion en bout-à-bout ou inversée latérale : c'est l'endo-alvéolie relative à la classe II, qui traduit la discordance transversale sous-jacente masquée par la compensation antéro-postérieure.

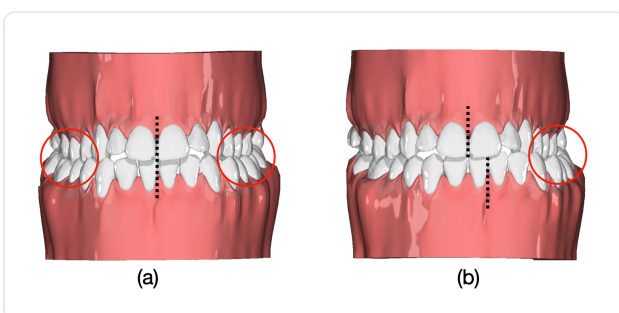


Figure 11. Simulation de face d'une latérodéviation fonctionnelle par adaptation mandibulaire à un défaut transversal maxillaire : (a) occlusion de face en bout à bout latéral ; (b) occlusion de face en latérodéviation fonctionnelle.

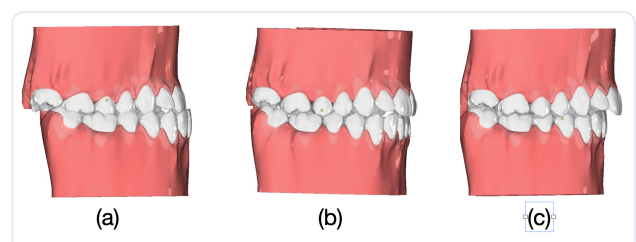


Figure 12. Simulation antéro-postérieure : (a) Classe II avec endoalvéolie relative ; (b) Classe I en bout à bout transversal ; (c) Classe III fonctionnelle ; le positionnement en Classe I si le patient est en classe II, ou en relation centrée dans le cas d'une occlusion de classe III, révèle le défaut transversal et l'occlusion en bout à bout, ainsi que l'adaptation squelettique ou cinétique.

3.3 Étiologies fonctionnelles : la cascade

Plusieurs dysfonctions peuvent conduire au même phénotype de déficit transversal maxillaire par des voies qui convergent :

- **Ventilation orale ou mixte** : les fosses nasales se développent insuffisamment, la langue reste basse pour laisser passer l'air, et la stimulation mécanique du palais par la langue disparaît. La croissance transversale du maxillaire est réduite.
- **Frein lingual restrictif (ankyloglossie)** : limitation de l'élévation linguale, posture basse chronique, défaut de stimulation palatine et retard transversal.
- **Parafonctions de succion (pouce, tétine)** : obstacle mécanique à la montée linguale et hyperactivité du buccinateur. Le couloir dentaire se contracte, entraînant un déficit transversal.
- **Déglutition dysfonctionnelle** : les contractions péribucales entretiennent des forces centripètes transversales opposées aux forces d'expansion. L'arcade prend une forme en lyre, signe évocateur (mais non spécifique) d'une déglutition dysfonctionnelle.
- **Mastication** : une alimentation molle réduit l'intensité et la fréquence des contraintes appliquées à l'os (loi de Wolff), ce qui appauvrit la croissance transversale ; une mastication unilatérale stimule asymétriquement les structures et favorise les déviations.

L'ensemble illustre le double sens de la relation : la fonction modèle la forme, mais la forme perturbe la fonction, entretenant le cercle vicieux.

Au-delà du défaut transversal, les interpositions ou poussées linguales et les asymétries de mastication génèrent des tableaux récurrents : béances antérieure et postérieure, diastèmes inter-incisifs par poussées répétées, et bascule du plan d'occlusion liée à des schémas fonctionnels asymétriques et/ou à une posture céphalo-cervicale déséquilibrée.

3.4 Prise en charge : mécanique et fonctionnelle

Lorsque l'indication est posée, la disjonction maxillaire ou l'expansion maxillaire corrigent la dimension transversale. Mais la stabilité dépend de la rééducation des fonctions selon une séquence logique :

- Restaurer la ventilation nasale pour permettre la compétence labiale et libérer la posture linguale haute (ORL).
- Lever les obstacles anatomiques et comportementaux : frein lingual restrictif, succion digitale ou tétine.
- Rééduquer la posture linguale au repos et la déglutition : langue au palais, pointe sur les papilles rétro-incisives, suppression des poussées antérieures et de l'hyperactivité du buccinateur.
- Rétablir une mastication bilatérale alternée et suffisante en intensité, afin d'entretenir la largeur obtenue.

Cette démarche s'inscrit dans la théorie de la matrice fonctionnelle de Moss : une langue correctement positionnée, un flux aérien nasal et une mastication efficace constituent des contraintes fonctionnelles qui stabilisent l'architecture squelettique rétablie. **Sans cet ensemble fonctionnel, la récurrence est probable.**

3.5 Le « syndrome du fil » : une récurrence apparente, à moteur fonctionnel

Le syndrome du fil correspond à une récurrence d'origine fonctionnelle. Elle prend la forme de déplacements dentaires survenant malgré une contention collée, souvent après une désolidarisation partielle colle-fil : la dent perd son ancrage et migre sous l'effet d'une force fonctionnelle (poussée/interposition linguale, hyperactivité péribuccale), tandis que le fil guide le mouvement, d'où l'illusion trompeuse d'un fil « détordu » (13, 78).

La correction durable requiert :

- dépose du fil incriminé ;
- neutralisation de la dysfonction ;
- reprise de traitement si nécessaire ;
- pose d'une contention passive après remise en position, puis surveillance (4, 13, 43, 78).

3.6 Importance de la rééducation des dysfonctions en contexte chirurgical

En chirurgie orthognathique, l'opération déclenche un regional acceleratory phenomenon (RAP) (28, 55) qui accroît transitoirement le remodelage osseux et abaisse la résistance dento-alvéolaire : tout mouvement dentaire — voulu ou induit par une dysfonction — peut alors s'accélérer. Sans rééducation myofonctionnelle, cela se traduit fréquemment par des récurrences précoces et majorées (réouverture de béance, perte du gain transversal, dérive sagittale) (4). Par ailleurs, la littérature rappelle au sujet de la stabilité que les corrections verticales (dont la béance antérieure) et certaines expansions transversales figurent parmi les mouvements les moins stables, ce qui renforce l'exigence d'un protocole fonctionnel pré- et surtout post-opératoire (4, 36, 43, 73, 81).

4 Discussion

4.1 Parcours de soins actuel : orientation vers les professionnels de la rééducation (gold standard)

La prise en charge des dysfonctions repose sur l'orientation vers des orthophonistes et des kinésithérapeutes maxillo-faciaux formés, en cohérence avec les recommandations internationales qui intègrent l'examen et la correction des fonctions au plus tôt dans le parcours orthodontique (16, 20, 63). L'orthodontiste demeure chef d'orchestre du parcours, et peut s'appuyer sur des annuaires professionnels, mais l'automatisation de schémas fonctionnels corrects exige une thérapie active et progressive.

4.2 Dispositifs de rééducation dite « passive » : concepts et place

Face aux difficultés de prise en charge en rééducation, plusieurs dispositifs viennent compléter l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste. Ces derniers visent à guider ou favoriser des postures/gestes et à accompagner l'entraînement actif : Éducateurs fonctionnels (Orthoplus®), Myobrace®, FroggyMouth®, Myosimple®, Innovafarm® et assimilés.

Leur concept est de proposer une géométrie et/ou des appuis labio-linguo-jugaux qui orientent la langue et les lèvres, limitent certaines contractions dysfonctionnelles et fournissent un repère proprioceptif répétable. Ces dispositifs peuvent compléter la rééducation active, mais ne sauraient se suffire à eux seuls pour corriger un automatisme moteur : ils n'enseignent pas la coordination linguale ni l'automatisation contextuelle des fonctions sans explications ni investissement de l'équipe de soins. Leur emploi doit donc s'intégrer à un protocole actif, planifié et évalué. **Les dispositifs myofonctionnels préfabriqués (rééducation passive) ne disposent que d'un faible niveau de preuve et ne remplacent pas la rééducation active (52).**



Figure 13. Éducateur fonctionnel.

4.3 Principes de la rééducation active : neuroplasticité et « 10 principes »

La rééducation des fonctions repose sur la neuroplasticité dépendante de l'expérience : répéter un geste avec intention et attention, en s'appuyant sur un biofeedback pour le rendre conscient, afin d'aboutir à l'engrammation d'un nouveau schéma moteur durable. Opérationnellement, les « dix principes » de Kleim & Jones fournissent un cadre pour concevoir des séquences progressives, spécifiques et dosées (fréquence $\times$ durée $\times$ difficulté) (46). Le biofeedback — proprioceptif, tactile, visuel ou auditif — accélère l'acquisition et l'automatisation en corrigeant en temps réel les erreurs d'exécution et en renforçant la conscience du geste (40). Les appareillages dits « passifs » peuvent servir de repères et limiter certaines compensations, mais la correction durable est obtenue à partir d'un entraînement volontaire, répété et structuré conforme à ces principes.

4.4 Observance thérapeutique en rééducation oro-myofonctionnelle

L'observance thérapeutique — définie comme le degré auquel le comportement d'un patient correspond aux recommandations cliniques qui lui sont dispensées — représente l'un des défis les plus significatifs de la rééducation oro-myofonctionnelle (ROMF). À la différence des interventions passives, la ROMF est par essence dépendante d'une participation active, répétée et intentionnelle du patient entre les séances. Le fondement neurophysiologique de cette exigence est ancré dans les principes de plasticité neurale dépendante de l'expérience :

la consolidation de nouveaux schémas moteurs requiert une répétition soutenue, assortie d'intention consciente et d'un retour sensoriel, pour induire une réorganisation corticale durable (46, 40). En pratique clinique, cela se traduit par un minimum de trois à six mois d'exercices quotidiens à domicile pour automatiser les corrections fonctionnelles. En l'absence d'une observance régulière, les gains thérapeutiques restent insuffisants pour produire un changement neuromusculaire pérenne, et le risque de récurrence fonctionnelle après traitement orthodontique est substantiellement accru (81).

Plusieurs barrières à l'observance ont été identifiées dans la littérature relative aux programmes d'exercices à domicile en rééducation : perte des supports papier, démotivation progressive, compréhension insuffisante de l'intérêt thérapeutique, contraintes logistiques liées aux déplacements hebdomadaires, rigidité des agendas professionnels et familiaux, et difficultés d'accès aux soins dans les territoires sous-dotés. Les données de la littérature générale confirment ces observations : dans des populations avec douleur musculosquelettique, seulement 48,8 % des patients adhèrent pleinement au programme prescrit, avec 27,6 % d'adhérence partielle et 23,6 % de non-adhérence (71). Des résultats comparables ont été rapportés dans d'autres contextes de rééducation fonctionnelle, avec des taux d'adhérence complète oscillant entre 48 et 50 % (24). Bien qu'aucune donnée à grande échelle spécifique à la ROMF ne soit disponible, ces chiffres sont cohérents avec l'expérience clinique de terrain et constituent un obstacle reconnu à l'efficacité thérapeutique.

Les outils numériques ont émergé comme des adjuvants prometteurs pour répondre à ces barrières structurelles. Une revue systématique de dix essais randomisés contrôlés portant sur 1 117 participants démontre que l'ajout d'une intervention numérique à un programme d'exercices à domicile améliore significativement l'observance dans sept essais sur dix (49). Si la magnitude des effets à long terme mérite confirmation, le bénéfice à court terme est bien documenté et directement applicable à la fenêtre temporelle de trois à six mois caractéristique des protocoles de ROMF. Ces outils adressent les barrières identifiées de manière ciblée : notifications et rappels automatisés (oublis), gamification et systèmes de récompenses (démotivation), contenus vidéo pédagogiques accessibles en replay (incompréhension), accès à distance supprimant les déplacements, liberté d'horaire indépendante de l'agenda clinique, et dépôt en ligne des exercices remplaçant les supports papier. L'intégration d'un mécanisme de biofeedback — permettant au patient de recevoir une information en temps réel sur la qualité de son geste moteur — renforce par ailleurs l'engagement et accélère l'acquisition motrice par une boucle de rétroaction active (40). Un protocole multicentrique d'essai randomisé contrôlé (Ibáñez-Rodríguez et al., 2025) évaluant spécifiquement une application de thérapie myofonctionnelle comme adjuvant d'amélioration de l'observance dans la prise en charge du SAOS valide cette démarche au sein du champ orofacial (41).

Du point de vue de la gouvernance clinique, le suivi numérique de l'observance répond à un double besoin : pour les rééducateurs, il offre une traçabilité objective de l'engagement du patient que le suivi papier ne pouvait garantir ; pour l'orthodontiste, il constitue un enregistrement structuré et documentable du volet fonctionnel de la prise en charge — dimension qui, comme le rappellent les recommandations internationales, relève d'un standard clinique reconnu (16, 20, 63).

4.5 Ouverture : vers des parcours appuyés par le numérique

Les outils numériques peuvent lever deux freins majeurs : accès aux soins et traçabilité. La télésurveillance et l'éducation interactive améliorent l'observance dans plusieurs domaines de la dentisterie et de l'orthodontie (35, 47, 80). Transposés à la rééducation myofonctionnelle, des rappels contextualisés, des micro-objectifs, des journaux d'exercices et un biofeedback visuel au domicile peuvent augmenter la « dose-réponse » nécessaire à la plasticité. Dans ce cadre, des applications dédiées, comme The Tongue Teacher®, peuvent offrir des programmes d'exercices, une structuration pédagogique, une progression planifiée et hiérarchisée, ainsi que des mesures d'assiduité.

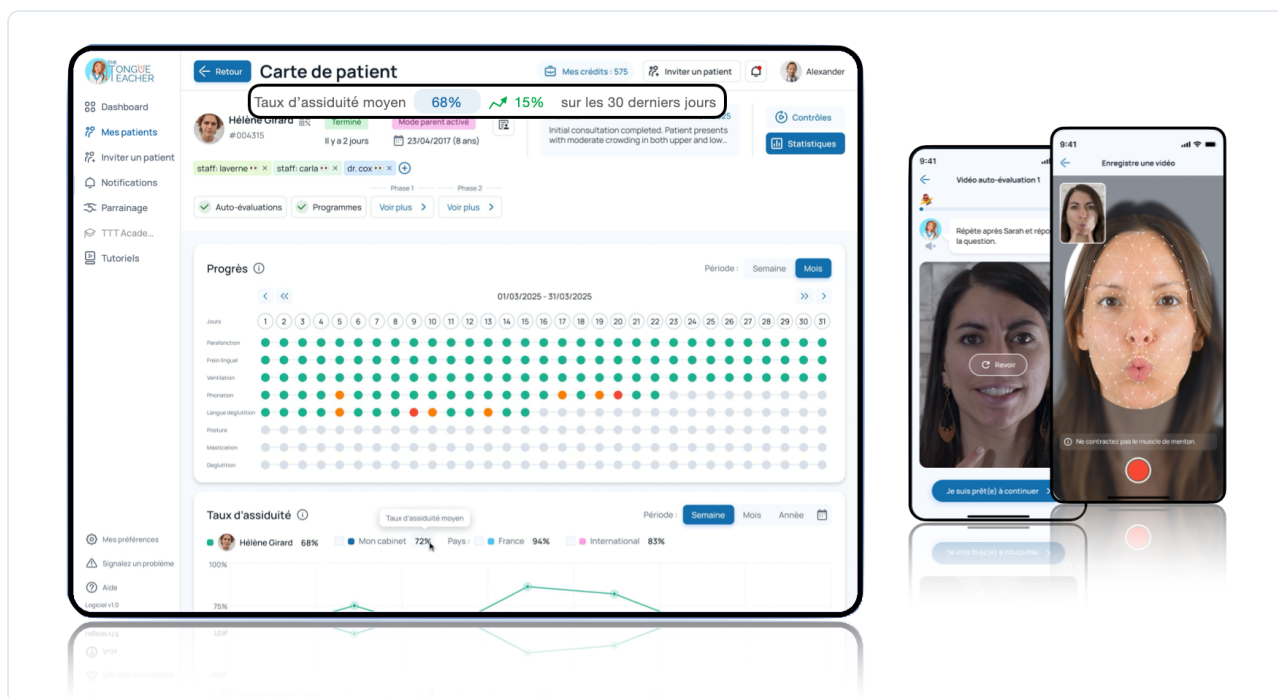


Figure 14. Capture d'écran du site internet tongueteacher.com exposant le dashboard et l'application The Tongue Teacher, à propos des mesures d'assiduité du patient détectées avec l'aide de l'intelligence artificielle, selon les différents programmes.

4.6 Limites actuelles et perspectives de recherche

Malgré une hétérogénéité méthodologique persistante (définitions variables de la ventilation buccale, mesures morphométriques non standardisées, durées de suivi parfois courtes), un faisceau d'études convergentes soutiennent l'intégration du dépistage fonctionnel et de la rééducation oromyofaciale au parcours orthodontique (94). Le consensus publié par Zhou et al. (2024) insiste sur une évaluation structurée des dysfonctions, l'analyse des voies aériennes et la coordination interdisciplinaire. Dans ce contexte, nous proposons la pyramide SPF (Structure–Posture–Fonction) comme cadre méthodologique clinique pour ordonner, au cabinet d'orthodontie, l'ensemble des éléments à considérer et guider la mise en œuvre de la thérapie myofonctionnelle (81, 75). Dans cette continuité, il apparaît nécessaire de conduire des essais contrôlés multicentriques, avec critères fonctionnels standardisés et suivis à moyen et long termes, afin d'élever le niveau de preuve et d'optimiser davantage les protocoles de prise en charge.

5 Conclusion

Les dysfonctions oro-myo-faciales sont fréquentes et influencent la stabilité orthodontique et la croissance cranio-faciale (32, 83, 82, 56). Leur dépistage systématique, documenté et précoce relève d'un standard clinique reconnu (16, 20, 63). La pyramide **SPF** fournit une séquence opératoire claire — lever les obstacles (ventilation nasale, frein, parafunctions), corriger l'environnement fonctionnel grâce au traitement orthodontique, puis rééduquer activement posture linguale, déglutition, mastication et phonation — cohérente avec la matrice fonctionnelle (Moss) et l'adaptation osseuse (Wolff) (65, 90). **Associer orthodontie et rééducation fonctionnelle réduit les récurrences, notamment pour la bécane antérieure** (81). La prise en charge est interdisciplinaire et peut s'appuyer sur des outils numériques pour l'adhésion et la traçabilité ; il permet en outre un dépistage standardisé, reproductible et déployable à grande échelle (35). Des essais multicentriques avec critères fonctionnels standardisés restent nécessaires pour élever le niveau de preuve (94).

6 Légendes des figures

Figure 1. Homunculus sensorimoteur de Penfield, illustrant la représentation corticale des différentes parties du corps, avec une dominance marquée des structures orofaciales et des mains.

Figure 2. Pyramide SPF (structure – posture – fonction) des déterminants oro-myo-faciales, hiérarchisant la prise en charge thérapeutique.

Figure 3. Schéma de l'étude de Smithpeter & Covell (2010) comparant les récurrences du groupe contrôle (orthodontie seule) au groupe expérimental (orthodontie + rééducation myofonctionnelle).

Figure 4. Photographie endo-buccale d'un frein lingual restrictif.

Figure 5. Représentation du « couloir dentaire », schématisant la zone neutre et les principales forces musculaires en présence : centripètes (muscles orbiculaire des lèvres et buccinateur) et centrifuges (muscles de la langue).

Figure 6. Photographie endo-buccale de face objectivant une bécane antérieure chez une patiente présentant une dysfonction ventilatoire.

Figure 7. Cascade dysmorpho-fonctionnelle.

Figure 8. Grades de Friedman pour l'évaluation du volume amygdalien : Grade 0 — la luette et les piliers de la loge amygdalienne sont visibles ; Grade 1 — les amygdales sont cachées dans la loge ; Grade 2 — les amygdales dépassent la loge ; Grade 3 — les amygdales dépassent largement la loge sans passer le milieu ; Grade 4 — les amygdales sont jointives au niveau de la luette.

Figure 9. Score de Mallampati modifié : outil d'évaluation de l'encombrement oropharyngé et du risque d'obstruction des voies aériennes supérieures. Classe 1 — la luette et les loges amygdaliennes sont visibles ; Classe 2 — la luette est partiellement visible ; Classe 3 — seul le palais membraneux est visible ; Classe 4 — seul le palais osseux est visible.

Figure 10. Repères de l'alignement de l'axe tragien (tragus – acromion – grand trochanter – condyle fémoral externe – malléole externe).

Figure 11. Simulation de face d'une latérodéviation fonctionnelle par adaptation mandibulaire à un défaut transversal maxillaire : (a) occlusion de face en bout à bout latéral ; (b) occlusion de face en latérodéviation fonctionnelle.

Figure 12. Simulation antéro-postérieure : (a) Classe II avec endoalvéolie relative ; (b) Classe I en bout à bout transversal ; (c) Classe III fonctionnelle ; le positionnement en Classe I si le patient est en classe II, ou en relation centrée dans le cas d'une occlusion de classe III, révèle le défaut transversal et l'occlusion en bout à bout, ainsi que l'adaptation squelettique ou cinétique.

Figure 13. Éducateur fonctionnel.

Figure 14. Capture d'écran du site internet tongueteacher.com exposant le dashboard et l'application The Tongue Teacher, à propos des mesures d'assiduité du patient détectées avec l'aide de l'intelligence artificielle, selon les différents programmes.

7 Références bibliographiques

1. Abtahi S, Witmans M, Alsufyani NA, Major MP, Major PW. Pediatric sleep-disordered breathing in the orthodontic population: prevalence of positive risk and associations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(4):466–473.e1.
2. Amr-Rey O, et al. Association between malocclusion and articulation disorders: a multicriteria analysis. *Eur J Orthod.* 2022;44(6):621–628.
3. Aprile M, Verdecchia A, Dettori C, Spinass E. Malocclusion and its relationship with sound speech disorders in deciduous and mixed dentition: a scoping review. *Dent J (Basel).* 2025;13(1):27.
4. Arqub SA, et al. The dark side of fixed retainers: Case series of unintended tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023;164(6).
5. Assaf D do C, et al. Association between malocclusion, tongue position and speech distortion in children. *Braz Oral Res.* 2021;35:e112.
6. Baxter R, Zaghi S, Kaplan M, Montes M, Guilleminault C. Functional definition of restrictive tongue-tie (ankyloglossia) with implications for frenuloplasty and myofunctional therapy. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2020;128:109697.
7. Bedoucha V, Boutin F, Frapier L. Impact of genioplasty during puberty on the upper airways. *Int Orthod.* 2015;13(4):421–435.
8. Behrents RG, Shelgikar AV, Conley RS, Flores-Mir C, Hans M, Levine M, et al. Obstructive sleep apnea and orthodontics: An American Association of Orthodontists White Paper. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019;156(1):13–28.e1.
9. Calvo-Henríquez C, Martins Neves S, Branco AM, Lechien JR, Betances Reinoso F, Mota Rojas X, et al. Relationship between short lingual frenulum and malocclusion: a multicentre study. *Acta Otorrinolaringol Esp (Engl Ed).* 2022;73(3):177–183.
10. Camacho M, Certal V, Abdullatif J, Zaghi S, Ruoff C, Capasso R, et al. Orofacial myofunctional therapy for obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Sleep Med.* 2023;19(9):1611–1623.
11. Cammaroto G, Galletti F, Calvo-Henriquez C, Vicini C, Monteverchi F. Effectiveness of myofunctional therapy to treat adult obstructive sleep apnea: an updated systematic review. *J Clin Med.* 2024;13(4):1179.
12. Chamberland S, Proffit WR, Chamberland P-E. Functional genioplasty in growing patients. *Angle Orthod.* 2015;85(3):360–373.
13. Charavet C, Picon A, Manière-Ezvan A, d'Incamps O. "Wire Syndrome" Following Bonded Orthodontic Retainers: A Systematic Review. *J Clin Med.* 2022;11(5):1363.
14. Chervin RD, Archbold KH, Panahi P, Pituch KJ. Pediatric sleep questionnaire (PSQ): validity and reliability. *Sleep Med.* 2000;1(1):21–32.
15. Cohen-Lévy J, Vion A, Lobre C, Pétel V, Fleury B. The influence of obstructive sleep apnea syndrome on orthodontic treatment decisions regarding children and adolescents. *Int Orthod.* 2023;21(2):100746.
16. Consejo General de Dentistas de España / Fundación Dental Española (FDE). La salud bucodental en España: ¿dónde estamos y hacia dónde vamos? Madrid.
17. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, Mucedero M. Transverse features of subjects with sucking habits and facial hyperdivergency in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(2):226–229.

18. Dallam G, Kies B. The effect of nasal breathing versus oral and oronasal breathing during exercise: a review. *J Sports Res.* 2020;7(1):1–10.
19. Deregibus A, Castroflorio T, Debernardi C, Trovato FM, Bonetti GA. Analysis of tongue function from the orthodontist's point of view: Not only a matter of deglutition. *Appl Sci.* 2021;11(1):160.
20. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGKFO), DGZMK. S2k-Leitlinie: Ideale Zeitpunkte und Maßnahmen der kieferorthopädischen Diagnostik. AWMF 083-050. Juni 2025.
21. Dipalma G, Inchingolo AD, Pezzolla C, Sardano R, Trilli I, Di Venere D, et al. Head and cervical posture in sagittal skeletal malocclusions: insights from a systematic review. *J Clin Med.* 2025;14(8):2626.
22. Eser P, Calamai P, Simader E, et al. Improved exercise ventilatory efficiency with nasal compared to oral breathing in cardiac patients. *Front Physiol.* 2024;15:1380562.
23. Fernandes Fagundes NC, Loliencar P, MacLean JE, Flores-Mir C, Heo G. Characterization of craniofacial-based clinical phenotypes in children with suspected obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med.* 2023;19(11):1857–1865.
24. Francisco IM, Tozzo MC, Martins J, de Oliveira AS. Adherence of individuals with shoulder pain to home exercise booklets. *Musculoskelet Sci Pract.* 2024;72:102956.
25. Frapier L, Jausse A, Yachouh J, Goudot P, Dauvilliers Y, Picot M-C. Impact of genioplasty on mandibular growth during puberty. *Int Orthod.* 2010;8(4):342–359.
26. Frapier L, Picot M-C, Dauvilliers Y, et al. Ventilatory disorders and facial growth: benefits of early genioplasty. *Int Orthod.* 2011;9(1):20–41.
27. Friedman M, Ibrahim H, Bass L. Clinical staging for sleep-disordered breathing. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2002;127(1):13–21.
28. Frost HM. The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J.* 1983;31(1):3–9.
29. Giannakopoulos NN, Hellmann D, Schmitter M, Krüger B, Hauser T, Hugger A. Anatomical and functional relationships between the hyoid bone, tongue position, and cervical posture. *J Oral Rehabil.* 2013;40(5):347–353.
30. Gonzalez I, Garcia-Guevara H, Viamonte MD, Jensen D, Hernandez A. Changes in the Airway after Mentoplasty (Genioplasty): Systematic Review. *Int J Morphol.* 2022;40(4):1025–1034.
31. Gozal D. Sleep-disordered breathing and school performance/neurocognition in children. *Sleep Med Rev.* 2004;8(6):447–459.
32. Grabowski R, Kundt G, Stahl F. Interrelation between occlusal findings and orofacial myofunctional status in primary and mixed dentition. Part III. *J Orofac Orthop.* 2007;68(6):462–476.
33. Guay AH. Tongue posture at rest and during phonation in Class III malocclusion. *Am J Orthod.* 1978;74(3):295–300.
34. Guilleminault C, Huang YS, Monteyrol PJ, Sato R, Quo S, Lin CH. Critical role of myofascial reeducation in pediatric sleep-disordered breathing. *Sleep Med.* 2013;14(6):518–525.
35. Gurgel-Juarez N, Torres-Pereira C, Haddad AE, et al. Accuracy and effectiveness of teledentistry: a systematic review of systematic reviews. *Evid Based Dent.* 2022;23(3):100–102.
36. Haas Junior OL, Guijarro-Martínez R, et al. Hierarchy of surgical stability in orthognathic surgery: overview of systematic reviews. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019.
37. Harvold EP, Tomer BS, Vargervik K, Chierici G. Primate experiments on oral respiration. *Am J Orthod.* 1981;79(4):359–372.
38. Hill RR, Lee CS, Pados BF. The prevalence of ankyloglossia in children aged <1 year: a systematic review and meta-analysis. *Pediatr Res.* 2021;90(2):259–266.
39. Hu J, Zhou C, Li J, Zhao H, Wang Z, Zhang J. Efficacy of myofunctional therapy for obstructive sleep apnea: a network meta-analysis. *Sleep Breath.* 2025;29(1):145–156.
40. Huang HC, Wolf SL, He J. Recent developments in biofeedback for neuromotor rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil.* 2006;3:11.
41. Ibáñez-Rodríguez JA, O'Connor-Reina C, Lucas R, Rodríguez-Alcalá L, Correa E, Ignacio JM, et al. App-based myofunctional therapy to improve adherence and outcomes of mandibular advancement devices in moderate OSA: Multicenter randomized trial protocol. *JMIR Res Protoc.* 2025;14:e80521.
42. Inchingolo AD, Carpentiere V, Inchingolo AM, de Ruvo E, Campanelli M, Ferrante L, et al. Orthodontic treatment in patients with atypical swallowing and malocclusion: a systematic review. *J Clin Pediatr Dent.* 2024;48(5):14–26.
43. Jedliński M, Tandecka K, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. Inadvertent Tooth Movement from a Bonded Mandibular Lingual Retainer—Case Report with 3D Follow-Up and Microscopy. *Appl Sci.* 2024;14(9):3889.
44. Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth Sleepiness Scale. *Sleep.* 1991;14(6):540–545.
45. Keyser MMB, et al. Impacts of Skeletal Anterior Open Bite Malocclusion on Speech. *J Pers Med.* 2022;12(9):1457.
46. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res.* 2008;51(Suppl 2):S225–S239.
47. Korean Association of Orthodontists. Remote digital monitoring during orthodontic retention: a prospective feasibility study. *Korean J Orthod.* 2022;52(2):123–131.
48. Kotlow LA. Ankyloglossia (tongue-tie): a diagnostic and treatment quandary. *Quintessence Int.* 1999;30(4):259–262.
49. Lang S, McLelland C, MacDonald D, Hamilton DF. Do digital interventions increase adherence to home exercise rehabilitation? A systematic review of RCTs. *Arch Physiother.* 2022;12:24.
50. Leal TY, Garib D, Eto H, Rosa R, Miranda F, Soares A, Fukushima AP, Berretín-Félix G. Brief orofacial myofunctional therapy and tongue pressure as prediction factors for open bite correction: a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2025;29(9):407.

51. Lee EJ, Cho JH. Meta-analysis of obstruction site observed with drug-induced sleep endoscopy in patients with obstructive sleep apnea. *Laryngoscope*. 2019;129(5):1235–1243.
52. Levrini L, Salone GS, Ramirez-Yanez GO. Pre-fabricated myofunctional appliance for the treatment of mild to moderate pediatric obstructive sleep apnea: a preliminary report. *J Clin Pediatr Dent*. 2018;42(3):236–239.
53. Lichnowska A, et al. Logopedic evaluation after orthognathic surgery: recovery of alveolar consonants and role of myofunctional re-education. *Appl Sci*. 2021;11(14):6563.
54. Lin L, Zhao T, Qin D, Hua F, He H. The impact of mouth breathing on dentofacial development: a concise review. *Front Public Health*. 2022;10:929165.
55. Liou EJW. Postoperative rapid orthodontic tooth movement (PRTM). *J Oral Maxillofac Surg*. 2011;69.
56. Malara P, Wozniak K, Szyska-Sommers K, et al. Outcomes and Stability of Anterior Open Bite Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021;10(23):5682.
57. Mallampati SR, Gatt SP, Gugino LD, Desai SP, Waraksa B, Freiburger D, et al. A clinical sign to predict difficult tracheal intubation: A prospective study. *Can Anaesth Soc J*. 1985;32(4):429–434.
58. Marcus CL, Brooks LJ, Draper KA, Gozal D, Halbower AC, Jones J, et al. Diagnosis and management of childhood obstructive sleep apnea syndrome. *Pediatrics*. 2012;130(3):576–584.
59. Maspero C, Giannini L, Galbiati G, Farronato G. Atypical swallowing: A review. *Minerva Stomatol*. 2014;63(5):217–227.
60. Maurer-Grubinger C, Adjami F, Ohlendorf D, et al. Symmetrical dental occlusion blocking – changes of body sway and weight distribution in healthy subjects across four age decades. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22.
61. Meersseman A. Occlusal proprioception and postural control. *Cranio*. 1999;17(3):189–195.
62. Merema MR, van der Bilt A, Weijenberg RAF. Measurement of human bite force: A narrative review. *J Oral Rehabil*. 2022;49(12):1171–1180.
63. Ministero della Salute. Raccomandazioni cliniche in odontostomatologia. Roma; settembre 2017.
64. Mogren K, Westerlund S, Bratel J, Dahllöf G. Children and adolescents with speech sound disorders are more likely to have malocclusion. *Clin Exp Dent Res*. 2022.
65. Moss ML, Rankow RM. The role of the functional matrix in mandibular growth. *Angle Orthod*. 1968;38(2):95–103.
66. Nammour S, et al. Laser-assisted lingual frenectomy: functional benefits and orthodontic implications. *Lasers Med Sci*. 2019;34(6):1121–1128.
67. Palomo JM, Cohen-Lévy J, Flores-Mir C, Khosravi R, Levine M, Pickard M, et al. Sleep-disordered breathing and orthodontics: An AAO white paper update. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2026;169(4):419–427.
68. Paolantonio EG, Ludovici N, Saccomanno S, La Torre G, Grippaudo C. Association between oral habits, mouth breathing and malocclusion in Italian preschoolers. *Eur J Paediatr Dent*. 2019;20(3):204–208.
69. Penfield W, Rasmussen T. The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function. New York: Macmillan; 1950.
70. Perinetti G. Dental occlusion and body posture: no detectable correlation. *Gait Posture*. 2009;29(3):494–498.
71. Petrosyan H, Leonardi C, Thakral A, Roth J, Russoniello N, Goldin Y, Parikh S. Barriers and factors associated with adherence to a home exercise program of adults with musculoskeletal pain. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2024;37(2):473–485.
72. Poncin W, Willemsens A, Gely L, Contal O. Assessment and rehabilitation of tongue motor skills with myofunctional therapy in obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Sleep Med*. 2024;20(9):1535–1549.
73. Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension. *Head Face Med*. 2007;3:21.
74. Puhan MA, Suarez A, Lo Cascio C, Zahn A, Heitz M, Braendli O. Didgeridoo playing as alternative treatment for obstructive sleep apnoea syndrome: RCT. *BMJ*. 2006;332(7536):266–270.
75. Ridder G. Zahnstellung und Haltung. München: Elsevier Urban & Fischer; 2016.
76. Rocabado M. The hyoid bone position in relation to craniocervical posture. *Cranio*. 1983;1(3):190–195.
77. Rogers AP. Evolution, development, and application of myofunctional therapy in orthodontics. *Am J Orthod Oral Surg*. 1939;25(1):1–19.
78. Roussarie F, Maizeray R, Courtois B, et al. Effet indésirable des fils de contention collés : le « syndrome du fil ». *Orthod Fr (JDAO/ODF)*. 2018;89(4).
79. Różańska-Perlińska D, Potocka-Mitan M, Rydzik Ł, Lipińska P, Perliński J, Javdaneh N, Jaszczur-Nowicki J. The correlation between malocclusion and body posture and cervical vertebral, podal system, and gait parameters in children: A systematic review. *J Clin Med*. 2024;13(12):3463.
80. Sangalli L, Savoldi A, Dalessandri D, et al. Effectiveness of remote digital monitoring for improving oral hygiene in orthodontic patients: a prospective study. *BMC Oral Health*. 2021;21:435.
81. Smithpeter J, Covell DA Jr. Relapse of anterior open bites treated with orthodontic appliances with and without orofacial myofunctional therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(5):605–614.
82. Souki BQ, Pimenta GB, Franco LP, Becker HM, Pinto JA. Prevalence of malocclusion among mouth breathing children: Do expectations meet reality? *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136(5):e1–e9.
83. Stahl F, Grabowski R, Gaebel M, Kundt G. Relationship between occlusal findings and orofacial myofunctional status in primary and mixed dentition. Part II: prevalence of orofacial dysfunctions. *J Orofac Orthop*. 2007;68(2):74–90.

84. Tecco S, Baldini A, Mummolo S, Marchetti E, Giuca MR, Marz o G, et al. Frenulectomy of the tongue and associated myofunctional therapy improve tongue posture and swallowing pattern in subjects with short lingual frenulum. *Clin Exp Dent Res*. 2015;1(1):6–12.
85. Tortarolo A, Rotolo R, Nucci L, Caruso S, Matarese G, Nucera R, et al. Condylar asymmetry in children with unilateral posterior crossbite malocclusion: A comparative cross-sectional study. *Children (Basel)*. 2022;9(11):1772.
86. Vaz AC, Bai PM. Lingual frenulum and malocclusion: An overlooked tissue or a minor issue. *Indian J Dent Res*. 2015;26(5):488–492.
87. Viggiano D, Fasano G, Monaco G, Strohmenger L. Breast feeding, bottle feeding, and non-nutritive sucking; effects on occlusion in deciduous dentition. *Arch Dis Child*. 2004;89:1121–1123.
88. von Piekartz P. The occlusal kinesthetic sensitizing test (OKST): a clinical tool to assess sensorimotor integration between dental occlusion and craniocervical posture. *J Man Manip Ther*. 2015;23(4):199–208.
89. Warren JJ, Slayton RL, Bishara SE, et al. Effects of nonnutritive sucking habits on occlusal characteristics in the mixed dentition. *Pediatr Dent*. 2005;27:445–450.
90. Wolff J. *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. Berlin: A. Hirschwald; 1892.
91. Xie X, Li X, Zhang L, Liu Y, Chen Y, Li C, et al. Efficiency of orofacial myofunctional therapy in treating obstructive sleep apnea: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Med*. 2022;91:21–29.
92. Zaghi S, Valcu-Pinkerton S, Jabara M, Norouz-Knutsen L, Govardhan C, Moeller J, et al. Lingual frenuloplasty with myofunctional therapy: exploring safety and efficacy in 348 cases. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2019;4(5):489–496.
93. Zaghi S, Cammaroto G, Valcu-Pinkerton S, Zolty P, Sorrenti G, Hockel M, et al. Functional lingual frenuloplasty with myofunctional therapy: results from an international multi-center cohort study. *Cranio*. 2023;41(4):336–345.
94. Zhou C, Duan P, He H, Song J, Hu M, Liu Y, et al. Expert consensus on pediatric orthodontic therapies of malocclusions in children. *Int J Oral Sci*. 2024;16(1):32.