

CBCT NAVIGATOR AGENT & MODULAR OBSERVERS

Aide au diagnostic orthodontique standardisé par navigation agentique et analyse CBCT multi-domaine

Boury P., Boury J., Pena E., Philip-Alliez C., Le Gall M.

Laboratoire de Biomécanique Appliquée (LBA), Aix-Marseille Université
Co-financement : HermedLab — Projet de recherche IFRO/SFODF 2026

INTRODUCTION

Le **CBCT** a révolutionné le **diagnostic** orthodontique en offrant une reconstruction 3D complète des structures crânio-faciales (dents, squelette, voies aériennes).

Cependant, **l'exploitation de ces 300 à 600 coupes** reste **manuelle, chronophage et peu reproductible**. Le clinicien n'en utilise qu'une fraction.

De plus, l'état de l'art souffre d'une **fragmentation critique** : **segmentation dentaire, céphalométrie** et analyse des **VAS** sont traitées isolément, sans intégration dans un workflow clinique cohérent ni navigation guidée par la question clinique.

Aucun système existant ne propose d'architecture intégrée capable d'orchestrer simultanément ces analyses à partir d'un seul volume CBCT.

OBJECTIFS & HYPOTHÈSES

Objectif principal : Développer et valider un système intégré de **navigation agentique** et d'**analyse CBCT multi-domaine** pour l'**aide au diagnostic orthodontique**, combinant **segmentation dentaire, analyse céphalométrique** et quantification des **voies aériennes supérieures**.

Objectifs spécifiques : O1 — **Navigator Agent** pour extraction de snapshots standardisés. O2 — **Tooth Observer** (segmentation + numérotation FDI). O3 — **Airway Observer** (volumes, sections minimales VAS). O4 — **Cephalometric Observer** (DRR + landmarks + indicateurs). O5 — **Validation clinique multi-experts**.

Hypothèses : H1 : Concordance Dice ≥ 0.85 (dents) et ICC ≥ 0.90 (céphalométrie/VAS) vs experts. H2 : Réduction $\geq 50\%$ du temps d'extraction diagnostique. H3 : Reproductibilité test-retest supérieure à la variabilité inter-observateur manuelle.

INNOVATION : ARCHITECTURE AGENTIQUE

CBCT Navigator Agent

Module agentique central qui, à partir d'une **question clinique**, **navigue intelligemment** dans le **volume CBCT**. Il positionne des ancres anatomiques (plan occlusal, plan médio-sagittal, foramens mentonniers), extrait des **snapshots 2D** standardisés (vues axiales, coronales, sagittales) orientés par rapport aux ancres, et transmet les **ROI aux Observers** spécialisés.

Modular Observers

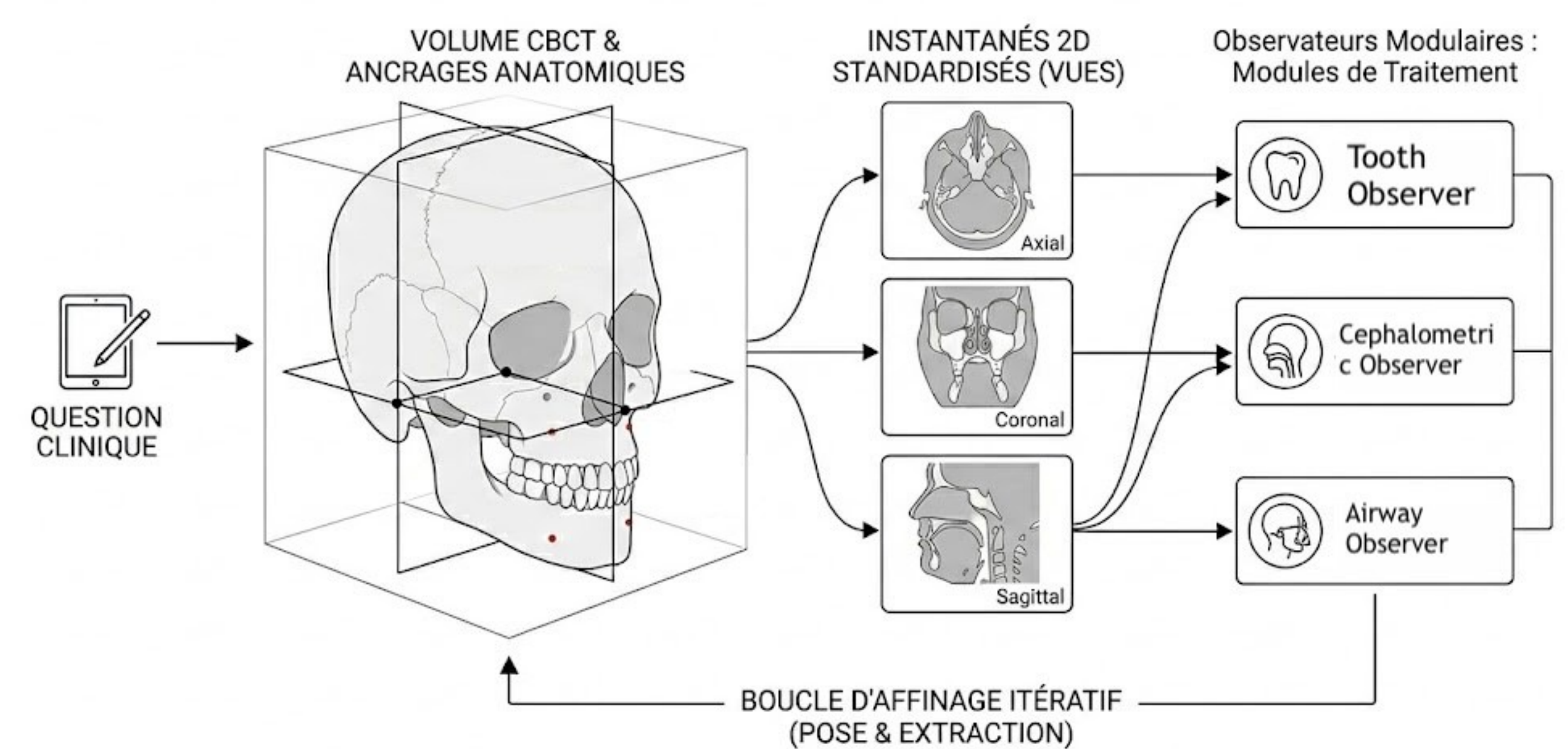
Trois modules indépendants reçoivent les snapshots du Navigator : **Tooth Observer** (segmentation + numérotation FDI), **Airway Observer** (masque 3D des VAS, volume total mm^3 , section minimale), **Cephalometric Observer** (calcul SNA, SNB, ANB, FMA, U1-SN, IMPA).

→ **Chaque Observer produit des faits cliniques mesurables et auditables.**

Compilation

Chaque métrique produite par un Observer est structurée dans un format standardisé incluant le **type de mesure**, un **score de confiance** et des **indicateurs de contrôle qualité**. L'ensemble de ces résultats est ensuite compilé automatiquement en un **rapport diagnostique PDF synthétique**, directement consultable et vérifiable par le clinicien.

CBCT Navigator Agent Workflow



PLAN D'ÉVALUATION

Validation multicentrique avec un panel de **2-3 orthodontistes** expérimentés. **Chaque Observer** est évalué par comparaison Système vs. Expert. La reproductibilité test-retest est comparée à la **variabilité entre praticiens** en analyse manuelle. **Le temps par cas est mesuré** (système automatisé vs. workflow manuel) sur **20 cas**.

Design statistique : Le calcul statistique montre qu'il faut au **minimum 40 cas** pour démontrer une concordance élevée (ICC ≥ 0.90) avec une puissance suffisante — nous visons 50 à 100 cas pour permettre des analyses par sous-groupes. La **fiabilité entre évaluateurs** sera mesurée par le kappa de Fleiss et l'ICC, avec des analyses réalisées sous R et Python.

Observer	Métrique primaire	Métrique sec.	Seuil cible	N cas
Tooth	Dice / IoU	HD95, FDI acc.	Dice ≥ 0.85	50-100
Airway	ICC (vol., sect. min.)	Erreur rel. (%)	ICC ≥ 0.90	50-100
Ceph	Erreur landmark (mm)	Err. angle (°)	$< 2 \text{ mm} / < 2^\circ$	50-100
Global	Temps / cas (min)	Reproductibilité	Réduction $\geq 50\%$	20

MÉTHODOLOGIE & TIMELINE

→ **WP0 — Gouvernance des données (M1-M2)** : Cohorte rétrospective de 100 CBCTs anonymisés

→ **WP1 — Navigator Agent (M2-M6)** : Boucle itérative : réception question clinique → positionnement ancres anatomiques → extraction snapshots 2D standardisés → transmission aux Observers.

→ **WP2 — Tooth Observer (M4-M9)** : Adaptation ToothSeg pour segmentation d'instance + numérotation FDI.

→ **WP3 — Airway Observer (M5-M10)** : Segmentation VAS par nnU-Net. Masque 3D, volume total (mm^3), section minimale, indicateurs de rétrécissement.

→ **WP4 — Cephalometric Observer (M5-M10)** : Détection landmarks (heatmap/Mask R-CNN) + calcul SNA, SNB, ANB, FMA, U1-SN, IMPA. Sans irradiation supplémentaire.

→ **WP5 — Validation clinique (M9-M14)** : Panel 2-3 orthodontistes. Concordance, reproductibilité test-retest, gain de temps, analyse des échecs.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Ce projet pilote IFRO/SFODF propose une **architecture agentique originale** intégrant navigation CBCT intelligente et analyse multi-domaine (dents, VAS, céphalométrie) dans un workflow standardisé et reproductible. L'approche « Observer sees, Brain reasons » sépare explicitement perception déterministe et raisonnement clinique, garantissant auditabilité et traçabilité complètes.

Perspectives : Extension vers des Observers supplémentaires (profil facial, pathologies périapicales), intégration de modalités complémentaires (photos cliniques, scans STL), validation multi-site internationale, et développement de modèles prédictifs de croissance crânio-faciale.