

Conduite d'expertise d'un Système Expert d'Ordre 0+

Aide à la décision en Orthopédie Dento-Faciale
TP02 - Intelligence Artificielle Symbolique

Étudiant(e) XYZ Étudiant(e) ABC

Janvier 2026

Table des matières

0.1 Introduction

0.1.1 Contexte et Problématique

L'Orthopédie Dento-Faciale (ODF), communément appelée orthodontie, est une discipline complexe nécessitant l'intégration de multiples paramètres cliniques (squelettiques, dentaires, esthétiques) pour établir un diagnostic et un plan de traitement.

La problématique traitée dans ce projet est la création d'un système d'aide à la décision pour la **sélection du type d'appareil orthodontique** chez l'enfant et l'adulte. Face à la multitude de dispositifs existants (fonctionnels, fixes, aligneurs, etc.), le risque d'erreur de diagnostic ou de mauvaise indication thérapeutique est réel pour un praticien débutant.

0.1.2 Justification du Système Expert d'Ordre 0+

Le choix d'un système expert d'ordre 0+ (logique propositionnelle étendue aux prédictats simples, sans gestion d'incertitude probabiliste type Bayes) se justifie par la nature des classifications orthodontiques :

- **Déterminisme des classifications** : Les classes d'Angle (I, II, III) sont définies par des critères géométriques stricts (**angle1899**).
- **Protocoles standardisés** : Les recommandations de la Haute Autorité de Santé (**has2002**) fournissent des arbres de décision clairs (ex : Si $ANB < 0$ alors Classe III).
- **Absence de temps réel** : Le diagnostic se fait sur des données statiques (radiographies, mesures cliniques) à un instant t .

Ce système permet donc de formaliser le raisonnement clinique de manière explicite et vérifiable.

0.2 Base de Connaissances

0.2.1 Formalisation des Règles

La base de connaissances a été construite à partir d'une analyse bibliographique rigoureuse. Elle est divisée en trois modules : Diagnostic, Appareillage, et Contre-indications.

Voici quelques exemples de règles formalisées (SI ... ALORS ...) :

- **Règle R-A2 (Diagnostic Classe II)** : SI *Relation Molaire* = Classe 2 ET *Incidives Maxillaires* = proclinées ET *Overjet* > 5mm
ALORS *Diagnostic* = Classe II division 1 (**thiruvenkatachari2017**).
- **Règle R-B3 (Masque Facial)** : SI *Diagnostic* = Classe III squelettique ET *Âge* entre 6 et 9 ans ET *Rétromaxillie* = Vrai
ALORS *Appareil* = Masque de Delaire (**owens2024**).
- **Règle R-C1 (Contre-indication Parodontale)** : SI *Parodontite* = Active OU *Perte d'attache* > 50%
ALORS *Traitements* = Contre-indiqué (**proffit2018**).

0.2.2 Arbre de Déduction (Simplifié)

Le raisonnement suit une logique en cascade :

1. **Niveau 1 (Squelettique/Dentaire)** : Analyse des mesures céphalométriques (ANB, Wits) et cliniques → *Diagnostic*.
2. **Niveau 2 (Thérapeutique)** : Croisement du *Diagnostic* avec l’*Âge*, la *Coopération* et la *Croissance* → *Appareil*.
3. **Niveau 3 (Sécurité)** : Vérification des limites (Parodonte, limites techniques) → *Contre-indications ou Accessoires*.

0.3 Implémentation en Common Lisp

0.3.1 Représentation des Connaissances

Nous avons opté pour l’utilisation de structures (‘defstruct’) pour représenter les faits et les règles, offrant une meilleure lisibilité que les listes simples.

```

1  (defstruct fait
2    attribut ; Symbole (ex: 'age)
3    valeur   ; Valeur (ex: 12)
4    source   ; :utilisateur ou :deduit
5  )
6
7 (defstruct regle
8   id        ; Identifiant
9   premisses ; Liste ((attribut operateur valeur)...)
10  conclusions ; Liste ((attribut valeur)...)
11  (active t) ; Gestion de l'activation
12 )
```

Listing 1 – Structure des données en Lisp

0.3.2 Moteur d’Inférence : Chaînage Avant

Le choix s’est porté sur un moteur en **chaînage avant** (dirigé par les données). En diagnostic médical, nous partons des symptômes (faits observés) pour en déduire une pathologie (nouveaux faits).

Le moteur fonctionne par saturation de la base de faits (“*base-faits*”).

```

1 (defun chainage-avant ()
2   (loop while nouveau-fait-trouve do
3     (dolist (r *base-regles*)
4       (when (regle-active r)
5         ;; Vérification des premisses avec evaluer-condition
6         (if (conditions-ok)
7             (progn
8               (ajouter-nouveaux-faits)
9               (desactiver-regle r)))))))
```

Listing 2 – Extrait du moteur de saturation

Une particularité de notre implémentation est la fonction ‘evaluer-condition’ qui gère des opérateurs de comparaison complexes (‘>’, ‘<’, ‘member’, ‘equal’), dépassant le simple ordre 0 binaire.

0.3.3 Fonctions de Service

Le système inclut des fonctions robustes pour :

- ‘ajouter-fait’ : Vérifie l’unicité avant l’insertion.
- ‘charger-regles’ : Initialise la base avec 15 règles métier.
- ‘reinitialiser-base’ : Vide la mémoire de travail pour un nouveau patient.

0.4 Utilisation de l’IA Générative

Conformément aux consignes, l’IA (modèle Gemini) a été utilisée comme "Technicien Lisp" tandis que l’étudiant a agi comme "Expert Orthodontiste".

0.4.1 Documentation des Prompts

- **Prompt initial** : Définition du rôle et contrainte "Attends ma base de règles".
- **Apport de l’IA** :
 - Structuration du code Lisp (séparation Modèle / Vue / Contrôleur).
 - Écriture de la fonction récursive de chaînage arrière ('verifier-but') pour comparaison.
 - Génération des scénarios de tests unitaires ('test-edge-cases').
- **Vérification humaine** : Correction par l’étudiant de la logique des règles ‘R-A4’ (valeurs ANB négatives pour la classe III) mal interprétées initialement par l’IA.

0.5 Scénarios et Résultats

0.5.1 Scénario Clinique : Classe II Division 1

Entrées Utilisateur :

- Âge : 10 ans
- Relation Molaire : Classe 2
- Incisives Maxillaires : Proclinées
- Overjet : 6mm
- Coopération : Bonne

Traces d’exécution :

--- Cycle 1 ---

DÉCLENCHEMENT RÈGLE R-A2 : Classe II division 1 classique

[INFO] Nouveau fait établi : DIAGNOSTIC = CLASSE-2-DIV-1 (:deduit)

--- Cycle 2 ---

DÉCLENCHEMENT RÈGLE R-B1 : Twin Block ou Activateur

[INFO] Nouveau fait établi : APPAREIL = FONCTIONNEL (:deduit)

Résultat : Le système recommande correctement un appareil fonctionnel, cohérent avec la littérature pour un patient en croissance (**koretsi2015**).

0.5.2 Tests de Robustesse

Le système a été soumis à des tests limites (fonction ‘test-edge-cases’ dans le code) :

- Gestion des âges limites (passage enfant/ado/adulte).
- Données manquantes (le système répond "Diagnostic indéterminé" sans planter).
- Boucles infinies évitées par le flag ‘active’ dans la structure ‘regle’.

0.6 Conclusion et Perspectives

Le système expert développé répond au cahier des charges d'un SE d'ordre 0+. Il permet de valider la logique diagnostique en orthodontie sur des cas standards.

Limites :

- Rigidité des seuils (un overjet de 5.1mm déclenche la règle, 4.9mm non).
- Pas de gestion de l'incertitude (logique floue nécessaire pour les cas "borderline").

Améliorations futures :

- Implémentation d'un SE d'ordre 1 (avec variables) pour généraliser les règles dentaires (gauche/droite).
- Interface graphique pour la saisie des données céphalométriques.