

Système Expert d'Aide au Diagnostic Orthodontique

TP02 - Intelligence Artificielle Symbolique

Loudiern Tharon Lou Aubert-Debrue

Université de technologie de Compiègne

19 Décembre 2025

Plan de la présentation

- 1 Contexte et Objectifs
- 2 Base de Connaissances
- 3 Implémentation Technique
- 4 Démonstration et Résultats
- 5 Collaboration IA
- 6 Glossaire
- 7 Conclusion

Problématique Médicale

Domaine : Orthopédie Dento-Faciale (ODF).

Le Problème :

- Complexité du diagnostic (multiples paramètres : squelettique, dentaire, fonctionnel).
- Risque d'erreur dans le choix de l'appareillage (fixe vs fonctionnel vs chirurgie).

Notre Solution :

- Système Expert d'Ordre 0+.
- Aide à la décision pour praticiens généralistes ou étudiants.

Modélisation des Connaissances

Sources : Cochrane Reviews, HAS, Classification d'Angle.

Exemple de Règle Métier (R-A2)

SI Relation Molaire = Classe 2

ET Incisives = Proclinées

ET Overjet \geq 5mm

ALORS Diagnostic = Classe II Division 1

Exemple de Règle Thérapeutique (R-B1)

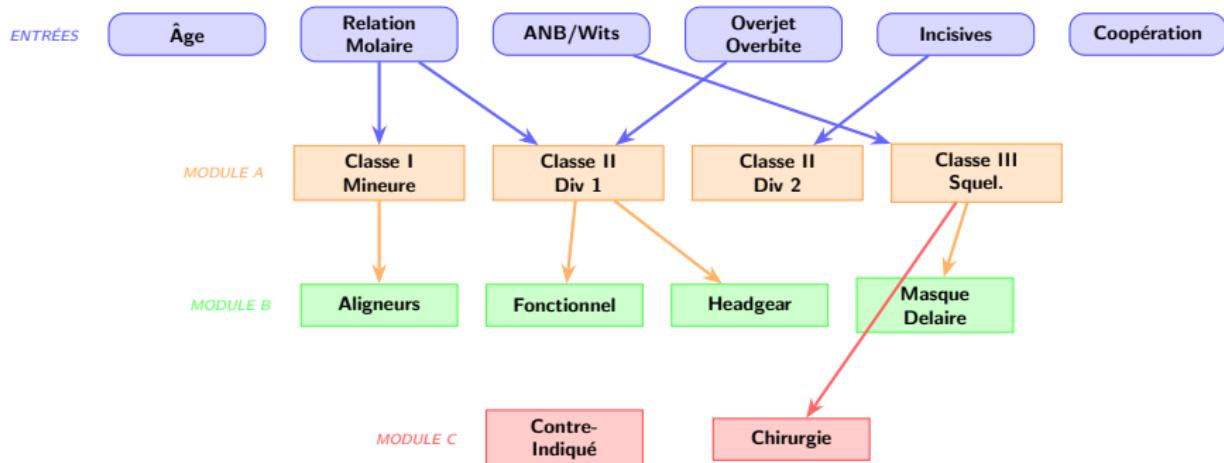
SI Diagnostic = Classe II Div 1

ET $8 \leq \text{Âge} \leq 12$ ans

ET Coopération = Bonne

ALORS Appareil = Fonctionnel (Activateur)

Arbre de Décision du Système Expert



Entrées : Données patient (utilisateur)

Module A : Règles diagnostiques

Module B : Choix appareillage

Module C : Contre-indications

Code : Structure des Règles (Module A)

Exemple R-A2 : Diagnostic Classe II Division 1

```
(push (make-regle
  :id 'R-A2
  :premisses '((relation-molaire equal classe-2)
    (incisives-max equal proclinees)
    (overjet > 5))
  :conclusions '((diagnostic classe-2-div-1))
  :cf 0.90
  :description "Classe II division 1")
*base-regles*)
```

Format des prémisses

(attribut opérateur valeur) → Triplet Ordre 0+

Opérateurs : equal, >, <, >=, <=, member

Code : Évaluation des Conditions

Fonction clé : evaluer-condition

```
(defun evaluer-condition (condition)
  (let* ((attr (first condition))
         (op    (second condition))
         (val-ref (third condition))
         (fait-trouve (valeur-fait attr)))
    (if (null fait-trouve)
        :inconnu   ;; Fait non renseigne
        (case op
          (equal  (equal val-reelle val-ref))
          (>      (> val-reelle val-ref))
          (<      (< val-reelle val-ref))
          (member (member val-reelle val-ref))))))
```

Justification Ordre 0+

- 6 opérateurs de comparaison (au-delà du booléen pur)
- Retour :inconnu ≠ nil (distinction faux/non-renseigné)

Représentation : Structures ('defstruct') pour une meilleure sémantique.

```
(defstruct fait
  attribut    ; ex: 'overjet
  valeur      ; ex: 6
  source)     ; :utilisateur ou :deduit

(defstruct regle
  id premisses conclusions active)
```

Moteur d'Inférence :

- **Chaînage Avant** (Forward Chaining).
- Méthode par *saturation* de la base de faits.
- Gestion des comparateurs : $>$, $<$, \geq , $=$, member.

Logique du Moteur

```
(defun chainage-avant ()
  (loop while nouveau-fait-trouve do
    (dolist (r *base-regles*)
      (when (regle-active r)
        (let ((ok (verifier-premisses r)))
          (when ok
            (declencher-regle r)
            (desactiver-regle)))))))
```

Pourquoi le chaînage avant ?

En médecine, on part des symptômes (données) pour aller vers le diagnostic (but). C'est une approche "Data-Driven".

Scénario de Test : L'enfant "Classe II"

Données Patient :

- Âge : 10 ans
- Molaire : Classe 2, Overjet : 6mm
- Coopération : Bonne

Exécution du Système :

- ① Cycle 1 : Règle R-A2 s'active → **Diag : Classe II Div 1.**
- ② Cycle 2 : Règle R-B1 s'active (grâce au diag + âge) → **Appareil : Fonctionnel.**
- ③ Cycle 3 : Aucune nouvelle déduction. Arrêt.

Validation : Cohérent avec les revues systématiques (Koretsi et al., 2015).

Usage de l'IA Générative

Rôles définis :

- **Humain** : Expert du domaine (fournit les règles, valide la logique médicale).
- **IA (Gemini)** : Expert technique (implémentation Lisp, syntaxe, tests unitaires).

Apports clés :

- Génération rapide de la structure du code ('boilerplate').
- Création de jeux de tests automatisés ('test-edge-cases').
- Débogage des parenthèses Lisp.

Glossaire Technique - Orthodontie

Classes d'Angle Classification squeletto-dentaire fondamentale. Classe I (normal), II (rétrognathie), III (prognathie). Base du diagnostic (Règles R-A1 à R-A5).

ANB Angle céphalométrique (points A-N-B). Normal : $2\text{--}4^\circ$. ANB $< 0^\circ$ = Classe III squelettique (Règle R-A4).

Overjet Distance horizontale incisives sup./inf. Normal : 2-3mm. Overjet $> 5\text{mm}$ = Classe II Div 1 (R-A2).

Masque de Delaire Traction faciale pour Classe III jeune (6-9 ans). Stimule la croissance maxillaire (R-B3).

Glossaire Technique - IA Symbolique

Système Expert Ordre 0+ Logique propositionnelle + prédictats ($>$, $<$, $=$).
Pas de variables ni quantificateurs.

Chaînage Avant Inférence dirigée par les **données**. Part des symptômes vers le diagnostic. Implémenté dans `chainage-avant()` (ligne 200).

Saturation Application itérative des règles jusqu'à absence de nouveaux faits. Garantie de terminaison via flag active.

Base de Faits Mémoire de travail dynamique (*base-faits*). Contient les connaissances avérées sur le patient.

Glossaire Technique - Implémentation Lisp

defstruct Création de types structurés. `fait` (attribut/valeur/source) et `regle` (prémisses/conclusions). Génère accesseurs automatiques.

evaluer-condition Fonction vérifiant si une condition est vraie (ligne 183). Gère 6 opérateurs : `equal`, `>`, `<`, `\geq` , `\leq` , `member`.

Flag active Attribut booléen dans `regle`. Désactivé après déclenchement pour éviter boucles infinies (ligne 223).

Tests Unitaires Fonctions automatisées : `test-edge-cases`, `test-integration-complet`. Score de réussite calculé.

Conclusion et Perspectives

Bilan :

- Système fonctionnel et robuste (gestion des erreurs).
- Base de règles validée par la bibliographie.
- Code modulaire et documenté.

Limites (Ordre 0+) :

- Effets de seuil (ex : âge strict à 12 ans).
- Manque de nuance (pas de "peut-être").

Merci de votre attention.