

## Systèmes experts



F.-Y. VILLEMIN  
CNAM-CEDRIC

<http://deptinfo.cnam.fr>

## Systèmes Experts

"Un système expert est un programme conçu pour simuler le comportement d'un humain qui est un spécialiste ou un expert dans un domaine très restreint" P. Denning (1986)

Système expert est un programme :

- Incorporant à la fois des connaissances formelles des jugements personnels de l'expert (sous forme d'heuristiques)
- Expliquant à la fois le raisonnement conduisant aux réponses aux questions le savoir qu'il contient
- Capable d'incorporer du nouveau savoir dans le savoir existant de manière incrémentale
- Séparant les connaissances, le contrôle (moyen d'utiliser les connaissances)
- "Dialoguant" (systèmes évolués) avec l'utilisateur dans un langage proche du sien (langue naturelle, "jargon" du domaine)

## Principes actuels de construction

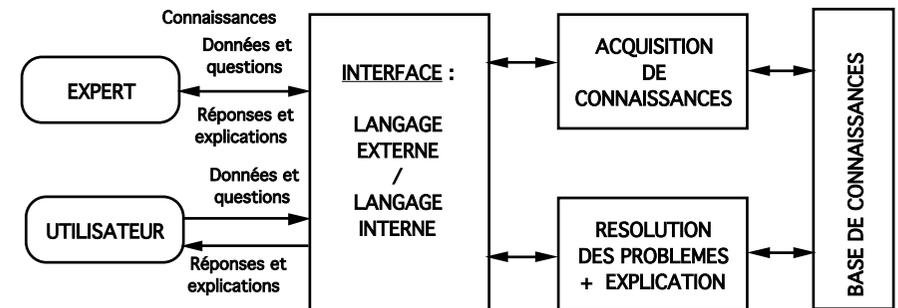
Credo de E. Feigenbaum (1977) :

- la puissance du système réside dans son savoir
- le savoir est souvent inexact, incomplet
- le savoir est souvent mal-spécifié
- les amateurs deviennent des experts incrémentalement
- les systèmes experts doivent être flexibles
- les systèmes experts doivent être transparents

Principes architecturaux :

- séparer le moteur d'inférence de la base de connaissances
- utiliser le mode de représentation le plus uniforme possible
- garder le moteur d'inférence simple
- exploiter la redondance

## Schéma d'un système expert



## Types de problèmes à traiter

- Données non sûres ou incomplètes
- Savoir non sûr ou incomplet
- Données variant avec le temps
- Très nombreuses solutions plausibles
- Interaction de sous-problèmes
- Besoin de plusieurs représentations
- Connaissances de divers types
- Besoin d'inventer des états
- Plusieurs raisonnements à envisager

## Exemple d'un système expert (1)

(N.B. cet exemple, de H. Gallaire, n'a pas la précision d'une expertise médicale)

MR1 Sil y a des éruptions ou des rougeurs alors envisager: R1, R2, R3, R4

MR2 Si le patient est une femme adulte et si R1, R2, R3, R4 sont envisagées alors R1 est prioritaire

MR3 Si le patient est un adolescent ou un enfant et si R1, R2, R3, R4 sont envisagées alors R4 est peu probable

MR4 Si deux règles sont également probables alors prendre en priorité celle qui a le plus de conditions

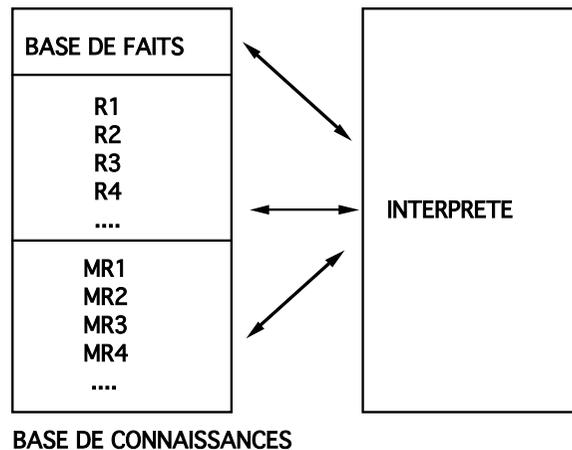
R1 Si la fièvre est faible, la peau sèche, s'il y a des ganglions, pas de pustules ni de rhume alors envisager la rubéole

R2 Si les boutons sont isolés et démangent beaucoup avec une faible fièvre, et si la croûte apparaît vite sur les pustules ou les vésicules alors envisager fortement la varicelle

R3 Sil y a rhume, mal aux yeux, taches roses dans la gorge, boutons en taches, fièvre forte alors envisager la rougeole

R4 Sil y a amygdales rouges, desquamation, forte fièvre, taches rouge vif alors envisager la scarlatine

## Exemple d'un système expert (2)



## Exemple d'un système expert (3)

### Moteur

- cycle
- Détection des métarègles applicables, puis les règles applicables (par métarègles)
- Choix d'une règle
- Application
- Exécution

**Base de faits:** patient adulte femme, rougeurs, fièvre faible

**Pas 1 :** métarègles intéressantes : MR1, MR2, MR4; sélectionner MR1

**Pas 2 :** par MR1 l'interprète sélectionne R1, R2, R3, R4

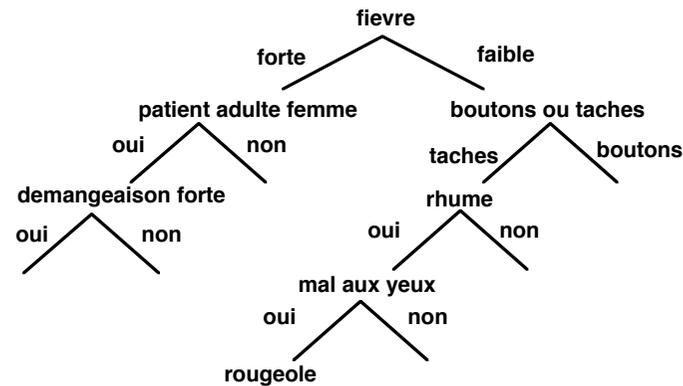
**Pas 3 :** la base de faits est utilisée pour présélectionner: R1 et R2

**Pas 4 :** MR2 suggère d'utiliser R1(mais R2 reste sélectionnable)

question posée à l'utilisateur : "**pustules ?**"

supposons une réponse "positive": R2 reste sélectionnable, mais R1 est éliminée → "**varicelle**"

## Exemple d'un système expert (4)



## Critiques des systèmes experts actuels

Critères de R. Davis (1982) → Caractéristiques attendues d'un système expert :

- résoudre le problème
- expliquer le résultat
- apprendre
- restructurer son savoir
- "casser" les règles
- déterminer la pertinence de ses réponses
- se dégrader lentement aux limites de son domaine

Bilan de B. Buchanan (1982) :

- domaine d'expertise très étroit
- comportement "fragile" aux frontières du domaine
- langage de représentation de connaissances très limité
- entrée-sortie limitées
- explications réduites
- base de connaissances fondée sur un seul expert ("knowledge czar")

## Typologie des systèmes experts

### Systèmes superficiels

- conçus pour avoir grande vitesse d'exécution (conclusions en un petit nombre d'étapes)
- connaissances principalement empiriques ou compilées
- bon résultat dans leur domaine propre, mauvais résultats en dehors

Exemple : MYCIN (fonctionnement simulant le comportement d'un médecin face à un malade et à des résultats d'analyses)

### Systèmes profonds

- conclusions dérivant des principes premiers d'un modèle des phénomènes et du domaine
- solutions sont généralement longues à obtenir (résultats paraissant souvent non-triviaux aux observateurs)

Exemple : SOPHIE de J. S. Brown & de J. Kleer (utilise la physique qualitative pour prédire le comportement réel d'un système physique)

## Systèmes experts génériques

"Les bons travaux en IA concernent l'automatisation des choses que nous savons faire, et non l'automatisation de choses que nous aimerions savoir faire" D. Perlis (1986)

Intuitivement, pour tout domaine, types de connaissances et des mécanismes de raisonnement communs en :

- diagnostic
- conception
- identification
- classement de données...

→ notions de:

- Tâches génériques (Chandrasekaran)
- Structures d'inférence (Clancey)

But:

- Déterminer les invariants
- Programmer d'avance ces invariants
- Méthodes de vérification des systèmes en référence au modèle

## Problèmes relevant des systèmes experts

D'après Hayes-Roth, Waterman et Lenat: "Building Expert Systems"

**Interprétation:** Identifier des données à partir de leurs descriptions: DENDRAL (Buchanan-Feigenbaum)

**Diagnostic:** Déterminer les fautes à partir de données: MYCIN (Shortliffe)

**Prédiction:** Déterminer les conséquences plausibles en fonction du présent et du passé

**Monitoring:** Déterminer si des données sont nominales: VM (Fagan)

**Planification:** Concevoir une suite d'actions: MOLGEN (Stefik)

**Conception:** Spécifier un objet étant données des contraintes: ISIS (Fox)

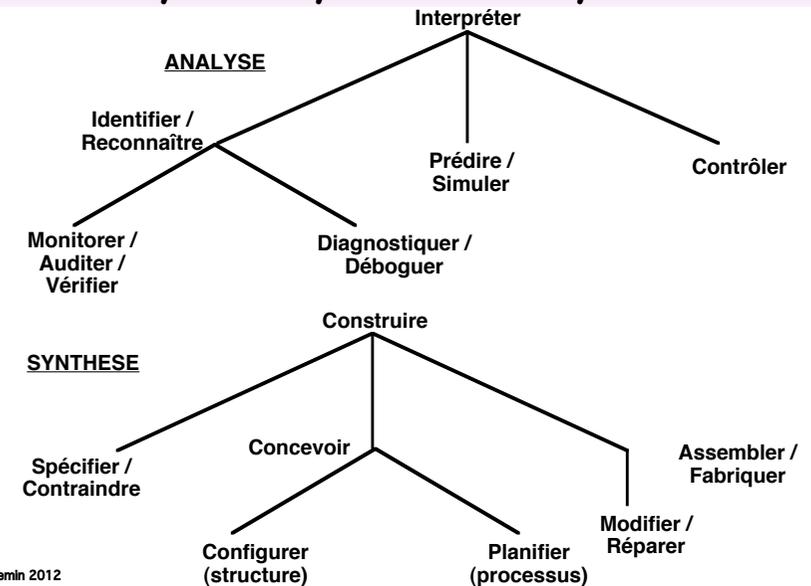
**Débogage:** Prévoir la rectification d'une erreur: PROUST (Kant)

**Réparation:** Planifier une solution de secours

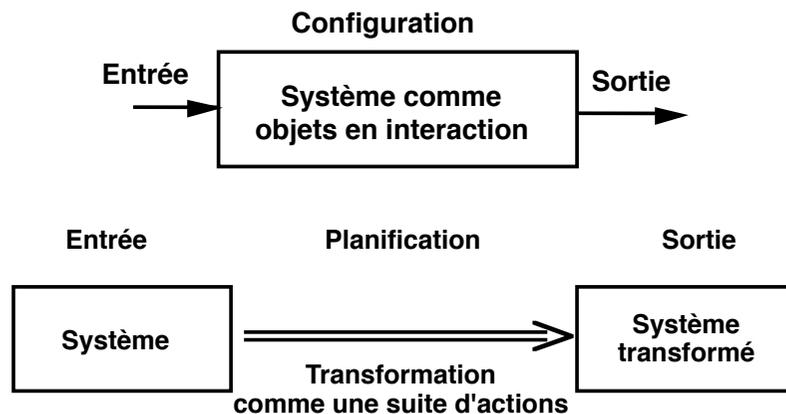
**Instruction:** Diagnostiquer, déboguer et réparer l'attitude d'un étudiant

**Contrôle:** Interpréter, prédire, réparer et guider le comportement d'un système

## Analyse et synthèse des systèmes



## Analyse et synthèse des systèmes



### Configuration (statique) et planification (dynamique)

## Algorithme générique de diagnostic "GSC"

R. Reggia, D. Nau & H. Wang (1983)

Soit un système avec:

- $M$  = ensemble de **toutes les manifestations observables**
- $F$  = ensemble de **toutes les fautes** (pannes, dysfonctionnements...) possibles
- $C$ , ( $C \subseteq F \times 2^M$ ), l'ensemble de **toutes les causes**

cause  $c \in C$   $c = \langle f, \{m_1, \dots, m_n\} \rangle$  avec  $f \in F$  et  $m_1, \dots, m_n \in M$

fonction "Manif",  $\text{Manif} : 2^F \rightarrow 2^M$ ,

ensemble des manifestation associées à un ensemble de fautes par  $C$

fonction "Cause",  $\text{Cause} : 2^M \rightarrow 2^F$

ensemble des fautes tel que l'une puisse causer au moins l'une des manifestations

## Diagnostic de Fautes Multiples

Problème du diagnostic d'un système:

$S$ , ( $S \subseteq M$ ), ensemble de **tous les symptômes**

→ déterminer  $D$ , ( $D \subseteq F$ ), tel que:

- $D$  est tel que  $S \subseteq \text{manif}(D)$
- $D \subseteq \text{Cause}(S)$
- $D$  est de cardinalité minimale

**Principe du Rasoir d'Occam:** "ne rien supposer qui ne soit strictement nécessaire"

$D = \text{diagnostic du système } \{F, M, C\}$  pour  $S$

## Algorithme GSC

**Procédure GSC** (in  $S$  : ensemble de manifestations observables, ex  $D$  : ensemble de fautes);

**Var** Obs : ensemble de manifestations observables,  $m$  : manifestation observable;

Fautexclues, Hypothèses, Explic : ensemble de fautes;

**Début**

Obs :=  $\emptyset$ ; /\* Obs est le sous-ensemble de  $S$  examiné\*/

Causexclues :=  $\emptyset$ ; /\* Fautexclues sous-ensemble de  $F$  qui ne peut être retenu \*/

Hypothèses :=  $\emptyset$ ; /\* Hypothèses sous-ensemble de  $F$  \*/

**tantque** Obs  $\neq S$  **faire**

prendre une manifestation  $m$  dans  $S - \text{Obs}$ ;

ajouter  $m$  à Obs; /\*  $m$  peut ne pas être un dysfonctionnement \*/

déterminer Explic = Cause( $m$ );

**si**  $\neg \text{panne}(m)$  **alors** ajouter Explic à Fautexclues **is**;

ajuster Hypothèses à Explic et  $m$

**fait**;

$D :=$  premier élément de Hypothèses /\*  $D = \text{diagnostic}$  \*/

**Fin**

## Algorithme GSC

Les auteurs ont remarqué que les experts savent que :

certaines fautes s'excluent les unes les autres

hypothèse  $H$ : soit  $f_1$ , soit  $f_2$  est vraie et combinée à soit  $f_3$ , soit  $f_4$

→ hypothèse  $H$  est écrite en utilisant des générateurs:

$H = \{\{f_1, f_2\} \times \{f_3, f_4\}\}$       $\{f_1, f_2\}$  signifie soit  $f_1$ , soit  $f_2$

certaines fautes sont plus probables que d'autres

→ fautes ordonnées dans les générateurs (les plus probables d'abord)

Exemple d'ajustement de l'hypothèse  $H$ :

hypothèse  $H = \{\{f_1, f_2, f_3, f_4\}\}$

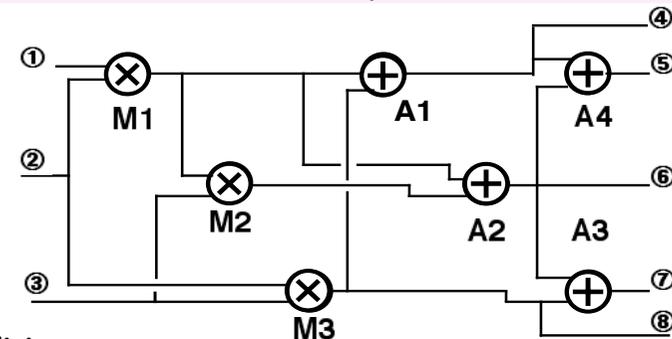
élément à accommoder  $\{f_1, f_3, f_5\}$

→  $H$  devient:

(cas faute)  $H = \{\{f_1, f_3\} \text{ et } \{f_2, f_4\} \times \{f_5\}\}$  (ici  $f_1$  préférée à  $f_3$ )

(cas normale)  $H = \{\{f_2, f_4\}\}$  ( $f_1$  et  $f_3$  exclus)

## Exemple



$A_i$  = additionneurs

$M_j$  = multiplicateurs

Mesures aux bornes supposées correctes :

① 3, ② 4, ③ 5, ④ 32, ⑤ 61, ⑥ 29, ⑦ 27, ⑧ 20

Pas de problème de fils

## Exemple

Ensemble F des malfonctions possibles ( $\neg X$  = circuit X défectueux):

$\{\neg M1, \neg M2, \neg M3, \neg A1, \neg A2, \neg A3, \neg A4\}$

Ensemble S des disfonctionnement observable ( $\neg X$  = sortie X défectueuse):

$\{\{\neg 4\} \{\neg 5\} \{\neg 6\} \{\neg 7\} \{\neg 8\}\}$

Table des causes C ou fonction "Manif" ("," = ou):

$\neg M1$		$\neg 4 \ \& \ \neg 5 \ \& \ \neg 6 \ \& \ \neg 7$
$\neg M2$		$\neg 5 \ \& \ \neg 6 \ \& \ \neg 7$
$\neg M3$		$\neg 4 \ \& \ \neg 5 \ \& \ \neg 7 \ \& \ \neg 8$
$\neg A1$		$\neg 4 \ \& \ \neg 5$
$\neg A2$		$\neg 5 \ \& \ \neg 6 \ \& \ \neg 7$
$\neg A3$		$\neg 7$
$\neg A4$		$\neg 5$

Table de causalité (transposée de la précédente) ou fonction "Cause" :

$\neg 4$		$\{\neg M1\}, \{\neg M3\}, \{\neg A1\}$
$\neg 5$		$\{\neg M1\}, \{\neg M2\}, \{\neg M3\}, \{\neg A1\}, \{\neg A2\}, \{\neg A4\}$
$\neg 6$		$\{\neg M1\}, \{\neg M2\}, \{\neg A2\}$
$\neg 7$		$\{\neg M1\}, \{\neg M2\}, \{\neg M3\}, \{\neg A2\}, \{\neg A3\}$
$\neg 8$		$\{\neg M3\}$

## Fonctionnement

Au début : Obs = {}; Fautexclues = {}; Hypothèse = {}

(1) Sortie 4 **correcte**

→ Obs = { 4}; Cause(4) = {M1 & M3 & A1} (négation de la cause);

Fautexclues = {M1, M3, A1}; Hypothèse = {}

(2) Sortie 5 **incorrecte**

→ Obs = { $\neg 5$ }; Cause( $\neg 5$ ) = { $\neg M1, \neg M2, \neg M3, \neg A1, \neg A2, \neg A4$ };

Fautexclues = {M1, M3, A1}; Hypothèse = {{ $\neg M2, \neg A2, \neg A4$ }} car M1 & M3 & A1

(3) Sortie 6 **incorrecte**

→ Obs = { $\neg 6$ }; Cause( $\neg 6$ ) = { $\neg M1, \neg M2, \neg A2$ };

Fautexclues = {M1, M3, A1}; Hypothèse = {{ $\neg M2, \neg A2$ } & { $\neg M2, \neg A2$ }X{ $\neg A4$ }}

(4) Sortie 7 **incorrecte**

→ Obs = { $\neg 7$ }; Cause( $\neg 7$ ) = { $\neg M1, \neg M2, \neg M3, \neg A2, \neg A3$ };

Fautexclues = {M1, M3, A1}; Hypothèse = {{ $\neg M2, \neg A2$ } & { $\neg M2, \neg A2$ }X{ $\neg A4$ }X{ $\neg A3$ }}

(5) Sortie 8 **correcte**

→ Obs = { 8}; Cause(8) = {M3} (négation de la cause, aucune information nouvelle);

Fautexclues = {M1, M3, A1}; Hypothèse = {{ $\neg M2, \neg A2$ } & { $\neg M2, \neg A2$ }X{ $\neg A4$ }X{ $\neg A3$ }}

**Interprétation, deux diagnostics minimaux:**

soit A2 est en panne

soit M2 est en panne