



UOM2 : Intelligence Artificielle ***Systèmes experts.***

Philippe Lamarre

Faculté des Sciences et Techniques de Nantes

Qu'est-ce que c'est?

Définition 1 *Un système expert est un ensemble de programmes avec lequel on peut représenter de la connaissance d'un expert humain dans un domaine donné et qui est capable d'opérer un certain nombre de raisonnements dans le but de participer à la résolution de problèmes du dit domaine.*

On parle aussi de **systèmes à Bases de Connaissance** (ou **KBS**).

Objectifs des SE.

Remplacer les humains.

Par exemple pour des systèmes autonomes.

Objectif abandonné

Objectifs des SE.

Assister les humains dans le processus de décision.

Principaux utilisateurs

⑥ Experts

Ajoute des connaissances au système.

Utilise le SE pour assistance, aide au diagnostic.

⑥ Non experts

Utilise le SE pour obtenir une aide technique : que faire dans certaines situations. . .

Principales applications

- ⑥ Chimie
- ⑥ Médecine
- ⑥ Recherche minière
- ⑥ Finance
- ⑥ ...

Principaux types de données rencontrées.

Symboliques Le patient se plaint de douleurs abdominales.

Numériques La température du patient est de 39.5°.

Principales caractéristiques.

- ⑥ Moteur de raisonnement
- ⑥ Connaissance du domaine
- ⑥ Connaissance du problème particulier
- ⑥ Utilisation d'heuristiques
- ⑥ Explications
- ⑥ Temps d'exécution «raisonnable» pour des volumes de données «réalistes».

Principales problématiques.

Acquisition des connaissances.

Nécessite la confrontation entre la connaissance du domaine et la représentation que peut en avoir le SE (quel langage...). Long, difficile...

- ⑥ Terminologie spécialisée utilisée par l'expert.
- ⑥ Passage d'une représentation souvent opératoire à celle utilisée dans le SE.
- ⑥ Utilisation quelques fois massives de connaissances annexe (connaissances communes et autres).
- ⑥ Nombreux modes de raisonnements mis en œuvre par un expert (élimination, absurde, analogie, expérience...) confrontés à souvent une seule technologie de raisonnement dans le SE.

Principales problématiques.

Quel langage pour la représentation des connaissances?

Nécessite un bon compromis entre

- ⑥ Capacité de représentation, i.e. expressivité
- ⑥ Efficacité des procédures
- ⑥ Possibilités de fournir des explications

Un langage pour les SE.

La manière dont un expert exprime un élément de connaissance apporte souvent des informations concernant la manière dont il exploite cette connaissance.

«Si x et y sont positifs, leur produit est aussi positif.»

Cette phrase est logiquement équivalente à : x est négatif ou y est négatif ou le produit de x par y est positif. Bien d'autres représentations équivalentes existent.

La première phrase induit une utilisation possible, fréquente, usuelle. . . .

On parle aussi de systèmes à bases de règles.

Schéma général d'un SE

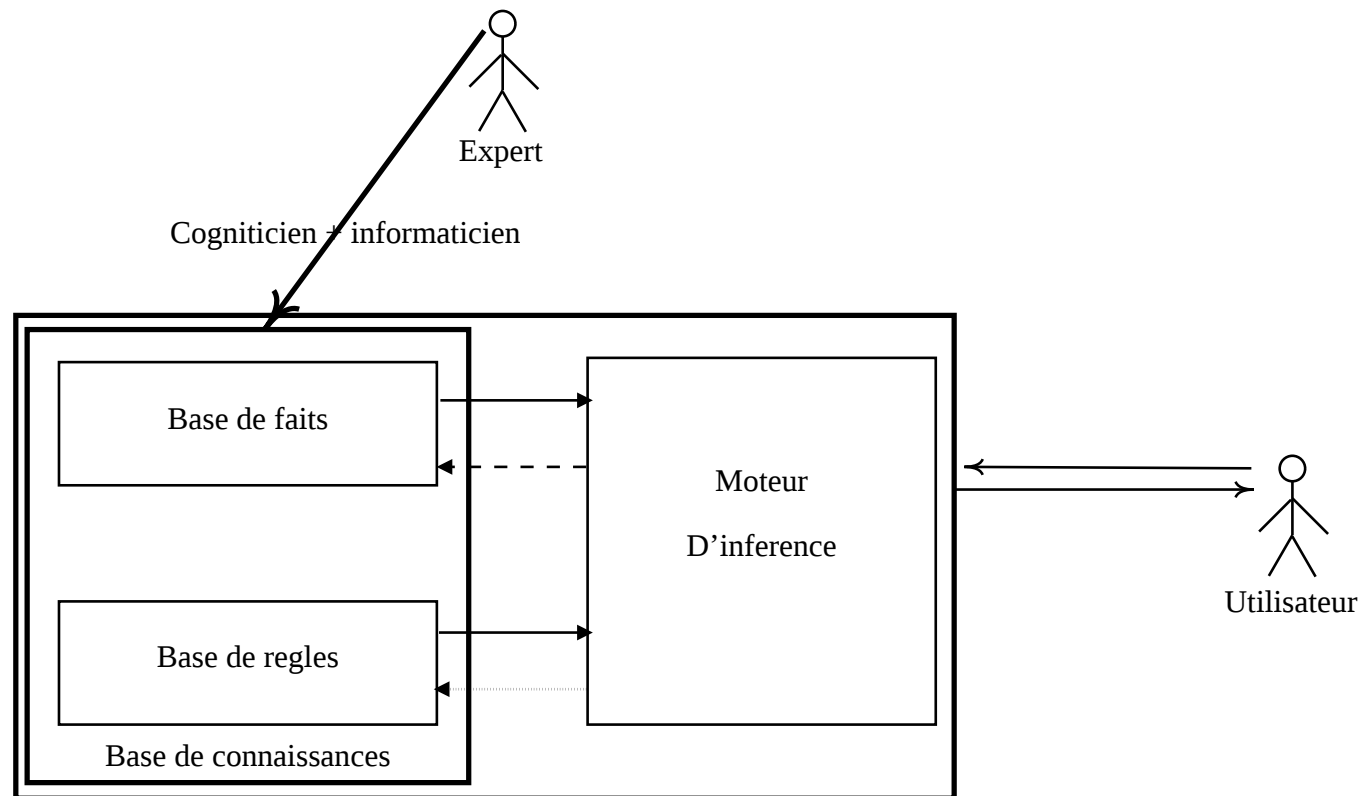


Schéma général d'un SE

Le rôle du cogniticien est de «soutirer» la connaissance des experts du domaine pour les traduire dans le formalisme utilisé par le système expert.

- ⑥ Introspection de la part de l'expert.
- ⑥ Capacité de compréhension du domaine.
- ⑥ Capacité à exprimer des connaissances dans un langage formel.

Schéma général d'un SE

Représentation des connaissances sous forme de règles = représentation déclarative «indépendante» de la manière dont elles sont utilisées par le moteur d'inférence (dans une certaine limite).

- ⑥ Possibilité de faire évoluer les connaissances sans toucher au moteur d'inférence.

Objectif idéaliste pas toujours atteint. Bien souvent, la manière dont les règles sont écrites et organisées est fortement influencée par les mécanismes de raisonnements mis en œuvre

Un exemple de système Expert :

MYCIN

- ⑥ Traitement des maladies infectieuses du sang
- ⑥ Conçu entre 1972 et 1974 → 200 règles
- ⑥ Complété entre 1975 et 1978 → 300 règles supplémentaires (méningite)

Un exemple de système Expert :

MYCIN

Même en se limitant à la version de base existant en 1974, les résultats sont satisfaisants. Ainsi, en 1974, 15 cas représentatifs d'infections bactériennes furent soumis à MYCIN d'une part et à 5 experts d'autre part. Les 5 experts approuvèrent les recommandations thérapeuthiques de MYCIN dans 11 cas sur 15 (soit 55 accords pour 75 comparaisons). Dans les autres cas, les 5 experts étaient en désaccord entre eux.

FARRENY, Henri, Les systèmes experts : principes et exemples, Cepadues editions, 1989.

Un exemple de système Expert :

MYCIN



- 1 Please enter information about the patient.
Name : Sally - Age : 42 years - Sex : Female - Race : Caucasian
- 2 Are there are any positive cultures obtained from SALLY?
No
- 3 Are there any pending cultures of SALLY?
YES
- 4 ⑥ site : CSF
⑥ date collected : 3-Jun-75
⑥ stain examined: Yes
⑥ method of collection (urine, sputum only) : N/A
- 5 Stain of smear (type NONE if no organism was seen on the smear)
NONE

Un exemple de système Expert :

MYCIN

- 
- 13 Has SALLY recently has symptoms of persistent headache or other abnormal neurologic symptoms (dizziness, lethargy, etc)?
Yes
- 14 Has SALLY recently had objective evidence of abnormal neurologic signs (nuchal rigidity, coma, seizures, etc.) documented by physician observation or examination?
Yes
The CSF cultures will be considered to be associated with MENINGITIS.
- 34 Is the meningitis a hospital-acquired infection?
No
- 35 Is SALLY's clinical history consistent with EPIGLOTTITIS?
No
- 36 Is SALLY's clinical history consistent with OTITIS-MEDIA?
No
- 37 Has the patient ever been to an area that is endemic for coccidiomycoses?
Unknown

Un exemple de système Expert :

MYCIN

38 Is SALLY a burn patient?

Why ?

[i.e. WHY is it important to determine whether SALLY has been seriously burned?]

[4.0] This will aid in determining the organisms (other than those seen on cultures or smears) which might be causing the infection.

It has already been established that

[4.1] the infection which requires therapy is meningitis, and

[4.2] organisms were not seen on the stain of the pending csf culture (CULTURE-1), and

[4.3] the type of the infection may be bacterial

Therefore, if

[4.4] SALLY has been seriously burned

then

there is suggestive evidence that *Pseudomonas-aeruginosa* is one of the organisms (other than those seen on cultures or smears) which might be causing the infection [RULES578]

[back to question 38 ...]

Un exemple de système Expert :

MYCIN

38 Is SALLY a burn patient?

How 4.3 ?

[i.e. HOW was it established that the type of the infection may be bacterial?]

The following rules concluded about: the likelihood that the type of the infection may be bacterial.

[4.5]	RULE500	(0.4)	
[4.6]	RULE501		(0.17)
[4.7]	RULE502	(0.1)	
[4.8]	RULE503	(0.42)	
[4.9]	RULE504	(0.28)	

Thus, it has been established that the type of the infection may be bacterial.

Un exemple de système Expert :

MYCIN

My therapy recommendations will be designed to treat for organisms that either are very likely or, although less likely, would have a significant effect on therapy selection if they were present. It is important to cover for the following probably infection(s) and associated organism(s):
INFECTION-1 is MENINGITIS

- ⑥ MYCOBACTERIUM-TB [from clinical evidence only]
- ⑥ COCCIDIoidES [from clinical evidence only]
- ⑥ CRYPTOCOCCUS [from clinical evidence only]

Quelques exemples de systèmes experts existants.

MYCIN Diagnostic médical pour les infections bactériennes, 1974.

PROSPECTOR géologie, aide un géologue à évaluer la qualité d'un site en vue d'une exploitation minière, 1978 (1600 règles - a aidé à la découverte de gisements)..

DENDRAL Chimie, recherche la formule développée d'un corps organique à partir de la formule brute et du spectrogramme de masse du corps considéré, 1969.

CRYSTALIS Chimie, recherche la structure de protéines à partir de résultats d'analyse cristallographique, 1979.

CADHELP Aide pour la conception assistée par ordinateur.

Quelques moteurs pour la création de systèmes experts.

- ⑥ Jess, the Expert System Shell for the Java Platform
(<http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/>)
- ⑥ CLIPS: A Tool for Building Expert Systems
(<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>)
- ⑥ ILOG Business Rules
(<http://www.ilog.com/products/rules/>)
- ⑥ ...

Prolog est basé sur l'utilisation de règle, mais c'est un langage de programmation et non un générateur de système expert.

La Base de faits.

C'est la «mémoire de travail» du système expert.

Un système expert n'utilisant que des faits booléens est dit d'ordre 0.

Un système expert n'utilisant que des faits booléens et des relations (souvent sous la forme $\langle relation, attribut, valeur \rangle$) est dit d'ordre 0⁺.

Un système expert utilisant toute la puissance de la logique du premier ordre est dit d'ordre 1.

La Base de faits.

C'est la «mémoire de travail» du système expert.

Un système expert n'utilisant que des faits booléens est dit d'ordre 0. *rouge* **ou** $\neg$ *casse*

Un système expert n'utilisant que des faits booléens et des relations (souvent sous la forme

$\langle \textit{relation}, \textit{attribut}, \textit{valeur} \rangle$) est dit d'ordre 0⁺.

rouge **ou** $\neg$ *casse* **ou** *profession jean medecin* **ou** *remuneration pierre 2000*

Un système expert utilisant toute la puissance de la logique du premier ordre est dit d'ordre 1.

$\forall \textit{maladie}(x) \wedge \textit{symptome}(x) = \textit{forteFievre} \rightarrow \textit{surveillanceAttentive}$

La Base de faits.

Les «méta-faits» sont des faits sur d'autres faits. En particulier, ils permettent au système de savoir

- ⑥ si un fait peut faire l'objet d'une demande à l'utilisateur
- ⑥ si un fait a déjà été demandé à l'utilisateur (pour éviter de demander indéfiniment à l'utilisateur qui répond 'je ne sais pas').

La Base de faits.

Les «méta-faits» sont des faits sur d'autres faits. En particulier, ils permettent au système de savoir

Exemples

⑥ $Valeur(profession) = inconnue$

- △ connue (une valeur lui a été attribuée)
- △ inconnue (aucune valeur attribuée, aucune question posée)
- △ indéterminée (aucune valeur attribuée, question déjà posée à l'utilisateur).

⑥ $Demandable(profession)$

On peut demander à un malade quelle est sa profession (pas quelle est sa maladie).

La Base de Règles

Elle rassemble les connaissances de l'expert.

Elle n'évolue pas d'une situation à l'autre (sauf...)

Une règle est de la forme
SI prémisses **ALORS** conclusion

MétaRègles.

Ce sont des règles qui expriment comment utiliser les règles.

Par exemple, dans MYCIN, on peut trouver des règles de la forme :

SI “on cherche une thérapie” ALORS considérer les règles dans l’ordre suivant : celles qui permettent de

1. acquérir les informations cliniques sur le patient
2. trouver quels organismes, s’il en existe, sont cause de l’infection
3. identifier les organismes les plus vraisemblables
4. trouver tous les médicaments potentiellement utiles
5. choisir les plus adaptés en plus petit nombre

MétaRègles.

Ce sont des règles qui expriment comment utiliser les règles.

Cette vision est déclarative et plus dynamique que celle consistant à déterminer un ordre 'à priori', que ce soit en considérant l'ordre d'écriture des règles ou en effectuant des regroupements par paquets.

Représentation des connaissances incertaines

Que ce soit dans le diagnostic médical, ou celui de panne de machine ou la recherche minière, les conclusions sont extrêmement rarement établies à 100%.

La théorie des probabilités est une candidate pour la formalisation de cette notion dans les systèmes experts.

Représentation des connaissances incertaines



Des informations nécessitent d'être quantifiées.

j'ai très mal à la tête

Les nombres peuvent aussi être utilisés pour quantifier une information sur une échelle donnée.

Représentation des connaissances incertaines

Problème de l'approche numérique.

- ⑥ Il n'est pas raisonnable de demander à un humain de quantifier de manière précise les paramètres.
 - △ si un patient a mal à la tête à plus de 70 sur une échelle de 0 à 100 et plus de 40° de fièvre, vous diriez que vous avez 25, 26 ou 27% de chance qu'il soit atteint d'une méningite?
 - △ vous avez très mal à la tête, c'est à dire, sur une échelle de 0 à 100, à 69, 70 ou 71%
- ⑥ Comment combiner les coefficients présents dans les règles?

Représentation des connaissances incertaines

Toujours des problèmes...

- ⑥ si a est vrai alors b est vraisemblable,
- ⑥ x renforce la vraisemblance de b .
- ⑥ La présence de l rend b très peu vraisemblable, même si a et x sont vrais.

Représentation des connaissances incertaines

Quelques solutions possibles

- ⑥ Logique floue
- ⑥ Logiques modales
- ⑥ Logiques non monotones
- ⑥ ...

Principes généraux de fonctionnement



1. Sélection des règles applicables
2. Résolution des conflits (choix des règles à appliquer)
3. Action : déclenchement de la (ou les) règle choisie.

Les principaux modes.

Chaînage

- ⑥ Chaînage avant
Calcul des conclusions à partir des faits et des règles.
- ⑥ Chaînage arrière
On part d'une conclusion et on cherche à vérifier si elle est vérifiée («guidé par les buts»).
- ⑥ Chaînage mixte
Combinaison des deux précédents.

Les principaux modes.

Contrôle

- ⑥ Régime irrévocable.
On ne peut pas revenir se ce qui a été fait.
- ⑥ Régime à tentative. correspond à la notion de «back track»

Algorithme de chaînage avant.

Paramètres : in fait (le fait à démontrer)

if fait $\in$ BF **then**

res $\leftarrow$ SUCCES

else

reglesNonDéclenchées $\leftarrow$ BR; reglesAConsidérer $\leftarrow$ BR; res $\leftarrow$ ECHEC

while reglesAconsidérer $\neq \emptyset$ et res $\neq$ SUCCES **do**

r $\leftarrow$ choisir(reglesAConsidérer); reglesAConsidérer $\leftarrow$ reglesAConsidérer - {r}

if $\forall p \in \text{premise}(r), p \in \text{BF}$ **then**

BF $\leftarrow$ BF $\cup$ {conclusion(r)}

reglesNonDéclenchées $\leftarrow$ ReglesNonDéclenchées - {r}

reglesAConsidérer $\leftarrow$ reglesNonDéclenchées

if conclusion(r) = fait **then**

res $\leftarrow$ SUCCES

end if

end if

end while

end if

renvoyer res

Algorithme de chaînage avant.

Attention

- ⑥ Une règle n'est déclenchée qu'une seule fois.
- ⑥ L'algorithme termine toujours
- ⑥ On ne peut démontrer que des faits atomiques ou des disjonctions de faits atomiques.
- ⑥ Les conclusions des règles peuvent être des faits négatifs.

Algorithme de chaînage avant.

Différentes situations possible en cas d'utilisation de faits négatifs :

$f \in \mathcal{BF}$ Le fait est établi.

$\neg f \in \mathcal{BF}$ La négation du fait est établie.

$f \notin \mathcal{BF}$ **et** $\neg f \notin \mathcal{BF}$ Ni le fait ni sa négation ne sont établis.

$f \in \mathcal{BF}$ **et** $\neg f \in \mathcal{BF}$ La base de faits est incohérente.

Algorithme de chaînage avant.

Variantes possibles :

- ⑥ ne pas avoir de fait à démontrer en paramètre, mais saturer la base de faits.
- ⑥ parcours en largeur d'abord
- ⑥ passage au premier ordre.

Algorithme de chaînage arrière.

Fonction chaînageArrière

Paramètres : in BR, in BF, in listeButs.

```
if estVide(listeButs) then
  res ← SUCCES
else
  if demBut(premier(listeButs)) then
    res ← chaînageArrière(suite(listeButs))
  else
    res ← ECHEC
  end if
end if
retourner res
```

Algorithme de chaînage arrière.

Fonction **demBut**

Paramètres : in BR, in BF, in but.

if but $\in$ BF **then**

res $\leftarrow$ SUCCES

else

regles $\leftarrow$ BR; res $\leftarrow$ ECHEC

while regles $\neq \emptyset$ et res $\neq$ SUCCES **do**

r $\leftarrow$ *choix*(regles); regles $\leftarrow$ regles - {r}

if *conclusion*(r) = fait **then**

res $\leftarrow$ chaînageArrière(BR, BF, *premise*(r))

end if

end while

retourner res

end if

Algorithme de chaînage arrière.

Attention

- ⑥ Une règle peut être utilisée plusieurs fois.
- ⑥ On peut démontrer des faits atomiques ou des conjonctions de faits atomiques

Algorithme de chaînage arrière.

Variantes possibles

- ⑥ ajouter à la Base de Faits les faits démontrés dans les démonstrations intermédiaires.
- ⑥ passage au premier ordre (exemple ?)
- ⑥ ...

Chaînage mixte

Un exemple de chaînage mixte.

Fonction **chaînageMixte**

Paramètres : in BR, in BF, in but.

```
while but n'est pas déduit, mais peut encore l'être do  
  Saturer la base de faits par chaînage avant.  
  if but n'est pas dans la base de faits then  
    Chercher une question pertinente à poser à l'utilisateur  
    Poser la question à l'utilisateur  
    Ajouter la réponse à la base de faits  
  end if  
end while
```

Quelques évolutions possibles

- ⑥ Passage de l'ordre 0 à l'ordre O+ (objet - attribut - valeur).
- ⑥ Passage au premier ordre.
- ⑥ Regroupement des règles par paquets.
- ⑥ Utilisation d'autres concepts (pourcentage de fiabilité...).
- ⑥ Utilisation d'apports d'autres technologies (objets...).

Liaison avec d'autres programmes.

Cette liaison peut s'effectuer dans les deux sens :

- ⑥ Des règles peuvent faire appel à des programmes pour calculer des valeurs (l'expression d'un calcul est souvent plus aisée dans un langage impératif).
- ⑥ Un programme peut pour certains aspects faire appel à un moteur de système expert.

Conclusion

Les systèmes experts, ou systèmes à bases de règles, sont des produits qui ont trouvé des applications dans le monde industriel.

Ils ont eu quelques «success story» dans le monde de l'industrie : diagnostic médical, découverte de champs pétroliers, aide à la décision en bourse. . . aide au crack boursier de 1986 (d'après certains accusateurs mais le système expert a fait son travail). . .

Ils reposent sur l'hypothèse que notre connaissance peut être représentée sous forme de règle. Si cela est possible dans bien des cas, les efforts pour y arriver sont non négligeables. De plus cette approche a ses limites.

L'avenir est peut-être aux systèmes hybrides mettant en œuvre des techniques de systèmes experts augmentés de raisonnement flous ou modaux ou non-monotones, mais aussi peut être des approches non symboliques et adaptatives.