

Systemes d'inférences

Prolog
Systemes Experts
Inférences non standard
Cohérence

Systemes d'inférences

Quels rapports y a-t-il entre Prolog et les systèmes experts ?

Prolog est un cadre générique d'expression d'un type particulier de systèmes experts caractérisé par son moteur d'inférences.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- Un SE est un système d'inférences à base de règles conçu pour raisonner sur un domaine qui requiert une expertise.

1. But :

- Modélisation d'un expert humain
- Tâche de résolution de problèmes
- Explications sur les raisonnements

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

2. Rôle d'un SE

Il est mis en œuvre quand :

- On ne dispose pas d'une équation, d'un algorithme qui résout le problème.
- On fait appel à des connaissances parcellaires, expérimentales, heuristiques.
- On peut séparer les connaissances en modules d'expertises, de compétences différentes.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- On peut représenter incrémentalement la connaissance en "grains" (faits / règles) où chacun constitue un élément d'explication / justification.
- On souhaite avoir différentes stratégies de raisonnement sur les connaissances.
- On souhaite interagir avec le SE pour le modifier, l'enrichir.
- Il existe un grand nombre d'observations systématiques.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- Il existe une procédure d'analyse et de prise de décisions acceptée.
- Les paramètres qualitatifs sont (plus) importants (que les paramètres quantitatifs).
- Les solutions souhaitées sont non évidentes ou difficiles à obtenir autrement.
- Il y a un intérêt économique au projet (disponibilité d'une information intelligente 24h/24h, complexité autrement excessive,...)

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

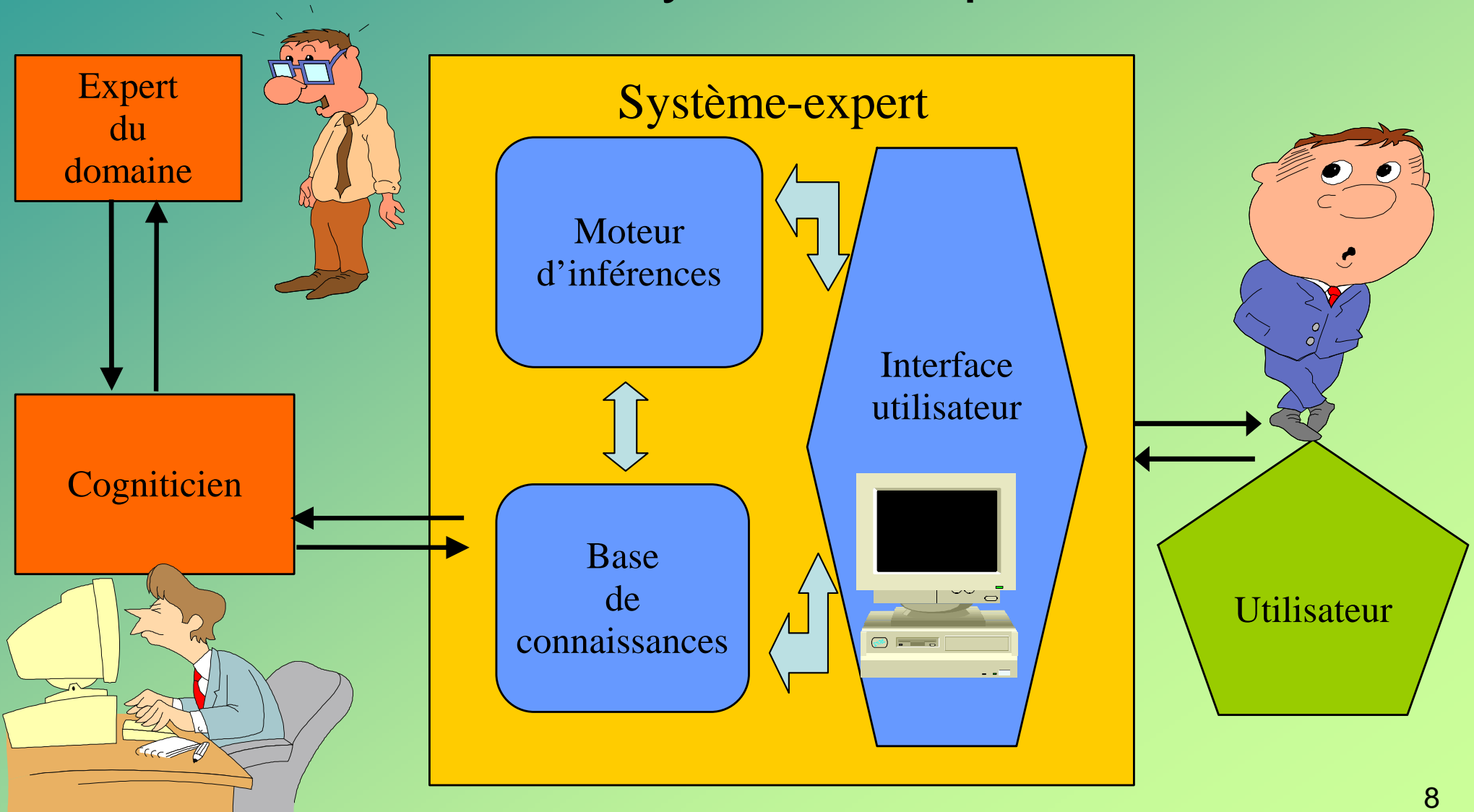
3. Mise en oeuvre d'un SE

- Spécification du cahier des charges.
- Choix d'une architecture du système, de son interface utilisateur et d'un langage de traitement. Prévision des mécanismes de modification ultérieure du système.
- Sélection d'un sous-ensemble représentatif du problème pour l'élaboration d'un démonstrateur.
- Acquisition des informations et élaboration du mécanisme d'ajout et de modification de la base de connaissances.
- Implantation du "moteur d'inférences" (règles d'inférence).
- Test, ajustement et documentation du système.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

4. Architecture d'un système expert



Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

5. Participants au développement d'un SE

- Un ou plusieurs experts du domaine, intéressé(s) et capable(s) de formaliser les procédures d'analyse et de prise de décisions.
- Un ou plusieurs "ingénieurs de la connaissance", intéressé(s) et capable(s) de formaliser les connaissances sous forme d'un système expert.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- L'informaticien
 - s'occupe de la construction du moteur d'inférences et de l'interface utilisateur.
- L'ingénieur de la connaissance (cogniticien)
 - s'occupe de la consultation des experts du domaine,
 - s'occupe de la conception, la construction et le débogage de la BDC (BF + BR).

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- Les experts du domaine
 - Ils fournissent la connaissance « sémantique » du domaine en terme de relation entre faits et événements: pas de connaissance procédurale.
- L'utilisateur
 - Il accède à l'information relative au problème individuel à résoudre mais pas à celle relative au domaine, il ne sait pas quelles informations sont utiles, il ne les connaît pas.

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

6. Composants d'un SE

- Un langage d'expression des connaissances
 - le langage naturel (le plus confortable), ou
 - un langage formel: KRL, FRL, OOL, Logique, ou un langage de programmation tel Lisp, Prolog,...
- Une structure d'accueil des connaissances
 - une base de faits (BF): connaissances assertives,
 - une base de règles (BR): connaissances opératoires (sortes de transitions donc couples de faits).

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- des métarègles, méta connaissances pour l'application de différentes stratégies
- un mode, éventuellement enrichi[ssable], de représentation des connaissances incertaines, incomplètes, imprécises, générales, prototypiques, exceptionnelles,...
- La base de règles (BR)
 - règle = sorte d'action élémentaire
= couple conditions – effets
 - exemple: Si “le malade présente de la fièvre” et “le malade présente une augmentation de la vitesse de sédimentation du sang” alors “le malade souffre d’une affection microbienne”,

Les Systèmes Experts

Qu'est-ce qu'un SE ?

- eu égard à certaines stratégies les règles pourront être nommées, indexées,
- mais le mode général d'appel n'utilise que les conditions ou les effets.
- la BR peut être structurée en sous bases de règles (par domaines, par hiérarchisation, par critères : conditions préalables, buts, ...).
- Un moteur d'inférences
 - il modifie dynamiquement la BDC en passant de faits initiaux à des faits terminaux grâce aux règles,
 - il fonctionne selon un cycle << évaluation – exécution >>

Les Systèmes Experts

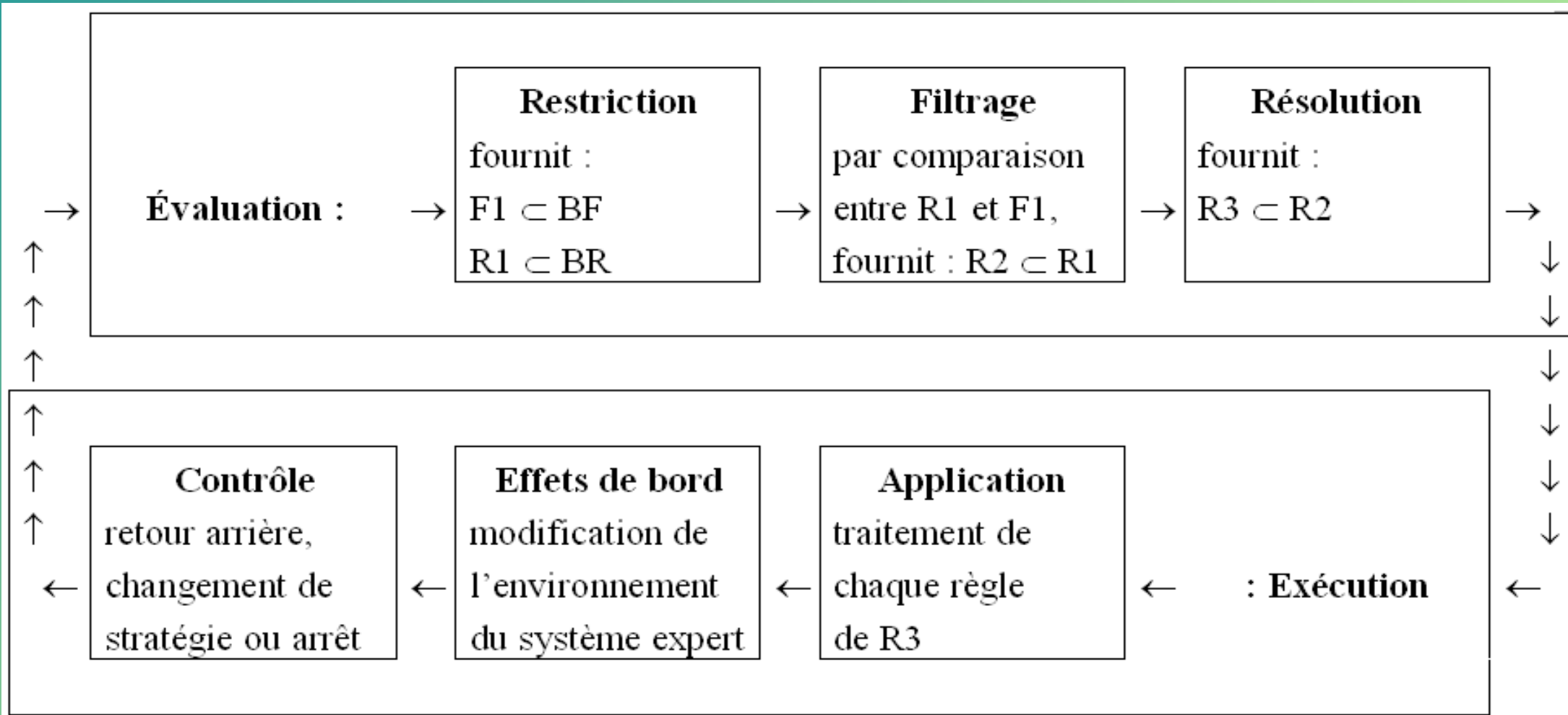
Principe de fonctionnement

7. Fonctionnement

- L'évaluation fonctionne selon 3 phases :
 - Phase de restriction
 - sélection des informations considérées comme pertinentes
 - Phase de filtrage
 - sélection des règles en adéquation avec les faits
 - Phase de résolution de conflits
 - choix entre des règles toutes déclenchables
- L'exécution
 - traite les règles, les effets de bord et contrôle la stratégie.

Les Systèmes Experts

Principe de fonctionnement



BF: base de faits, BR: base de règles

Les Systèmes Experts

Principe de fonctionnement

1. La phase de restriction

- Elle consiste à sélectionner les faits et les règles qui seront utiles à la résolution du problème.
- Ce choix peut être guidé, déterminé par des métarègles.

2. La phase de filtrage

- Elle consiste à comparer des faits entre eux. Les faits en question sont d'une part ceux de la BF et d'autre part soit les prémisses soit les conclusions de chaque règle.
- Si la comparaison est un succès la règle est dite déclenchable et est conservée.
- La comparaison peut prendre plusieurs formes. Elle dépend du type de connaissances et des caractéristiques du moteur d'inférence.

Les Systèmes Experts

Principe de fonctionnement

3. La phase de résolution de conflits

- Parmi les règles déclenchables, on choisit celles qui seront utilisées.
- Ce choix peut être guidé, déterminé par des métarègles.

- Mode d'exécution:

- Chaînage avant

- déterminé par les données
 - correspond par exemple au modus ponens: $\{X, X \supset Y\} \vdash Y$

- Chaînage arrière

- orienté vers les buts
 - correspond par exemple au modus tollens: $\{\neg Y, X \supset Y\} \vdash \neg X$

Les Systèmes Experts

Principe de fonctionnement

- Chaînage bidirectionnel
 - alternance de chaînage avant et arrière
- Chaînage mixte
 - utilise des fonctions de contrôle (du métalangage):
 - vérifier(fait), appliquer(règle), ...
 - applique des métarègles aux méta connaissances pour faire des choix
- Les méta connaissances
 - Chaque choix (restriction, résolution de conflits) peut être guidé, déterminé par des métarègles ou être implanté algorithmiquement dans le moteur.

Les Systèmes Experts

Principe de fonctionnement

- On trouve dans MYCIN la métarègle suivante :
<< si le patient est un hôte à risque et s'il existe des règles_1 mentionnant des pseudo-monias dans une prémisse et s'il existe des règles_2 mentionnant des klebsiellas dans une prémisse alors il est probable qu'il faille utiliser les premières avant les secondes >>
- Autre exemple : les règles relatives aux analyses de sang, aux maladies infantiles,
<< si le malade est jeune et les symptômes sont bénins alors utiliser les règles propres aux maladies infantiles >>

Les Systèmes Experts

Caractères distinctifs d'un SE

8. Caractéristiques des SE

- Ordre d'un SE

- Un système expert d'ordre 0 est équivalent au calcul propositionnel : **actif ou \neg actif, ...**

- Un système d'ordre 0+ autorise les formules :

- actif et (profession \neq medecin ou remuneration \leq 3000)**

- c-à-d: les formules fermées (sans variables)

- Un système d'ordre 1 est équivalent au calcul des prédicats :

- $\exists X$ maladie(X) et X \neq grippe et symptome(X) = forte_fièvre**

Les Systèmes Experts

Caractères distinctifs d'un SE

- Régime
 - Le régime est irrévocable si l'arrêt se produit dès que R3 (obtenu après résolution) est vide.
 - Le régime est par tentatives si l'on peut remettre en question les choix de R1 (restriction), R2 (filtrage), R3 (résolution) ET si l'on peut revenir aux états précédents de la BDC (\Rightarrow mémorisation, backtrack).
- Monotonie
 - Le SE est monotone si
 - la BDC est cumulative (BF et BR ne peuvent que croître)
 - $BDC \vdash X \Rightarrow BDC \cup BDC' \vdash X$

Les Systèmes Experts

Caractères distinctifs d'un SE

- Le SE n'est pas monotone si
 - la BDC peut décroître
 - cela se produit quand on supprime (sans mémorisation) des éléments de BF ou BR
 - cela entraîne que certaines conclusions ne peuvent plus être inférées
- Recherche des faits
 - En profondeur
 - En largeur
 - Grâce à une heuristique

Les Systèmes Experts

Caractères distinctifs d'un SE

- Statut des connaissances
 - Imprécision
 - On peut reconnaître globalement un objet sans être capable d'identifier à 100% chacun de ses détails.
 - Appel aux probabilités, au flou => degré de vraisemblance
 - De nombreux générateurs de SE permettent de nuancer leur certitude concernant un fait grâce à un un degré de vraisemblance.
 - Il n'est pas raisonnable d'attendre d'un être humain, expert ou non, qu'il puisse définir avec précision de tels degrés de vraisemblance.

Les Systèmes Experts

Caractères distinctifs d'un SE

– Incomplétude

- On ne peut tout connaître à un instant donné.
- On souhaite pourtant conclure.
- On doit faire des hypothèses et raisonner en supposant certains faits supplémentaires ou en négligeant certains faits exceptionnels.
- Appel à des théories modales ou non monotones.

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

9. Algorithmes

- **Chaînage avant et recherche en largeur en logique propositionnelle**
 - Ajout des nouveaux faits après application de chaque règle applicable

Fonction Établir-un-fait (Lefait)

Si Lefait \in BF Alors succès

Sinon Exécuter-un-cycle(BR)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

Fonction Exécuter-un-cycle(Lesrègles)

Si Lesrègles = \emptyset Alors échec

Sinon

Unerègle \leftarrow choix d'un élément de Lesrègles

Lesrègles \leftarrow Lesrègles - {Unerègle}

Si toutes les prémisses de Unerègle \in BF Alors

 Si la conclusion de Unerègle = Lefait Alors succès

 Sinon BF \leftarrow BF \cup {conclusion de Unerègle}

Exécuter-un-cycle(Lesrègles)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- Un petit système expert

REGLE r1 SI animal vole ET animal pond des oeufs

ALORS animal est un oiseau

REGLE r2 SI animal a des plumes

ALORS animal est un oiseau

REGLE r3 SI animal est un oiseau ET animal a un long cou ET
animal a de longues pattes

ALORS animal est une autruche

FAIT f1 animal a des plumes

FAIT f2 animal a un long cou

FAIT f3 animal a de longues pattes

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- Exemple d'exécution

BR = {r1, r2, r3}, BF = {f1, f2, f3} Lefait = animal est une autruche

Etablir-un-fait (Lefait)

Lefait \notin BF

Exécuter-un-cycle(BR)

Lesrègles = BR $\neq \emptyset$

Unerègle \leftarrow r1

%1ère règle de Lesrègles

Lesrègles \leftarrow {r2, r3}

\exists prémisses(r1) \notin BF

Exécuter-un-cycle(Lesrègles)

Lesrègles = {r2, r3} $\neq \emptyset$

Unerègle \leftarrow r2

%1ère règle de Lesrègles

\forall prémisses(r2) \in BF

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

conclusion(r2) = f4 = animal est un oiseau \neq Lefait

$BF \leftarrow BF \cup \{f4\} = \{f1, f2, f3, f4\}$

Exécuter-un-cycle(Lesrègles)

Lesrègles = {r3} $\neq \emptyset$

Unerègle \leftarrow r3 %1ère règle de Lesrègles

Lesrègles $\leftarrow \emptyset$

\forall prémisse(r3) \in BF

conclusion(r3) = animal est une autruche = Lefait

Exécuter-un-cycle \leftarrow succès

Exécuter-un-cycle \leftarrow succès

Exécuter-un-cycle \leftarrow succès

Etablir-un-fait \leftarrow succès

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- **Ajout des nouveaux faits après application de toutes les règles applicables**

Fonction Établir-un-fait (Lefait)

Si Lefait \in BF Alors succès

Sinon Exécuter-un-cycle(BR, \emptyset)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

Fonction Exécuter-un-cycle(Lesrègles, Faitsneufs)

Si Lesrègles = \emptyset Alors

Si Faitsneufs = \emptyset Alors échec

Sinon $BF \leftarrow BF \cup Faitsneufs$

Faitsneufs $\leftarrow \emptyset$

Exécuter-un-cycle(Lesrègles, \emptyset)

Sinon Unerègle \leftarrow choix d'un élément de Lesrègles

Lesrègles \leftarrow Lesrègles - {Unerègle}

Si toutes les prémisses de Unerègle \in BF Alors

Si la conclusion de Unerègle = Lefait Alors succès

Sinon Faitsneufs \leftarrow Faitsneufs \cup {conclusion de Unerègle}

Exécuter-un-cycle(Lesrègles, Faitsneufs)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- **Chaînage arrière et recherche en profondeur en logique propositionnelle**

Fonction Établir-un-fait (Lefait)

Si Lefait \in BF Alors succès Sinon Établir(BR)

Fonction Établir(Lesrègles)

Si Lesrègles = \emptyset Alors échec

Sinon Unerègle \leftarrow choix d'un élément de Lesrègles

Lesrègles \leftarrow Lesrègles - {Unerègle}

Si une conclusion de Unerègle = Lefait Alors

Si Établirbis(Unerègle) = succès Alors succès
Établir(Lesrègles)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

Fonction Établirbis(Larègle)

Desfaits \leftarrow les prémisses de Larègle

Établir-conj(Desfaits)

Fonction Établir-conj(Lesfaits)

Si Lesfaits = \emptyset Alors succès

Sinon Unfait \leftarrow choix d'un élément de Lesfaits

Lesfaits \leftarrow Lesfaits - {Unfait}

Si Établir-un-fait (Unfait) = échec Alors échec

Sinon Établir-conj(Lesfaits)

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

10. Conclusion

- Le terme SE est un peu abandonné de nos jours
 - dans le monde commercial, on parle souvent de "bases de données déductives" plutôt que de "systèmes experts".
 - Par exemple, la réservation d'un vol sur une ligne aérienne implique nécessairement
 - (1) une base de connaissance (les vols assurés par la compagnie),
 - (2) un ensemble de faits à considérer (votre demande de destination avec une gamme de départs et arrivées possibles),
 - (3) une logique de règles ayant trait aux trajets disponibles, aux dates de départ et aux réservations déjà faites.
 - Un tel système correspond donc à la définition générale d'un système expert

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- Selon Haton (1989) il y a différents types de SE
 - Systèmes d'interprétation de données.
 - Exemples: systèmes de diagnostic en médecine ("de quelle maladie s'agit-il?"), système d'interprétation géologique ("les mesures sismologiques permettent-elles de croire à l'existence de dépôts minéraux importants?"), systèmes d'évaluation psychologique ("s'agit-il d'un cas suicidaire?"), etc.
 - Systèmes de prédiction.
 - Exemples: systèmes de prédiction météorologique ("Il pleut aujourd'hui en France. Va-t-il pleuvoir en Suisse demain?"), prédictions géopolitiques ("Les conflits de guerre sont particulièrement fréquents en situation de crise économique. Quelles combinaisons précises de facteurs économiques, sociologiques et politiques prédisent un déclenchement d'hostilités?"), etc.

Les Systèmes Experts

Implantations de SE

- Systèmes de planification.
 - Exemples: système de réservation de vols aériens, planification des altitudes de vol selon les vents connus et les corridors disponibles, planification des actions d'assemblage d'un robot industriel, planification des interventions requises pour la construction d'un bâtiment, etc.
- Systèmes de conception.
 - Exemples: développement et simplification de circuits intégrés, aménagement d'une cuisine optimale dans un espace donné, de la cellule d'un avion, clonage de gènes, création d'un nouveau composé chimique, etc.