

Chapitre II: Système expert

Introduction

Les systèmes experts sont apparus au milieu des années 70. Ce sont des logiciels issus des recherches en intelligence artificielle. L'un des premiers systèmes experts a été développé en 1972 à l'université de Stanford, aux Etats Unis, *sous le nom de MYCIN*, dans le domaine de la médecine, (*diagnostic et recommandations de traitements pour des infections bactériennes du sang*) *MYCIN (1972-1980)*, *DENDRAL (1965-1983)*, *détermine des structures chimiques de molécules non identifiées*. D'autres destinés à la planification d'expériences en génétique moléculaire *MOLGEN*, en géologie *PROSPECTOR* et *XCON (1980 à aujourd'hui)* qui *permet de déterminer la configuration appropriée de systèmes informatiques par rapport au besoin de consommateurs, etc*. Ces systèmes, datant de plusieurs années, sont des exemples de systèmes populaires qui ont jeté les bases dans la construction de systèmes experts.

Si l'expert sait réellement comment agir face à toutes les situations dans son domaine. Est-ce qu'un système expert peut se comporter comme un humain (raisonnement) et répondre aux besoins attendus?

I. Définitions d'un système expert

Il existe plusieurs définitions des 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).
- Pour Edward Feigenbaum (Standford), les systèmes experts sont des *programmes conçus pour raisonner à propos des tâches dont on pense qu'elles requièrent une expertise humaine considérable*. Exemple de la médecine d'urgence (l'expertise humaine dans ce cas n'est pas toujours accessible).
- Les systèmes experts sont des programmes résolvant des problèmes qui sont habituellement résolus par des experts humains. Pour cela, ils requièrent un accès à une base de connaissances conséquente qui doit être construite de façon efficiente. Ils doivent être à même de fournir divers modes de raisonnement et de justifier les conclusions auxquelles ils aboutissent.

Donc c'est un programme qui:

- incorpore à la fois des connaissances formelles et des jugements personnels de l'expert (*sous formes d'heuristiques = une opération mentale rapide, science qui analyse la découverte des faits*),
 - explique à la fois le raisonnement conduisant aux réponses aux questions et le savoir qu'il contient,
 - est capable d'incorporer de nouveau savoir dans le savoir existant de manière incrémentale,
 - sépare les connaissances et le contrôle (*moyen d'utiliser les connaissances*).
 - Enfin, dialoguant (systèmes évolués) avec l'utilisateur dans un langage proche du sien (*langue naturelle <jargon> du domaine*).
- Un système expert a pour vocation à faciliter le transfert d'expertise :
 - de l'expert vers l'entreprise, dans le cas d'un départ
 - de l'expert vers un utilisateur averti dans le cas d'un expert indisponible
 - de l'expert vers d'autres experts, dans le cas d'une coopération.

Enfin un système expert, est un logiciel, qui contient une base de connaissance sur un sujet particulier, et qu'il est capable de fournir sur ce sujet un conseil égal en qualité à celui que pourrait donner un expert humain reconnu. Un système expert est un procédé qui relève de l'intelligence artificielle <faible>, un logiciel capable de simuler le comportement expert humain dans un domaine précis.

II. Principe d'un système expert

Un système expert remplace un expert humain d'où sort un outil de travail et d'aide dans différents domaines tels que : le diagnostic (*médical ou technique*), la prévision (*entreprise*), la classification, le dépannage, etc. Ils présentent un intérêt réel pour les milieux professionnels, car ils permettent l'informatisation de certaines fonctions intellectuelles qualifiées, difficiles à modéliser sous forme d'algorithmes sûrs et définitifs. Ces fonctions concernent l'identification ou le diagnostic de situation, la prévision des événements, la conception d'objets, la planification d'actions, etc. dans l'activité des entreprises.

Un système expert est utile pour faire des tâches d'analyse et de synthèse. Il a donc pour principe d'organiser et de diffuser une connaissance par classifications, diagnostics, interprétations, analyses d'objets, débogages, configurations, conceptions, planifications, commandes, contrôles, prédictions, réparations, dans le but d'une aide pour identifier des menaces, des risques, des pannes, etc.

III. Objectif des systèmes experts

Le principal objectif des systèmes experts est de mettre en mémoire les connaissances théoriques de l'expert, de façon à ce qu'elles soient toujours disponibles et aussi de pouvoir retraduire les connaissances sous formes *d'aide au diagnostic*, c'est une sorte de: *questions /réponses avec l'utilisateur*.

Exemple

Un système expert médical : ce système peut aider le médecin à rétablir son diagnostic au vu des observations que le médecin a observé. La qualité du diagnostic dans ce cas sera alors, des systèmes experts qui, en général, la précision de l'analyse.

Avec une base de données de plusieurs milliers de symptômes. Ainsi, le système expert médical rendra un jugement extrêmement pointu contrairement au médecin qui lui pourrait omettre un ou deux détails.

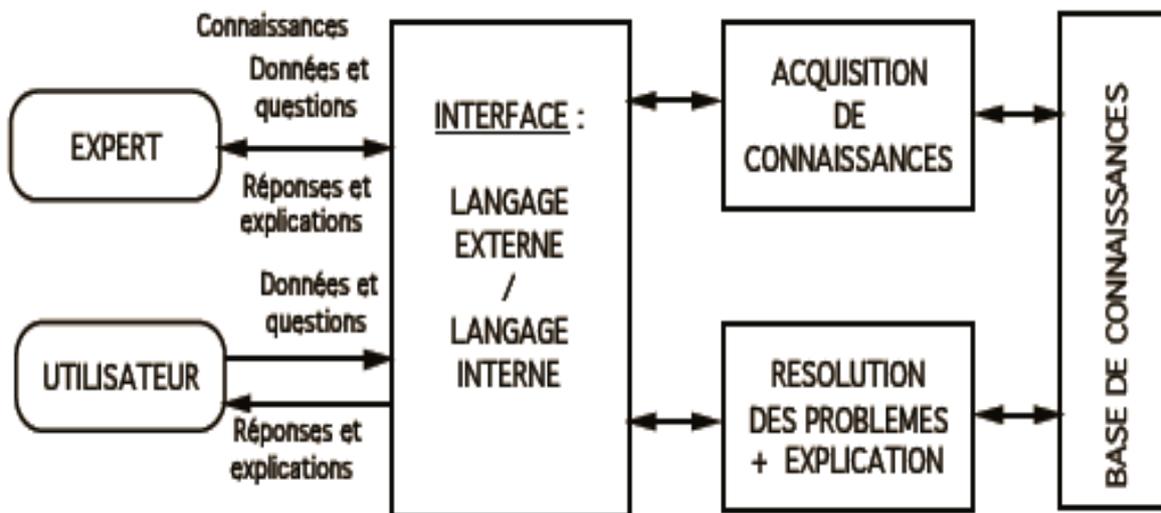


Figure 1. Présentation d'un système expert

IV. Notions fondamentales et principe de fonctionnement d'un système expert

IV. 1. Notions fondamentales

- Un système Expert se propose de remplacer un expert humain afin d'aider l'utilisateur de prendre une décision (*qui normalement est conforme aux exigences*).

- Il est programmé pour raisonner sur des connaissances qui lui sont fournies par l'Expert Humain et qui sont appliquées dans le cas particulier de l'utilisateur. Il favorise la prise de décision des experts humains en se basant sur des axiomes.
- Dans son ensemble, il s'agira d'une évaluation par : Si prémisse alors conclusion. Avec comme prémisse une disjonction ou conjonction de faits connus pour valider la conclusion. Les inférences de choix et de preuves pourront partir des faits connus établis ou alors de conclusions connues pour déduire les uns ou les autres.
- Le système Expert est basé sur une approche déterministe. Il est donc utile d'avoir des faits connus pour les exploiter et d'avoir des règles pour valider ou invalider (par déduction) les faits.

1- Faits

Les faits sont des expressions très variées (connaissances) utilisables pour conditionner puis réaliser l'exploitation de connaissances opératoires. Les faits constituent en général les conditions initiales de résolution à partir desquelles des connaissances pourront être utilisées.

La valeur d'un fait est toujours vraie selon une propriété ou des critères donnés.

Exemple

L'âge moyen des stocks de l'entreprise X est de 38 jours.

Ahmed habite Alger.

2- Diagnostic

Pour un système expert, le diagnostic est le but initial à valider ou invalider en fonction des liens avec des faits connus, déduits ou observés. Le diagnostic indique si le comportement d'un système est conforme aux demandes. Une séquence de diagnostic permettra de proposer différents comportements pour arriver à un résultat. Le diagnostic est à la fois une référence et un résultat qu'un système expert doit prouver lors de son fonctionnement. Si la preuve n'est pas établie, le système passe au diagnostic suivant et si l'ensemble des diagnostics ne prouve rien, alors il y a échec de la recherche de solution. *Il s'agit d'un fait référence à valider ou invalider. Il s'agit du point de validité d'un comportement dans le système.*

3- Règles

Une règle a pour construction une prémisse qui implique une conclusion. Les prémisses et les conclusions sont constituées de faits. Une conclusion peut être une prémisse d'une règle. Dans ce cas, pour valider une prémisse, il faudra alors valider la conclusion par la validé de sa prémisse.

Ainsi, une règle est composée de faits liés avec des opérateurs logiques. Les règles représentent les connaissances opératoires qui permettent la déduction pour un système expert. Ce sont des règles déductives appelées règles de production. Les règles permettent de déduire d'autres faits. Les règles sont fournies par l'expert humain suite à son expérience dans le domaine

Une règle contient généralement deux parties :

- une partie <déclencheur> de la règle ; ce sont les conditions de déclenchement de la règle,
- une partie *effets* de la règle.

Pour sélectionner une règle particulière, on ne fournit pas un nom propre individuel à cette règle, mais un groupe de faits susceptibles d'être compatible avec les conditions de déclenchement de la règle. De plus, dans une règle, on ne désigne jamais une autre règle par un nom individuel.

Exemple de Prémisse et Conclusion

Si <fait connu> ALORS <fait déduit>

a) Cas d'une Prémisse unique

SI <condition> ALORS <conclusion>

SI <il pleut>ALORS <je porte un parapluie>

Nous pouvons remarquer que la règle peut aussi être exploitée en sens inverse.

Sachant qu'il a porté un parapluie, nous déduisons qu'il a plu

b) Prémises multiples (conjonction ou disjonction de conditions)

SI (condition1) ET (condition2) ALORS (conclusion)

SI (la pluie continue) ET (les égouts sont pleins) ALORS (la route est inondée)

Enfin, la principale description est d'établir les liens entre les faits connus, les faits déduits pour proposer une règle.

Selon la description du domaine. <fait connu> : <fait déduit>, (il pleut : je porte un parapluie)

Exemple

SI <le malade présente de la fièvre>

ET SI <le malade présente une augmentation de la vitesse de sédimentation dans le sang>

Alors <il souffre d'une affection microbienne>

De là, on va faire ressortir les conditions de déclenchement de la règle :

<Le malade présente de la fièvre>, et <Le malade présente une augmentation de la vitesse de sédimentation dans le sang>.

Alors l'effet de la règle est décrit par : <Il souffre d'une affection microbienne>

L'application de cette règle se traduira alors par la déduction d'un nouveau fait désormais considéré établi : <Le malade souffre d'une affection microbienne>

IV. 2. Principaux composants d'un système expert

Un système expert est principalement composé de:

- une base de connaissances,
 - o une base de faits
 - o une base de règles
- un moteur d'inférence,

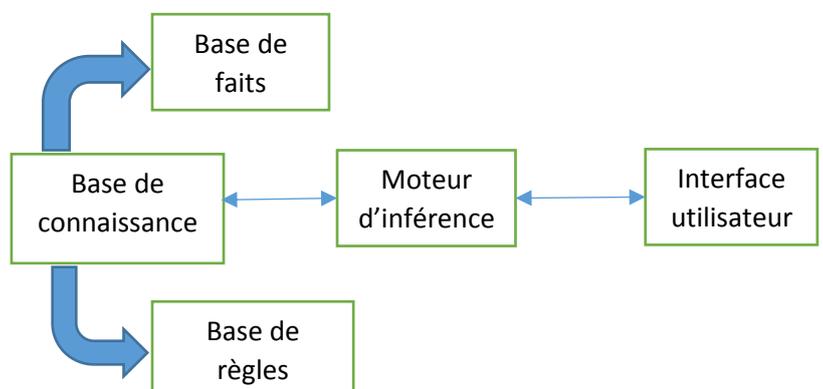


Figure 2. Architecture d'un système expert

1- Base de connaissances

Elle est formée de deux types d'informations constituants:

- i) La base de faits, traduit les faits constatés, qui sont des assertions (*déclarations, affirmations*) indéniables (*vraies*) constatées dans le domaine considéré.

Il s'agit d'une base de données qui détermine l'ensemble de faits. Elle représente une partie de la connaissance d'un système expert sous formes déclaratives relatives à des faits connus.

- ii) La base de règles, traduit les déductions qu'il est possible d'effectuer, chaque règle étant constituée de prémisses et de conclusions ; *les prémisses sont des assertions à partir desquelles on peut affirmer les conclusions.*

Il s'agit de l'ensemble des règles de production donné sous forme d'une base de données.

Alors, une base de règles contient les connaissances expertes, c'est à dire qu'elles représentent les raisonnements effectués par un expert. Ces connaissances sont appelées les unes à la suite des autres afin de créer des enchaînements de raisonnements et tous ces raisonnements peuvent être représentés sous forme de règles de production de type < Si la condition est vraie alors exécuter action >.

2- Le moteur d'inférence

- i) Inférer : c'est déduire une proposition à partir d'une autre proposition connue.
- ii) Inférence ; il faut comprendre le raisonnement.
- iii) Le moteur d'inférence : il s'agit d'un programme qui parcourt la base de connaissance en appliquant les règles aux faits connus donnés.

Le moteur d'inférence est l'équivalent de l'esprit logique de l'expert humain qui raisonne sur des faits connus pour en sortir de nouvelles vérités. Il n'est pas lié à l'expertise et peut et doit être un programme qui raisonne sur diverses et plusieurs bases de connaissances.

2-1 Stratégie et raisonnement du moteur d'inférence.

Comme le moteur d'inférence est un programme indépendant chargé d'exploiter les connaissances et les faits pour mener un raisonnement. Il s'arrêtera lorsqu'il aura acquis les faits nécessaires pour aboutir à une conclusion.

1- Stratégie

Autrement, le moteur d'inférence est le cœur de tout système expert. Il peut être décrit par :

- une stratégie de recherche, selon différentes stratégies, le moteur d'inférence utilise des règles, les interprète, les enchaîne jusqu'à arriver à un état représentant une condition d'arrêt,
- une méthode de chaînage,
- une tentative et des méthodes de résolutions des conflits (*par exemple favoriser les règles dont les prémisses sont les plus courtes. favoriser les règles dont les résultats antérieurs sont les plus fructueux*).

2- Raisonnement

Appelé également démonstrateur de théorème, le moteur d'inférence est chargé d'appeler et d'utiliser les informations contenues dans la base de connaissances, correctement, pour répondre à une question ou résoudre un problème. Il effectue des déductions grâce à deux principales stratégies de raisonnement qui sont :

- i) Stratégie relative au chaînage:
 - chaînage avant.
 - chaînage arrière.
 - chaînage mixte.
- ii) Stratégie relative au parcours :
 - parcours en largeur d'abord.
 - parcours en profondeur d'abord.

Pour que la prémisse déclenche la règle, il faut qu'elle s'apparente à l'un des faits connus. Nous disons que la recherche de la conclusion est guidée par les faits. Pour que la conclusion déclenche la règle il faut qu'elle s'apparente au but recherché. Nous disons que la recherche est guidée par le but.

a- Chaînage avant

Son principe est de déterminer une réponse à partir des faits constatés, contenus dans la base de faits, en utilisant les règles de déductions de la base de connaissance et en déduisant des conclusions à partir des prémisses vérifiées

Exemple

Le moteur d'inférence fonctionne dans ce mode lorsque les faits de la base de faits représentent des informations dont la vérité a été prouvée. *C'est à dire que ce mode de fonctionnement va des faits vers les buts. La règle est déclenchée par la partie prémisses, de ce fait la conclusion en résulte.*

b- Chaînage arrière

Son principe consiste, à partir d'une question posée appelée but, de remonter jusqu'aux faits de la base de connaissance, grâce aux règles.

Exemple

Le moteur d'inférence part d'un fait que l'on souhaite établir, il recherche toutes les règles qui concluent sur ce fait, il établit la liste des faits qu'il suffit de prouver pour qu'elles puissent se déclencher puis il applique récursivement le même mécanisme aux autres faits contenus dans cette liste. *La règle est déclenchée par la partie conclusion et pour valider la règle, il faut que la prémisses soit un fait connu.*

c- Chaînage mixte

Comme son nom l'indique, cette approche utilise la combinaison des deux approches en alliant leurs avantages pour essayer de pallier leurs inconvénients.

Exemple

Utilise les deux chaînages présentés ci-dessus. On peut donc partir des données pour aller vers les buts et également d'un fait inconnu pour aller vers les données permettant de le retrouver. *Combinaison des 2 stratégies précédentes.*

L'efficacité du moteur d'inférence dépend non seulement du type de chaînage, mais aussi de la stratégie relative au type de parcours (en profondeur ou en largeur). La comparaison de deux moteurs d'inférence ne peut être réalisée correctement que si nous disposons des caractéristiques relatives aux règles (nombre de conclusions redondantes, profondeur et largeur de l'arbre des relations).

Exemple

Nous avons les règles de décisions suivantes :

Règle 1 : A et B

Règle 2 : B et C

Si nous connaissons le fait de départ A, nous pouvons à l'aide de ces règles par chaînage avant, trouver la conclusion C. Si nous connaissons la conclusion C, nous pouvons à l'aide de ces règles par chaînage arrière, trouver la cause A.

3- Fonctionnement général d'un système Expert

Le fonctionnement général d'un système expert se résume en ces points :

1. chercher à prouver le 1^{er} diagnostic de la liste.
2. chercher la/les règles qui ont ce diagnostic en conclusion (*chaînage arrière*).
3. chercher à prouver les prémisses :
 - a. par des faits initiaux (*s'ils existent*),
 - b. par des déductions (*enchaînées*),
 - c. par des questions.
4. si le 1^{er} diagnostic échoue, nous passons au deuxième et puis aux suivants
5. dès qu'un diagnostic est prouvé, nous affichons : <SUCCES et proposer la conclusion>
6. si aucun diagnostic ne peut être prouvé, nous affichons : <ECHEC>.

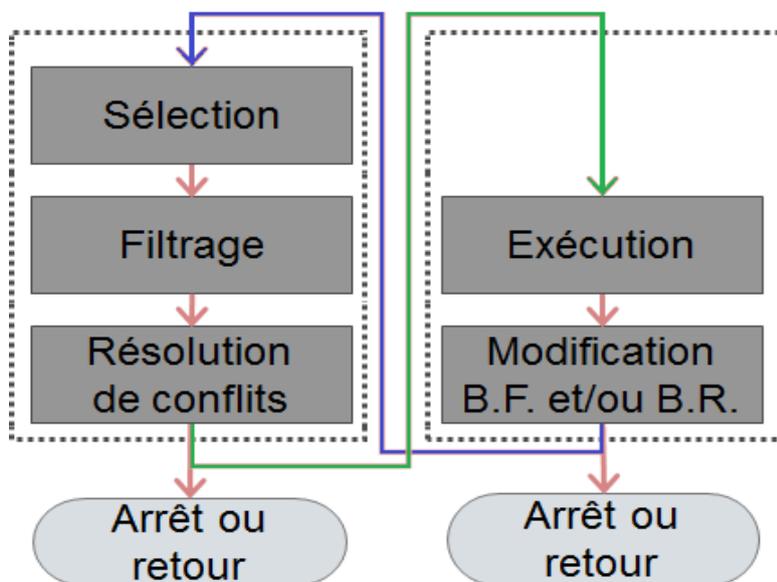


Figure 3. Cycle de base d'un moteur d'inférence

Cette figure (Figure 3.) montre les deux phases de fonctionnement d'un système expert :

La première phase est la phase d'*évaluation* qui enchaîne les fonctions ; *sélection, filtrage et résolution*.

La deuxième phase est la phase d'*exécution* qui enchaîne les fonctions ; *exécution et modifications* de la base de connaissances par les faits et les règles.

L'arrêt ou le retour est commun aux deux phases et est commandé par un programme d'enchaînement ; *le moteur d'inférence commande l'enchaînement des étapes de la phase d'évaluation, évaluation et exécution et enfin des cycles complets entre eux*

Un raisonnement peut impliquer plusieurs milliers de cycles d'inférence. D'un point de vue technique, il faut aussi garantir le temps de réponse, car ces systèmes peuvent être utilisés dans des situations d'urgence.

V. Méthodologie de réalisation d'un système expert

La réalisation d'un système expert nécessite une méthodologie qui offrira un fil conducteur auquel il conviendra de s'attacher tout au long du projet, de plus d'une documentation riche qui doit être rédigée afin de permettre la mise à jour ultérieure du projet.

Ainsi, la réalisation d'un système expert est un travail long, et un peu complexe dans sa programmation, la collection et la formalisation des connaissances. En plus de son intérêt scientifique, le système expert apporte un intérêt financier aux entreprises qui l'utilise, chaque entreprise devra réaliser un tel système lorsqu'elle possède un expert compétent dans son domaine ; *Même si cet expert vient de quitter l'entreprise, les connaissances acquises ne disparaissent plus, parce que le transfert d'expertise est réalisé, et l'entreprise ne perdra pas du temps et d'argents.*

A. Méthodologie de réalisation d'un système expert passe par les étapes suivantes :

- 1- l'ingénieur de la connaissance (*vous*) appelé aussi cogniticien qui est en charge de l'extraction de la connaissance auprès des experts ; *en travaillant en étroite collaboration avec eux.*
- 2- les développeurs, ce sont des informaticiens qui se chargent de la programmation, en utilisant un outil de développement choisi suite aux études approfondies.
- 3- les experts qui fournissent la connaissance (*le savoir-faire*) du futur système.

- 4- les utilisateurs apportent leurs points de vue et leurs critiques afin que leurs désirs soient pris en compte dans le futur système.
- 5- les managers qui suivent le projet et dont la tâche principale est de susciter l'intérêt de tous les intervenants.

Ainsi, la méthodologie de développement d'un système expert se résume en deux étapes importantes :

- i. une étude préalable qui servira à vérifier que les conditions du système expert sont réunies ; c'est également l'étude de la faisabilité de l'application du point de vue technique en s'assurant de la disponibilité des ressources matérielles et humaines et enfin, faire l'étude économique du projet (*coûts de réalisation, coûts engendrés par le nouveau système*) sans oublier la rentabilité du nouveau système.
- ii. la réalisation qui consiste à définir d'abord un planning, puis le réaliser.

B. Les principales étapes de réalisation d'un système expert sont :

1^{ère} étape : *Choix d'un moteur d'inférence*

Le choix d'un moteur d'inférence se fait selon l'ordre du moteur d'inférence. Un moteur d'ordre zéro peut suffire (*si les faits sont des propositions, des faits booléens*). par contre, si les problèmes mis en jeu sont plus complexes, un moteur d'ordre un est nécessaire (*si on va calculer les prédicats*). De ce fait, C'est à l'informaticien de choisir le type.

2^{ème} étape : *Travail de l'expert*

L'expert doit arriver à extraire de *ses méninges* ses connaissances et les traduire sous une forme accessible par le moteur. En général, il n'est pas habitué à ce genre de réflexion et quelquefois, son propre raisonnement ne lui est pas complètement accessible. Cette étape aboutit à la réalisation d'une maquette système expert sur une partie restreinte du domaine choisi, suit une série de tests permettant à l'expert et au cognicien de vérifier la véracité des diagnostics proposés par le système.

3^{ème} étape : *Extension au domaine*

Il s'agit d'étendre la version prototype au domaine initialement choisi. Là, l'expert doit continuer le travail de mise à plat de sa connaissance et également tester le travail du système expert.

4^{ème} étape : *Vers un produit fini*

Un système expert peut être utilisé par des non-experts ou des non-informaticiens. Par conséquent, il est indispensable de lui associer un ensemble de logiciels d'interface du type dialogue en langage naturel en respectant l'ergonomie et l'interface homme/machine, et par l'explication de raisonnement à suivre.

VI. Avantages et inconvénients d'un système expert

i) Avantages d'un système expert

La puissance d'un système Expert réside dans :

1. la quantité de connaissance traitée.
2. la manière de représenter :
 - la base de faits.
 - la base de règles.
3. la manière de les exploiter :
 - le moteur d'inférence.

ii) Inconvénients d'un système expert

Les inconvénients des systèmes experts résident dans :

- Changement des besoins ; *sortir d'un domaine d'application spécifique,*
- Limites de la représentation des connaissances,
- Mauvaises tentatives de reproduction.

Enfin, La représentation des connaissances conditionne l'efficacité du raisonnement *dans l'être humain aussi bien que dans la machine.* Il s'agit d'un modèle interne qui représente sous forme codée l'environnement sur lequel nous agissons. C'est un domaine de recherche très développé en IA.

VII. Les algorithmes appliqués dans les stratégies de raisonnements

i) Algorithme appliqué en chaînage avant :

ENTREE: BF, BR, F (BF Base de Faits, BR Base de Règles, F Fait)

F est le fait à déduire

Tant que F n'est pas dans BF et qu'il existe dans BR une règle applicable faire

Choisir une règle applicable R

BR = BR – R (désactivation de R)

fin tant que

si F appartient à BF alors

F est établi

sinon

F n'est pas établi

Fin si

ii) Algorithme appliqué au chaînage arrière:

But initial placé au sommet d'une pile

Détection des règles qui concluent à ce but

Résolution de conflits

Application de la règle, (*les éléments des prémisses deviennent de nouveau sous- buts à atteindre*)

Fin (*Arrêt : pile vide ou aucune règle applicable*)

iii) Algorithme chaînage mixte :

ENTREE: BF, BR, F

F est le fait à déduire

Tant que F n'est pas déduit mais peut encore l'être faire

Saturer la base de faits par chaînage avant (*déduire tout ce qui peut être déduit*)

Chercher quels sont les faits encore éventuellement déductibles

Déterminer une question pertinente à poser à l'utilisateur et ajouter sa réponse à la base de faits

fin tant que

VIII. Quelques domaines d'applications des systèmes experts

La diversité des domaines d'application montre la mesure dans laquelle l'IA a été intégrée dans les secteurs d'activité, citons quelques exemples :

- **secteur médical en 1982** ABEL (*Acid-Base and Electrolyte disorders diagnosis*) est un programme utilisant des modèles physiopathologiques à plusieurs niveaux pour le diagnostic des troubles acido-basiques et électrolytiques. *En 2017, Easydiagnosis dernière actualisation d'une expertise en fonction de symptômes.*
- **secteur bancaire en 1988**, American Express développe de l'analyse financière pour l'octroi d'un prêt, détermination des montants et taux appropriés.
- **En 2018**, un système expert automatise le métier dans tous les domaines. Cela permet notamment une recherche précise de termes, de concepts sur les placements, les tenues de comptes, etc.
- **secteur humanoïde et robotique en 2014** GEMINOID développement d'un androïde.
- **secteur de démonstrations mathématiques** : Dès le début et toujours en **2018**, ALC2 (*A Computational Logic for Applicative Common Lisp*) permet de prouver les propriétés d'un modèle donné.
- Par exemple un SIAD (*Système Interactif d'Aide à la Décision intelligents*) inclut un système Expert, etc.
- COLOSSUS®. Système expert utilisé par plusieurs compagnies d'assurances dans le monde afin d'aider l'assureur dans des réclamations pour dommages corporels. <http://www.csc.com/industries/insurance/mds/mds221/408.s.html>
- HEPAXPERT III 1 WWW. Système expert médical permettant l'analyse et l'interprétation de sérologie d'hépatite A et d'hépatite B. <http://medexpert.imc.akh-wien.ac.at/lhepaxl>
- PEPID (« Portable Emergency Physician Information Database »). Ce système expert a été conçu pour aider les médecins à diagnostiquer rapidement les problèmes médicaux et de drogue arrivant en urgence à l'hôpital. Faisant suite aux diagnostics, des recommandations des premiers traitements médicaux nécessaires à donner sont proposés par le système.

Un système expert tend donc vers le remplacement du raisonnement humain, à la différence qu'il essaie d'être plus rapide et plus efficace que le raisonnement humain qui est

bien souvent trop lent devant des situations trop complexes. L'élément central d'un système expert est la base de connaissances, dans laquelle se retrouve toute l'expertise qu'un expert humain possède sur le domaine d'application du système expert. Cette base de connaissances est jumelée à un moteur d'inférence (ou de raisonnement) qui permet au système expert de raisonner sur son domaine et ainsi tendre vers le raisonnement de l'expert humain.