



**n°157**

**systèmes  
experts et  
intelligence  
artificielle**

**Laurence Negrello**

**Après l'obtention du DESS - Diplôme d'Enseignement Supérieur Spécialisé - «Intelligence artificielle, reconnaissance de formes et robotique» à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, entre chez Merlin Gerin en 1988.**

**Depuis cette date, elle a participé à deux projets de Système Experts : SILEX et ADELIA, au sein du service IST (Information Scientifique et Technique) de la Direction Technique.**



# systemes experts et intelligence artificielle

## sommaire

<b>1. Introduction</b>		p. 4
<b>2. Les Systèmes Experts</b>	Origine des Systèmes Experts.	p. 4
	Qu'en attend-on dans l'industrie?	p. 4
	Les SE, plus précisément.	p. 5
	Réalisation d'un SE.	p. 9
	Evolution des SE.	p. 10
<b>3. Les applications chez Merlin Gerin</b>	Fiabilité, sûreté des réseaux électriques.	p. 14
	Propagation d'incendies dans les bâtiments.	p. 16
	Sécurité, disponibilité des centrales nucléaires.	p. 16
	Pilotage d'atelier.	p. 17
	Distribution d'énergie électrique et reconfiguration de réseaux.	p. 18
<b>4. L'Intelligence Artificielle</b>	Définition et but.	p. 19
	Domaines et techniques de l'Intelligence Artificielle.	p. 20
<b>5. Perspectives d'avenir</b>	Réseaux de neurones.	p. 22
	Logiques de raisonnement.	p. 22
	Raisonnement temporel.	p. 22
	En conclusion...	p. 23

# 1. introduction

Fleuron des progrès de la technologie, les microprocesseurs sont aujourd'hui présents dans tous les secteurs.

Dans l'industrie, l'administration ou encore dans notre propre appartement, ils interviennent aussi bien dans les systèmes de contrôle de processus complexes que dans les machines à laver.

Les différents traitements qu'ils permettent de réaliser ont conduit à la création de «**machines informatiques**» plus ou moins spécialisées, par exemple :

- ordinateur pour la gestion ; administrative ou la comptabilité ;
- calculateur pour le domaine scientifique ;
- automate pour les processus industriels ;

■ centrale pour la gestion des bâtiments ou des installations électriques.

La fascination de l'homme face aux machines existe depuis toujours et a joué un rôle moteur dans les travaux de recherche qui ont débouché sur cette nouvelle activité appelée «intelligence artificielle». Même si le terme paraît prétentieux, il traduit ce rêve éternel des hommes qui, déjà dans l'antiquité, tentaient de réaliser des machines capables de reproduire, de manière artificielle, leurs propres comportements physiques et intellectuels. Une légende très ancienne parle de tables, à 3 pieds munis de roulettes, se déplaçant seules dans le palais des Dieux.

Vaucanson, au XVIII<sup>ème</sup> siècle réalisait des automates tout à fait remarquables. L'idée de la «machine Pensante» progresse et engendre de nombreuses polémiques. Peut-on parler d'«ordinateur intelligent» dans la mesure où ils peuvent parler, voir, entendre, raisonner et, dans certains cas, agir comme un être humain. Même si les avis sont partagés, les progrès de l'informatique permettent aux ordinateurs d'aujourd'hui d'approcher les raisonnements humains, grâce à des techniques variées (soft ou hard) comme les SE -Systèmes Experts- ou les réseaux de neurones.

## 2. les Systèmes Experts

### origine des Systèmes Experts

Ce que l'on retrouve aujourd'hui dans tous les SE est l'expression d'un savoir sous forme de connaissances heuristiques, résultant généralement d'une expérience cumulée dans un domaine précis. Ces connaissances traduisent un mode de raisonnement et peuvent s'exprimer par des règles telles que : «Si telle condition est vérifiée ALORS effectuer telle action» (ces règles sont appelées plus précisément «règles de production»).

L'idée d'exprimer ainsi une connaissance n'est pas neuve. En effet, le plus vieux document qui en témoigne est un document médical datant du XVIII<sup>ème</sup> siècle avant JC. Il correspond à une copie d'ouvrage de l'ancien Empire Egyptien. Ce texte fameux présente 48 observations chirurgicales de blessures de la tête,

toutes formulées sous la même représentation formelle : «titre, examen, diagnostic, traitement». (cf. fig. 1).

On rencontre ainsi dans les littératures anciennes de nombreuses «bases de connaissance», fortement structurées, de taille souvent importante.

La constitution de tels écrits était motivée par le désir de laisser une trace du savoir acquis par certains «savants», trace exploitée par leurs successeurs.

Depuis, si les motivations sont restées les mêmes, les moyens ont changé. Avec les progrès de l'informatique, l'évolution des besoins se traduit par l'arrivée d'applications utilisant «la connaissance», c'est-à-dire des données qualitatives. A partir de «bases de connaissance» contenant soit l'expertise de spécialistes, soit les connaissances implicites que l'homme utilise en permanence (telles la

compréhension du langage ou la reconnaissance de formes), ces nouvelles applications cherchent aujourd'hui à simuler le raisonnement et les comportements humains.

### qu'en attend-on dans l'industrie ?

Les SE ont commencé à intéresser les industriels il y a environ 10 ans, avec l'arrivée des premières réalisations opérationnelles. Les intérêts de chacun sont différents et correspondent à des besoins précis d'une entreprise ou d'un service. En effet, chaque réalisation d'un SE s'intègre dans un environnement particulier de développement et doit être adaptée au cadre d'utilisation.

Un SE est développé, par exemple, pour :

- sauvegarder une expertise accumulée ;
- la diffuser dans le temps ;

- la diffuser dans l'espace ;
- formaliser une connaissance de conception.

### Sauvegarder une expertise accumulée

Bien souvent dans une entreprise, le départ d'un expert (mobilité ou retraite) pose le problème de la sauvegarde de savoir-faire. La solution SE permet à l'entreprise de conserver l'expérience acquise par un seul homme devenu «expert» dans sa spécialité au cours de sa carrière.

### La diffuser dans le temps

(le but poursuivi est l'amélioration des règles d'un métier) :

Dans une entreprise, les produits se renouvellent, les moyens changent, le savoir-faire évolue.

Les SE sont justement des programmes conçus pour être évolutifs. Leur conception, rend la base de connaissance (contenant les règles de production) accessible à tout expert, même non informaticien.

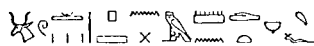
Grâce aux SE, les connaissances d'un spécialiste sont donc rendues accessibles aux autres spécialistes qui ont alors la possibilité d'ajouter leurs propres connaissances ou de modifier celles qui sont en mémoire. Ceci permet au système informatique de prendre en compte l'amélioration et l'évolution des méthodes de travail et de suivre la progression de l'entreprise. De plus, lorsqu'une personne nouvelle arrive dans l'entreprise, elle dispose immédiatement de l'expérience acquise par ses prédécesseurs.

### La diffuser dans l'espace

(le but est l'unification des méthodes de travail) :

Dans une entreprise il est très important que plusieurs personnes, réalisant des travaux identiques, adoptent les mêmes méthodes de travail. Cette unification, (diffusion horizontale), peut être obtenue à l'aide d'un SE. Cette démarche nécessite des échanges entre les experts et enrichit la connaissance sur l'activité correspondante. La «diffusion verticale» permet aux non-spécialistes d'effectuer des tâches jusque-là réservées aux experts ; ces mêmes experts sont alors disponibles pour des travaux nouveaux ou plus riches.

Cependant la solution SE n'est pas forcément la mieux adaptée aux



*titre*

instruction pour soigner une fêlure de l'os malaire.



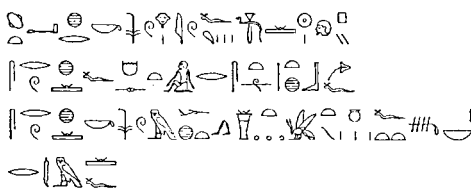
*examen*

si tu examines un homme qui a une fêlure de l'os malaire, tu trouveras une fluxion saillante et rouge, bordant cette blessure.



*diagnostic et pronostic*

tu diras à son sujet : «une fêlure de l'os malaire. C'est un mal que je traiterai».



*traitement*

Tu le panseras avec de la viande fraîche le premier jour. Le traitement durera jusqu'à ce que la fluxion se réduise. Ensuite tu le soigneras avec de la fraise, du miel, et des bandages à renouveler chaque jour, jusqu'à ce qu'il guérisse.

fig. 1 : expression des connaissances médicales sur un document datant du premier siècle avant Jésus-Christ.

besoins, aux problèmes posés. Il faut se garder de réaliser un SE pour «faire comme les autres» ou à cause de la séduction d'une publicité bien faite du genre :

«réalisez votre application SE en 15 jours grâce au GSE Dupont»  
«réalisez votre SE sans informaticien grâce au GSE Durand»

### Formaliser une connaissance de conception

On constate aujourd'hui que l'expertise tend à se «déplacer». Par exemple, en fabrication, on ne contrôle plus le travail du monteur, on le conçoit a priori. On va même jusqu'à l'automatiser. Toute l'expertise se trouve alors dans cette automatisation, elle n'est fournie que peu par l'homme d'expérience, mais est le fruit de réflexions, de prévisions et de calculs.

La même constatation peut se faire dans le domaine du diagnostic et de la maintenance où des SE sont vendus avec les produits. La connaissance

contenue dans ce type de SE provient donc du concepteur et moins de l'expérience accumulée par les utilisateurs au cours des dépannages.

## les SE, plus précisément

### Définition d'un SE

D'une manière générale, un SE est un programme qui permet l'exploitation des connaissances dans un domaine précis et rigoureusement limité. Il est utilisé pour effectuer des tâches intellectuelles, c'est-à-dire des travaux exigeant le savoir et l'expérience de l'homme. Un SE est alors capable d'assister l'utilisateur de manière efficace.

Tel un expert humain, un SE n'a aucune prétention en dehors de sa spécialité.

Un SE est un système informatique où les données (la base de connaissance) sont bien séparées du programme qui les manipule (le moteur d'inférences).

En cela les SE sont différents des logiciels classiques (cf. fig. 2).

Le cœur d'un SE se compose d'une base de connaissance et d'un moteur d'inférences :

■ **la Base de Connaissance (BC)**, qui contient une base de faits et une base de règles, représente le savoir (les faits permanents) et le savoir-faire (les règles de l'expert).

La base de faits intègre deux types de faits : les faits permanents du domaine et les faits déduits par le moteur d'inférences qui sont propres au cas traité.

Prenons un exemple simple (cf. fig. 3) : faits permanents :

On peut éclairer une lampe avec un interrupteur.

Un interrupteur a deux positions : «ON» et «OFF».

base de faits :

- il y a de la tension (V),
- l'interrupteur est «ON» (I).

base de règle :

R1 : SI il y a de la tension et SI l'interrupteur est «ON», ALORS il y a de la tension aux bornes de la lampe.

■ **le moteur d'inférences** est un programme chargé d'exploiter la BC pour mener un raisonnement sur le problème posé en fonction du contenu de la base de faits. Pour cela, il contient un algorithme qui examine les conditions de règles et vérifie si elles sont vraies ou fausses. Une règle dont la prémisse (ou partie condition) est vraie est dite «applicable».

Une prémisse peut contenir une ou plusieurs conditions. Chaque condition correspond à un fait ; elle est vraie si le fait est présent dans la base, fausse si le fait contraire est présent et inconnue si le fait est absent.

Dans l'exemple ci-dessus, la prémisse de la règle citée «SI (V) et (I)» est composée de deux conditions qui sont vraies car elles existent dans la base de faits.

Chaque règle possède également une partie «conclusion». Ce peut être une action à effectuer ou un fait à déduire et à rajouter dans la base de faits.

Dans l'exemple précédent, si on «applique» la règle, le moteur d'inférences va conclure : «il y a de la tension aux bornes de la lampe».

Il rajoute ce fait déduit à la base qui contient maintenant trois faits :

- il y a de la tension (V),

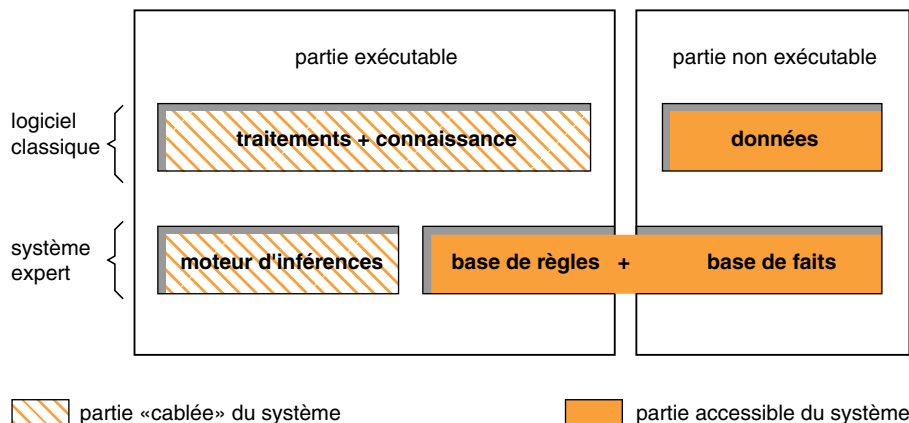


fig. 2 : structure logiciel classique et système expert.

- l'interrupteur est «ON» (I),
- il y a de la tension aux bornes de la lampe (U).

La base de faits «grossit» ainsi tout au long du raisonnement du SE.

Un SE comporte également un minimum de modules périphériques qui permettent son exploitation (cf. fig. 4) :

■ l'interface pour l'aide à l'acquisition des connaissances fournies par l'expert. Elle peut être plus ou moins sophistiquée, l'accent étant souvent mis sur une syntaxe des règles la plus proche possible du langage naturel. L'objectif ici est de capturer aisément les unités de savoir-faire (c'est à dire de faciliter l'expression la plus directe possible des règles de production par rapport à leur formulation orale) et de donner à l'expert la possibilité de modifier fréquemment la base de connaissance qui est alors rendue accessible.

■ le module d'interaction avec l'utilisateur (Relation Homme-Machine). Ce module ne doit pas être mis au second plan. Pour que le SE soit utilisé son aspect interface doit être soigné. Sans cela, le système risque de rebuter les personnes destinées à l'utiliser. En effet, l'introduction d'un SE dans un service modifie les méthodes de travail, ainsi que l'organisation du groupe, et elle représente parfois une première approche de l'informatique pour certaines personnes. Autant faire en sorte que le changement soit agréable et apporte effectivement une amélioration.

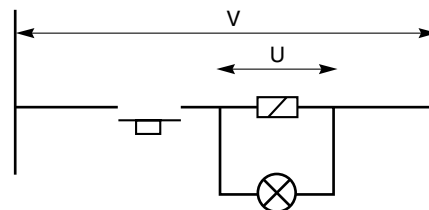


fig. 3 : commande d'un relais.

### Fonctionnement du SE

Le moteur d'inférences se charge de détecter les règles applicables, de choisir parmi elles celle qu'il convient d'appliquer, et finalement de l'exécuter. Il peut travailler soit en chaînage avant soit en chaînage arrière.

#### ■ chaînage avant

Un moteur d'inférences fonctionne en chaînage avant quand il lit les règles «à l'endroit», c'est-à-dire qu'il utilise les règles des conditions vers les conclusions. Le raisonnement est alors guidé par les faits. Pour le moteur, cela consiste à essayer d'activer les règles en examinant leur condition (ou partie à gauche du ALORS) et à appliquer celles-ci chaque fois que c'est possible. L'application d'une règle permet de déduire de nouveaux faits qui viennent enrichir la base.

Le moteur s'arrête dès qu'il ne trouve plus de règles activables.

Dans l'exemple de la figure 5 les faits sont représentés par des lettres.

Par analogie avec l'exemple précédent, on pourrait avoir :

A = il y a de la tension

B = l'interrupteur est «ON».

Exemple : (A, B, C ...sont des faits quelconques)

base de faits : A, B

base de règles :

□ R1 : SI A, ALORS C et F

□ R2 : SI B et E, ALORS D

□ R3 : SI C ou F, ALORS E

Si l'on reprend l'exemple de la figure 3 (relais) :

On rajoute à la base de règles :

□ R2 : SI il y a de la tension aux bornes de la lampe et SI la lampe est éteinte, ALORS la lampe est grillée

□ R3 : SI la lampe est grillée, ALORS changer la lampe.

Après la déduction précédente, le moteur d'inférences peut maintenant appliquer la règle R2, dont la conclusion rajoute à la base de faits : la lampe est grillée.

La règle R3 est alors applicable. Sa conclusion est une action. On a ainsi réalisé deux inférences consécutives. Il est souvent possible de contrôler les inférences du moteur, par exemple en mettant des priorités sur les règles, afin de forcer le moteur à les examiner dans un ordre précis.

Ce contrôle peut être utile dans les cas où il est nécessaire de hiérarchiser la connaissance. Il peut se faire de plusieurs manières dont la plus sophistiquée est certainement la prise en compte des «méta-connaissances», ou «connaissances sur l'utilisation de la connaissance».

On parle alors de «métarègles».

Exemple de métarègle :

SI ...

ALORS ne considérer que les règles portant sur l'état des tensions électriques.

L'exemple précédent est un exemple de SE travaillant en chaînage avant.

#### ■ le chaînage arrière

Un moteur d'inférences fonctionne en chaînage arrière quand il lit les règles «à l'envers», c'est-à-dire quand il utilise les règles des conclusions vers les conditions. Le raisonnement est alors guidé par les buts. Un but est un fait à démontrer. Pour le moteur, cela consiste donc à se «fixer un but», puis à examiner les règles permettant de l'établir. Cela l'amène à vérifier de nouveaux buts (sous-buts du but initial ou buts intermédiaires) et ainsi de suite jusqu'à atteindre des faits connus (appartenant à la base). Il échoue chaque fois qu'un but intermédiaire (ou fait) nécessaire n'est pas prouvable.

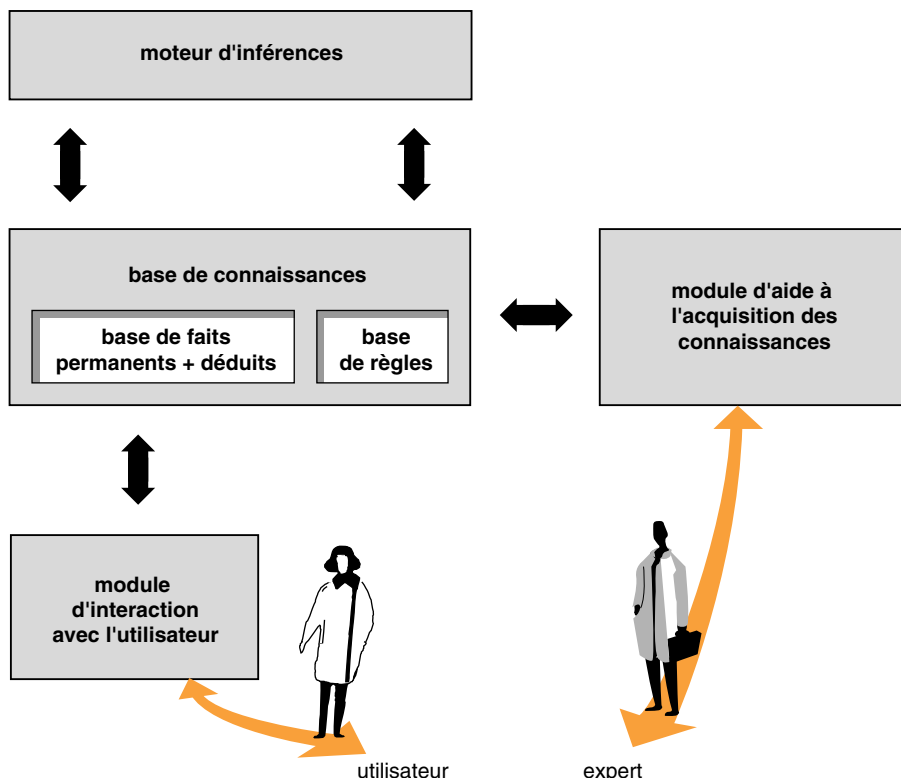


fig. 4 : structure générale de l'organisation d'un SE.

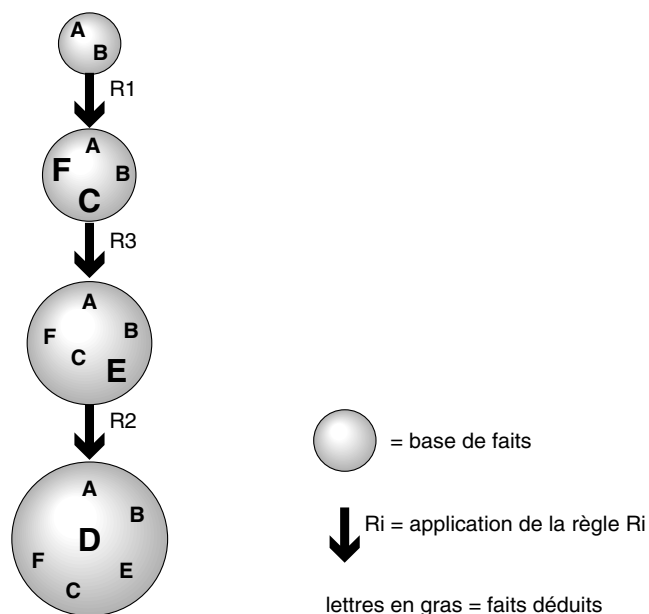


fig. 5 : fonctionnement du moteur d'inférences en chaînage avant - évolution de la base de connaissance.

Pour expliciter le chaînage arrière, examinons le schéma de la figure 6 :

□ base de faits : A, B

□ base de règles :

R1 : SI A, ALORS F

R2 : SI H et E, ALORS D

R3 : SI C ou F, ALORS E

R4 : SI B et D, ALORS G

R5 : SI B, ALORS H

But initial (à démontrer) : D

Raisonnement en chaînage arrière :

0- Si le but à établir est dans la base de faits : SUCCES et FIN ; sinon :

1- Chercher une règle permettant de démontrer D.

2- L'appliquer et établir les buts intermédiaires à démontrer.

3- Chercher à démontrer les buts intermédiaires .

«Pour démontrer D,

il faut démontrer H et E» : (R2)

«Pour démontrer H,

il faut démontrer B» : (R5)

«B est dans la base de faits donc H est démontré»

«Pour démontrer E,

il faut démontrer C ou F» : (R3)

«Aucune règle ne permet de démontrer C»

«Pour démontrer F,

il faut démontrer A» : (R1)

«A est dans la base de faits donc F est démontré»

«F est démontré donc E est démontré»

«H et E sont démontrés donc D est démontré ➡ SUCCES»

Pour être encore plus concret, appliquons le chaînage arrière au

circuit de commande d'un contacteur (cf. fig. 7 et 8) :

□ base de faits :

La bobine est bonne.

Il y a auto-alimentation.

□ base de règles :

R1 : SI le bouton M est enfoncé

OU auto-alimentation

ALORS la bobine est alimentée.

R2 : SI la bobine est alimentée

ET qu'elle est bonne

ALORS le contacteur est fermé.

But à démontrer :

Le contacteur est-il fermé ?

■ chaînage avant ou chaînage arrière ?

Aucune de ces deux techniques n'est reconnue supérieure à l'autre, cependant il y a des types de problèmes pour lesquels on choisira plus facilement l'une ou l'autre.

Si un but précis doit être atteint par exemple : «Le moteur électrique est-il en régime établi ?», il est conseillé de disposer d'un moteur à chaînage arrière.

En revanche, lorsque le programme a pour tâche de recueillir des informations pour déterminer des états successifs et prendre une décision ou déclencher une action, le chaînage

avant est alors mieux adapté. C'est le cas par exemple du diagnostic où l'on part de l'état observé sur la machine en panne pour remonter à l'élément qui a causé la défaillance.

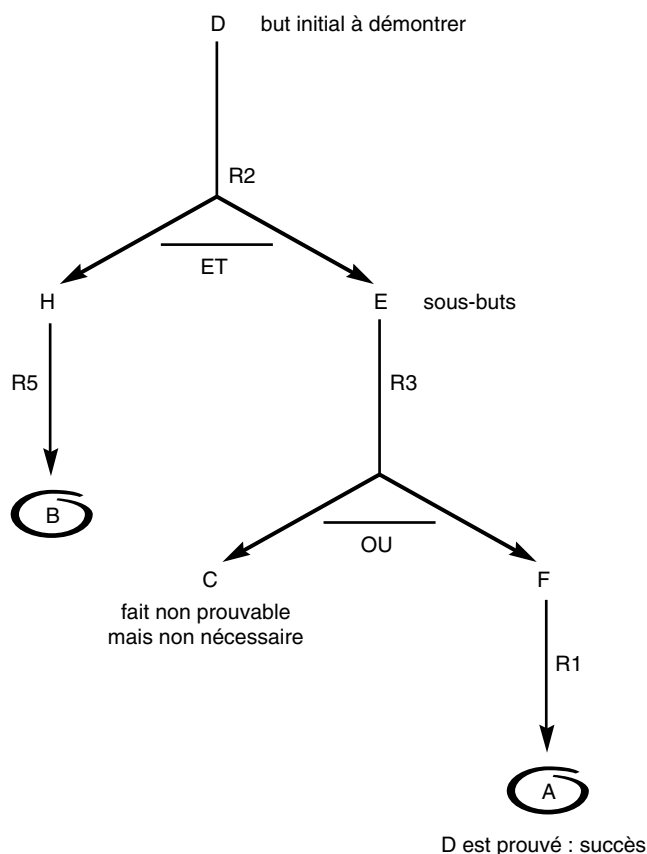


fig. 6 : raisonnement en chaînage arrière.

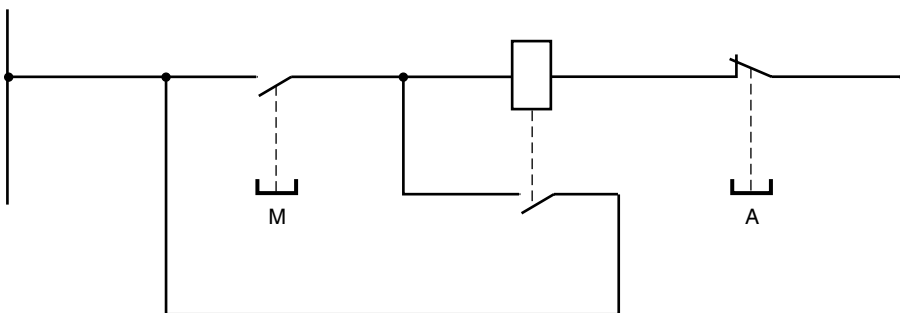


fig. 7 : commande d'un contacteur.



## réalisation d'un SE

### Cahier des charges et choix des intervenants.

Un SE est un programme informatique. Sa réalisation et son utilisation posent donc tous les problèmes classiques rencontrés par les informaticiens :

- la connaissance et l'analyse du domaine, des besoins et de l'environnement d'utilisation requièrent un soin particulier. Il est très important que les limites d'action du SE soient bien fixées.

- l'équipe de travail devra être judicieusement choisie car le bon déroulement d'un projet SE repose sur une collaboration importante entre les différents acteurs : experts, informaticiens, responsables ...

- la responsabilité relative à l'expertise une fois informatisée. En effet, dans le cas d'un SE de diagnostic de panne d'un système de contrôle/commande par exemple, où un arrêt peut coûter cher, qui est responsable d'une erreur dans le programme, l'informaticien qui a conçu le SE, l'expert qui a fourni la connaissance ou le cognitifien qui l'a analysée ?

### Le développement

Le développement d'un SE est un travail long et délicat, qui nécessite la mise en œuvre d'outils adéquats, tant au niveau logiciel (langage et environnement de programmation, outils évolués de développement) que matériel. On peut évaluer le temps nécessaire au développement d'un SE en le comparant au temps qu'il faudrait

pour former un expert humain capable de réaliser la même prestation dans un domaine bien défini.

Un SE requiert une base de connaissances qui doit être la plus complète et la plus structurée possible. Il est spécialisé dans la réalisation d'une fonction précise, en dehors de laquelle il n'a aucune prétention. Et, même en respectant cette limite, les volumes de connaissance obtenus sont considérables. En approfondissant, on s'aperçoit très vite que l'exploitation d'un savoir-faire, même très restreint, nécessite une grande quantité de données, a priori implicites voire évidentes, mais qu'il faut cependant entrer explicitement dans le système. On peut réaliser un SE à partir d'un langage tel que Pascal ou C, mais on choisira plus facilement Lisp, Prolog ou un langage orienté objets (C++, Smalltalk ...). En effet, ces «langages» sont mieux adaptés au raisonnement déductif des SE (les règles) que les langages classiques qui eux sont plus appropriés à une programmation «procédurale» et séquentielle. Une autre possibilité est de développer son SE à partir d'un Générateur de Systèmes Experts (GSE). On appelle ainsi des outils informatiques évolués, assimilables à des «SE vides», c'est-à-dire dont la Base de Connaissance est à remplir.

Ce sont des «environnements» complets et généraux qui intègrent un moteur d'inférences (indépendant de la BC), ainsi que divers modules d'aide au développement tels qu'un éditeur de connaissances pour le remplissage de la base, un tableur, un gestionnaire de bases de données...

Citons quelques générateurs parmi les plus connus :

DIAGNEX, GURU, N-EXPERT, PC+, SNARK, ...

### Les intervenants

La construction d'un SE repose essentiellement sur trois personnes : l'expert, le cognitifien et l'informaticien. Chacun a un rôle particulier à jouer dans les différentes étapes du projet. Rapidement, les tâches peuvent se répartir de la manière suivante : le cognitifien recueille et analyse la connaissance fournie par l'expert, ensuite l'informaticien choisit l'outil de développement et structure les données pour les entrer en machine.

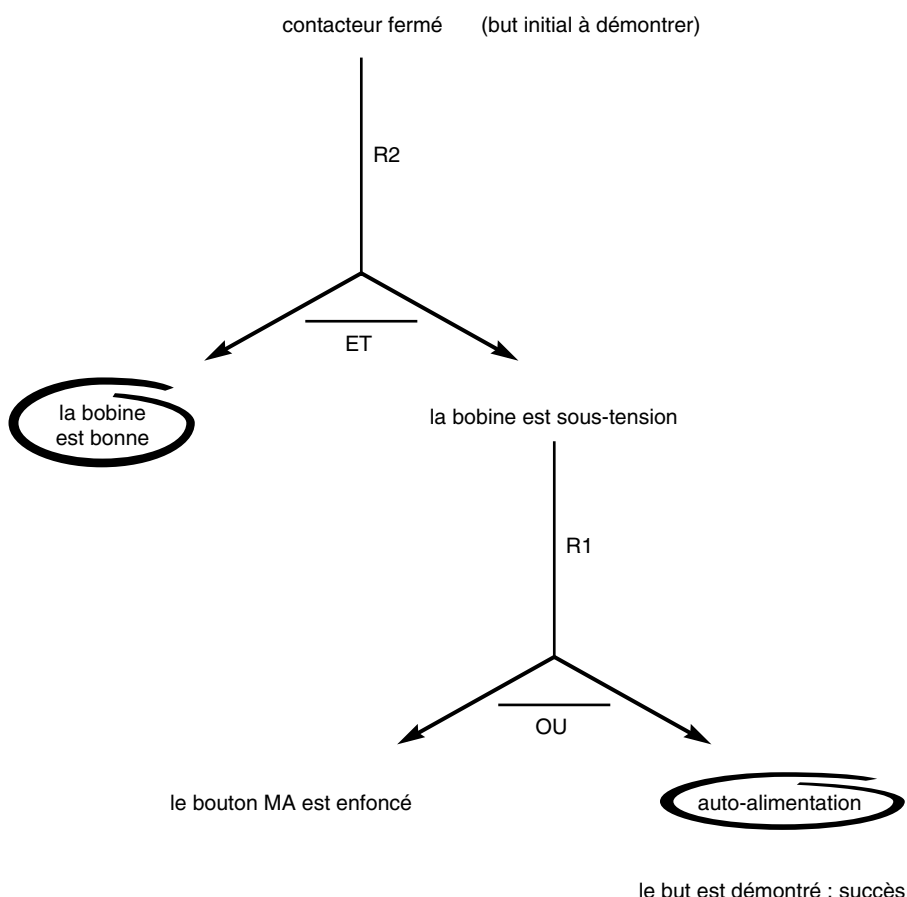


fig. 8 : exemple de chaînage arrière.

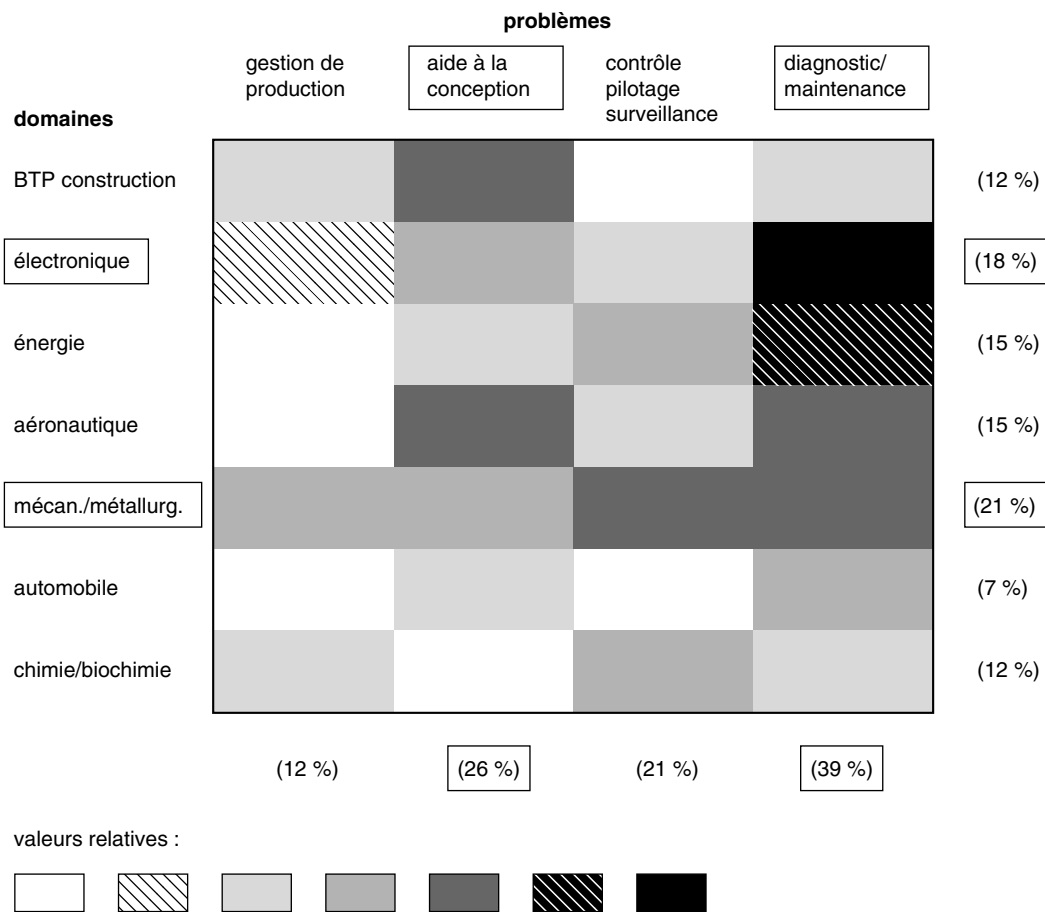


fig. 9 : répartition des problèmes traités grâce à des applications de type SE dans différents domaines de l'industrie.

### Les principaux domaines d'application (cf. fig. 9)

Actuellement, les problèmes de diagnostic et de maintenance sont bien résolus par les SE et représentent à eux seuls 39 % des applications SE. On trouve des SE de diagnostic dans des secteurs aussi divers que la médecine, l'industrie, l'assurance. Dans l'industrie, on développe des SE dans différents domaines d'activité tels que la Conception Assistée par Ordinateur (CAO mécanique ou électronique), la productique (contrôle/commande de process, ordonnancement, planification de tâches, robotique), et le diagnostic, déjà cité, qui regroupe : diagnostic de panne, incident, défaut de fabrication ... Un SE peut également aider à choisir un matériau ou un composant dans une base de données.

### évolution des SE

L'efficacité et la convivialité des SE dépend fortement des modules, fonctions, interfaces, logiciels, qui gravitent autour du cœur du SE (BC + moteurs).

Ceux-ci sont représentés sur la figure 10 et explicités ci-après. Ils sont encore l'objet de travaux de recherche et de développement.

#### Apprentissage

Une première interrogation vient tout de suite à l'esprit : peut-on réellement parler d'Intelligence sans apprentissage ? Pour ce qui concerne les SE une définition rapide de l'apprentissage serait : «amélioration automatique des Bases de Connaissances (BC) afin d'améliorer les résultats». Ceci signifie deux choses : modifier les règles (les affiner) de la BC, à partir d'un jugement porté par l'expert sur les

résultats et découvrir de nouvelles règles par généralisation inductive à partir de cas individuels. Il faut cependant préciser que «Système Expert» n'est pas équivalent à : «programme qui apprend et s'améliore tout seul». Un SE, s'il n'est pas doté d'un module d'apprentissage spécialisé, aura fatalement le même comportement dans les mêmes conditions. Il reproduira les mêmes erreurs si on lui fournit les mêmes entrées. De nos jours, à part de rares exceptions, un SE ne s'améliore pas en exploitant son expérience et n'a pas la faculté d'enrichir tout seul sa BC. Les techniques d'apprentissage ne sont pas encore suffisamment évoluées pour être intégrées aux systèmes industriels. Dans un proche avenir, elles seront probablement utilisées pour automatiser la constitution des BC, qui tendent à s'accroître considérablement.

## Recueil et analyse des connaissances

Les principales difficultés que l'on rencontre au cours du développement d'un SE se trouvent au niveau de l'expression de la connaissance. Les problèmes interviennent dès l'analyse du discours recueilli chez l'expert. L'«acquisition des connaissances» ou analyse du discours de l'expert est toujours une tâche longue et fastidieuse. Elle met en collaboration deux personnes : l'expert et le cogniticien, sur lesquelles repose la construction du SE. Son succès dépendra d'ailleurs fortement des rapports que ces 2 intervenants auront entretenus tout au long de leurs divers contacts (cf fig.11: «l'expert et son cogniticien», extrait de Bonnet p165).

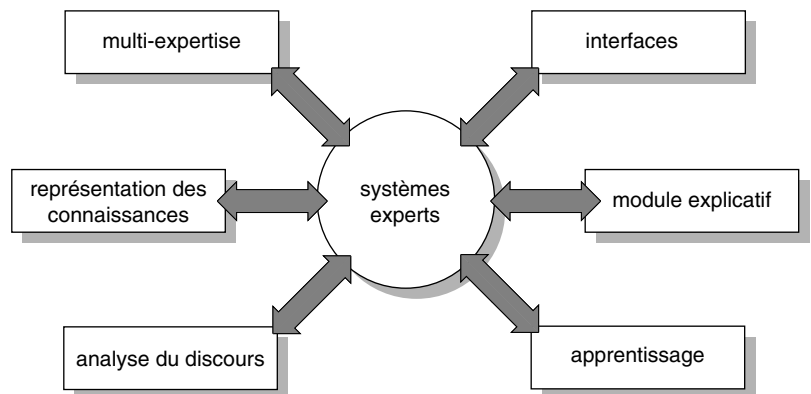


fig. 10 : domaines connexes des SE.

Les deux intervenants de base pour la construction d'un système-expert sont : l'expert du domaine considéré et le cogniticien. Les rapports de ces deux intervenants devront être fondés sur une bonne compréhension mutuelle, une confiance réciproque et l'absence de rétention d'informations. Le succès dépend largement de la qualité de ces hommes et de celle de leur relation.

### Chez l'expert, les qualités à rechercher sont :

- son autorité intellectuelle indiscutable, complétée par une longue pratique ;
- sa volonté et sa capacité de communiquer son savoir ;
- son attitude à l'introspection ;
- son goût pour la recherche de solutions neuves et la remise en cause permanente de ses acquis ;
- son expérience du travail en groupe ;
- sa disponibilité, sa patience, sa ténacité, pour ne pas parler d'endurance et de sa tolérance à l'erreur.

### Le cogniticien devra avoir :

- une logique sans faille ;
  - une solide culture scientifique et technique, généralement acquises dans une grande école d'ingénieur ou au cours d'un troisième cycle universitaire ;
  - une maîtrise parfaite de l'informatique avancée ;
  - une grande érudition en Intelligence Artificielle
- enfin,
- une capacité d'écoute ou, mieux, une *avidité d'apprendre*, complétée par une bonne technique d'interviews inspirée de celles pratiquées en psychologie.

### L'expert et le cogniticien devront s'entendre.

C'est à dire qu'ils devront s'écouter, mais aussi qu'ils devront savoir instaurer un lien délicat fait d'empathie et de recul critique, de volonté d'assimiler l'autre sans perdre sa propre identité. Les motifs d'échec de cette relation ne manquent pas comme on peut bien l'imaginer. Sans nous arrêter aux erreurs *techniques* de conduite de la relation, nommons simplement certaines causes d'échec liées *structurellement* à la situation :

- l'expert est un *homme d'expérience, donc souvent âgé*. Le cogniticien, artisan d'une discipline naissante, est la plupart du temps un *jeune ingénieur*. De cette différence peut naître le meilleur comme le pire. Le meilleur ressemble assez à une relation maître-disciple, genre oriental. Le pire s'inspire de tout ce que l'on regroupe aujourd'hui sous la locution de *conflit de générations*.
- l'expert est un homme *important*. Le cogniticien l'est moins ;
- l'expert est un homme *occupé*. Le cogniticien n'a rien d'autre à faire ... que d'importuner l'expert ;
- l'expert détient un capital. Le cogniticien est payé pour le lui *soustraire* ;
- l'expert est au coeur de l'institution, dont il connaît et défend les valeurs. Le cogniticien, à la périphérie, sinon totalement à l'extérieur, est un *corps étranger* ;
- l'expert s'expose, en même temps qu'il expose son savoir. Le cogniticien le scrute, et parfois le censure. L'expert est l'*objet* de l'activité du cogniticien.

fig. 11 : Relations entre l'expert et son cogniticien.

Aujourd'hui, plusieurs méthodes d'interrogation de l'expert sont en train de se développer et actuellement, elles sont en passe de devenir de véritables outils informatiques de «gestion des connaissances».

Ces méthodes interviennent dans la phase «modélisation de la connaissance» avec un double objectif :

- d'une part fournir des techniques pour recueillir et analyser l'expertise afin d'être en mesure de la représenter en machine,

- d'autre part, fournir un guide méthodologique pour mener à bien le développement du SE.

### Représentation des connaissances.

L'étape suivante se situe au niveau de la représentation de ces connaissances dans la base du SE.

Le bon déroulement et les résultats obtenus lors de la phase précédente, «analyse des connaissances», sont primordiaux pour choisir le meilleur modèle de représentation, compte tenu du type des connaissances à capter. Il faut d'abord garantir la qualité de l'expertise recueillie et celle du modèle de représentation retenu pour l'implanter en machine. Ensuite il s'agit de gérer au mieux son volume pour une utilisation optimale et des résultats performants.

Cependant, les connaissances telles que «le bon sens» par exemple, que nous utilisons sans même nous en apercevoir, sont très difficiles à modéliser. La pensée de bon sens est plus complexe que beaucoup de démarches purement intellectuelles, qui, elles, suscitent plus d'attention. Elle fait souvent appel à de nombreux types différents de représentation, et nécessite donc une gamme de compétences beaucoup plus large (cf. fig. 12 : Minski : «le bon sens» p. 26). Des améliorations récentes, en particulier le raisonnement à profondeur variable et les représentations multi-modales, sont peut-être un apport à l'amélioration de la «traduction du bon sens».

### Les interfaces

Dans un SE, les interfaces jouent un rôle très important car elles interviennent à toutes les étapes du cycle de vie : développement - exploitation - évolution.

Leur réalisation requiert beaucoup d'attention car l'acceptation du système par les utilisateurs en dépend comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre «définition du SE».

Les interfaces les plus importantes sont :

- celles qui permettent à l'expert d'accéder à la base de connaissance, en général pour la maintenir et la faire évoluer

- et celles qui, lors d'une «session experte», supportent le dialogue utilisateur-système.

Les différentes interfaces SE/homme et SE/environnement sont représentées sur la figure 13.

### Le module explicatif

Un système expert est souvent doté d'un module explicatif dont le rôle est d'établir la trace du raisonnement qu'il a effectué.

Le but de ce module est de permettre aux utilisateurs et aux experts de suivre l'enchaînement des inférences effectuées par le système, c'est à dire la succession de faits ayant engendré la solution.

Cette trace est très difficile à établir de manière claire et compréhensible car elle nécessite des connaissances particulières appelées «Méta connaissances». Celles-ci ne découlent pas du savoir de l'expert

---

*Le bon sens n'est justement pas une chose simple. C'est, bien au contraire, une immense société d'idées pratiques durement acquises, de multitudes de règles et d'exceptions enseignées par la vie, de dispositions et de tendances, de poids et de contrepoids.*

Si le bon sens est si divers et si complexe, qu'est-ce qui le fait paraître si évident et naturel ?

Cette illusion de simplicité résulte du fait que nous perdons de vue ce qui s'est passé pendant notre petite enfance lorsque nous façonnions nos premières aptitudes. Et au fur et à mesure que chaque groupe d'aptitudes s'affermirait, nous ajoutons de nouvelles couches par-dessus. Plus le temps passe, plus les couches de dessous s'éloignent, jusqu'au moment où, plus tard dans la vie, quand nous essayons d'en parler, nous ne trouvons rien d'autre à dire que : «je ne sais pas.»

fig.12 : le bon sens.

---

mais d'un savoir de mise en œuvre de l'expertise comme indiqué dans le paragraphe «fonctionnement du SE».

### La multi-expertise

Une limitation actuelle des SE concerne l'utilisation d'une seule Base de Connaissances. Or, certaines applications complexes nécessitent le recours à des sources de connaissance variées, autrement dit à la coopération de divers experts qui contribuent chacun à la recherche d'une solution.

Depuis quelques années, les recherches sur ce nouveau thème d'étude, appelé aussi «Intelligence Artificielle Distribuée» (DAI, en anglais) commencent à se développer en France. Des architectures de systèmes permettant une telle collaboration ont été proposées et utilisées par exemple pour la compréhension automatique de la parole, domaine typique où des connaissances très diverses sont nécessaires : analyse des sons, reconnaissance des différents lexèmes de la phrase, analyses lexicale, syntaxique et sémantique ...

Ces architectures avancées de SE présentent des caractéristiques intéressantes : fonctionnement parallèle et synchrone des BC, résolution de problèmes à différents niveaux d'abstraction ... , mais sont encore difficiles à mettre en œuvre. Leur utilisation peut néanmoins se développer dans l'avenir grâce à l'apparition sur le marché d'outils puissants dotés d'interfaces et de fonctionnalités logicielles facilitant leur développement.

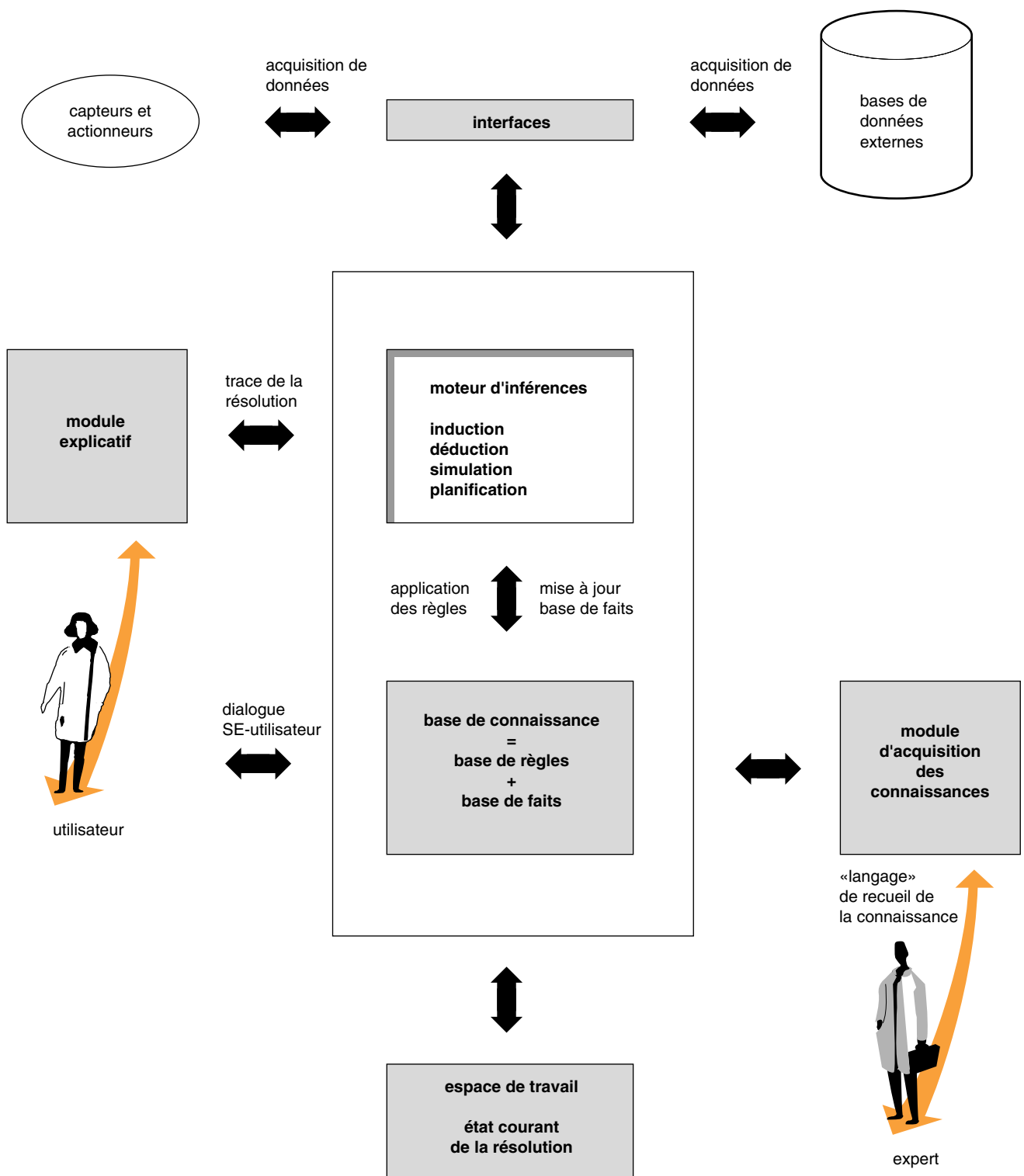


fig. 13 : les interfaces du SE en exploitation.

### 3. les applications chez Merlin Gerin

Merlin Gerin s'intéresse aux techniques des SE depuis le début des années 80, dans le but d'améliorer les produits et les services qu'il met à la disposition des clients. Par exemple, chacun connaît aujourd'hui l'essor des systèmes de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) dans les entreprises. Comment rentabiliser au maximum ces outils informatiques afin d'améliorer la productivité des opérateurs qui les utilisent ?

La solution consistant à connecter un module de SE à un outil de CAO permet de fournir aux différents utilisateurs l'expérience de ceux qui ont la maîtrise de l'outil. La conception des produits gagne en rapidité, ce qui entraîne la baisse des coûts de revient finaux.

Dans un tout autre domaine, tel la gestion des ateliers, MERLIN GERIN a également étudié la solution SE. Ici, l'objectif est d'aider l'exploitant à obtenir un «flux lisse» dans les ateliers de production, ce qui signifie moins d'en-cours sur la ligne et donc une livraison plus rapide au client. D'autre part, la tendance actuelle privilégie de plus en plus l'aspect «service» vendu au client autour d'un produit. Dans ce cas également, les SE ont un rôle à jouer. Par exemple, un SE de diagnostic de panne peut être proposé à l'utilisateur d'un onduleur pour lui permettre d'intervenir lui-même.

Nous allons présenter rapidement ci-après cinq exemples variés et significatifs de SE développées par Merlin Gerin :

- aide aux calculs de fiabilité : logiciel ADELIA ;
- aide à la lutte contre le feu : logiciel SALADIN ;
- aide à la maintenance et au dépannage dans les centrales nucléaires : logiciel SILEX ;
- aide au pilotage d'atelier : logiciel ALEXIS ;
- aide à la conduite de la production et de la distribution de l'énergie électrique dans un sous marin : logiciel SYRACUSE.

#### fiabilité, sûreté des réseaux électriques.

La fiabilité est aujourd'hui une science ; elle a pour but la maîtrise des défaillances.

Du fait de l'accroissement des applications de l'électronique dans tous les secteurs : médical, industriel, informatique etc..., il est de plus en plus important d'avoir une disponibilité quasi totale de l'énergie électrique.

Les concepteurs, réalisateurs et exploitants des réseaux électriques ont besoin de s'appuyer sur un ensemble de méthodes d'évaluation qualitatives et quantitatives de la fiabilité.

ADELIA est un Système Expert. Il est actuellement utilisé dans le «Service Etude de Réseaux» de Merlin Gerin, par les concepteurs de réseaux électriques, et intervient dans la phase «étude de fiabilité».

ADELIA a pour but l'étude de la fiabilité en termes de disponibilité de l'énergie électrique dans les réseaux (voir aussi le cahier technique n° 148). Autrement dit, seules les défaillances qui suppriment la tension en un point du réseau sont prises en compte et non celles qui modifient sa qualité.

La méthode choisie pour réaliser ces études de fiabilité est celle des arbres

de défaillance. C'est en effet, avec les graphes de Markov, un des outils majeurs de l'évaluation de la sûreté des systèmes.

La construction d'un arbre de défaillance commence par la désignation de l'événement indésirable. Celui-ci est ensuite décomposé en événements intermédiaires qui l'explicitent sous forme de causes immédiates. Ces événements sont à leur tour développés et ainsi de suite jusqu'à ce que toute nouvelle décomposition soit impossible. On obtient alors les «feuilles» de l'arbre, qui représentent les défaillances élémentaires du réseau étudié (cf. fig. 14 et 15).

La construction de l'arbre, et surtout les calculs qui lui sont associés, est une entreprise considérable, voire impossible à réaliser manuellement ; d'où l'idée de créer un outil informatique, un SE, pour le construire automatiquement.

Grâce à ADELIA des résultats sur la fiabilité d'un système sont obtenus rapidement. L'analyse de ceux-ci permet au concepteur, pour un niveau de sûreté donné, d'optimiser sur le plan technico-économique la configuration de son réseau.

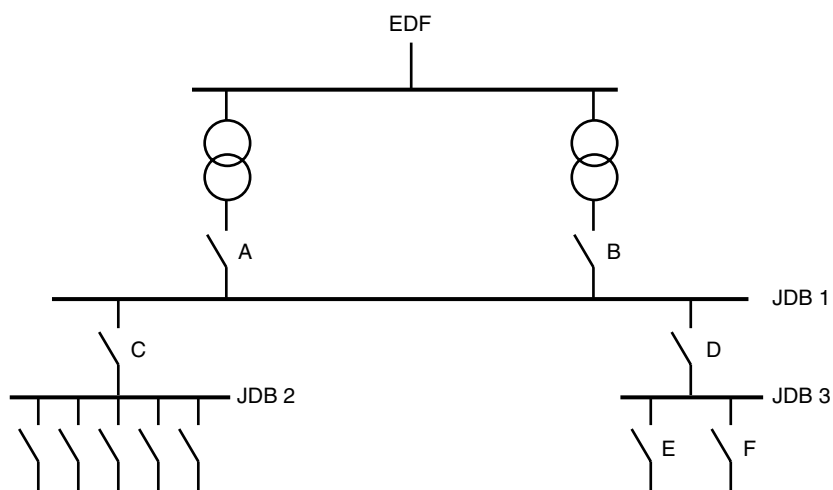


fig. 14 : réseau de distribution.

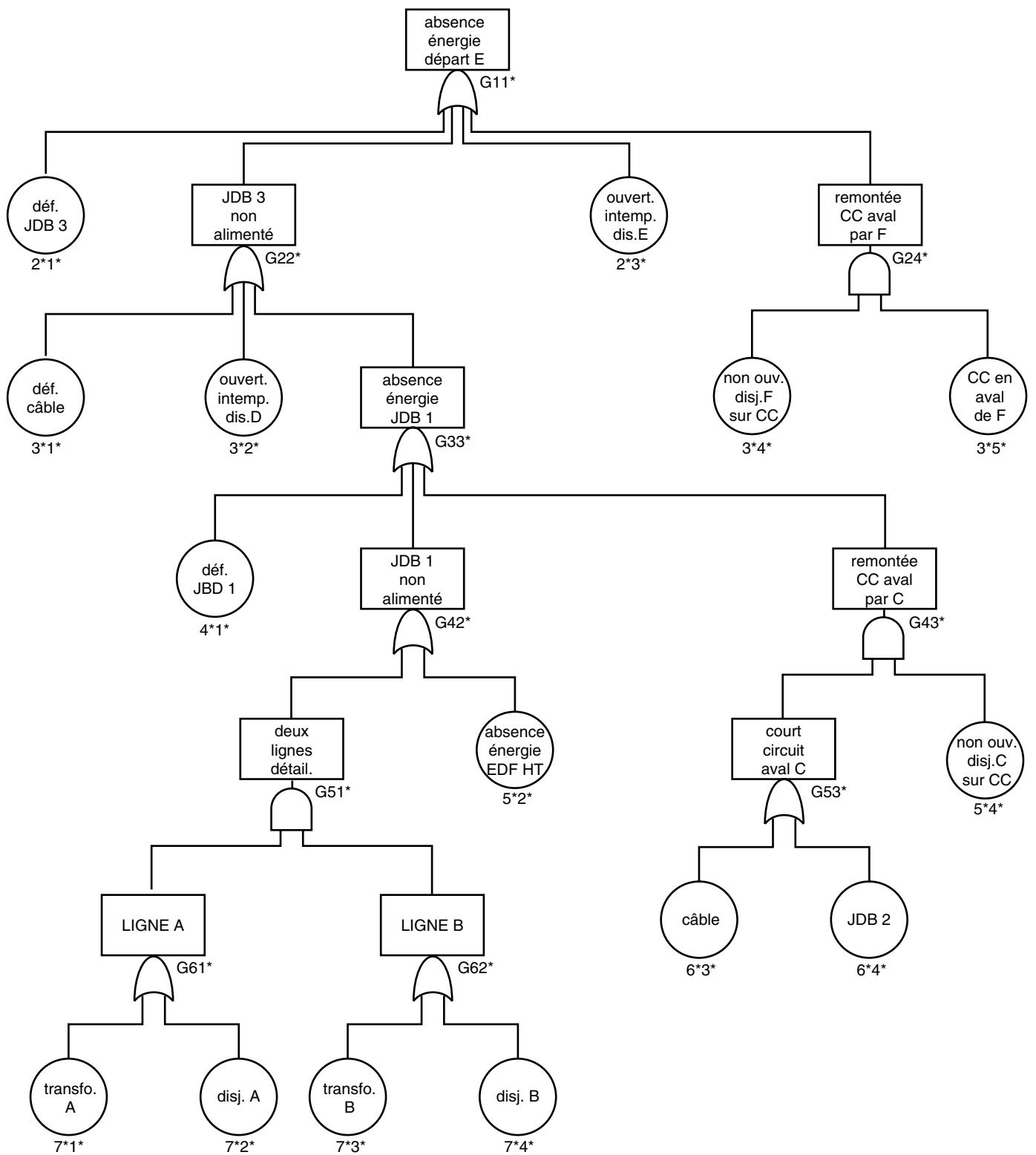


fig. 15 : arbre de défaillance correspondant au réseau de la figure 14.



Utilisation d’ADELIA, interfaces

La configuration du réseau est toujours assurée par le concepteur. Ce schéma lui sert de base pour l'étude qu'il va mener avec ADELIA.

Une session ADELIA commence donc par la saisie du réseau électrique à partir d'un ensemble de composants «connus» du système, c'est-à-dire dont les caractéristiques des modes de défaillance associés ont été données par l'utilisateur. Une interface dédiée (basée sur l'utilisation de la souris et de menus déroulants) permet une saisie rapide du réseau et une vérification graphique des informations saisies.

A chaque réseau est donc associé un fichier de composants électriques : disjoncteurs, transformateurs, interrupteurs, câbles ...

Chacun d'entre eux possède un ou plusieurs modes de défaillance auxquels sont attribuées trois valeurs :

- le taux de défaillance ;
- le temps de réparation ;
- l'indisponibilité.

La figure 16 montre les éléments de l'«écran» de saisie des caractéristiques des composants du réseau étudié.

A partir d'un ensemble de règles expertes, le système construit l'arbre de défaillance associé au réseau et calcule le taux de défaillance de l'événement indésirable (ou événement sommet) grâce au fichier des composants. L'arbre est dessiné à l'écran et les valeurs numériques calculées sont accessibles directement en désignant sur le dessin, avec la souris, l'élément auquel on s'intéresse.

Au vu de ces résultats, l'utilisateur peut améliorer, reconfigurer son réseau et relancer l'étude de fiabilité afin d'atteindre, au meilleur coût, l'objectif de disponibilité du courant recherché.

propagation d’incendies dans les bâtiments

Le feu représente un danger majeur pour certains bâtiments (navires, tours etc ...). Il est fondamental de le combattre au mieux, dès qu'il se déclare. Ainsi, pour remplir efficacement sa mission, le responsable de la lutte contre l'incendie doit pouvoir anticiper l'extension du sinistre afin de prendre rapidement les mesures qui s'imposent. Pour cela il doit tenir compte du danger potentiel de

chaque local ou compartiment en fonction de son contenu, plus ou moins inflammable, de sa position et de son importance vis-à-vis des œuvres vives. De plus, il doit connaître exactement les moyens de lutte existants (emplacement, fonction) ainsi que les moyens mobiles d'extinction.

SALADIN -Système d'Aide à «LA» Décision pour le combat contre les Incendies- a donc été conçu pour assister la lutte contre la propagation des incendies, dès la déclaration de ceux-ci.

SALADIN connaît la disposition des locaux, leurs accès, leurs particularités et leurs moyens de lutte. Il est donc en mesure d'apporter son aide à la fois pour tenir à jour la situation, déterminer les risques d'extension du feu et organiser les interventions. Le système est lancé par un opérateur qui lui donne en entrée la situation au début de l'incendie :

- localisation du foyer,
- intensité de l'incendie initial (entier de 1 à 6),
- nature de l'incendie initial (explosion, court-circuit ...).

En retour, SALADIN, traitant par exemple le cas d'un navire, fournit la liste des compartiments qui risquent d'être touchés en précisant les notions d'«imminence de propagation» (court, moyen ou long terme) et de danger

(risque encouru par le bâtiment si tel compartiment est touché).

Il fournit également des propositions de :

- mise en œuvre des installations fixes d'extinction,
- stoppage des circuits de ventilation,
- mesures de sauvegarde des personnes et des biens.

L'interface graphique de SALADIN permet de visualiser pour chaque pont du navire l'ensemble des zones d'incendie ainsi que leur imminence de propagation, représentés grâce à différentes couleurs.

SALADIN offre également la possibilité de faire un «zoom» sur une partie du bateau afin de voir en détail l'état des compartiments touchés autour d'un point donné.

sécurité, disponibilité des centrales nucléaires

SILEX est un SE pour l'aide aux exploitants de centrales nucléaires, dont le dépannage et la maintenance exigent des interventions rapides et efficaces. Etant donné le volume et la complexité des équipements, ainsi que leur faible taux de défaillance, seuls le concepteur-constructeur et les utilisateurs avertis possèdent l'expérience nécessaire à ces interventions, laquelle ne doit pas se diluer avec le temps.

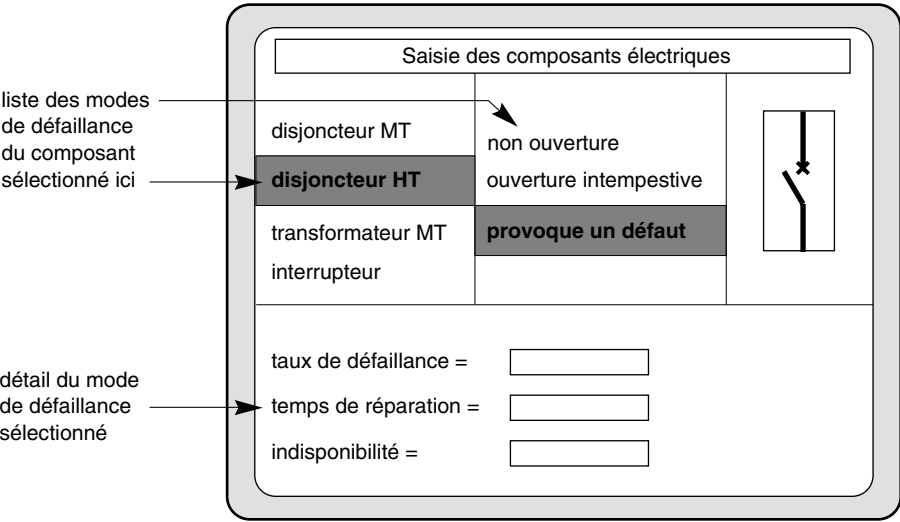


fig. 16 : interface de saisie des composants.  
(composant sélectionné : disjoncteur HT, mode de défaillance sélectionné : provoque un défaut



SILEX s'intéresse plus particulièrement au système de commande des grappes de contrôle d'un réacteur 900 MW (RGL 900) ; c'est un équipement électrique et électronique important des centrales nucléaires. Il est constitué d'armoires de commande dont les défaillances affectent directement la disponibilité de la tranche nucléaire. Sa taille (six armoires et plus de 1700 composants par armoire) et sa complexité de fonctionnement font qu'il est impossible à un dépanneur d'en posséder une connaissance analytique et exhaustive. De plus, les défaillances ne sont pas assez fréquentes pour entretenir des équipes de maintenance spécialisées. Enfin les méthodes de diagnostic ne permettent pas de traiter toutes les défaillances.

Pour toutes ces raisons, les dépannages sont difficiles, longs et affectent la disponibilité de la Centrale. C'est pourquoi cet équipement est délicat à dépanner en période d'exploitation.

Le SE SILEX répond au problème en mettant à la disposition des exploitants une aide au diagnostic qui permet de surmonter la complexité fonctionnelle de l'équipement, de les guider efficacement dans le dépannage grâce à ses grandes capacités en termes de méthodologie et de convivialité.

### Utilisation de SILEX

Le SE est utilisé dans le local du RGL 900, en face de ce dernier mais sans aucune connexion avec lui. Dès qu'une signalisation de défaut apparaît sur l'équipement, l'utilisateur émule le SE. Le point de départ est l'entrée dans le SE des informations correspondant aux défauts signalés en salle de commande. Le SE entreprend alors la recherche de la panne grâce à une approche descendante. Il exploite les relations de causalité entre les différentes fonctions de l'équipement. Le dépanneur fournit au fur et à mesure au système les informations nécessaires à l'établissement du diagnostic. C'est pourquoi l'interface utilisateur du système est la plus conviviale possible, tant au niveau de la présentation des «écrans», qu'à celui des textes «aide opérateurs», lesquels indiquent au dépanneur la procédure à suivre, les grandeurs à mesurer, pour répondre aux questions du SE.

Quand il a détecté l'élément défaillant, le SE propose de le dépanner ou de le remplacer. Un traitement «post-diagnostic» permet de s'assurer que les signalisations de défauts ont bien toutes disparues. Si certaines persistent, le SE peut conseiller d'entreprendre un nouveau diagnostic. Sur le terrain SILEX a considérablement amélioré la performance des dépanneurs et la disponibilité du système de contrôle-commande.

### pilotage d'atelier

Merlin Gerin, en collaboration avec ITMI et le LIFIA (laboratoire universitaire), a développé un système expert d'aide au pilotage d'atelier de production : ALEXIS.

Ce système, en partie financé par le ministère de la recherche, s'appuie sur un site pilote : la ligne flexible d'assemblage du disjoncteur BT Masterpact.

Rappelons que, d'une manière générale, le pilotage d'atelier est une activité de prise de décision en temps réel, impliquant les actions suivantes :

- planifier et ordonnancer les ordres de fabrication ; cette tâche peut être effectuée hors-ligne ;

- exécuter en temps réel le plan de fabrication en compensant éventuellement les dérives locales (sans être contradictoire avec l'optimisation globale du plan) ;
- réagir en cas de perturbations globales importantes ou d'aléa (pannes physiques, manquants ...) ;
- rendre visibles l'état de l'atelier et les dérives de production.

D'où la structure retenue pour ALEXIS (cf. fig. 17) :

#### ■ simulation

Une première étape obligatoire consiste en la simulation de l'atelier. Celle-ci permet de tester différentes configurations et d'évaluer différentes logiques de gestion de la ligne. Etant donné les pré-requis de progressivité et d'évolutivité, nous avons choisi d'utiliser des techniques de programmation objet.

Attention, la simulation s'avère être un outil très puissant qu'il faut utiliser avec méthode sous peine de graves désillusions. C'est pourquoi une part importante du travail consiste en des tests de conformité avec la réalité.

#### ■ ordonnancement

Les systèmes d'ordonnancement prévisionnel (hors-ligne) peuvent grandement améliorer les performances.

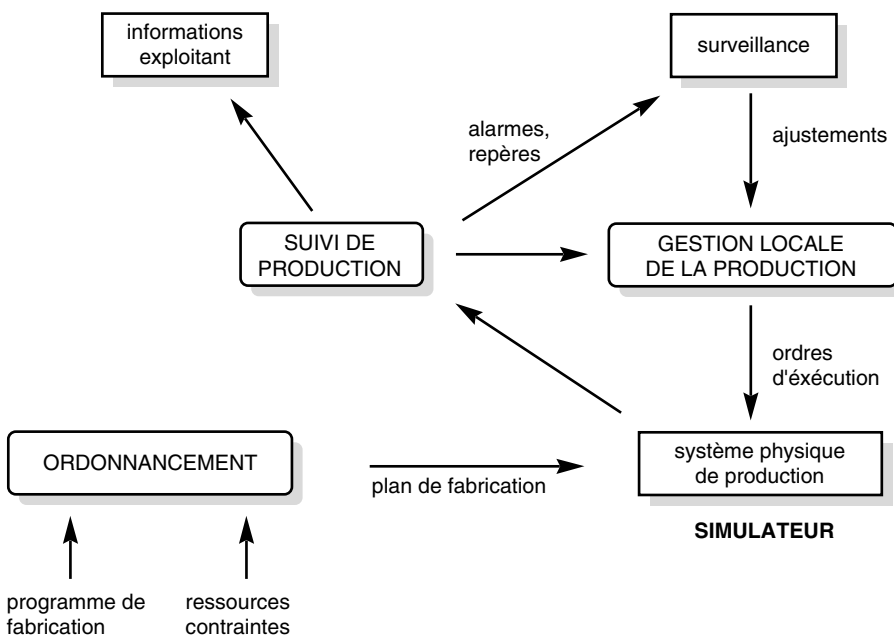


fig. 17 : organisation fonctionnelle du système ALEXIS.

Pour Alexis, il s'agit de construire un bon ordonnancement initial, robuste aux différentes variabilités opératoires (temps d'assemblage extrêmement différents suivant le type d'appareil, variation de la productivité humaine en cours de journée ...).

■ **gestion locale de la production**

Au niveau local, nous mettons en place des heuristiques de gestion de la production (paquets de règles de bon sens) tendant à diminuer l'en-cours, respecter les délais, éviter les famines ...

Cette gestion concerne uniquement les files d'attente aux postes, il s'agit à chaque instant et pour chaque poste de trouver dans sa file d'attente le meilleur travail à réaliser.

■ **surveillance, information à l'exploitant**  
C'est un des points importants d'acceptation du SE. Pour rendre les décisions de l'exploitant plus rapides et plus fiables il s'agit d'analyser la situation courante de l'atelier et de la présenter de manière synthétique mais conviviale.

■ **suivi de production**

C'est le module qui a pour objectif de maintenir à jour un ensemble de données représentatives de l'état courant de l'atelier et d'effectuer des calculs statistiques ou de bon sens permettant d'appréhender le travail déjà réalisé. Cette base «objets» constitue le cœur de l'application.

Le projet ALEXIS s'est déroulé simultanément à une forte réorganisation de l'atelier pilote :

■ l'analyse menée pour la modélisation de l'atelier, basée sur une réflexion industrielle importante, a contribué à l'élaboration des nouvelles structures ;

■ le simulateur de l'atelier a été utilisé pour définir l'implantation physique des postes et modifier la transitique (gestion du déplacement des appareils en cours dans l'atelier) ;

■ le module «information à l'exploitant», réalisé en étroite collaboration avec le site pilote, a suscité le plus vif intérêt et paraît indispensable à intégrer aux développements futurs.

## **distribution d'énergie électrique et reconfiguration de réseaux**

SYRACUSE -SYstème de Reconfiguration pour l'Aide à la Conduite de l'USine Electrique- est un système informatique pour l'aide à la conduite de la production et de la distribution d'électricité dans un sous-marin.

La mission consiste à assurer à bord du bâtiment les mêmes prestations que l'Electricité de France à terre, à savoir :

- distribuer l'énergie aux utilisateurs ;
- assurer la continuité de cette distribution ;
- gérer au mieux l'emploi des sources ;
- masquer les avaries côté utilisateur ;
- assurer la protection du réseau ;
- avoir en permanence une configuration robuste du réseau.

Les deux aspects «transparence des avaries côté utilisateur» et «robustesse du réseau», imposent en fait de reconfigurer le réseau électrique à la suite de chaque avarie.

Cette reconfiguration, qui consiste essentiellement en une suite ordonnée de manœuvres de disjoncteurs, est effectuée depuis un pupitre électrotechnique par un opérateur averti.

Sur la nouvelle génération de sous-marins, le personnel se trouve réduit et plus polyvalent (donc moins spécialiste). Autrement dit, il n'y a pas en permanence un électrotechnicien confirmé au pupitre de la production et de la distribution de l'électricité. Or, jusqu'à présent, en dehors de cas bien précis, analysés, répertoriés, l'action à mener dépend de la logique et de l'expérience de l'opérateur.

Les deux rôles d'un système de reconfiguration pour l'aide à la conduite du système électrique apparaissent donc clairement :

- préparer des informations adéquates en attendant l'arrivée d'un opérateur,
- aider l'opérateur dans les cas les plus complexes, proposer des solutions et justifier les choix effectués.

Avec ces deux objectifs, SYRACUSE est une aide efficace à la reconfiguration du réseau électrique suite à un incident.

Vu l'aspect combinatoire et la taille du problème, SYRACUSE utilise la méthode du «formalisme de contrainte».

Exemple de contrainte :

Une BB - batterie bâbord- ne doit pas être en liaison avec une BT -batterie tribord-.

Cette contrainte, dans le langage SE, se traduit par :

pour BB, BT vérifier pas de liaison entre BB et BT  
si faux alors déconnecter BB, BT.

Plus généralement, une contrainte s'exprime sous la forme :

pour  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ,  
vérifier fonction (  $X_1, X_2, \dots, X_n$  )  
si faux, alors action correctrice (  $X_1, X_2, \dots, X_n$  ).

Chaque contrainte non vérifiée permet, à partir d'une configuration donnée du réseau, de générer autant de configurations induites par les actions correctives associées à la contrainte. Toutes ces nouvelles configurations conduisent progressivement à rétablir la distribution électrique.

## 4. l'Intelligence Artificielle

### définition et but

Les SE font partie du vaste domaine de l'I.A.. Il n'est pas facile de cerner cette activité en constante évolution et même de définir exactement l'I.A.. Cette appellation, fortement controversée parce que prétentieuse, se justifie pourtant en remontant aux origines de l'I.A.. En effet, l'objectif des premiers chercheurs était réellement de concevoir des «machines intelligentes», capables d'imiter l'homme dans ses tâches intellectuelles les plus complexes.

Ayant compris très vite les limites de ces ambitions leurs successeurs, sans revenir sur le vocable, ont poursuivi les travaux en s'orientant aujourd'hui vers la recherche de nouvelles techniques informatiques (en soft ou hard) en programmation ou en matériel) telles que les SE, les langages objets ou les machines LISP dédiées à la programmation symbolique. L'I.A. est finalement une branche de l'informatique dont le but est de réaliser des systèmes intégrant un grand nombre de connaissances et de

traitements. Dans tous les secteurs d'activité les techniques de l'I.A. tendent à élargir le champ d'action des ordinateurs en leur donnant la possibilité de voir, entendre, raisonner, parler, agir ...

**L'intelligence** est le propre de l'homme. Elle lui permet :

- de réagir à diverses situations même s'il les rencontre pour la première fois ;
- d'innover ;
- de créer.

**Artificielle** se dit d'une action qui relève d'un artifice ; ce qui est artificiel n'est pas inné, mais fabriqué de toutes pièces, généralement dans un but précis.

**Intelligence Artificielle** signifie simulation des comportements humains. Dans son contexte informatique, c'est réagir comme l'homme alors que la solution algorithmique n'est pas connue, n'existe pas.

Aussi le but de l'I.A. est de faire en sorte que l'ordinateur, résidant par exemple dans un robot, se comporte

comme l'homme c'est à dire :

■ capte des informations, avec l'équivalent de tout ou partie de nos cinq sens ;

■ soit capable de raisonner et de s'adapter à une situation nouvelle ;

■ soit capable d'agir ou de communiquer en conséquence.

Le robot d'aujourd'hui utilise l'informatique classique, le plus souvent un automate programmable. Il est programmé de manière séquentielle pour accomplir un travail, une série d'actions répétitives.

Le robot du futur devrait, grâce aux techniques de l'I.A., pouvoir faire face à des situations imprévues, c'est-à-dire avoir une capacité de jugement au moins égale à celle d'un ouvrier spécialisé, (cf. fig. 18).

Les systèmes experts se rapprochent des comportements intelligents puisqu'ils peuvent, grâce au moteur d'inférence, générer des faits nouveaux. Par ailleurs, ils sont conçus pour être évolutifs.

Les SE constituent la grande majorité des activités de l'I.A.

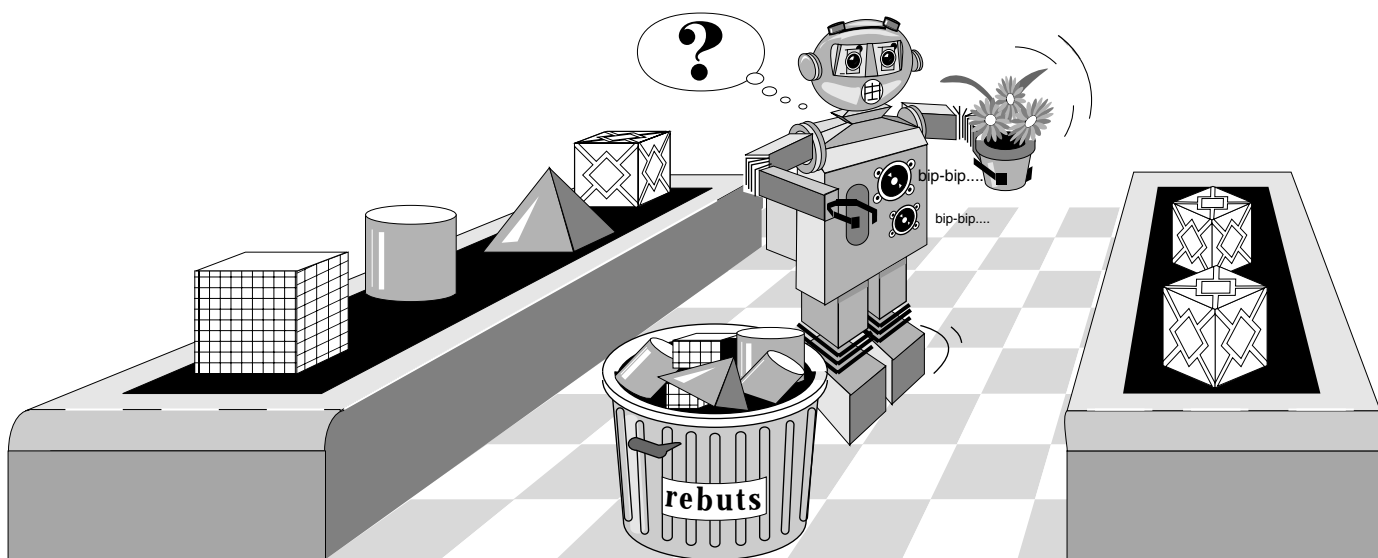


fig. 18 : reconnaissance de formes, de couleurs, de positions, mais aussi action en fonction de situations imprévues, voilà un cas d'application de l'intelligence artificielle.

## domaines et techniques de L'Intelligence Artificielle

Même si la définition donnée ci-dessus présente l'I.A. sous un aspect informatique, son champ d'investigation reste vaste. Pour mémoire cette restriction élimine les sciences cognitives (psychologie, épistémologie, philosophie, linguistique, neurosciences ...) qui peuvent permettre de trouver des modèles de mécanisme de raisonnement.

La recherche de techniques informatiques permettant de «reproduire» un comportement humain s'effectue dans de nombreux domaines. Nous présentons ci-après les principaux domaines, soft et hard, dans lesquels l'I.A. progresse en montrant rapidement les difficultés et en citant les techniques de résolution associées.

Le premier type de problème auquel est confronté un robot humanoïde est celui de la saisie d'informations pertinentes relatives à son environnement. La vue et l'ouïe ne nous semblent pas nécessiter des raisonnements complexes et pourtant leurs modélisations informatiques sont complexes.

### Perception, vision

Pour que le robot puisse voir et entendre, il doit être équipé de capteurs de toutes sortes : caméra CCD, capteurs ultra-sons, rayons X, infrarouges qui fournissent des signaux numériques. On obtient alors des données de bas niveau, par exemple une matrice de pixels (points) pour les images. De ces données il est possible d'extraire des courbes, des contours, des segments ... grâce à des algorithmes de traitement d'images ou de reconnaissance des formes.

La problématique de l'I.A. est alors d'analyser la scène «vue» pour pouvoir la décrire sous une forme concise, exemple : le transtockeur numéro un pose ou a pris une pièce dans le stock central.

Il faut donc identifier, localiser des objets et décrire la scène. Comprendre une image nécessite des connaissances sur :

- les représentations possibles des objets perceptibles. Celles-ci peuvent être réduites pour les objets permanents de l'environnement (marquage spécifique).

Par contre pour les autres il faut posséder un grand nombre d'informations ;

- les relations entre les objets, leurs positions possibles. Ici par exemple la pièce est sur le plateau du transtockeur ;
- la situation possible qui peut permettre de déduire que le transtockeur va poser la pièce dans le stock ou l'a prise ;
- ce qui va caractériser la scène, on ne parle pas ici du sol ou du plafond de l'usine ...

Le processus de segmentation d'images est très sensible aux conditions de prise de vue. Il s'agit en effet d'extraire les contours des différents objets de la scène afin de les identifier. Or tout segment de droite extrait ne correspond pas à une partie de contour d'objet, il peut être associé à une variation d'éclairage, à une ombre, à un reflet, à un changement d'état de surface ... Il faut donc se servir des connaissances de plus haut niveau pour remettre partiellement en cause cette segmentation.

En vision on a donc plusieurs niveaux de représentation et plusieurs bases de connaissances qui coopèrent pour l'interprétation de la scène. Les techniques couramment utilisées sont les langages objets ou leurs frères les langages de frames pour modéliser les connaissances et les techniques de coopération de plusieurs expertises. La perception de l'environnement n'est qu'une partie du problème. Il faut aussi savoir communiquer pour acquérir d'autres informations. Le dialogue entre la machine et l'homme nécessite la maîtrise du langage humain par l'ordinateur.

### Communication

Le dialogue entre la machine et l'homme nécessite la maîtrise du langage humain par l'ordinateur.

- le langage naturel

Les langages humains sont des langages extrêmement difficiles, il ne suffit pas de connaître le dictionnaire et la grammaire du langage pour pouvoir le comprendre. Et pourtant ce langage appelé naturel par les informaticiens ne l'est pas du tout, il est appris (les enfants sauvages ne parlent pas) quelquefois avec difficulté. La grammaire du langage est très compliquée et nécessite une modélisation à l'aide d'un outil

grammatical évolué : les ATN (Augmented Transition Network). Ce langage est particularisé par chacun de nous, chaque groupe adapte la racine commune du langage pour ses besoins propres.

Les personnes qui comprennent la phrase suivante sont-elles nombreuses?

«La sphère, unité d'un espace de Banach, est faiblement compacte»

Illustrons un peu les difficultés informatiques rencontrées.

Imaginons que l'on fournisse à un ordinateur des informations sous forme de langage naturel et que l'on interroge ce dernier sur les connaissances acquises. Les exemples qui suivent sont inspirés par [Schank 85] et par [Bonnemay 82].

☐ données : François a acheté une voiture.

☐ interrogation : François a-t-il dépensé de l'argent ?

Aucune référence à la notion d'argent n'existe pourtant dans les données mais l'action d'achat est usuellement associée à un échange d'argent. Pour résoudre ce problème informatiquement les deux concepts achat ➡ argent seront reliés par un lien de dépendance conceptuelle.

Pour des phrases du type : «la paix a été achetée au prix du sang», Il est nécessaire de prévoir tous les sens possibles des mots et de valider les associations par rapport au contexte. Quelquefois les ambiguïtés peuvent être très difficiles à lever :

«L'astronome s'est épris d'une étoile». D'autres déductions nous sont également naturelles :

☐ données : «François va au restaurant, il commande un sandwich ; comme il a été servi rapidement, il laisse un large pourboire»

☐ déduction : François a mangé le sandwich et l'a payé.

La connaissance utilisée est la séquence implicite des actions qui ont lieu lors d'un repas au restaurant. Si une action n'est pas évoquée (manger) et qu'une des suivantes (laisser un pourboire) l'est on peut conclure à la réalisation de la première. On résout donc cette difficulté en décrivant les situations connues sous forme de scripts (séquence précédente). Pour les situations nouvelles on dispose de connaissances plus générales.

Elles sont modélisées en associant des intentions aux personnages et des explications aux actions. Cette représentation, sous forme de plans, permet de comprendre les exemples suivants :

François avait faim, Il prit le guide Michelin.

François avait besoin d'argent, Il téléphona à sa sœur.

La compréhension du langage naturel par la machine nécessite un grand nombre de connaissances et n'est réalisable que dans un domaine précis avec un vocabulaire bien défini (Exemple texte technique parlant de l'électricité).

#### ■ traduction automatique

Les ambiguïtés que nous avons relevées précédemment vont cette fois être présentes dans les deux langues. Exemple d'ambiguïté : « les fils du chirurgien sont blancs ».

Même si les résultats obtenus aujourd'hui dans le domaine de la traduction automatique sont prometteurs, il existe des limites inhérentes à la traduction. Il y a perte d'information dans toute traduction; pour s'en convaincre il suffit de traduire un texte dans une autre langue et faire l'opération inverse, le retraduire dans sa langue d'origine. De plus certaines locutions sont réputées intraduisibles : Exemple : «Le fond de l'air est frais»

#### ■ parole

Pour communiquer les hommes parlent à l'aide d'un langage. Nous gagnons encore en complexité ; il faut maintenant être capable en plus de décoder le signal émis pour reconstituer les éléments du langage utilisés. Comme le signal vocal est très variable et multiforme, les sons élémentaires ou phonèmes sont très dépendants de ceux qui les entourent. Malgré tout la reconnaissance mono-locuteur de mots isolés est aujourd'hui bien maîtrisée (algorithme global de reconnaissance des formes).

Le passage à la compréhension de la parole continue multi-locuteurs constitue un saut technique. Pour s'en convaincre il suffit d'écouter la phrase suivante :

«un jeune sot, transportant dans un seau le sceau du roi, trébuché et l'étroit sceau tombe».

Pour interpréter le signal vocal associé, il faut utiliser de multiples sources de connaissances (acoustique, phonétique)

et, comme pour le langage naturel, des propriétés lexicales, syntaxiques et sémantiques. De nouveau, comme pour la vision, le problème majeur réside dans la coopération des processus bas niveau de segmentation et haut niveau d'interprétation. La segmentation ne permet pas une séparation exacte du signal en phonèmes, syllabes et mot. Grâce aux connaissances sur le langage on peut remettre en cause des parties de la segmentation. Pour une meilleure compréhension des difficultés rencontrées dans les domaines de la vision et de la parole, se référer à [Haton 85].

#### Génération d'actions

Pour remplir les tâches qui lui sont assignées le robot doit disposer de moyens d'actions :

- déplacement ;
- manipulation de pièces ;
- utilisation d'outils d'usinage, soudage, vissage.

Ces tâches sont simples et ne nécessitent pas beaucoup d'«intelligence» si le monde dans lequel se meut le robot est déterministe, c'est à dire connu à l'avance et sûr.

Dans un univers incertain (obstacles imprévus par exemple) tout se complique. Il n'est pas possible de décrire le travail du robot sous la forme d'une série figée d'actions réalisables, il lui faut, dans les cas difficiles, être capable de s'adapter ou de rechercher des séquences en fonction de l'état de son environnement (générations de plans d'actions ).

De manière plus générale, une fois connues les données sur lesquelles il doit raisonner, le robot doit résoudre des problèmes : comment agir et/ou évoluer?

#### Acquérir, modéliser, manipuler la connaissance

La principale difficulté lors de la réalisation d'un système expert est le recueil de connaissance. Cette étape critique du développement requiert une démarche souvent longue et fastidieuse auprès des experts du domaine.

Elle est d'autant plus délicate que, dans un SE, la connaissance est amenée à évoluer et doit donc être lisible et modifiable aisément par un informaticien voire par l'expert lui-même.

Elle s'effectue généralement en trois phases :

- acquisition, extraction de la connaissance auprès des experts ;
- modélisation, structuration de la connaissance extraite ;
- informatisation , constitution de la Base de Connaissance.

Aujourd'hui, un certain nombre de méthodes pour recueillir et modéliser la connaissance commencent à «s'industrialiser».

Elles constituent un guide pour le cognitif dans ses démarches auprès de l'expert. Elles proposent souvent diverses techniques (linguistiques, par exemple) pour aider à modéliser et structurer la connaissance extraite. Celle-ci doit ensuite être «informatisée». Il s'agit là de trouver un formalisme de représentation informatique afin de constituer la Base de Connaissance du Système Expert.

En général les méthodes proposées s'arrêtent après la phase d'informatisation. Elles prennent rarement en compte :

- la validation de la Base de Connaissance, qui doit être prise en compte dès le début de la réalisation ;
- la maintenance du SE, pour laquelle l'expérience fait défaut.

## 5. perspectives d'avenir

Le nombre des applications de l'I.A.

croît très vite, notamment :

- les réseaux de neurones ;
- les logiques de raisonnement ;
- le raisonnement temporel.

### réseaux de neurones

Les réseaux de neurones (cf. fig. 19), à l'image de la structure du cerveau humain, sont composés de processeurs élémentaires (les neurones) reliés entre eux par des connexions (les synapses). L'état dans lequel se trouve un neurone ou une synapse est représenté par un mot ou un réel. L'ensemble du réseau est relié à un organe externe (caméra, capteur) qui envoie un stimuli, lequel modifie l'état d'un neurone. Tout changement d'état d'un neurone engendre l'envoi de signaux à d'autres neurones par l'intermédiaire des synapses.

Au même stimuli le réseau de neurones répond toujours la même chose. Par contre, et c'est le principal intérêt, le réseau a la capacité de fournir une réponse adéquate lorsque le problème diffère légèrement.

La structure d'un réseau peut être de différents types. Les neurones sont souvent organisés en «couches» dont la première constitue les entrées et la dernière les sorties. Chaque neurone n'est connecté qu'aux neurones de la couche suivante.

Les progrès concernant les réseaux neuronaux se font au niveau :

- des logiciels (nouvelles techniques d'apprentissage, découpage du réseau global en plusieurs sous-réseaux spécialisés ...)
- des matériels (réseaux implémentés physiquement sur des circuits ou simulés sur des machines massivement parallèles).

La réalisation d'un système d'I.A. fait appel à des techniques avancées de l'informatique, comme celles que nous venons de citer. Mais l'I.A. puise également ses sources dans d'autres disciplines :

- la psychologie cognitive pour la représentation des connaissances et du raisonnement ;

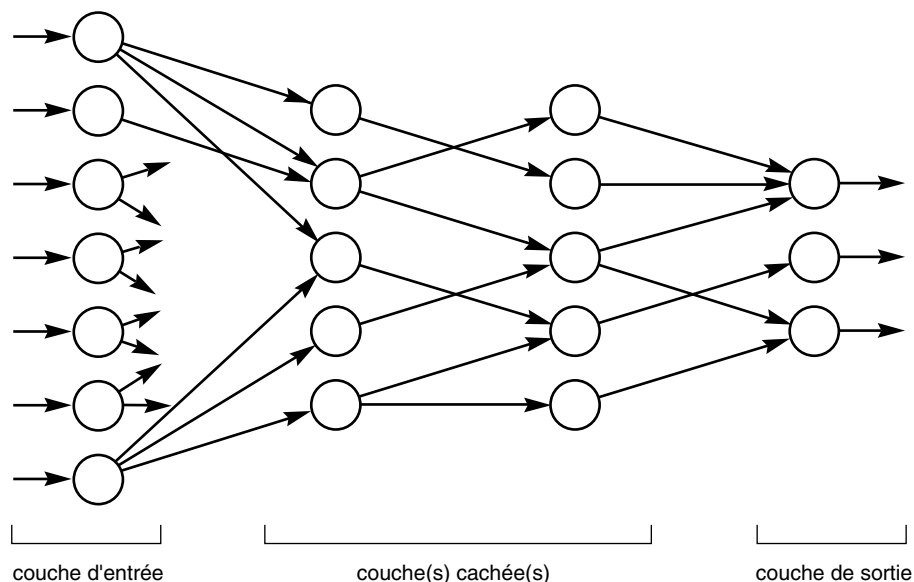


fig. 19 : réseau de neurones multicouches.

- la linguistique pour le traitement du langage naturel écrit et parlé ;
- l'ergonomie, la philosophie, les neurosciences et peut-être un jour la biologie.

### logiques de raisonnement

La prise en compte de connaissances imprécises («le réservoir est presque vide») ou incertaines («il va peut-être pleuvoir») semble être prometteuse pour l'avenir. Actuellement, le traitement de ce type de connaissances se fait sous forme de coefficients numériques : probabilités, coefficients de vraisemblance ... , mais il ne résout pas tous les problèmes soulevés par le «raisonnement approximatif».

La «logique floue» est intéressante pour les SE, souvent amenés à raisonner sur des bases de connaissances incomplètes ou peu fiables. Cette nouvelle théorie permet d'effectuer des calculs sur des grandeurs imprécises ainsi que sur des «notions incertaines».

Plus généralement, le «traitement symbolique», et non plus numérique,

permettra aux SE de demain de raisonner sur l'incertitude et de prendre en compte des situations complexes. Pour cela, les recherches s'orientent vers l'étude de différentes logiques (flou, TMS, ATMS) dont la mise en œuvre s'avère encore assez délicate.

### raisonnement temporel

Le raisonnement temporel intervient dans les systèmes associés à des phénomènes évolutifs dans le temps : surveillance, commande et contrôle de procédés industriels, traitement d'alarmes, aide à la décision ... Ici, le temps de réponse est une contrainte que le SE doit prendre en compte pour moduler son raisonnement en fonction du temps dont il dispose.

Actuellement, les applications concrètes sont rares car la réalité est complexe. La prise en compte du temps nécessite une modélisation des événements suffisante pour comprendre les relations de causalité et de coordination entre ces événements.

### **en conclusion ...**

L'avènement de l'Intelligence «électronique» est annoncé presque chaque année depuis 1946, date de la construction du premier ordinateur. Il convient donc d'être prudent ..

Il n'en demeure pas moins que le nombre de «logiciels» d'I.A. est dès à présent très important, et qu'il croît très vite.

Les sciences cognitives dans leur ensemble sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important et leur développement risque fort d'être la «révolution» des années 90.

