Pas Base.

SYSTEMES EXPERTS

Contribution à une réflexion sur le développement des Systèmes Experts au CIRAD

Octobre 1988

SYSTEMES EXPERTS

Contribution à une réflexion sur le développement des Systèmes Experts au CIRAD

Octobre 1988

JCB/AG
(Bergambini)

CONDITIONS DE REALISATION DU RAPPORT

Ce rapport est le résultat du travail d'un groupe de chercheurs qui comprenait les personnes suivantes :

BERGONZINI J.C. - Biométrie CTFT
BURILLON G. - Biométrie CTFT
FALLAVIER P. - Labo. Analyse des Sols GERDAT
FRANCILLON G. - Informatique et Biométrie DSA
GIRARDOT B. - Phyto. IRCT
JOLY A. - Biométrie IRCT
PERRIER X. - Biométrie IRFA
SOR J. - Informatique SCI GERDAT

De nombreuses personnes extérieures au CIRAD ont été sollicitées et ont livré leurs réflexions sur leur propre expérience :

Personnes contactées	Fonction	Interrogées par
D. BLANCARD	Phytopatho. INRA Montfavet	B. GIRARDOT A. JOLY
J.C. BUISSON	Labo IA/SE ENSEEIHT Toulouse	P. FALLAVIER J. SOR
DELHOTAL	Cogniticien INRA Versailles	J.C. BERGONZINI B. GIRARDOT
J.C. FAYET	Cogniticien INRA Theix	B. GIRARDOT
GANASCIA	Labo. Recherche Informatique ORSAY	J.C. BERGONZINI G. BURILLON
LAGACHERIE	Pédologue INRA Montpellier	B. GIRARDOT
MANAGO	Intellisoft ORSAY	J.C. BERGONZINI G. BURILLON
MILLIER	Chargé de mission Inform. INRA	J.C. BERGONZINI
P. RENAUD	Chargé de mission Inform. ORSTOM	J.C. BERGONZINI G. BURILLON
M. RELLIER	Labo. I.A. de Toulouse	X. PERRIER J.L. SARAH

.../...

Des chercheurs du CIRAD ont pu s'exprimer sur leurs projets en participant à des réunions ou à des discussions restreintes :

ARNAUD (IRAT) - BARON (IRAT) - BAUDIN (IRAT/MIDEC) - BONNOT (IRHO) - CHEZE (CEEMAT) - CILAS (IRCC) - CRUZ (CEEMAT) - FOUCHER (Info. GERDAT) - GRARD (Malherbologie GERDAT) - LACOEUILHE (IRFA) - LEFORT (DSA) - MARIAU (IRHO) - RAYMOND (IRCT/MESRU) - RENARD (IRHO) - SABADIE (IRAT) - SADA-TAILLY (DSA) - SARAH (IRFA) - TOURTE (C/DG) - VIDAL (IRCA).

Sans doute n'avons nous pas rencontré toutes les personnes intéressées par l'avenir des S.E. au sein du CIRAD et n'avons nous pas fait une étude exhaustive et sans reproche du problème qu'on nous demandait d'aborder, néanmoins, nous espérons que ces premières et modestes réflexions serviront à préciser nos actions et nos engagements futurs.

o

o o

AVANT-PROPOS

Nous allons, dans le texte qui suit, parler d'Intelligence Artificielle (I.A.) ou, comme l'on dit plus modestement aujourd'hui, d'Informatique avancée et plus particulièrement de Système Expert (S.E.).

Ces domaines recouvrent un ensemble d'outils très hétéroclites qui constituent plus une spécialité qu'une science. Ainsi l'I.A. comprend-elle des techniques aussi diverses que :

. la reconnaissance de l'écriture

. la reconnaissance de la parole

. la reconnaissance des formes

. les robots

. les systèmes experts (S.E.).

Ces S.E. eux-mêmes sont de natures très différentes suivant la catégorie de problèmes qu'ils cherchent à résoudre :

- l'interprétation (des données, de la parole...)
- le diagnostic (l'identification)
- le contrôle et le monitoring (diagnostic en temps réel)
- la prévision
- la planification (ordonnance d'une séquence d'actions)
- la conception (C.A.O.).

Notre propos et nos réflexions portent essentiellement, et de façon plus ou moins explicite, sur les S.E. destinés au diagnostic, ce qui ne signifie pas que ceux-ci constituent les seuls développements possibles au sein du CIRAD, mais plutôt les plus faciles à entreprendre à cette heure.

o

o o

- Qu'est-ce qu'un Système Expert ?
- Un aperçu sur le développement des Systèmes Experts
- Quels Systèmes Experts ? Comment ? Pourquoi ?
- Les Systèmes Experts au CIRAD

Qu'est-ce qu'un SYSTEME EXPERT ?

(Dans ce texte, on s'intéresse essentiellement aux Systèmes Experts ayant pour vocation d'effectuer du diagnostic)

Même si nous devons rentrer parfois dans le détail pour être compris, notre objectif n'est pas de faire un cours sur les Systèmes Experts (S.E.). On se propose seulement de décrire, en allant à l'essentiel, ce qu'est un S.E., de montrer l'originalité du produit et de cerner au mieux les compétences nécessaires pour son élaboration.

Plaçons nous dans la situation d'un utilisateur, face à son écran d'ordinateur, interrogeant le S.E. dans l'espoir d'obtenir un diagnostic.

Exemple : Un médecin cherche à préciser son diagnostic ; il décrit les symptômes observés sur son client et répond aux questions que lui pose l'ordinateur :

le S.E. : *"Y a-t-il une notion d'hépatite dans les antécédents ?"*

le médecin : *"Oui"*

le S.E. : *"Il y a combien de temps ?"*

le médecin : *"Il y a trois mois"* ...

Exemple : Un pharmacien cherche à identifier un champignon ; il décrit la forme du chapeau, du pied,...

le S.E. : *"Quelle est la couleur du chapeau ?"*

le pharmacien : *"blanchâtre"*

le S.E. : *"Les bords du chapeau sont-ils plus clairs ?"*

le pharmacien : *"Non"* ...

Que se passe-t-il ? Simulant le comportement d'un expert humain, le S.E. pose des questions, oriente le dialogue en fonction des réponses précédemment obtenues, avec pour objectif d'aboutir à une identification du phénomène étudié.

Pour l'utilisateur, le S.E. se présente comme un **programme informatique** avec lequel il **dialogue**, qui se comporte avec **intelligence** et qui possède une large base de **connaissances**.

.../...

Précisons chacun de ces points :

Qu'un S.E. soit un **programme informatique**, la chose est évidente ; par contre, ce qui l'est moins et que nous allons tenter de montrer plus loin, c'est qu'il s'agit d'un outil tout à fait original et particulier.

Nous reviendrons, insuffisamment hélas, car cet aspect est trop souvent négligé, sur la capacité du programme à **dialoguer** avec l'utilisateur ; disons dans l'immédiat que, si l'on connaît dans d'autres domaines des programmes "interactifs" avec lesquels on communique par le biais de "questions - réponses", dans le cas des S.E. cette qualité est très développée.

Intelligent, le terme est irritant mais il fait référence au domaine mère des S.E., celui de l'intelligence artificielle ; ce que l'on cherche à sous-entendre, c'est que, pour parvenir au diagnostic, le système manipule de la **connaissance** de façon judicieuse (et non systématique). Pour éclairer tout de suite ce point, prenons l'exemple du jeu d'échec.

Exemple : Face à une situation donnée, comment va-t-on programmer le prochain coup qui doit être joué par l'ordinateur ?

- On peut tenter d'étudier tous les coups possibles et leurs conséquences. On explore toutes les situations en pariant sur les capacités de mémorisation et la rapidité de l'ordinateur... C'est le fiasco...

- On se limite à l'étude de quelques coups ; c'est en gros ce que l'on fait à l'heure actuelle... Les champions sont tranquilles, ils ne se sentent pas trop menacés.

- Une autre voie sera celle des S.E. Il faudra alors que l'ordinateur puisse se comporter comme un joueur, savoir aller à l'essentiel, comprendre la stratégie de l'adversaire et être à même d'adapter la sienne à la situation. Il lui faudra non seulement connaître la règle du jeu mais en avoir une véritable **connaissance**.

A. LA CONNAISSANCE

Classiquement, l'informatique est présentée comme le traitement automatique de l'information. D'où vient ce besoin d'introduire cette notion de connaissance ? S'agit-il vraiment du support d'un nouveau progrès ? d'une évolution ? Quelle différence faut-il entendre entre information et connaissance ?

Dans le contexte qui nous concerne, les spécialistes considèrent l'information comme une "donnée passive" que l'on peut trier, organiser, gérer, tandis que la connaissance est une "donnée active" qui, par le jeu de la confrontation et de l'association, engendre de nouvelles connaissances. A ce titre, une banque de données contient de l'information, un S.E. gère de la connaissance.

.../...

"On ne dira jamais de quelqu'un qu'il connaît un sujet s'il n'est capable de répondre qu'à une liste prédéfinie de questions. La vraie connaissance suppose donc l'utilisation à bon escient des informations dont on dispose..."

Hervé GALLAIRE
"La représentation des connaissances"

On comprend donc assez aisément sur quoi porte la différentiation, par contre, ce qui va être plus difficile à saisir, ce sont les conséquences techniques, du point de vue informatique, de cette approche. Car, pratiquement, il va nous falloir représenter et gérer ces connaissances dans l'ordinateur.

La première difficulté, c'est qu'on sait peu de choses sur la connaissance ; le concept du savoir n'a pas fait, en tant que tel, l'objet d'études très poussées de la part de nos philosophes, nos épistémologues et nos scientifiques. La structuration de la connaissance n'ayant pas été réalisée, on peut seulement constater que toutes les connaissances ne sont pas de même nature.

<u>Exemple</u> :

C_1 - "Le pédalier est un élément du vélo"

C'est une connaissance de structure. ($a \in A$)

C_2 - "Le vélo est un moyen de transport terrestre"

C'est une connaissance qui sous-entend une classification (terrestre, aquatique, aérien...)

C_3 - "Un nombre pair est un multiple de 2"

C'est une définition.

C_4 - "V = RI"

Règle numérique.

C_5 - "Si le moteur cale et si l'allumage est normal, suspecter le carburateur"

Règle d'expert.

C_6 - "Si le patient est un enfant, envisager les maladies infantiles en priorité"

Règle qui porte sur le maniement d'autres règles (celles qui sont liées aux maladies infantiles).

On peut aussi remarquer que la nature d'une connaissance peut dépendre du contexte (la différentiation entre C_1 et C_2 est sans doute fonction de la façon dont on aborde le problème), que certaines connaissances sont évolutives :

"Monsieur MARTIN est député"

.../...

d'autres imprécises..., certaines générales (méthode de résolution d'un système d'équations linéaires), d'autres particulières..., que certaines décrivent l'univers sur lequel on travaille (C_1 / C_2 / C_3), que d'autres permettent d'agir sur les objets de cet univers (C_3 / C_4) et qu'il existe des connaissances sur la façon d'utiliser la connaissance (C_6), on parle alors de métarègles.

La connaissance apparaît donc comme très diversifiée, et à cette diversité vont être associés de multiples problèmes de représentation et de gestion.

Soyons vulgairement didactiques :

> *Si nous n'avons à gérer qu'un ensemble de boulons, nous pouvons les mettre dans des boîtes avec des numéros et, a priori, on ne rencontrera pas trop de problèmes pour administrer notre collection. Si l'on est face à la totalité des pièces vendues dans une quincaillerie, la chose devient plus difficile mais classiquement réalisée. Par contre, si l'on est confronté à une multitude de pièces disparates avec pour objectif de construire différents objets suivant la demande (différents diagnostics suivant les cas), la méthode à utiliser est loin d'être évidente.*

Enfin, au delà de la diversité des connaissances manipulées, c'est la nature même de l'information sur laquelle on travaille qui va nous poser les plus graves problèmes. Pour illustrer cette dernière remarque, replaçons nous dans le cadre de l'informatique classique. Celle-ci travaille essentiellement sur des connaissances du type C_1 , C_2 , C_3 , C_4 et plus modestement C_5 . Suivant le type d'application (scientifique / gestion...), certaines de ces connaissances sont privilégiées, c'est-à-dire plus fréquemment usitées et, pour donner plus d'aisance aux programmeurs, des langages spécialisés (c'est-à-dire orientés vers des domaines particuliers) ont été développés. Ainsi, il est connu que les gestionnaires préfèrent travailler en COBOL, les scientifiques en FORTRAN...

En ce qui concerne les S.E., on utilise essentiellement des règles du type C_5 et C_6 .

Si ... A ..... alors ... B .....

Si (*prémisses*) alors (*conclusions*)

et pour manier ces connaissances, il a fallu développer les langages particuliers (LISP : *inventé par John McCARTHY (1959) au MIT* / PROLOG : *conçu (1973) par Alain COLMERAUER (Marseille)* / ...).

De surcroît, les règles que nous venons d'évoquer ne peuvent être gérées par la logique classique ; à titre d'exemple, la règle

Si ... A ..... alors ... B .....

.../...

n'entraîne pas

Si ... non B ..... alors ... non A .....

(d'ailleurs, non B n'est peut-être pas défini !). Il s'en suit que toute l'architecture traditionnelle des programmes, où l'on pouvait indiquer sans ambiguïté pas à pas à la machine ce qu'elle devait faire, se trouve remise en question. Les langages ont changé et les méthodes d'analyses se sont transformées. Un analyste - programmeur d'un S.E. ne programme pas et n'analyse pas comme son confrère, informaticien de l'informatique traditionnelle. Enfin, pour couronner notre tentative de mettre en évidence le caractère original de cette nouvelle branche de l'informatique, ajoutons que notre informaticien a toutes les chances de travailler demain sur des machines spécialisées, très différentes des ordinateurs contemporains. Il s'agit des ordinateurs de la 5ème génération.

> Autrement dit, les systèmes experts ne sont pas de simples programmes d'ordinateur, au sens habituel du terme. Pour réaliser un programme traditionnel, les informaticiens élaborent une méthode de résolution – un *algorithme* – décrivant pas à pas une manière figée de traiter les données pour aboutir à un certain résultat ; on parle alors de programmation *impérative* pour qualifier les programmes mettant en œuvre ces algorithmes. Dans un système expert, au contraire, les connaissances sont exprimées en tant que telles, dans une *base de connaissances*, sous une forme qui ne fait pas, en principe, d'hypothèse sur la manière de les employer. On dit qu'elles sont représentées sous une forme *déclarative*.
>
> Hervé GALLAIRE

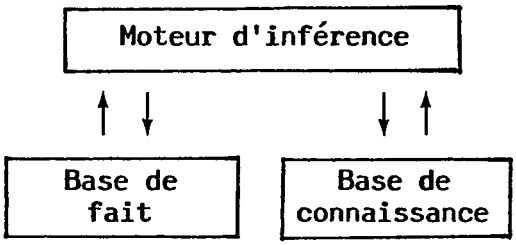
B. STRUCTURE D'UN S.E.

B1. La partie centrale du S.E.

Un système expert informatique simule le comportement d'un expert. Pour mieux en comprendre le fonctionnement, nous allons en modéliser l'organisation.

Classiquement, on considère que la partie centrale du S.E. comporte trois éléments :

1. la base de connaissance
2. la base de fait
3. le moteur d'inférence



La **base de connaissance** est constituée de l'ensemble des règles utilisées par l'expert ; certaines sont indiscutables, d'autres de nature heuristique et même intuitive.

La **base de fait** est la connaissance issue de l'observation du cas particulier considéré ; elle est nourrie des informations fournies par l'utilisateur, enrichies des résultats de leur traitement. Il s'agit en quelque sorte de la mémoire de travail de l'expert.

Le **moteur d'inférence** est l'organe qui met en oeuvre la connaissance, c'est lui qui, à tout moment, déclanche les règles contenues dans la base de connaissance à la lumière des résultats déjà acquis. Il simule l'intelligence..., de là à l'espérer universel...

Plus précisément, pour éclairer ce dernier point, si la base de connaissance et la base de fait sont spécifiques du domaine étudié, pour ce qui est du moteur d'inférence, les choses sont moins claires.

Dans l'absolu, on peut envisager un outil de déduction universel ; dans la pratique, il est bien rare qu'un moteur mis au point pour une application puisse être utilisé sans modification pour une autre. L'importance de cette remarque tient dans les deux points suivants :

a) - sur le marché on trouve des moteurs d'inférence dont le prix varie entre 3.000 et 100.000 F., suivant leur complexité ;

b) - d'un point de vue purement informatique, l'écriture d'un moteur d'inférence constitue la partie la plus complexe et la plus spécifique du travail.

<u>Moteur d'inférence</u>

La puissance d'un moteur d'inférence est fonction (entre autres...)

- du nombre de règles qu'il peut manipuler,
- de sa capacité à gérer l'incertain. Dans ce cas, les règles du type

  si ... A ..... alors ... B .....

  sont affectées d'un coefficient de vraisemblance, "sorte de probabilités" dont l'évaluation et le maniement restent, hélas, approximatifs ;
- de sa capacité à effectuer du chaînage avant et du chaînage arrière (aller des prémisses vers les conclusions ou remonter des conclusions vers les prémisses possibles... prêcher le faux pour savoir le vrai en quelque sorte !) ;
- de sa capacité à gérer des règles portant sur des variables et non uniquement sur des objets (A et B ne sont plus des objets particuliers mais des variables pouvant prendre pour valeur des objets ou même d'autres règles.

.../...

Conclusion :

En pratique, suivant la spécificité et la complexité du problème abordé, l'on peut être conduit, soit à faire l'acquisition d'un moteur qui se révèle parfaitement adapté à la situation (mais une telle conjoncture est rare), soit remodeler un moteur existant, soit écrire son propre programme d'inférence. En aucun cas il ne faut que ce choix soit dicté par des raisons de facilité, mais il est impératif qu'il soit guidé par une étude préliminaire suffisamment poussée.

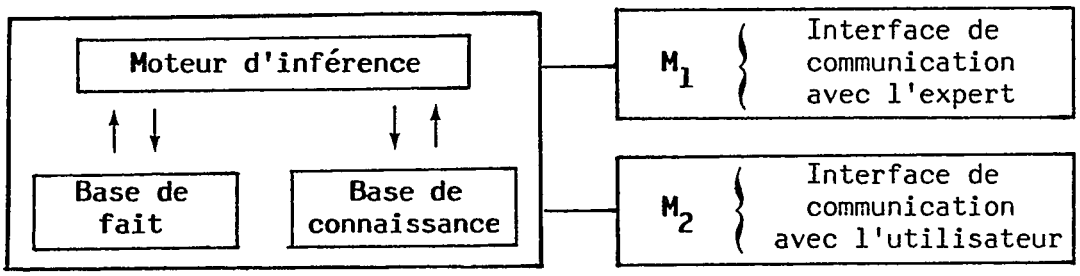
B2. L'environnement du S.E.

Revenons sur le schéma 1 : Pour construire et faire fonctionner un S.E., il faut deux interlocuteurs :

- un expert, lequel va définir le contenu de la base de connaissance et le niveau du moteur d'inférence,
- un utilisateur dont l'apport va plutôt se situer sur la méthode de constitution de la base de fait.

Il va donc être nécessaire de construire deux interfaces :

- un module M_1 d'aide à l'acquisition des connaissances,
- un module M_2 permettant que s'élabore le dialogue entre le S.E. et l'utilisateur.



.../...

a) Le module M_1 :

La collaboration d'un expert humain est essentielle. Remarquons qu'a priori elle n'est pas évidente. On pourrait penser pouvoir extraire des livres, des publications, de quoi constituer la base de connaissance puis, ayant un moteur d'inférence universel, pouvoir la faire fonctionner. En pratique, sauf cas très particulier, il n'en est rien. L'expert, c'est le vécu de la connaissance, mais encore faut-il parvenir à en obtenir le témoignage. Le problème est d'amener l'expert à s'expliquer, à dire :

- Voici ce que je sais,

- Voici comment je procède.

L'opération n'est pas aisée car l'expert humain n'a pas toujours conscience de son savoir. Pour y parvenir, il faut que s'établisse un dialogue avec l'ordinateur par l'intermédiaire d'un spécialiste maître de l'outil informatique, mais possédant suffisamment de qualités pour faire "accoucher" l'expert de son savoir. Pour effectuer ce transfert, certains ont formé de véritables spécialistes : les cogniticiens.

UN NOUVEAU MÉTIER

Si les systèmes experts doivent se développer, il sera nécessaire de former des spécialistes du transfert d'expertise. Le rôle de ces experts de l'expertise sera de faire « accoucher » les spécialistes de leur savoir-faire. Nouvelle maïeutique ou nouvelle psychanalyse ? Un nouveau métier est en train de naître, celui d'ingénieur de la connaissance. L'ingénieur de la connaissance est non seulement un homme de la technique, connaissant l'informatique et l'intelligence artificielle, mais c'est aussi un homme spécialisé dans la psyché de la connaissance, sachant traquer, identifier, nommer et expliciter les différents actes du savoir.

La recherche

Hors de cet aspect "humain" du transfert, il est nécessaire de posséder des programmes qui permettent d'intervenir constamment (pour la construction et la maintenance) sur la base de connaissance.

.../...

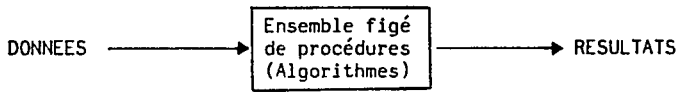
b) Le module M_2

Sans lecteur, à quoi bon les livres ? Sans utilisateur, à quoi bon des S.E. ? Cela va sans dire... et pourtant ! Combien de livres qui ne sont pas lus (sinon illisibles !) et combien de programmes qui dorment au plus profond des ordinateurs ?

Généralement, l'expert a des clients, le S.E. est là pour élargir le champ de la clientèle et pour suppléer à l'expert. L'interface avec l'utilisateur est essentielle et sa mise au point nécessite des compétences, tant en informatique qu'en communication.

La comparaison entre les deux approches, informatique traditionnelle et intelligence artificielle, peut être grossièrement résumée par le schéma suivant :

- Informatique classique ("boîte noire")

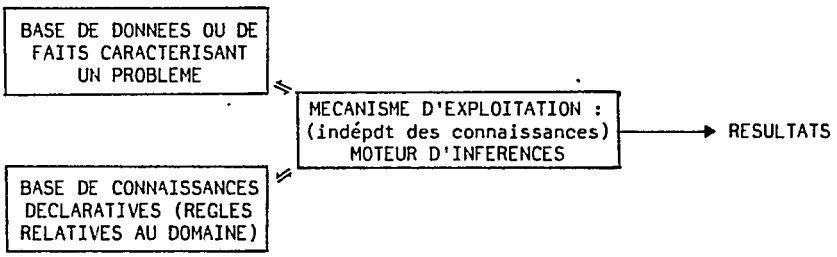


Les données sont traitées par un algorithme, c'est-à-dire un ensemble figé de procédures (le programme).

Ce type de programme n'est efficace que si toutes les données existent et qu'elles sont quantifiables. Le fait que l'une d'entre elles manque suffira pour bloquer le fonctionnement de l'algorithme.

Toute modification dans la connaissance du domaine nécessite une modification de l'algorithme de résolution qui sera généralement difficile à réaliser.

- Intelligence artificielle



Les procédures d'exploitation des connaissances et les connaissances elles-mêmes sont totalement indépendantes.

Les données nécessaires à la résolution du problème sont acquises au fur et à mesure de son évolution.

Les modifications dans la connaissance du domaine ne vont engendrer que des modifications de la base de connaissances.

Extrait A.T.P. 31/89

o

o o

Un aperçu sur le développement des SYSTEMES EXPERTS

Faire le point sur l'état actuel des développements en matière de S.E. dépasse largement le cadre de ce rapport ; nous nous sommes donc limité à un exposé très général tout en cherchant à mettre en évidence la diversité de ce secteur, la rapidité de son évolution et les politiques suivies par nos partenaires français (en particulier par l'INRA).

A. Quelques généralités sur le marché des S.E.

Beaucoup de projets, de nombreuses maquettes, quelques réalisations et un faible nombre d'applications opérationnelles. Actuellement, l'offre est supérieure à la demande. Mais le marché évolue très vite et est en nette progression, ainsi l'on estime qu'il devrait croître d'environ 30 à 40 % en 1988. (Pour 1989, les prévisions sont de 40 à 50 %).

> Un des paradoxes de la mise en œuvre de l'Intelligence Artificielle est le faible ratio applications opérationnelles applications expérimentales.
> Environ une vingtaine d'applications opérationnelles sont actuellement (juin 1984) recensées dans le monde contre environ un millier de « maquettes » à différents stades d'évolution. (Ces chiffres sont à prendre en tant qu'ordre de grandeur).
>
> AFCET - T. MAROIS, CAP SOGETI

Le tableau ci-dessous résume l'état du marché en 1988 (unités : millions de dollars US).

	Conseils et Contrats	Formation	Moteurs d'inférence	Version Utilisateur	Machines de développement et d'exploitation	Total
France	34	3,5	13	5	49	101
Allemagne	23	5,8	23	5,8	62	118
Italie	6	0,8	3	0,8	10,5	21
Roy.-Uni	24	3,6	22	5,4	54	110
EUROPE	87	14	60	17	176	354
ETATS-UNIS	146	27	167	40	473	853
Total	233	41	227	57	649	1.207

Origine : OVUM, Exp. Syst. Markets and Suppliers - Sept. 88

.../...

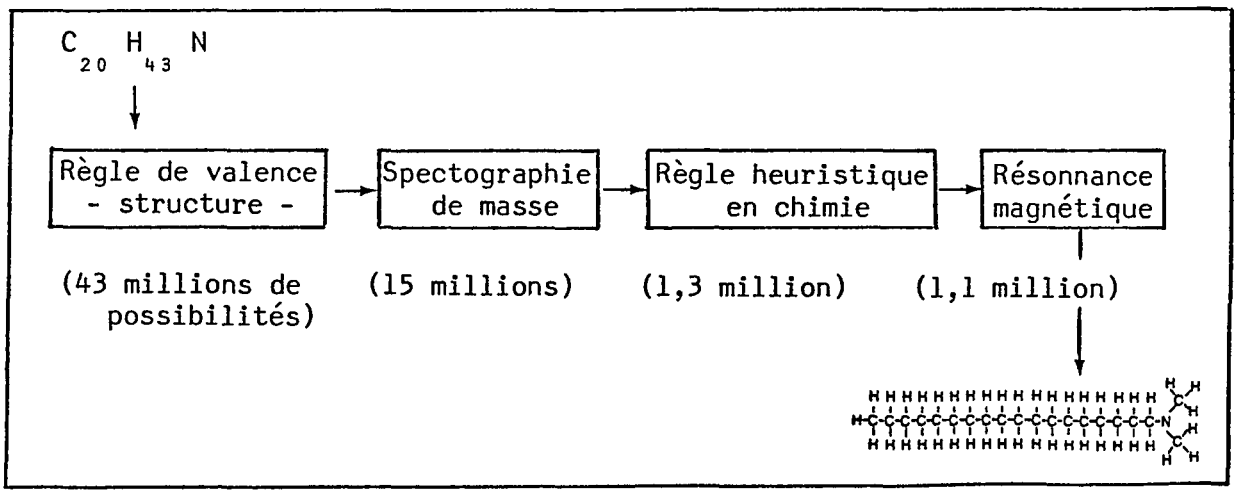
Conscientes de l'importance de l'enjeu, les puissances industrielles ont lancé de larges programmes d'incitations dans le domaine de l'intelligence artificielle. C'est, tout d'abord, le MITI japonais (Ministère de l'industrie et du commerce extérieur) qui, dès 1981, lance son projet de construction, pour le début des années 1990, des ordinateurs de la cinquième génération, suivi des Etats-Unis avec le fameux DARDA (Guerre des Etoiles) et les Européens, regroupés autour du programme ESPRIT (la Grande Bretagne menant, avec le projet ALVEY, un itinéraire parallèle et partiellement indépendant (?)).

> Pour atteindre les puissances considérables exigées par les applications civiles et militaires de l'intelligence artificielle envisagées aux États-Unis, au Japon et en Europe, il faudra, pense-t-on, abandonner le schéma de principe sur lequel reposent les machines actuelles. Celles-ci effectuent leur travail en réalisant une multitude d'opérations élémentaires l'une après l'autre, *séquentiellement*, dit-on. Pour augmenter la somme de travail accomplie par unité de temps, on ne compte pas seulement sur la mise au point de composants électroniques de plus en plus rapides, on veut aussi réaliser des machines *parallèles*, accomplissant de nombreuses opérations en même temps.
>
> LA RECHERCHE

Parmi tous ces investissements, voilà donc beaucoup de millions de dollars prêts à tomber dans les escarcelles des réalisateurs de S.E. mais, hors de ce rêve prometteur, cela ne représente jamais, à ce jour, que quelques pour-cent du marché de l'informatique (3 à 4 % ?).

B. Quelques S.E. célèbres et les autres

Le premier d'entre eux (début des années 70), DENDRAL, avait pour objet de déterminer la structure d'une molécule organique en partant de la formule et en intégrant quatre types de connaissances (la formule, des considérations de topologie, des connaissances de fragmentation moléculaire et le spectre de résonnance magnétique).



Le second S.E., et sans doute le plus célèbre de tous, **MYCIN** (1976), était un logiciel d'aide au diagnostic dans le domaine des infections bactériennes. Son moteur d'inférence, repris ensuite dans de nombreuses applications, est à l'origine des S.E. développés aujourd'hui par l'INRA.

Mycin : Mes recommandations thérapeutiques seront basées sur les infections probables et les organismes infectieux potentiels suivants :
L'organisme peut être : 1° *pseudomonas aeruginosa*, 2° *klebsiella pneumoniae*, 3° *escherichia coli*, 4° *bacteroides fragilis*, 5° *enterobacter*, 6° *proteus non mirabilis*.
Voulez-vous me donner la gravité de la maladie de M. Fred Smith sur une échelle croissante de 0 à 4 ?
Utilisateur : 3.
Mycin : M. Fred Smith présente-t-il des réactions allergiques à un quelconque agent antimicrobien ?
Utilisateur : Non.
Mycin : Quel est son poids en kilos ?
Utilisateur : 70.
Mycin : Ma recommandation thérapeutique sera, en premier choix :
pour couvrir les points < 1 2 3 5 6 >, prescrire de la Gentamicine, dose 119 mg 98 h IV, pendant 10 jours ;
pour couvrir le point 4, prescrire de la Clindamycine, dose 595 mg 96 h IV, pendant 14 jours.
Désirez-vous éventuellement éliminer certains médicaments ?
Utilisateur : oui, la Clindamycine.
Mycin : pour couvrir < 2 3 4 5 6 >, donner du Chloramphénicol, dose : 1 g 96 h IV, pendant 14 jours ; surveiller le taux de globules blancs du patient.
Pour couvrir le point 1 donner de la Gentamicine, dose 119 mg 98 h IV, pendant 10 jours ; modifier la dose en cas de faiblesse rénale.

LA RECHERCHE

Citons encore **PROSPECTOR**, spécialisé dans la prospection minière, qui se tailla un joli succès en découvrant en 1979 un dépôt de minerai de Porplyry molybdenum, avec toutes les précisions et les explications souhaitées, et enfin **TOM**, le premier S.E. en pathologie végétale proposé par l'INRA et qui devrait être à l'origine d'un programme ambitieux sur lequel nous reviendrons.

Les premières applications du principe d'intelligence artificielle laissent envisager une transformation des conditions même d'accès aux innombrables connaissances qui seront nécessaires aux producteurs : il sera sans doute alors plus facile et plus fiable d'interroger un ordinateur qu'un conseiller, pour certains diagnostics.

J.C. TIREL,
Directeur Scientifique de l'INRA

La Chimie, la Médecine, la Géologie, l'Agronomie, d'autres réussites en Informatique (mise au point de circuits imprimés, télémaintenance), en Gestion, en Economie et bien sûr en Défense ; et l'on doit reconnaître que le champ d'application qui s'offre au S.E. semble quasi inépuisable. Le tableau ci-joint, établi par la revue SCIENCES & TECHNIQUES en Mai 1984, peut donner une idée de la diversité des projets et des réalisations les plus connues à cette date. Aujourd'hui, le succès des deux derniers colloques français d'AVIGNON (Mai 88) et de CAEN (Sept. 88), consacrés à l'Intelligence Artificielle, vient conforter ce premier constat.

.../...

systèmes experts et leurs domaines d'application

Domaine	Nom du système expert	Origine	Pays	Niveau de développement	Remarques
MÉDECINE	Antibody Analysis Advisor	université de Linköping	Suède	D	
	Abel	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	USA	DA	diagnostic et analyse statistique de maladies
	Al-CoAG		Japon	D	troubles hémostatiques
	Artificial Doctor		USA	D	psychothérapie
	Attending	Yale University	USA	DA	aide à l'anesthésie
	CAA	University of Toronto	Canada	D	analyse d'électrocardiogrammes
	Caduceus	University of Pittsburg	USA	T	diagnostic pour 500 maladies, 80 % de la médecine interne
	Casnet	Rutgers University	USA	D	diagnostic et thérapie du glaucome
	Dermac	Pitié-Salpêtrière	F	D	diagnostic des maladies vénériennes et du cancer de la peau
	Digitalis Therapy Advisor	MIT	USA	DA	traitement à la digitaline
	Esdat	Wien Universität	Autriche	D	soins médicaux
	Galen	University of Minnesota	USA	D	diagnostic des maladies cardiaques congénitales chez l'enfant
	Headmed	Standford Research Institute (SRI)	USA	D	psychopharmacologie
	KMS	University of Maryland	USA	D	construction de systèmes experts en diagnostic médical
	MECS-AI	Tokyo University	Japon	D	maladies cardio-vasculaires
	Medas	University of Southern California	USA	D	aide à la décision dans un service d'urgence
	Medicomp	Medicomp of Virginia Inc.	USA	C	diagnostic
	MDM	Beijing Institute of Automation	Chine populaire	D	diagnostic
	Mycin	SRI	USA	O	diagnostic des maladies du sang
	Oncocyn	SRI	USA	DA	traitement du cancer par chimiothérapie
	PIP	MIT	USA	DA	diagnostic
	Protis	Faculté de médecine de Marseille	F	DA	thérapie du diabète
	Radex	Rutgers University	USA	D	radiologie
	RX	SRI	USA	D	analyse statistique des maladies chroniques
	Sam	Pitié-Salpêtrière	F	D	traitement du cancer du larynx
	Sphinx	faculté de médecine de Marseille	F	DA	diagnostic des ictères
	Ventilation Monitor	SRI	USA	D	aide aux soins en réanimation
GÉNÉTIQUE	Genesis	Intelligenetics	USA	C	clonage de gènes, analyse et synthèses de chaînes d'ADN
	Spex	SRI	USA	DA	planification d'expériences
CHIMIE	Conphyde	Carnegie-Mellon University	USA	D	génie chimique
	Dendral	SRI	USA	O	détermination de la structure de composés organiques par interprétation de spectres
	Darc-Epios	Itodys-Université de ParisVII	F	D	élucidation de structures de composés organiques
	Darc-Synopsys	Itodys-Université de Paris VII	F	D	synthèse de composés organiques
	Diahim		URSS	D	synthèse chimique
	Heatex	Carnegie-Mellon University	USA	D	génie chimique : optimisation des échanges thermiques
	Lhasa	Harvard University	USA	D	synthèse chimique

Domaine	Nom du système expert	Origine	Pays	Niveau de développement	Remarques
	SMP	Inference Corp	USA	C	manipulation de formules mathématiques
STATISTIQUE	Rex	Bell Laboratories	USA	D	analyse de regression linéaire
	Stat Power	General Electric	USA	DA	détermination de tailles d'échantillons en statistiques
CONFIGURATION D'ORDINATEURS	Dragon	ICL	GB	DA	configuration de systèmes
	Questware	Dynaquest		C	aide au choix de micro-ordinateurs et de progiciels pour l'aide à la décision
	Spec	Bull	F	DA	configuration de systèmes
	Xcon	DEC	USA	O	configuration de systèmes
	Xsel	DEC	USA	O	configuration de systèmes
GÉNIE LOGICIEL	Ada Tutor	Computer Thought	USA	C	formation à la programmation en ADA
	Programmer's Apprentice	MIT	USA	D	programmation automatique
	Proust	Yale University	USA	D	recherche d'erreurs non syntaxiques dans des programmes écrits en Pascal
	PSI	Kestrel Institute	USA	D	programmation d'applications spécifiées à l'aide d'un dialogue en langage naturel
	Spora		URSS	D	synthèse de programmes
CONVERSION DE PROTOCOLES	Intelligent Agents	SRI	USA	D	système multi-expert pour l'accès à un ensemble d'ordinateurs hétérogène
CAO (conception assistée par ordinateur)	Carter	École normale supérieure de l'enseignement technique (ENSET)	F	D	CAO de carters de moteurs
	DAA	Carnegie-Mellon University	USA	D	CAO de circuits intégrés VLSI
	KBVLSI	SRI et Xerox	USA	D	CAO de circuits intégrés
	Mecho	University of Edimburg	GB	DA	CAO mécanique
	Plex	Bell Laboratories	USA	D	conception de microprocesseurs
	Quasi Optimiser	Arizona State University	USA	D	CAO de circuits logiques, recherche de stratégies optimales
	Sacon	SRI	USA	DA	ingénieur conseil en mécanique (conception de structures)
	Serdi	ENSET	F	D	saisie automatique de dessins industriels et vérification
	SYN	MIT	USA	D	synthèse de circuits analogiques
	Talib	Carnegie-Mellon University	USA	D	implantation de circuits intégrés
	Verify	Fairchild Laboratories of IA	USA	D	preuve de la correction d'un circuit numérique
GPAO (gestion de production assistée par ordinateur)	Gari	Institut d'informatique et de maths appliquées Grenoble (IMAG)	F	DA	conception de gammes d'usinage
	IMS	Carnegie-Mellon University	USA	D	gestion de production
	Isis-2	Carnegie-Mellon University	USA	D	gestion d'ateliers
	P-TRANS	Carnegie-Mellon University et DEC	USA	D	aide à la gestion de production
PLANIFICATION	Callisto	Carnegie-Mellon University et DEC	USA	DA	gestion de projets
	OP-Planner	Rand Corp.	USA	D	planification

C. Les acteurs économiques

L'Université et les Instituts de recherche sont les grands pourvoyeurs de S.E., soit directement, soit au travers de sociétés spécialisées. Mais, ce qui est plus étonnant pour un domaine qui reste aujourd'hui porteur de bien des incertitudes quant à son avenir, c'est de voir que le relais a été pris très rapidement par les entreprises privées. C'est évidemment vrai aux Etats-Unis, mais c'est aussi vrai en France et ce fait mérite d'être relevé. Citons SCHLUMBERGER et ELF AQUITAINE dans la recherche pétrolière, le CREDIT LYONNAIS pour les banques, BULL et DIGITAL EQUIPMENT en informatique, les Sociétés MARCEL DASSAULT et MATRA, RENAULT et, bien évidemment, toutes les sociétés de service informatique comme la CISI et CAP SOGETI.

> Avec Schlumberger, Elf-Aquitaine est l'un des groupes les plus avancés en France dans l'utilisation de systèmes experts industriels. Depuis 1981, il a pris une participation de 16,5 % dans le capital de Teknowledge et poursuit par ailleurs ses propres activités dans ce domaine. Chez Elf, trois objectifs justifient le développement des systèmes experts : exploitation optimale des informations pour faciliter la recherche de nouveaux gisements ; recueil et transmission du savoir spécialisé ; amélioration de l'ergonomie des machines par le recours au calcul symbolique.
>
> Des axes stratégiques ont ainsi été définis. Des équipes composées d'un ingénieur et d'un cogniticien ont été constituées pour faciliter le travail de recueil des connaissances des experts. Elf-Aquitaine compte aujourd'hui huit cogniticiens, un effectif qui sera doublé d'ici deux à trois ans.
>
> SCIENCES & TECHNIQUES - Mai 1984

D. Nos partenaires français

- L'INRA

Dans le domaine des systèmes experts en pathologie végétale (S.E.P.V.), l'expérience de l'INRA est sans doute sans équivalence et justifie que l'on s'attarde sur son déroulement. Globalement, tout a pris corps en 1984 avec la réalisation du prototype TOM (SEPV de la TOMATE), développé avec la collaboration de la société COGNITECH, chargée de fournir l'appui informatique. Cette première approche, bien que très controversée a mis en évidence la faisabilité d'un tel projet et, en 1985, la Direction Générale de l'INRA a défini un programme qui devait conduire à la réalisation en 1988 de 16 SEPV que l'INRA présente comme opérationnels et dont la liste est la suivante :

- Plantes de grande culture (blé, maïs, betterave, tournesol, pomme de terre)
- Cultures maraîchères (tomate, melon)
- Cultures florales (oeillet, pélargonium)
- Vigne

.../...

- Arboriculture fruitière (pêcher, pommier, poirier)
- Conservation des fruits et légumes (pomme de terre, pomme et poire).

Chacun de ces systèmes permet de diagnostiquer, aux différents stades de la plante, l'ensemble des affections qui peuvent se manifester (maladies parasitaires / problèmes physiologiques), mais ne propose pas de traitement.

Les étapes du programme SEPV ont été les suivantes :

. 1985 : Huit chercheurs INRA (d'origine plutôt biologique qu'informatique) sont formés par la société COGNITECH à l'informatique de l'intelligence artificielle (4 mois). Ce sont les cogniticiens de l'INRA et, à l'origine, chacun devait prendre en charge la réalisation de 3 SEPV.

. 1986/87 : Recueil d'expertises et développement de prototypes. Validation scientifique auprès de différents experts n'ayant pas participé à la construction des S.E.

. 1987/88 : Adaptation des outils et validation progressive sur le terrain.

. 1988 : Diffusion (sur réseau Minitel).

Autres projets :

Des études de faisabilité sont en cours en Pathologie Animale
Différents projets sont à l'étude en Economie et Sociologie Rurale.
Des collaborations avec MADISON sont établies afin d'évaluer l'adaptabilité des SEPV INRA aux USA.

Depuis Janvier 1988, un Laboratoire d'Intelligence Artificielle Appliquée à l'Agronomie (I3A) a été mis en place à Toulouse.

.../...

INRA
Institut National de la Recherche Agronomique

LES SYSTEMES-EXPERTS EN PATHOLOGIE VEGETALE

Qu'est-ce qu'un S.E. (Système-Expert) ?

L'I.A. (l'Intelligence artificielle) est une discipline informatique qui utilise la vitesse et la mémoire considérables des ordinateurs pour simuler le raisonnement humain.
Ses champs d'action sont nombreux et relèvent pour la plupart de la recherche informatique : compréhension du langage naturel, reconnaissance des formes visuelles et sonores, apprentissage ... et *systèmes-experts*.
Les systèmes-experts occupent une place priviligiée, car :
* leurs outils de développement sont disponibles sur le marché, pour tout type d'ordinateurs.
* leur domaine d'application est varié.
Les systèmes-experts sont particulièrement adaptés pour résoudre des problèmes de diagnostic de panne, de diagnostic de maladies (humaines, animales, végétales), de prospection (minières, pétrolières), d'aide à la décision, etc.
Tout système-expert s'articule autour :
* d'une base de connaissence, "reflet" de l'expertise et de la connaissance des experts humains, souvent exprimée sous forme de règles (exemple : si tel signe, alors telle maladie) ;
* d'un moteur d'inférence, logiciel qui prend en compte les réponses de l'utilisateur et la base de connaissance pour "raisonner" et parvenir à une conclusion.

Quel est l'enjeu ?

Maîtriser de novelles techniques (I.A., S.E.) et développer de nouveaux outils de recherche.

Utiliser l'expérience acquise pour développer d'autres S.E. dans d'autres domaines de recherche de l'INRA : productions végétales, productions animales, économie, systèmes agraires ...

"Capitaliser" la connaissance de certains experts humains et permettre de construire une expertise objective, mémorisée, tendant à être complète, et évolutive.

Optimiser l'accès à cette connaissance en la rendant disponible auprès du plus grand nombre d'intéressés, et participer ainsi au transfert des connaissances de la Recherche vers les professionnels et l'Enseignement Agricole.

Développer la pédagogie autour du diagnostic, et ce avant tout traitement : apprendre à observer, à décrire les faits, etc.

Que fait l'INRA ?

Dans le domaine agricole, il n'existe actuellement aucun système-expert diffusé en France, et très peu à l'étranger.
Après le développement d'un premier système expert (TOM en 1984) sur le diagnostic des maladies de la tomate, l'INRA a lancé l'opérationS.E.P.V. (Systèmes-Experts en Pathologie Végétale). Les S.E. aujourd'hui développés et disponibles permettent de diagnostiquer les maladies sur :

* Les grandes cultures : - blé
  - maïs
  - betterave
  - tournesol
  - pomme de terre
* Les cultures maraîchères : - tomate
  - melon
* Les cultures horticoles : - oeillet
  - pelargonium
* La vigne
* L'arboriculture : - pêcher
  - pommier
  - poirier
* La conservation des fruits et légumes : - pomme
  - poire
  - pomme de terre

En général, tous les troubles et maladies sont diagnosticables : maladies parasitaires dûes à des champignons, des bactéries, des virus, des mycoplasmes, et maladies physiologiques, troubles nutritionnels, etc.

Qui les conçoit ?

La construction de chaque S.E. se fait en collaboration étroite entre un ou plusieurs experts en Pathologie Végétale et un cogniticien (informaticien spécialisé).
Puis viennent les phases essentielles :
* de validation scientifique (d'autres experts critiquent et complètent l'expertise) ;
* de validation technique (des utilisateurs : techniciens, conseillers, professionnels, expérimentent le S.E. et critiquent sa présentation, son vocabulaire, le déroulement des consultations ...)...
Ces deux étapes sont réalisées avec la participation du Ministère de l'Agriculture (Service de la Protection des Végétaux, G.R.I.S.P.), de la Recherche (C.N.R.S., Universités, ...) et des professionnels (Instituts Techniques, Chambres d'Agriculture, Coopératives, Industries, Groupements professionnels).

Comment les utiliser ?

Par un système de questions-réponses, l'utilisateur est guidé, tout au long de la consultation, pour décrire les symptômes observés. Le S.E. exploite chaque réponse et pose de nouvelles questions liées logiquement entre elles : une consultation peut représenter 15 à 30 questions et durer une dizaine de minutes.

En conclusion, le S.E. vous présente les résultats :

* Une ou plusieurs maladies, avec des degrés de certitude (diagnostic certain, probable ou prudent) en fonction des symptômes observés.

* Aucune maladie n'est trouvée : le S.E. est incomplet ou les symptômes décrits sont insuffisants, contradictoires!

Quelles sont les perspectives ?

La conclusion s'arrête au diagnostic de la maladie. Il n'y a pas de conseils de traitement ou de conduite de culture, mais sont prévues des liaisons avec des systèmes existants ou à créer sur ces différents points.

Les systèmes seront diffusés courant 88 par l'intermédiaire de serveurs télématiques agricoles.

Pour en savoir plus :

ANDRO (T.), BACHACOU (J.), DELHOTAL (P.), FAYET (J.C.), LE RENARD (J.), RELLIER (J.P.), THIOLON (C.), WAHL (V.) - S.E.P.V. : un ensemble de systèmes experts pour l'aide au diagnostic des maladies des plantes cultivées en France - 7èmes Journées Internationales sur les systèmes-experts et leurs applications, Avignon, 13-15 mai 1987, p.173-186.

DELHOTAL (P.) - Réalisation de Systèmes experts d'aide au diagnostic - ANPP, communication lors de la journée Modélisation et Protection des cultures, INA (Paris), septembre 1987.

THIOLON (C.), LE RENARD (J.) - Un nouvel outil pour diagnostiquer les maladies des plantes cultivées : les SEPV - BIT (à paraître).

DIRECTION DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION
147 rue de l'Université 75007 PARIS Tél. 42 75 90 00
Correspondant INRA Jouy-en-Josas - M. ROUMENGOU - 34 65 21 21

MP13-01 88

DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE INRA (JOUY-EN-JOSAS)

- l'ORSTOM

Une seule réalisation qui concerne la Télédétection. Elle s'est développée dans le cadre d'une collaboration entre les laboratoires LIA de l'ORSTOM de Bondy et LRI d'Orsay (PARIS XI). Il ne fait aucun doute que d'autres actions pourraient être entreprises mais les projets rencontrent des difficultés à s'exprimer faute de structure et de moyens, tant en matière d'informatique que biométrique. Une collaboration ORSTOM - CIRAD pourrait sans doute être envisagée. Elle est considérée favorablement par la Mission Informatique de l'ORSTOM et, dans la mesure où le CIRAD se dote d'un programme en Intelligence Artificielle, cette possibilité devrait être approfondie.

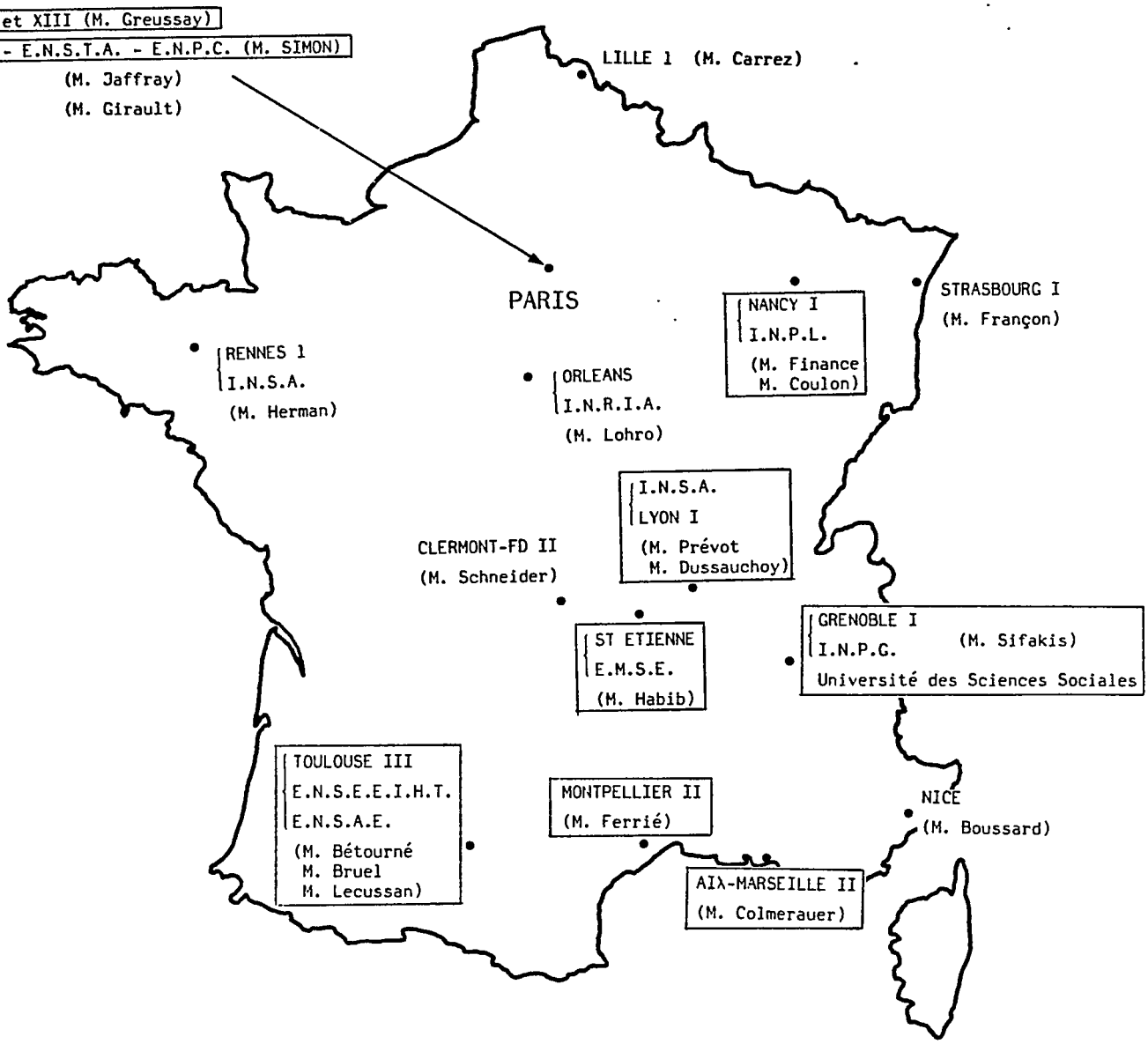
Système Expert : l'ORSTOM

Le Laboratoire d'Informatique Appliquée de l'ORSTOM a réalisé un travail original et intéressant en créant le S.E. CIME (cartographie intelligente en milieu montagnard). Ce travail a été mené en collaboration avec le CNRS et le Laboratoire de Recherche en Informatique de l'Université d'ORSAY. "Ce système constitue un mode d'emploi pour dresser une carte à partir des images de télédétection". L'intérêt de cette technique réside surtout dans le fait qu'elle permet de détailler le cheminement de la démarche utilisée et de justifier l'utilisation ou le rejet d'un traitement lors de la procédure.

- les UNIVERSITES

.../...

PARIS VI et XI (M. Pujolle - M. Gelembe)
PARIS XI (Mme Gaudel)
PARIS VI (M. Robinet)
PARIS IX (M. Checroun)
PARIS VII (MM. Cousineau, Nivat, Perrin)
PARIS VI et XIII (M. Greussay)
PARIS VI - E.N.S.T.A. - E.N.P.C. (M. SIMON)
PARIS VI (M. Jaffray)
PARIS VI (M. Girault)



Liste des Troisièmes Cycles Informatique avec le nom des responsables

(origine : Education Nationale - 1986)

- Sont encadrées les Universités affichant une spécificité Intelligence Artificielle, et plus particulièrement S.E. -

.../...

Les Universités proches des Centres CIRAD :

- AIX-MARSEILLE II (M. Colmerauer)

  L'Université d'AIX-MARSEILLE II a mis au point le langage PROLOG. Sa réputation dans le domaine des S.E. est mondiale.

- TOULOUSE III - E.N.S.E.I.H.T. - E.N.S.A.E.

  Soutenue par le CNRS et un contexte industriel favorable, l'Université de TOULOUSE est particulièrement compétente et performante. Notons que l'INRA a installé son Laboratoire I3A à Toulouse.

- MONTPELLIER II

  Plus modestement que ses voisines de MARSEILLE et de TOULOUSE, l'Université de MONTPELLIER affiche un programme de recherche en Intelligence Artificielle. Parallèlement, des travaux sont effectués par l'INRA et le CEMAGREF sur l'optimisation des fermentations alcooliques vinicoles et par l'INRA sur la modélisation des connaissances du pédologue.

- PARIS XI (Orsay) - PARIS VI et XIII - PARIS VI/E.N.S.T.A./E.N.P.C.

  Parmi les équipes travaillant dans les laboratoires associés à ces Universités, on trouve toute la gamme des compétences. PARIS XI et VI semblent plus orientées S.E.

Conclusion : Le CIRAD dispose, à MONTPELLIER et à PARIS d'un environnement favorable. Cela ne signifie pas que les collaborations soient faciles car les équipes les plus compétentes sont aussi les plus sollicitées.

o

o o

Quels SYSTEMES EXPERTS ? Comment ? Pourquoi ?

. QUELS SYSTEMES EXPERTS ?

Par cette question, nous cherchons seulement à savoir si tout domaine donnant lieu à expertise est susceptible d'être abordé par le biais d'un S.E.

En amont de cette question, on peut s'interroger sur la frontière qui sépare l'homme de la machine ; en aval, il devrait être possible de dégager quelques règles simples pour éviter les projets trop ambitieux et trop généraux et pour s'assurer un choix judicieux quant à la démarche suivie pour réaliser un S.E.

Bien que sujets de polémiques vives, sinon violentes, les réflexions de Hubert L. DREYFUS (Intelligence Artificielle - Mythes et limites) peuvent nous être utiles puisqu'elles nous invitent à rechercher les limites de l'approche S.E.

> Tant que le domaine en question peut être traité comme un jeu doté de ses propres règles, autrement dit tant que tout ce qui s'y rapporte est spécifié par avance, et que les facteurs susceptibles d'intervenir peuvent être définis selon des propositions primitives indépendantes du contexte, les ordinateurs sont parfaitement à leur aise. Et ils ne feront que gagner du terrain par rapport à ce dont les humains sont capables, au fur et à mesure que s'accroîtra la somme des connaissances spécialisées. Dans de tels programmes spécialisés, la représentation des connaissances peut se résumer à un ensemble de règles « situation → action », dans lesquelles la situation est définie par quelques paramètres et indique elle-même sous quelles conditions telle règle heuristique spécifique peut s'appliquer. Comme le bien-fondé de chaque application a été, rappelons-le, décidé par avance, le raisonnement peut procéder par inférence, sans jamais avoir à procéder par analogie.
>
> Toutes ces caractéristiques se retrouvent, de manière évidente, dans l'un des programmes utilitaires les plus impressionnants qui soient: le programme MYCIN de Shortcliff (1976), programme conçu pour le diagnostic des infections sanguines et celui des méningites, et qui fournit également le nom de la substance médicamenteuse à prescrire.
>
> H.L. DREYFUS

.../...

Le terrain favorable à une approche S.E. serait, d'après cet auteur, celui où s'exerce un savoir spécialisé, formalisé ou "potentiellement formalisable". Utilisant le langage de la linguistique, on dira que, dans ces situations avantageuses, le signifiant et le signifié sont intimement liés. En effet, le simple bon sens nous conduit à constater que l'informatique ne traite que des "signes" et qu'elle n'aborde pas le "sens". Pour qu'elle puisse le faire, il est nécessaire que le "sens" s'associe sans trop d'ambiguïté au "signe" ; d'où les échecs prévisibles des tentatives d'aborder par la voie des S.E. des domaines utilisant le raisonnement par analogie, l'intuition et les sujets où la pertinence des faits n'est pas clairement établie. Il en est ainsi chaque fois qu'il est nécessaire de faire appel à des connaissances issues de disciplines trop variées et où l'interprétation demande la maîtrise du contexte.

Sous cet éclairage, on comprend mieux les raisons de la réussite des S.E. en Médecine, puisqu'il s'agit de travailler au sein d'une seule science, bien formalisée, enseignée de surcroît, ce qui en renforce l'aspect structuré, et que les S.E. développés y sont très spécialisés. (diabète, infection du sang...).

Si ces réflexions cherchant à circonscrire et à limiter le champ d'application des S.E. ne font pas l'unanimité, il n'en demeure pas moins qu'elles doivent nous inciter, nous autres simples praticiens, à nous en tenir à une attitude prudente et à éviter les sujets par trop ambitieux.

CLASSIFICATION DES ACTIVITÉS INTELLIGENTES

1. Activité associationniste	2. Activité formelles simple	3. Activité formelles complexe	4. Activité informelle
Caractéristiques de l'activité considérée			
Signification et situation non pertinentes	Signification totalement explicite et situation indépendante	En principe, comme en 2, en pratique, sensible à la situation intérieure, insensible à la situation extérieure	Dépendante de la situation et de la signification, lesquelles ne sont pas explicites
Innée ou apprise par la répétition	Apprise au moyen de règles.	Apprise au moyen de règles et par la pratique.	Apprise par l'observation d'exemples types.
Champ de l'activité considérée (et procédure appropriée)			
Jeux de mémoire (associations)	Jeux calculables ou quasi calculables — morpion, «Mariénbad», etc. (algorithme de recherche ou dénombrement)	Jeux non calculables — échecs, jeu de go.. (combinent intuition globale et dénombrement local	Jeux sans règles définies — énigmes... (conjectures judicieuses)
Problèmes de labyrinthe (essais et erreurs)	Problèmes combinatoires (analyse fins/moyens non heuristique)	Problèmes combinatoires complexes (stratégie et calcul d'un labyrinthe)	Problèmes à structure ouverte (intuition)
Traduction mot à mot (dictionnaire automatique)	Démonstration de théorèmes à l'aide de procédures mécaniques (algorithme de recherche)	Démonstration de théorèmes sans procédure préexistante (intuition + calcul)	Traduction d'une langue naturelle (compréhension d'après contexte d'usage)
Réponse à un signal invariable (réflexe inné et conditionnement classique)	Reconnaissance de formes simples et fixes, ex: lecture d'une page imprimée (recherche de traits dont la combinaison définit l'appartenance à une classe)	Reconnaissance de formes complexes, en présence de bruit (recherche de régularités)	Reconnaissance de motifs variés et déformés (reconnaissance de l'appartenance à un genre ou appel à un paradigme)
Types de programmes			
Arbre de décision, recherche à l'aide d'une liste, comparaison à un gabarit...	Algorithme	Recherche heuristique avec élimination de certaines voies	Néant

.../...

H.L. DREYFUS

. COMMENT ?

A. Les acteurs

On a mis en évidence que la réalisation d'un S.E. nécessitait la réunion de différentes compétences. Ainsi seront sollicités :

- des experts
- un cogniticien
- un informaticien spécialiste en Intelligence Artificielle (I.A.)
- un informaticien "traditionnel"
- des utilisateurs.

Cette distribution est toute théorique et un même acteur peut y tenir plusieurs emplois. Nous allons, dans la suite de ce paragraphe, tenter de spécifier le rôle de chacun des intervenants et la façon dont peuvent s'articuler leurs interventions.

1) Les experts

L'expert est une personne qui connaît le domaine étudié, en a la pratique et l'expérience.

Lors de la réalisation d'un S.E., il est conseillé d'isoler un expert qui sera l'interlocuteur principal et jouera le rôle du maître. C'est autour de lui que sera construite la base de connaissance. Il sera **compétent** et **expérimenté**, et devra être **disponible** et **volontaire**.

En demandant qu'il soit **compétent** et **expérimenté**, l'on veut surtout préciser qu'il ne lui suffit pas d'avoir une connaissance théorique du sujet. A titre d'exemple, si l'on construit un S.E. sur le dépannage automobile, un bon garagiste sera sans doute plus apte à jouer le rôle de l'expert qu'un ingénieur. L'expert "maître" n'est pas celui qui en sait le plus d'un point de vue théorique, mais celui qui a la meilleure pratique.

En ajoutant qu'il doit être **disponible** et **volontaire**, on met l'accent sur le "décorticage" qu'il va subir. Il s'agit d'une épreuve dont on ne doit pas minimiser la difficulté. On va proposer à l'expert une sorte de "psychanalyse". Il va devoir s'expliquer, accepter que soient mises en évidence ses hésitations, ses erreurs, sa compétence, ses limites. C'est un gros effort, tant intellectuel que moral, et assez long de surcroît.

.../...

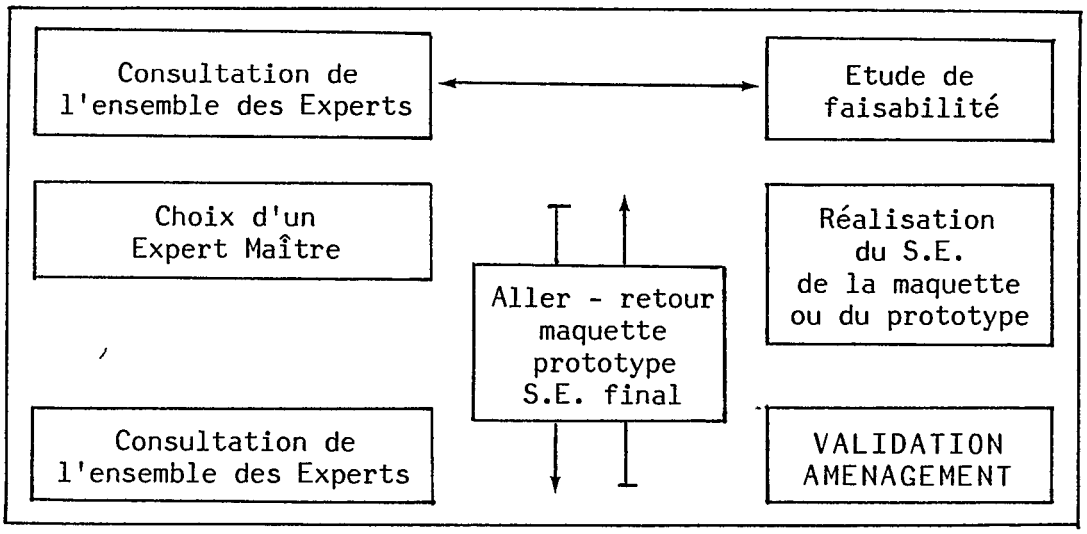
Les autres experts auront pour rôles de valider et de compléter le S.E. mais - et ce point n'est pas négligeable - leur consultation, comme préalable à toute entreprise, permettra de définir le champ des connaissances à investir.

Ils interviennent donc à deux moments : lors de l'étude de la faisabilité du S.E., puis alors que celui-ci est déjà en phase d'élaboration avancée. A ce moment, ils font une étude critique de l'outil proposé, disent s'ils sont d'accord avec les diagnostics et les démarches utilisées pour y aboutir, proposent des aménagements.

Dernier point : Il est sans doute dangereux de se lancer dans la réalisation d'un S.E.

a) si l'on ne dispose pas de ce pool de spécialistes aptes à valider le S.E.,

b) s'il n'y a pas de consensus entre experts sur la grande majorité des solutions proposées.



Rôle des Experts

2) Les utilisateurs

C'est à eux qu'est destiné le S.E. Ils doivent être bien caractérisés (nombre / niveau de formation / rôle / besoins...) car de leur définition dépendent la complexité des interfaces avec la base de fait, la structure de cette dernière et les conditions dans lesquelles s'effectuera la diffusion du logiciel. Ils sont donc intimement associés à la réussite du projet et à la forme du produit.

Faire un système sur la pathologie de la pomme de terre si l'on ignore quels seront les utilisateurs - agriculteurs ou conseillers agricoles ? - peut être une cause d'échec. Dans le même ordre d'idée, la réussite des S.E. en médecine n'est pas indépendante de la bonne caractérisation des usagers du S.E. - les généralistes - qui ont sur l'objet étudié un niveau de formation homogène. Enfin, on ne pourra pas traiter de façon semblable les deux situations suivantes :

. On a peu d'utilisateurs mais des utilisations fréquentes du S.E. par chacun d'eux.

. On a beaucoup d'utilisateurs mais chacun n'interroge qu'occasionnellement le S.E.

On pourrait multiplier les exemples qui illustrent combien le rôle des utilisateurs, souvent sous-estimé, doit être abordé avec vigilance et précision le plus rapidement possible.

.../...

	[Ca T]	[Ca]	[Mg T]	[Mg]	[Al T]	[Al]
31	1,95 10^{-4}	1,89 10^{-4}	7,76 10^{-5}	7,58 10^{-5}	1,66 10^{-5}	1,27 10^{-5}
32	6,3 –	6,05 –	1,26 10^{-4}	1,22 10^{-4}	2,34 –	1,80 10^{-5}
33	7,59 –	7,15 –	1,26 –	1,20	1,86 –	1,2 –
34	8,12 10^{-4}	7,74 –	1,02	0,98	1,38 –	0,83 10^{-4}
35	1,81 10^{-3}	1,64 ?	5,88 10^{-5}	5,44 ?	1. 10^{-6}	3,37 10^{-7}
36	4,26 10^{-4}	3,92 10^{-4}	3,71 10^{-5}	3,47 10^{-5}	1,82 10^{-5}	9,52 10^{-6}
37	4,46 10^{-4}	4,18 –	2,69 10^{-5}	2,55 –"	1,44 10^{-5}	6,85 10^{-6}
~~38~~	~~1,02 10^{-3}~~	~~1,68 10^{-3}~~	~~2,31 10^{-5}~~			
~~39~~	~~1,09 10^{-3}~~	~~1,02 10^{-3}~~	~~2,45 10^{-5}~~			
38 ?	1,95 10^{-3}	1,68 10^{-3}	6,45 10^{-5}	5,74 10^{-5}		
39	1,09	1,02	2,45 –	2,31 10^{-5}		
40	1,07 10^{-3}	9,45 10^{-4}	6,92 10^{-4}	6,36 10^{-4}	1,66 10^{-4}	
41	1,51 –	1,34 10^{-3}	6,76 10^{-4}	6,21	1,35 10^{-4}	
42	5,49	4,86 10^{-3}	4,07 10^{-4}	3,73	7,08 10^{-6}	
43	1,78	1,57 10^{-3}	6,60 10^{-4}	6,07	1,	
44	2,69 10^{-4}	2,29 10^{-4}	1,99 10^{-4}	1,75 10^{-4}		
45	5,62 10^{-4}	4,85 "	3,98	3,56		
46	9,55 –	8,20 "	5,37	4,79		
47	4,07 10^{-3}	3,53 10^{-3}	5,12	4,62		
48	3,8 10^{-3}	3,42 10^{-3}	1,62 10^{-4}	1,51 10^{-4}		
49	3,55	3,17 ,	3,98 10^{-4}	3,7 –		
50	3,71	3,32 ,	6,76	6,29 –		
51	1,99	1,72 ,	2,65 10^{-3}	2,43 10^{-3}		
52	1,35 10^{-3}	8,025 10^{-4}	3,89 10^{-3}	1,25 10^{-3}		
53	1,28 –	1,14 10^{-3}	1.35 10^{-3}	1,24		
54	1,41 10^{-3}	1,25	1,23 –	1,13		
55	1,12 –	1,00 10^{-3}	3,31 –	3,26		!
	1,13	4,02 –	1,12 00	1.00 10^{-3}		
	4,67	8.05 10^{-4}				
56	1.047 10^{-3}	1.62	4,90 10^{-4}	4,28 10^{-4}		
57	1,62 –	1,4 10^{-3}	9,55 10^{-4}	8,54 10^{-4}		
58	1,69 –	1,48 –	1,44 10^{-3}	1,31 10^{-3}		
59	6,91 10^{-4}	5,99 10^{-4}	2,75 10^{-3}	2,46 10^{-3}		

3) Le cogniticien

On a vu que, pour effectuer le transfert des connaissances de l'expert vers le S.E., on avait recours aux compétences d'un nouveau spécialiste : le COGNITICIEN (l'ingénieur de la connaissance), simultanément compétent en informatique (I.A.), en théorie de la connaissance et en technique de communication.
En pratique, on va lui demander d'être homme de dialogue et de savoir conduire les entretiens avec l'expert afin de formaliser au mieux les connaissances de ce dernier, l'important étant de cerner le vocabulaire, les hésitations, les retours en arrière, les associations, toutes les articulations de la démarche de l'expert qui, le plus souvent, "sait faire" mais "ne sait pas comment".

Pour mieux saisir l'originalité de la compétence du cogniticien, revenons sur la théorie de la connaissance où l'on distingue généralement trois niveaux : Un premier niveau "structurant" ou disons "syntaxique" qui va conduire à l'appréhension des mécanismes utilisés et qui, comme nous venons de le voir plus haut, va être déterminant dans l'étude de faisabilité. N'a-t-on pas affaire à un sujet trop complexe ? Un second niveau "conceptuel" ou "sémantique" où il s'agit d'isoler l'ensemble des concepts mis en oeuvre par l'expert, puis un troisième niveau "cognitif" qui est la réécriture, en fonction des deux niveaux précédents, des connaissances de l'expert et la recherche de la cohérence, le dépistage des redondances et des insuffisances.
La tâche du cogniticien est donc bien déterminée.

Ceci dit, et cette spécialité étant reconnue, la plupart des acteurs ayant participé à la réalisation des S.E. cherchant, ce qui est humainement compréhensible, à faire valoir leurs nouvelles compétences, on a sans doute exagéré le particularisme de cette fonction. Tout enseignement d'informatique I.A. devrait comporter un volet "théorie de la connaissance" et de nombreux biologistes peuvent se familiariser avec ce savoir. On se trouve devant la même situation qu'en Biométrie où les biométriciens ont des origines très différentes (mathématiciens / biologistes). D'ailleurs, l'extension des travaux sur les S.E. conduit à désacraliser le cogniticien. L'INRA n'a-t-il pas formé 8 cogniticiens en 4 mois de stage ?

La pénurie des cogniticiens...

Outre l'expert, indispensable pour son savoir, la constitution de la base de connaissances requiert un spécialiste, l'« ingénieur de la connaissance » ou « cogniticien », qui recueille la connaissance de l'expert et la met en forme pour l'introduire en machine. Cette tâche demande beaucoup de psychologie pour que l'expert se prête de bonne grâce à l'opération.

Elf-Aquitaine a adopté dans ce domaine une démarche intéressante. Selon Dominique Reyre, coordinateur des projets systèmes experts au sein du groupe pétrolier, « le processus est beaucoup plus facile lorsque l'expert se met à l'informatique. Dans le cas contraire, nous avons recours à des équipes comprenant deux cogniticiens : un architecte de systèmes experts et un homme de métier chargé de structurer la connaissance de l'expert et d'expliquer ce qu'il veut dire. » Ainsi, Elf reprend l'approche retenue lors de la conception de Dendral et de Mycin. Une méthode qui a sans doute fait ses preuves : Elf-Aquitaine développe à l'heure actuelle son troisième système expert, Secofor. Quant au second, Diapason, conçu pour l'optimisation des campagnes de prospection sismique en mer, il est aujourd'hui parfaitement opérationnel, même s'il est d'une envergure plus modeste.

Les cogniticiens demeurent rares, et donc chers. On en compte environ cinq cents dans le monde. Aux États-Unis, où ils sont moins de deux cents, leur salaire moyen atteint 70 000 dollars par an. Dans cette profession, une solide expérience est essentielle, puisque la formation des cogniticiens reste quasiment ignorée de la plupart des universités françaises ou américaines, le MIT et le SRI faisant exception. Quelques rares sociétés comblent partiellement ce vide, comme Teknowledge en Californie, ou la PME grenobloise Itmi, qui organise depuis cette année des cours à l'aide de son sytème expert Elodia.

SCIENCES & TECHNIQUES - Mai 1984

4) Les informaticiens

Un S.E. c'est, de toute évidence, un programme informatique. C'est même la réunion de plusieurs programmes, le plus souvent écrits dans des langages différents, relevant soit de l'I.A., soit de l'informatique "traditionnelle". Aussi est-il nécessaire de constituer une équipe spécialisée comprenant :

1. Un ingénieur informaticien I.A.

   En effet, il n'est pas réaliste de faire l'impasse sur ce point en prétextant que de nombreux moteurs d'inférence sont disponibles sur le marché. En face d'une application particulière que l'on désire mener à terme, les moteurs standards nécessitent des adaptations pouvant être conséquentes et, d'autre part, la gestion de l'ensemble du système et ses développements peuvent conduire à l'utilisation de langages particuliers (langages orientés objet) qui demandent de hautes compétences en informatique I.A.

> Une autre question est celle des « ateliers d'Intelligence Artificielle » (souvent vendus au prix fort) et qui intègrent des langages de représentation de connaissance (triplets objet attribut valeur, frames, etc.) et des moteurs inférentiels « prêts à consommer ».
>
> Le problème est que ces « packages » ne sont pas universels. Leur achat préalable à une solide analyse du problème peut représenter un risque.
>
> Enfin, les utiliser ne dispense pas d'avoir une compétence réelle en Intelligence Artificielle, qui n'est pas un vernis acquis en quelques semaines.
>
> Il existe en France d'excellentes formations universitaires de 3e cycle en Intelligence Artificielle.
>
> AFCET

2. Un informaticien "tradionnel" (technicien supérieur)

   Celui-ci aura pour vocation la mise au point des interfaces (S.E., expert) et (S.E., utilisateur).

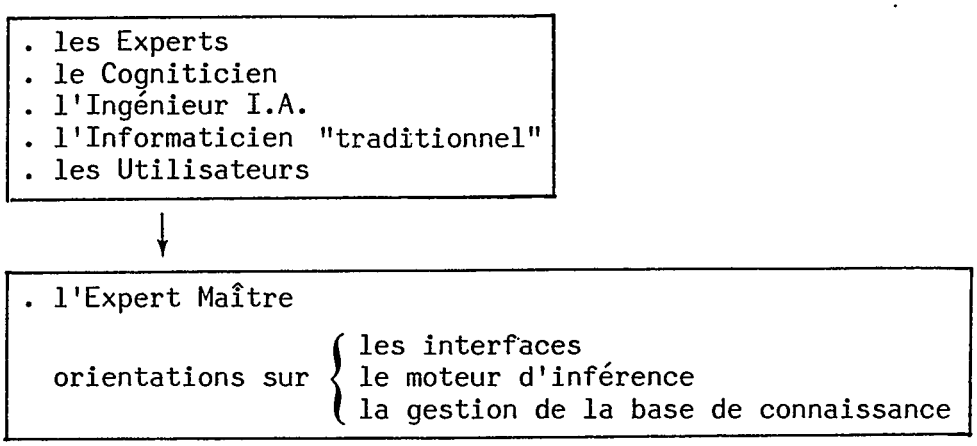
B. Le scénario

Nous n'avons pas pour ambition de mettre au point une méthodologie pour la réalisation d'un S.E., mais nous avons déjà fourni quelques éléments de réflexions qui permettent d'envisager un schéma général.

Au coeur du problème se trouve la description des raisonnements et des connaissances des experts. Une étude préalable doit être faite pour en cerner avec suffisamment de précision les points essentiels. C'est à partir de cette phase que se feront le choix de l'expert "maître", les orientations en matière de moteur d'inférence et de gestion de la base de connaissance, et c'est aussi à ce stade que l'on envisagera le recours à des interfaces plus ou moins sophistiquées.

.../...

<u>1ère phase</u> : Etude préalable

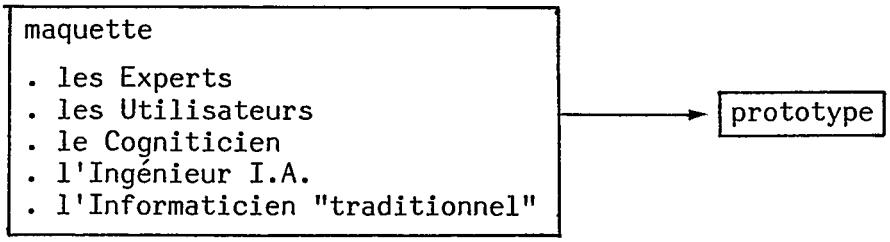


Puis on peut se lancer dans la réalisation d'une maquette précisant et testant les formalismes retenus et les mécanismes utilisés. A ce niveau, les interfaces peuvent rester rudimentaires.

<u>2ème phase</u> : Maquette

La maquette est mise en test au contact critique des autres experts, les interfaces sont envisagées après étude du comportement des utilisateurs et un prototype comportant toutes les briques de la construction est proposé.

<u>3ème phase</u> : Prototype



Enfin, le prototype est validé. Les moyens doivent être dégagés pour promouvoir et maintenir le produit final.

.../...

. POURQUOI ?

Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que si l'on construit un S.E., c'est parce que l'on manque d'experts et parce qu'il y a des utilisateurs potentiels. Toutes les autres retombées :

- enrichissement de la connaissance
- recueil de l'expérience des anciens
- caractère pédagogique de l'outil (à moins que cette finalité ne soit l'objectif principal du projet),

certes intéressantes, ne constituent pas des motivations suffisantes. Si l'on veut que ce travail aboutisse, il faut que l'objectif soit clairement défini et que l'insertion du S.E. dans le cadre de son utilisation soit envisagée nettement dès le départ.

o

o o

Les SYSTEMES EXPERTS au CIRAD

Dans les pays en voie de développement et dans les secteurs qui intéressent le CIRAD, des arguments très généraux plaident en faveur de la réalisation de certains S.E. dédiés aux diagnostics, comme par exemple :

- l'importance de plus en plus grande prise par les problèmes de diagnostic et de décision à l'échelle des systèmes de culture et de production,
- la nécessité de pallier les insuffisances de la modélisation classique et les solutions proposées par l'Informatique traditionnelle,
- la rareté, dans de nombreux domaines, de généralistes ayant une bonne expérience de terrain,
- le manque d'outils pédagogiques,

et, d'un point de vue plus spécifique à notre groupement,

- le besoin de valoriser le savoir-faire et le capital de connaissances accumulé au CIRAD et, en particulier, de ne pas perdre les acquis rassemblés par toute une génération d'experts chevronnés en âge de partir à la retraite.

Ajoutons, en outre, que cette approche est favorisée par la présence dans certains domaines de filières professionnelles organisées.

D'autres considérations nous incitent à la prudence ; citons :

- une maîtrise insuffisante de l'outil informatique par certains de nos partenaires éventuels,
- la multiplicité des environnements géographiques et humains.

En vérité, nous ne connaissons pas ou très peu d'expériences effectuées dans les pays en voie de développement. La plus fréquemment citée est celle de l'INSERM qui concerne l'aide au diagnostic des maladies tropicales (développée par le Dr. Bertrand AUVERT avec le concours de Médecins Sans Frontières). Le S.E. est en cours de validation mais paraît rencontrer de sérieuses difficultés, faute d'une bonne adéquation entre les capacités du système et les moyens mis à la disposition des utilisateurs (les infirmiers).

.../...

Mais ces difficultés semblent, de l'avis commun, pouvoir être dépassées et ne devraient pas nous décourager.

Au sein du CIRAD, l'approche S.E. préoccupe et intéresse de nombreux chercheurs. Des réunions de réflexion et d'initiation ont déjà eu lieu, en particulier à l'initiative du Groupe de BIOMETRIE et de la MESRU, et des projets sont en cours de réalisation ou ont déjà fait l'objet d'études préalables et de demandes de financement. On peut donc dire, sans opportunisme, que si, aujourd'hui, une réflexion est entreprise sur les perspectives de développement des S.E. au sein du CIRAD, elle n'est qu'une étape dans une cogitation qui a déjà permis d'isoler des sujets attrayants et des équipes pionnières.

.../...

A. Les principaux projets au sein du CIRAD

1) Aide au diagnostic à la parcelle (S.E. Botanique tropicale, Coton, Ananas

Ces trois projets font l'objet d'une demande A.T.P. (31/89 - Mission MIDEC).

a) S.E. Botanique tropicale

Débuté il y a deux ans et donc en cours de réalisation, ce S.E. a pour ambition de faciliter, dans un premier temps, la détermination de familles tropicales, ceci en utilisant comme décripteurs les organes végétatifs puis, dans une deuxième phase, d'aider à la caractérisation des adventices au stade juvénile. Il sera complété, dans l'avenir, par des indications en matière de techniques de désherbage.

- *L'expertise des différents spécialistes du domaine (du CIRAD ou d'ailleurs) doit pouvoir être formalisée avant disparition.*
- *Le système expert ainsi réalisé doit être sur le terrain un ambassadeur du spécialiste et doit réaliser un diagnostic en son absence.*
- *Il doit pouvoir familiariser le jeune chercheur à la Botanique Tropicale et le former grâce à ses facultés d'explication.*
- *Il sera réalisé par des gens ayant à la fois de bonnes connaissances en Botanique et un bon niveau en Informatique.*

P. GRARD

b) S.E. COTON

L'application concerne l'aide au diagnostic d'anomalies sur le Cotonnier. Ces anomalies peuvent avoir des origines diverses : phytosanitaire (la plupart des cas), agronomique, météorologique, génétique, autres. Dans un premier temps, l'ambition est limitée au diagnostic et à la description des agents causaux, dans une seconde étape, des recommandations de lutte à mettre en place seront formulées.

Les utilisateurs ciblés sont :

. les chercheurs du réseau COTON,

. les agents d'encadrement de la production.

Il existe :
- *une filière professionnelle organisée et structurée,*
- *des chercheurs expérimentés et prêts à participer à l'élaboration d'un S.E. au sein du Département,*
- *une demande, tant de la part de la filière COTON (sociétés de développement organisant la production, la protection sanitaire, etc...) que des institutions de recherche des pays partenaires,*

.../...

- un besoin d'outils pédagogiques visant à améliorer la formation des techniciens, mais aussi des jeunes chercheurs,
- un support informatique dans l'ensemble du réseau COTON (recherche mais aussi société de développement) permettant la diffusion de tels outils.

B. GIRARDOT

c) S.E. ANANAS

L'objectif est de fournir à des utilisateurs de type conseiller agricole, un outil permettant de poser un diagnostic de l'état d'une parcelle, à partir d'observations visuelles (sans instrumentation particulière autre que le couteau ou la loupe) faites sur une population de plants. Les problèmes à diagnostiquer sont de type parasitaire et nutritionnel, de plus, le principal point faible de l'ANANAS étant son système racinaire, tout facteur pouvant affecter l'appareil souterrain doit être aussi diagnostiqué : asphyxie, caractéristiques physiques du sol...

X. PERRIER

Le choix de ce sujet est motivé par :

- l'existence d'une profession relativement structurée et donc d'utilisateurs potentiels,
- la présence d'experts intéressés par cette approche,
- le fait que le problème, sans être simple, soit relativement limité et que l'information a déjà été structurée dans un esprit proche de celui d'un S.E.

2) S.E. Analyse de Sol

Dans un premier temps, il s'agit de mettre en forme les résultats des analyses de sol effectuées par le Laboratoire Sols et Eaux et de les regrouper dans une base de données. Ce travail est intéressant par l'occasion qui est ainsi offerte de mettre à disposition des chercheurs les résultats archivés par le Centre de Montpellier, mais aussi par la possibilité de reprendre par la suite ces données au sein d'un S.E. d'aide au diagnostic des sols.

(Ce projet a fait l'objet d'une déclaration d'intention A.T.P. 89 Mission MICAM).

3) S.E. Culture Cotonnière

L'intention est de mettre au point avec l'aide du Laboratoire INRA/GRIGNON animé par M. ATTONATY, un S.E. destiné à la formation des jeunes chercheurs dans le domaine de la conduite en culture cotonnière.

(Ce projet a fait l'objet d'une demande de mesure nouvelle (1989) par l'IRCT).

.../...

4) Autres projets - autres intentions

Les S.E. envisagés sont nombreux et peuvent constituer une base de travail et un vivier pour les années à venir. Nous n'allons pas expliciter et détailler chacun d'entre eux, mais juste les énumérer (sans chercher d'ailleurs à être exhaustifs). Certains ont fait l'objet d'études préliminaires assez avancées, d'autres restent à l'état d'intentions.

Origine	Objet	Etat de la réflexion
CEEMAT	- Aide au choix du matériel	
CTFT	- Identification des essences	
CTFT	- Utilisation des bois	avancé
DSA/MESRU	- Aide à la décision en exploitation agricole	
DSA	- Diagnostic de village et/ou de région	
GERDAT	- Risque de toxicité en Aluminium	
IEMVT	- Diagnostic en Ecopathologie animale	
IRAT	- Diagnostic Canne à Sucre	avancé
IRAT	- Diagnostic Maïs	
IRAT	- Gestion de périmètre sucrier	
IRCA	- Diagnostic Latex	

.../...

B. Les moyens à mettre en oeuvre

STRATEGIE

En matière de stratégie, il importe que le CIRAD ne satisfasse pas seulement à une mode ou à une simple question de prestige, mais raisonne et maîtrise l'irruption de cette nouvelle technologie en fonction de besoins réels et bien identifiés, et des moyens qu'il peut y consacrer.

Cette intégration de la technique des Systèmes Experts peut aller de l'utilisation (ou l'adaptation) de S.E. existants jusqu'à la maîtrise complète des techniques de l'I.A. (développement d'outils, de moteurs spécifiques), en passant par le développement interne de S.E. à l'aide de générateurs de S.E. (GSE) standards.

La démarche choisie doit être adaptée à chaque situation.

SITUATION ACTUELLE

Des moyens ont déjà été dégagée par :

- l'IRCT,

  M. GIRARDOT consacre les trois-quarts de son temps aux projets S.E. de ce Département.

- et le Laboratoire d'accueil de Malherbologie,

  M. GRARD (boursier) est à temps complet sur la réalisation d'un S.E. "Botanique tropicale".

mais, globalement, ces moyens demeurent insuffisants et il n'est pas évident qu'un Département puisse supporter seul l'effort que présume une telle entreprise (moyens financiers, mais aussi en personnel et compétences). Le coût de réalisation d'un S.E. du type de ceux qui sont présentés peut être évalué de 3 à 600.000 F., dont 75 à 85 % de salaires, le reste représentant les investissements machine et logiciels.

PROPOSITIONS

1°) Formation

Il s'agit de former des chercheurs concernés

- par la technique des S.E.
  - . sensibilisation, utilisation
- ou par le développement de S.E.
  - . cogniticiens chargés du transfert de connaissances (2 ou 3 ingénieurs du CIRAD).

.../...

2°) Constitution d'un groupe de travail

Ce groupe aurait pour vocation d'animer les réflexions autour des projets S.E. du CIRAD :

. en aidant à la formulation des futurs projets et à la définition des stratégies,

. en s'assurant que les moyens nécessaires sont dégagés pour qu'aboutissent les réalisations entreprises,

. en favorisant la tenue de séminaires, de réunions,

. en confrontant les expériences sur les nouveaux matériels et logiciels.

3°) Moyens opérationnels

a) Création d'une cellule I.A. :

Cette cellule I.A. serait rattachée au SCI et composée d'un ingénieur I.A. assisté d'un informaticien traditionnel.

Elle se comporterait à l'égard des Départements, Laboratoires et/ou Missions, comme les Divisions de Biométrie vis-à-vis de leur Département. Elle pourrait donc :

. prendre en charge, pour certains projets, l'organisation et, en grande partie, la réalisation du travail,

. apporter un appui technique limité à des projets qui se développeraient majoritairement dans un autre cadre (Département, Mission, Laboratoire, structure extérieure au CIRAD).

b) Aide aux actions entreprises par les Départements, Missions et/ou Laboratoires :

Les services fournis par la cellule I.A. ne couvrent pas toutes les activités occasionnées par la réalisation d'un S.E. Il est donc nécessaire d'apporter une aide financière aux actions mises en oeuvre par les Départements, Missions et/ou Laboratoires concernés (missions d'acquisition de connaissances, de validation, achat de matériel), et ceci sous les formes les plus appropriées (ATP - Mesures nouvelles...).

La cellule I.A. ne doit en aucun cas être conçue comme monopolisant les moyens, les compétences et les projets, mais comme une cellule d'appui aux chercheurs.

.../...

4°) Recherche de partenaires

Il existe, tant sur Montpellier que sur Paris, des possibilités de coopération avec l'**Université**. Cette dernière peut être un partenaire d'autant plus intéressant que nous serons nous-mêmes plus compétents (pour accueillir un étudiant en thèse, il faut être plus compétent que pour accueillir un étudiant en DEA). Cette coopération doit être orientée vers la mise au point d'outils très particuliers.

L'**INRA** possède une expérience qui devrait nous être accessible ; son appui pourrait nous permettre d'acquérir la formation qui nous fait encore défaut.

Une association avec l'**ORSTOM** est également possible. Il est même envisageable d'avoir des stratégies complémentaires et une mise en commun des moyens.

.../...

C. Quelques remarques en guise de conclusion

a) La réalisation de S.E. demande de pouvoir rassembler plusieurs protagonistes (experts / cogniticiens / informaticiens) ainsi que l'avis des utilisateurs ; c'est une entreprise de longue haleine (période de validation) et le produit fini doit être maintenu, amélioré et mis à jour. Autrement dit, c'est une opération qui suppose :

- un appui notable lors de la mise en oeuvre et du développement du système,
- un suivi du produit fini.

b) Face à toute innovation, on peut se demander si l'engouement constaté est une affaire de mode et si l'on doit succomber à l'attrait de la nouveauté. Investir dans une stratégie S.E., c'est évidemment un pari, mais c'est un pari raisonné et qu'on peut difficilement ne pas tenir, car notre incapacité à dominer cette technique (dans le cas où elle viendrait à tenir toutes ses promesses), réduirait la pertinence de nos compétences dans de nombreux domaines. Si le produit S.E. se généralise, il faudra en avoir la maîtrise.

o

o o