
ARTICLE DE SYNTHÈSE

Les systèmes experts : outils de mise en valeur de la compétence marketing

JEAN-MARIE CHOFFRAY

Professeur à l'ESSEC, Ph.D. Massachusetts Institute of Technology

BERNADETTE CHARPIN

Chef du Département « Système Expert », Ecole nationale d'Exportation

RÉSUMÉ. — *Acquérir, conserver et mettre à jour les connaissances qu'une entreprise a de ses marchés et des utilisateurs de ses produits, est une des tâches fondamentales du marketing. Dans cet article, nous revoyons brièvement l'évolution récente des outils et méthodes d'aide à la décision dans ce domaine. Nous précisons ce que sont les systèmes experts, ou systèmes à base de connaissances. Nous en décrivons les principales composantes ainsi que leur mode de fonctionnement. Enfin, nous analysons leur contribution potentielle en tant qu'outils d'assistance à la décision marketing.*

1. INTRODUCTION

« Artificial Intelligence is here ! » annonçait *Business Week* en couverture de son numéro du 7 juillet 1984. L'intelligence artificielle (IA) est là. Cette discipline nouvelle a pour objet d'accroître la capacité des machines à accomplir des tâches considérées comme intelligentes lorsqu'elles sont le fait d'êtres humains. Des différents axes autour desquels les travaux en IA s'articulent, les systèmes experts (SE) constituent un des plus prometteurs et celui qui, certainement, fait couler le plus d'encre...

Pour l'homme de marketing, dont les responsabilités l'amènent naturellement à s'interroger sur tout développement méthodologique nouveau susceptible d'améliorer ses moyens de suivi et d'action sur le marché, il est difficile d'évaluer l'apport des systèmes experts par rapport aux Systèmes d'Aide à la Décision, particulièrement dans leur version interactive (SIAD)¹, tant certains

1. Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision.

d'entre eux apparaissent... experts, tandis que certains systèmes « experts » ne le sont guère !

L'évolution, pourtant, paraît évidente. Les managers disposeront, dans les années à venir, d'outils sans cesse plus performants d'analyse, d'interrogation et d'aide à la décision. Ceux-ci leur permettront de simuler les conséquences des décisions à prendre. Ils prolongeront leur action, voire s'y substitueront. C'est à ce titre qu'ils constitueront, demain, un facteur clé d'accroissement de la productivité des cadres (Thurow, 1985).

Risque ou opportunité pour la fonction marketing ? L'objet de cet article est de revoir quelques développements récents dans le domaine de l'assistance à la décision marketing, et d'anticiper quel pourrait être le rôle des systèmes experts à ce niveau. Nous précisons ce qu'est un tel système, en analysons les principales composantes ainsi que le mode de fonctionnement. Enfin, nous décrivons les éléments de l'action marketing sur lesquels l'impact des systèmes experts pourrait être le plus perceptible dans les années à venir.

2. L'ÉVOLUTION D'UN ART

Le marketing a souvent été, et à juste titre, considéré comme un art. N'est pas vendeur qui veut. Il faut avoir le « sens » du commerce, savoir décèler les attentes et les besoins les plus cachés du consommateur, anticiper ses désirs, et enfin, placer le produit, créant si nécessaire sa demande.

Chocs pétroliers. Croissance sélective. Outils de production flexibles. Informatique décentralisée et personnalisée. Autant de phénomènes ayant contribué à l'élargissement récent du rôle de la fonction marketing. D'une conception essentiellement limitée à la vente, ce domaine a acquis une importance stratégique, tant au niveau de l'observation que de l'analyse et de l'anticipation des réactions des marchés. Il ne suffit plus de vendre. Il faut découvrir des besoins latents, innover continuellement et, de plus en plus souvent, assister les consommateurs dans l'utilisation des produits et services qui leur sont destinés.

Cet élargissement du rôle de la fonction marketing transparait au travers des méthodes et outils utilisés par les entreprises.

Une étape fut franchie dès les années 60 grâce à la disponibilité d'une première génération d'ordinateurs puissants, permettant d'engranger des masses considérables d'observations sur le comportement d'achat. Celles-ci devant être interprétées, résumées, agrégées, les services marketing apparurent souvent comme des précurseurs dans l'utilisation et l'amélioration de nombreuses méthodes statistiques telles que : les techniques d'échantillonnage (Cochran, 1953, 1963), les méthodes d'analyse factorielle (Harman, 1960, 1967, 1976) et les analyses non métriques (Shepard, 1962 ; Kruskal, 1960 ; Green et Carmone, 1968).

Bientôt, observer, photographier et décrire le comportement du consommateur ne suffit plus. L'influence de l'économétrie et de la recherche opérationnelle sur le marketing devint importante et la frontière entre ces disciplines des plus ténues. Pour prévoir, il fallait modéliser. Les méthodes d'analyse des

marchés et de prise de décision s'en trouvèrent considérablement affectées (Kotler, 1971; Fitzroy, 1976; Naert et Leeflang, 1978).

Au cours des années 80, le caractère « réducteur » de la modélisation conduisit nombre de chercheurs à insister sur le fait que les méthodes n'étaient destinées qu'à assister, à aider les managers. La prise en considération de l'expérience accumulée des entreprises dans le développement d'outils d'aide à la décision devint essentielle. Ceux-ci devaient être simples, robustes, évolutifs et d'une mise en œuvre aisée (Lilien et Kotler, 1983). Enfin, la décentralisation des ressources informatiques permit de doter le décideur d'outils d'analyse et d'interrogation personnalisés (Foreman, 1984; Choffray, 1985).

Cette évolution, qui traduit le passage en marketing de méthodes essentiellement descriptives vers des techniques à caractère normatif, ainsi que le passage d'outils génériques vers des systèmes personnalisés, ne peut que se renforcer à terme. Trois phénomènes qui s'inscrivent aujourd'hui en marge de cette évolution semblent devoir y contribuer.

Le premier a trait à l'automatisation du recueil des données sur le comportement d'achat au point de vente. La généralisation des « scanners » aux Etats-Unis et leur diffusion rapide en Europe autoriseront bientôt l'observation en temps réel du consommateur. Ce système, associé aux nouvelles méthodes de mesure de l'écoute télévisée qu'autorisent les réseaux câblés, permettra une analyse quasi immédiate de l'impact dynamique des différentes composantes du marketing mix (Merunka, 1986).

Le second phénomène concerne l'informatisation des ménages et l'intégration des matériels dans un vaste environnement de marketing direct. Le resserrement du cycle production-consommation qui en découle aboutit à élargir le rôle du consommateur à la conception même des produits et des services qui lui sont destinés. Cette extrême personnalisation de la production sera elle-même rendue possible par son recentrage sur des ateliers flexibles faisant largement appel à des équipements programmables.

Enfin, les progrès enregistrés dans le domaine des systèmes experts, tant au niveau de la représentation des connaissances sous une forme symbolique que du développement d'outils d'inférence puissants, ouvrent de nouveaux horizons en matière d'aide à la décision. Il devient possible de représenter l'expertise d'un individu ou d'un groupe d'individus sous une forme autre que celle d'un ou plusieurs modèles mathématiques. Les systèmes ainsi développés pourront mieux refléter la richesse du raisonnement humain.

Toutes ces évolutions aboutissent au renforcement des moyens d'action dont disposera demain l'homme de marketing pour définir sa stratégie et affiner ses décisions. Ces outils le serviront d'autant mieux qu'ils s'appuieront sur son intuition, et sur l'expérience accumulée des entreprises. C'est à ce titre que les systèmes d'aide à la décision « intelligents », et plus particulièrement les systèmes experts, offrent au décideur d'intéressantes possibilités de développement et d'enrichissement de son action.

3. L'INTELLIGENCE DANS LES SYSTÈMES D'AIDE A LA DÉCISION

Un système d'aide à la décision intelligent consiste en un ensemble cohérent de moyens destinés à assister le décideur dans la résolution d'un problème spécifique de gestion. De tels systèmes apparaissent sous la forme de logiciel(s) interactif(s). Ils permettent à l'utilisateur d'obtenir, à partir des faits dont il dispose, une synthèse nouvelle, mieux adaptée à ses besoins immédiats et directement utilisable à des fins de décision.

Un système de ce type répond essentiellement aux trois objectifs suivants :

- intégrer logiquement dans un modèle de la réalité, exprimé sous une forme analytique ou sous une forme descriptive, une grande masse d'informations, d'expériences et de connaissances qui, utilisées de manière pro-active, permettront de réduire l'incertitude entourant les décisions à prendre;
- accroître la créativité dans la recherche de solutions originales au(x) problème(s) posé(s), en fournissant au décideur le moyen d'analyser rapidement et systématiquement un grand nombre d'options, ainsi que leurs conséquences les plus probables;
- créer un environnement décisionnel propice à l'apprentissage, c'est-à-dire à l'accumulation et à l'intégration d'expériences et de connaissances nouvelles, en conservant une trace des décisions étudiées, des voies d'actions investiguées, et des orientations prises.

Un système intelligent est donc nécessairement évolutif. Il doit être revu régulièrement et, au besoin, adapté pour tenir compte des changements intervenant tant dans l'environnement de l'entreprise que dans les modes d'analyse et de raisonnement du décideur.

Il existe plusieurs représentations possibles de la connaissance dans de tels systèmes. Celles-ci reflètent l'influence de différentes écoles de pensée en matière de formalisation et de reproduction du raisonnement. A l'analyse, toutefois, elles sont plus complémentaires que contradictoires. Elles nous permettent, dans cet article, d'intégrer dans une démarche globale d'assistance « intelligente » à la décision marketing, des problèmes dont les niveaux de complexité et de formalisme diffèrent grandement.

Une première famille de systèmes intelligents repose sur une représentation quantitative de la connaissance. Celle-ci est exprimée sous la forme d'un ou plusieurs modèles mathématiques, qui sont à leur tour utilisés au travers d'algorithmes visant à apporter une solution au problème décisionnel rencontré. Les SIAD, au sens où nous l'entendons dans cet article, reposent généralement sur cette conception.

Il existe en marketing de nombreux systèmes d'aide à la décision qui suivent cette tradition (Baile, 1983). Callplan (Lodish, 1971) en constitue un excellent exemple dans le domaine de la gestion de la force de vente. On peut également citer Adbudg (Little, 1970), Brandaid (Little, 1975), et Detailer (Montgomery et Silk, 1972) dans le domaine du marketing mix, Sprinter (Urban, 1970) et Rescue (Claycamp, 1974) dans le domaine des produits nouveaux.

D'une manière générale, ces systèmes présentent une structure identique. Ils comportent : un ou plusieurs modèles mathématiques de réaction des marchés, une procédure d'estimation de leurs paramètres, une banque de données servant de base à cette estimation et une méthode d'optimisation visant à identifier les voies d'action les meilleures (Little, 1979).

La pertinence d'un tel système tient autant à la richesse de chacune de ses composantes qu'à leurs interrelations. La notion d'interactivité est fondamentale. Elle exprime le fait que l'utilisateur peut, à tout moment, passer de la phase de modélisation à la phase d'analyse, d'estimation ou de décision. La figure 1 résume les principales composantes d'un tel système.

Une seconde famille de systèmes intelligents repose sur une représentation

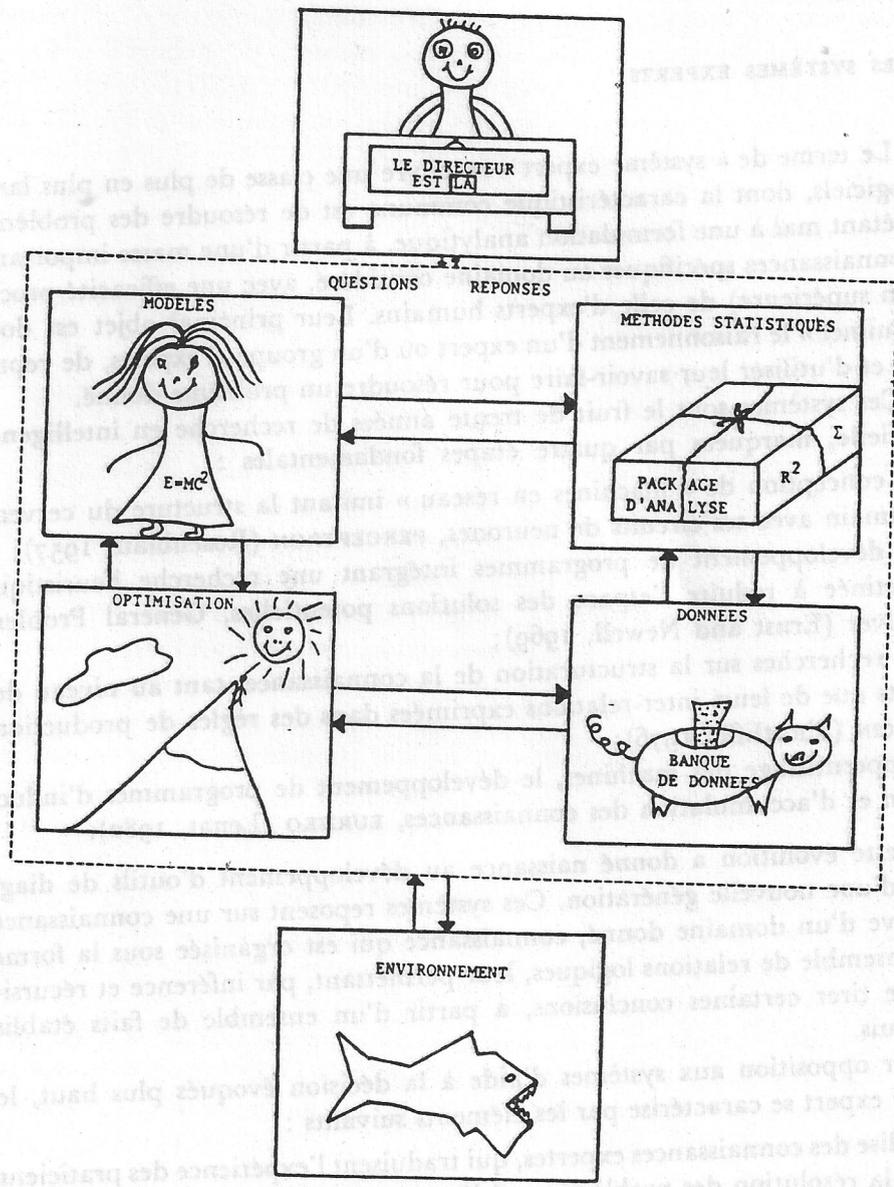


FIG. 1. — Principaux éléments d'un système d'aide à la décision faisant appel à une représentation quantitative des connaissances (Source : Little, 1979)

qualitative de la connaissance. Celle-ci est exprimée sous des formes diverses, dont les règles logiques de type *SI... ALORS...* constituent la plus fréquente. Cette seconde famille de systèmes d'aide à la décision est issue des travaux menés en psychologie cognitive et en intelligence artificielle. Elle trouve son origine dans l'observation suivant laquelle la prise de décision est rarement algorithmique mais s'apparente plutôt à une démarche heuristique, peu rigoureuse, fondée sur des connaissances factuelles, des règles isolées, des stratégies et savoir-faire partiels. Le jugement du décideur, son expérience, son intuition jouent alors un rôle crucial dans la recherche de la meilleure solution. C'est là tout le pari des systèmes experts auxquels nous consacrons le reste de cet article.

4. LES SYSTÈMES EXPERTS

Le terme de « système expert » recouvre une classe de plus en plus large de logiciels, dont la caractéristique commune est de résoudre des problèmes se prêtant mal à une formulation analytique, à partir d'une masse importante de connaissances spécifiques au domaine considéré, avec une efficacité proche (sinon supérieure) de celle d'experts humains. Leur principal objet est donc de « mimer » le raisonnement d'un expert ou d'un groupe d'experts, de reproduire et d'utiliser leur savoir-faire pour résoudre un problème donné.

Ces systèmes sont le fruit de trente années de recherche en intelligence artificielle, marquées par quatre étapes fondamentales :

- la conception de « machines en réseau » imitant la structure du cerveau humain avec ses circuits de neurones, *PERCEPTRON* (Rosenblatt, 1957);
- le développement de programmes intégrant une recherche heuristique destinée à réduire l'espace des solutions potentielles, *General Problem Solver* (Ernst and Newell, 1969);
- les recherches sur la structuration de la connaissance, tant au niveau des faits que de leurs inter-relations exprimées dans des règles de production, *MYCIN* (Shortliffe, 1976);
- l'apprentissage des machines, le développement de programmes d'induction et d'accumulation des connaissances, *EURISKO* (Lenat, 1982).

Cette évolution a donné naissance au développement d'outils de diagnostic d'une nouvelle génération. Ces systèmes reposent sur une connaissance extensive d'un domaine donné, connaissance qui est organisée sous la forme d'un ensemble de relations logiques, leur permettant, par inférence et récursivité, de tirer certaines conclusions, à partir d'un ensemble de faits établis ou acquis.

Par opposition aux systèmes d'aide à la décision évoqués plus haut, le système expert se caractérise par les éléments suivants :

- Il utilise des connaissances expertes, qui traduisent l'expérience des praticiens dans la résolution des problèmes spécifiques au domaine étudié, un savoir-faire relevant plus d'une démarche heuristique que d'un algorithme systématique et rigoureux.

- La représentation des connaissances et les procédures de résolution chargées de les exploiter sont nettement séparées, de sorte que des connaissances peuvent être supprimées, ajoutées ou modifiées avec une très grande souplesse.

D'une manière générale, un système expert comprend deux parties principales (figure 2) :

- *Un réservoir d'expertise* : la base de connaissances contient l'expertise collectée au sujet du domaine traité, le plus souvent sous forme de règles. C'est la mémoire à long terme du système. La base de faits mémorise la description du cas que l'utilisateur soumet au système lors d'une consultation : réponses aux questions posées et faits intermédiaires déduits au cours de la session. C'est la mémoire à court terme.
- *Un environnement de développement* : le moteur d'inférence contient le mécanisme de résolution de problèmes. Il organise la manière dont se déroule le raisonnement du système. Il décide du point de départ de l'analyse dans la base de connaissances et de la manière dont seront résolus les conflits, lorsque plusieurs cheminements sont possibles. Il « gère » donc la base de connaissances pour résoudre le cas particulier décrit dans la base de faits.

L'environnement de développement comporte également deux modules d'interface, l'un facilitant l'acquisition des connaissances de l'expert, l'autre permettant à l'utilisateur de suivre le cheminement logique du système en cours de consultation.

Les principales différences entre les systèmes experts disponibles aujourd'hui, tiennent à la manière dont ils représentent les connaissances, et à la manière dont le moteur d'inférence « organise » le raisonnement.

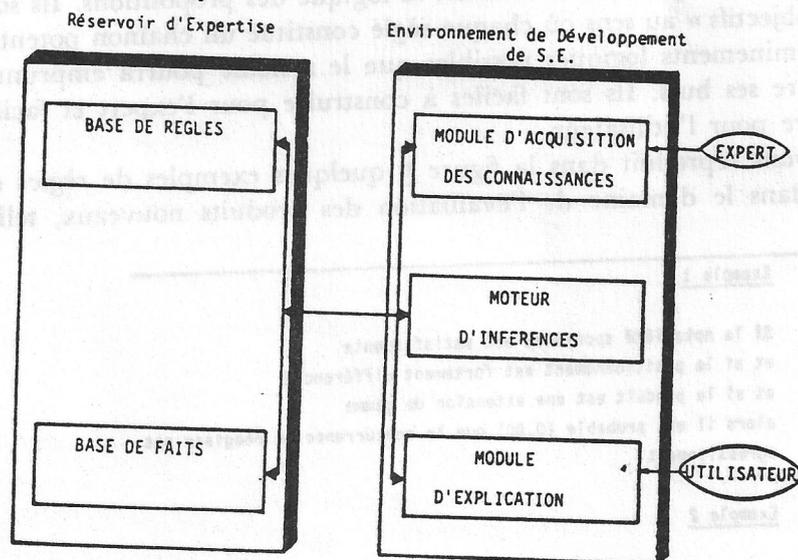


FIG. 2. — Principaux éléments d'un système faisant appel à une représentation qualitative des connaissances

1. Principaux modes de représentation des connaissances dans les systèmes experts

Le choix d'un mode de représentation des connaissances est important car il conditionne le type d'utilisation qui pourra en être fait et le fonctionnement du moteur d'inférence. Représentation qui est d'abord une description des objets de l'univers étudié et des relations élémentaires qui les lient (connaissance descriptive). Représentation qui est aussi et surtout une reproduction de l'expertise des spécialistes du domaine, des stratégies et des heuristiques permettant de construire dynamiquement la solution (connaissance active).

On oppose généralement le mode déclaratif (« le taux cumulatif d'essai est supérieur à 80 % ») au mode procédural (calcul du taux cumulatif d'essai et test de la condition « $> 0,8$ ») bien qu'ils correspondent en fait à deux aspects complémentaires d'une même connaissance. La puissance et la généralité d'un schéma de représentation des connaissances dépendent de sa capacité à intégrer cette sémantique duale.

a | La logique formelle

Les règles de production

Le schéma de représentation le plus répandu est celui appelé « système de production », formé de « règles de production ». Une règle met en jeu des triplets « objet - paramètre - valeur » et s'énonce de la façon suivante : « si *a* ALORS *b* »

où

- *a*, la prémisse, exprime les hypothèses sur les valeurs (conditions à vérifier);
- *b*, la conclusion, exprime des assertions sur les valeurs (actions à exécuter).

Les systèmes de production utilisent la logique des propositions. Ils sont « orientés - objectifs » au sens où chaque règle constitue un chaînon potentiel dans les cheminements logiques possibles que le système pourra emprunter pour atteindre ses buts. Ils sont faciles à construire pour l'expert et faciles à comprendre pour l'utilisateur.

Nous avons reproduit dans la figure 3 quelques exemples de règles de production dans le domaine de l'évaluation des produits nouveaux, telles

Exemple 1

Si la notoriété spontanée est satisfaisante
 et si le positionnement est fortement différencié
 et si le produit est une extension de gamme
 alors il est probable (0,80) que la concurrence ne réagisse pas
 agressivement

Exemple 2

Si le taux cumulatif d'essai est supérieur à 80 %
 et si la part de réachat à terme est supérieure à 60 %
 alors il est probable (0,70) que le produit soit un succès

Fig. 3. — Exemples de règles de production

qu'elles ont été récemment formulées par un groupe de cadres commerciaux. De telles règles représentent sous forme déclarative le savoir de l'expert. Pour le système, elles constituent une proposition à la fois déclarative et procédurale, utilisable dans la résolution d'un problème donné.

Le calcul des prédicats

C'est une généralisation des règles de production. Les propositions, ou clauses, ne contiennent plus des constantes (logique des propositions) mais des variables (logique du premier ordre ou logique des prédicats).

Le langage PROLOG, dédié comme LISP aux applications d'intelligence artificielle, a pour unité de programmation non pas une instruction mais une formule logique du premier ordre qui permet de raisonner sur des objets inconnus, représentés par des variables. De l'arithmétique de la logique des propositions, on passe ainsi à l'algèbre de la logique des prédicats.

En particulier, PROLOG interprète chaque règle à deux niveaux :

- logique, en tant que représentation déclarative des connaissances;
- procédurale, grâce au puissant principe d'unification (remplacement de variables par des constantes appropriées afin de rendre des expressions quantifiées identiques).

b / Scénarios et prototypes

Un scénario, ou script, est une séquence d'actions prédéterminées qui correspondent à une situation que nous reconnaissons et pour laquelle nous savons agir automatiquement. Ils décrivent par exemple toutes les scènes quotidiennes, telles que prendre les transports en commun, acheter un billet d'avion, prendre un repas dans un restaurant. Les scripts sont très utilisés dans les systèmes experts de détection de pannes ou de fonctionnements anormaux.

La théorie des scénarios est en fait une spécialisation de la théorie des prototypes. Cette notion reprend l'idée que la connaissance n'est pas disposée en vrac, mais structurée autour d'unités d'information. Un prototype ou frame est une structure de données, combinant des connaissances déclaratives et procédurales, éventuellement contradictoires, et permettant de représenter une classe d'objets ou plutôt un représentant de la classe (d'où le nom de prototype).

Le niveau supérieur du prototype est constitué des entités, objets ou relations, toujours vraies dans la situation décrite. Au niveau inférieur se trouve une structure d'emplacements (encore appelés « terminaux » ou « slots ») qui devront être remplis par des données. Chaque slot peut être assorti de conditions de remplissage : par exemple, la donnée doit être du type « produit » ou doit être positive, ou encore doit constituer un pointeur vers un sous-frame. Le slot peut aussi autoriser des valeurs par défaut (traitement de l'information manquante) et provoquer l'activation des procédures (programmes) qui lui sont attachées. L'ensemble de ces informations forme les différentes facettes du slot.

La figure 4 montre le type générique du frame « produit » avec ses contraintes (par ex. le type doit prendre une valeur parmi la liste : grande consommation, durable, industriel), ses valeurs par défaut (par ex. si le type

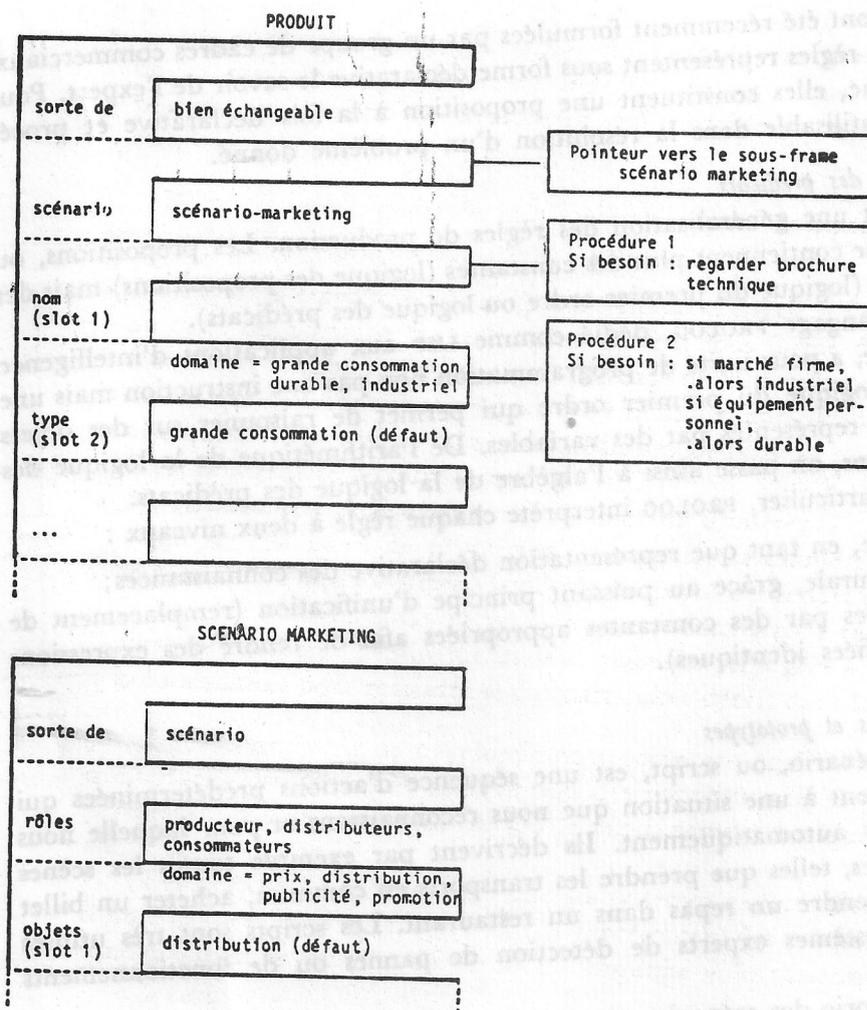


FIG. 4. — Description du frame produit

de produit n'est pas précisé, celui-ci est supposé être « grande consommation », tant que le contraire n'a pas été spécifié), ses procédures attachées (par ex. si le type de produit n'est pas précisé, une procédure placée dans le « si-besoin » du slot « type » peut le déduire de l'indication « marché-firme » ou « équipement personnel »).

c / Les réseaux sémantiques

Un réseau sémantique, ou graphe, est une agrégation de prototypes et de scénarios, qui se propose de décrire les relations entre les éléments de l'univers étudié. Il se compose de nœuds représentant des objets, des événements ou plus généralement des concepts, et d'arcs ou liens, « étiquetés » par le nom de la relation qu'ils représentent. Le sens de chaque nœud est défini par l'ensemble des concepts auxquels ses arcs, qui jouent le rôle de primitives sémantiques, le rattachent. La figure 5 montre un exemple de réseau sémantique.

L'intérêt de ce mode de représentation est de pouvoir construire un véritable mécanisme d'héritage des propriétés au sein des familles de frames.

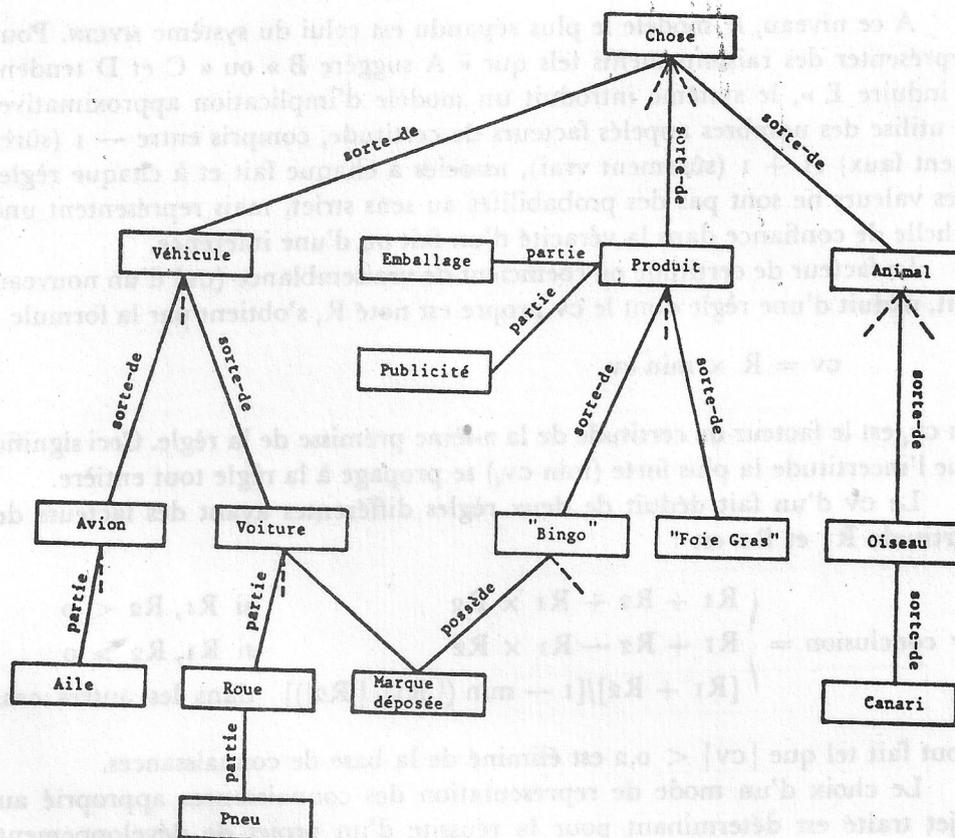


FIG. 5. — Exemple de réseau sémantique

Ainsi, dans notre exemple, « Bingo » qui est une sorte de produit possède toutes les propriétés de celui-ci — de même que « Foie gras ».

Les réseaux sémantiques sont rarement utilisés seuls. Ils complètent plutôt une base d'inférence lorsque le problème nécessite une représentation structurée de l'univers étudié. PROSPECTOR, système de consultation en géologie minérale, rendu célèbre par la découverte d'un gisement de molybdène, s'appuie sur un formalisme de réseaux sémantiques et sur un modèle d'inférence bayésien.

d / Etat de l'art

La force expressive des frames, comme celle des réseaux sémantiques, n'allant guère de concert avec les moyens de mise à jour et d'interprétation, ce sont les systèmes experts reposant sur des règles de production qui connaissent, aujourd'hui, le plus de popularité.

Ce mode de représentation des connaissances permet également le traitement de l'information incertaine. Il suffit d'attacher à chaque fragment de connaissance un facteur de vraisemblance qui pourra s'interpréter selon les cas comme :

- une probabilité;
- une évaluation de l'intérêt potentiel de la règle pour tracer la solution;
- une certitude propre à l'expert.

A ce niveau, le modèle le plus répandu est celui du système MYCIN. Pour représenter des raisonnements tels que « A suggère B » ou « C et D tendent à induire E », le système introduit un modèle d'implication approximative. Il utilise des nombres appelés facteurs de certitude, compris entre -1 (sûrement faux) et $+1$ (sûrement vrai), associés à chaque fait et à chaque règle. Ces valeurs ne sont pas des probabilités au sens strict, mais représentent une échelle de confiance dans la véracité d'un fait ou d'une inférence.

Le facteur de certitude ou coefficient de vraisemblance (cv) d'un nouveau fait, déduit d'une règle dont le cv propre est noté R , s'obtient par la formule :

$$cv = R \times \min cv_i$$

où cv_i est le facteur de certitude de la n -ième prémisse de la règle. Ceci signifie que l'incertitude la plus forte ($\min cv_i$) se propage à la règle tout entière.

Le cv d'un fait déduit de deux règles différentes ayant des facteurs de certitude R_1 et R_2 est :

$$cv \text{ conclusion} = \begin{cases} R_1 + R_2 + R_1 \times R_2 & \text{si } R_1, R_2 < 0 \\ R_1 + R_2 - R_1 \times R_2 & \text{si } R_1, R_2 > 0 \\ [R_1 + R_2] / [1 - \min(|R_1|, |R_2|)] & \text{dans les autres cas.} \end{cases}$$

Tout fait tel que $|cv| < 0,2$ est éliminé de la base de connaissances.

Le choix d'un mode de représentation des connaissances approprié au sujet traité est déterminant pour la réussite d'un projet de développement de SE. Celui-ci étant fait, se pose le problème de l'exploitation de cette connaissance à des fins d'analyse et de diagnostic. C'est le fondement même du moteur d'inférence.

2. Le moteur d'inférence

Le moteur d'inférence est le cœur du système expert : « moteur » parce qu'il permet de déclencher tous les rouages du système, « inférence » parce que la construction dynamique de la solution — le raisonnement — s'opère par des inférences successives, à partir des connaissances disponibles dans la base de faits.

Le moteur d'inférence est en fait un interpréteur de connaissances, physiquement indépendant de la base de connaissances. Il n'impose pas explicitement un ordre d'exécution des opérations. En cela, il s'oppose à l'informatique traditionnelle où l'exécution d'un programme correspond à un enchaînement de procédures spécifiques, dans un ordre complètement ou partiellement programmé.

Comme les systèmes experts les plus courants utilisent les règles de production, nous nous intéressons ici aux seuls moteurs d'inférences alimentés par de telles bases.

D'une manière générale, le mode de raisonnement suivi est celui de la logique formelle : le *modus ponens* (de p et $p \rightarrow q$, on conclut q), et son homologue le *modus tollens* (de non q et $p \rightarrow q$, on conclut non p).

a / La construction du « raisonnement »

Au cours du processus de raisonnement proprement dit, deux opérations peuvent être utilisées : le chaînage arrière et le chaînage avant :

En chaînage arrière (ou « mode régressif » ou « raisonnement guidé par les buts »), le procédé est le suivant :

- étant donné un but à atteindre, B;
- essayer de déterminer les conditions de réalisation de ce but, c'est-à-dire trouver les règles dont la partie action comporte le but à atteindre, B;
- remplacer le but B par un ensemble de sous-buts équivalents, donnés par les prémisses de la règle sélectionnée : A_1, A_2, \dots, A_n avec $A_1, A_2, \dots, A_n \rightarrow B$;
- recommencer avec chaque sous-but, jusqu'à ce que B soit réduit à des faits connus.

En chaînage avant (ou « mode progressif » ou « raisonnement guidé par la situation courante »), le procédé est le suivant :

- étant donné la situation courante, telle que définie dans la base de faits;
- essayer de déterminer les implications de cette situation, c'est-à-dire sélectionner les règles dont la partie prémisses ne comporte que des faits connus, et déclencher la règle choisie;
- ajouter les nouveaux faits déduits dans la base de faits;
- recommencer jusqu'à ce que le système de règles soit « saturé », c'est-à-dire qu'il n'y ait plus de règles déclençables.

En fait, ces deux opérations correspondent aux deux modes de construction d'un arbre logique « et-ou », de la racine vers les descendants ou *vice versa*. Elles sont illustrées dans la figure 6. Aucune de ses stratégies n'est supérieure à l'autre en termes d'efficacité. Le chaînage avant permet de mieux organiser le dialogue en contrôlant l'ordre logique des questions posées par le système. Le chaînage arrière permet de focaliser la recherche vers les buts à atteindre, au détriment parfois de l'intelligibilité de la consultation du fait de la succession apparemment arbitraire des questions.

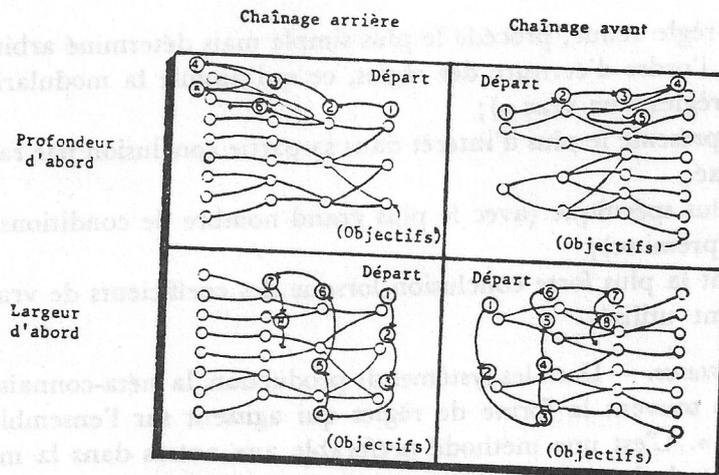


FIG. 6. — Principales stratégies de recherche utilisées par les moteurs d'inférence (Source : Harmon & King, 1985)

De façon générale, le chaînage arrière est très efficace si les résultats recherchés sont connus et peu nombreux. Mais si le but du système est en quelque sorte construit au fur et à mesure de la consultation, une stratégie guidée par la situation courante est préférable. La plupart des environnements de développement offrent désormais la possibilité de combiner ces deux modes dans un chaînage mixte donnant la priorité à l'un ou à l'autre.

A ces modes d'invocation de règles, un moteur d'inférence superpose toujours une des deux méthodes classiques de recherche dans une arborescence : stratégie « en profondeur d'abord », et stratégie « en largeur d'abord ». Dans une recherche en profondeur d'abord, le moteur exploite progressivement la même filière de raisonnement jusqu'à en épuiser toute source de nouveauté. Dans une recherche en largeur d'abord, il balaie successivement toutes les informations de même niveau. Ceci est également illustré dans la figure 6.

b / La résolution des conflits

Le fonctionnement d'un moteur d'inférence fait également appel à différentes stratégies dites « de résolution conflit » qui lui permettent de choisir une règle parmi un ensemble de règles *a priori* déclenchables. Ce choix est déterminant non seulement pour l'efficacité du système mais aussi pour sa capacité à expliquer son raisonnement et à l'améliorer. Trois tactiques sont envisageables :

- *La recherche exhaustive.* — Elle suppose la confrontation de chaque règle candidate avec l'ensemble des objets de la base de faits, au cours des cycles successifs du raisonnement. Une opération lourde et coûteuse qui ne peut se concevoir que dans un univers combinatoirement petit. Elle est à proscrire, en particulier lorsque les règles sont écrites en logique du premier ordre (calcul des prédicats). Dans ce cas, le filtrage, c'est-à-dire la mise en correspondance des prémisses (en chaînage avant) ou des conclusions (en chaînage arrière) avec la base de faits, est menacé d'explosion combinatoire du fait de l'utilisation de variables.
- *Le choix par évaluation.* — Il consiste à fixer arbitrairement un critère de priorité :
 - première règle venue, procédé le plus simple mais déterminé arbitrairement par l'ordre d'écriture des règles, ce qui annule la modularité du système (règles « en vrac »);
 - règle qui présente le plus d'intérêt dans sa partie conclusion par rapport au but fixé;
 - règle la plus spécifique (avec le plus grand nombre de conditions dans sa partie prémisses);
 - règle ayant la plus forte conclusion lorsque des coefficients de vraisemblance sont utilisés.
- *La méta-connaissance.* — Dans les systèmes de production, la méta-connaissance prend le plus souvent la forme de règles qui agissent sur l'ensemble des « règles-objet ». C'est une méthode préférable aux autres dans la mesure où elle explicite la logique de raisonnement sous une forme semblable aux règles de production elles-mêmes. Les méta-règles introduisent une hiérar-

chisation au sein de la banque de connaissances et définissent des critères de groupement ou d'importance de celles-ci. Elles agissent sur les « règles-objet » et permettent de guider la résolution de conflit en réduisant l'espace de recherche. En ce sens, la méta-connaissance permet de faire de véritables raisonnements sur les actions. Elle constitue, à la limite, un système expert « secondaire » auquel le système expert « principal » doit faire appel à chaque cycle, pour la réalisation d'une étape. Ces critères sont fournis par les experts eux-mêmes. On trouvera dans la figure 7 un exemple de méta-règle.

Si on cherche à accroître le taux cumulatif d'essai, alors, dans cet ordre, considérer les règles qui permettent :

- 1. d'accroître la notoriété cumulée,
- 2. d'améliorer la couverture de distribution,
- 3. d'augmenter la probabilité conditionnelle d'essai.

FIG. 7. — Exemple de méta-règle

c / La base de faits

Nous avons peu parlé, jusqu'à présent, de la base de faits. Celle-ci joue pourtant un rôle d'intermédiaire essentiel entre le moteur d'inférence et la base de connaissances. La saisie des valeurs des paramètres lors du dialogue avec l'utilisateur, et l'incidence d'une inférence réalisée par le moteur, s'opère au niveau de la base de faits. Elle contient la connaissance factuelle établie à un instant donné par le système et constitue, à ce titre, sa mémoire à court terme.

Cette mémoire comporte principalement l'historique du processus de raisonnement. Celui-ci sert à l'explication des résultats auxquels le système aboutit, et permet au moteur d'opérer un retour en arrière ou *backtrack* dans les situations suivantes :

- « situation d'impasse » : constat qu'aucune transition n'est possible à partir de l'état courant;
- « balayages systématiques » : décision d'opérer des retours en arrière tous les « k » cycles;
- « clignotants » : décision d'opérer un retour lorsque s'allument certains clignotants, mettant en doute l'intérêt de poursuivre le raisonnement présent.

Plusieurs ouvrages présentent d'une manière détaillée les modes de fonctionnement des moteurs d'inférence. Le lecteur intéressé pourra s'y référer utilement (Farreny, 1985; Forsyth, 1984, Hayes-Roth *et al.*, 1983).

5. DOMAINES D'UTILISATION DES SYSTÈMES EXPERTS

Le marché des systèmes experts se caractérise surtout par son dynamisme, affichant un taux de croissance annuel moyen supérieur à 50 % (voir fig. 8). Dès aujourd'hui, la dimension purement universitaire est très largement

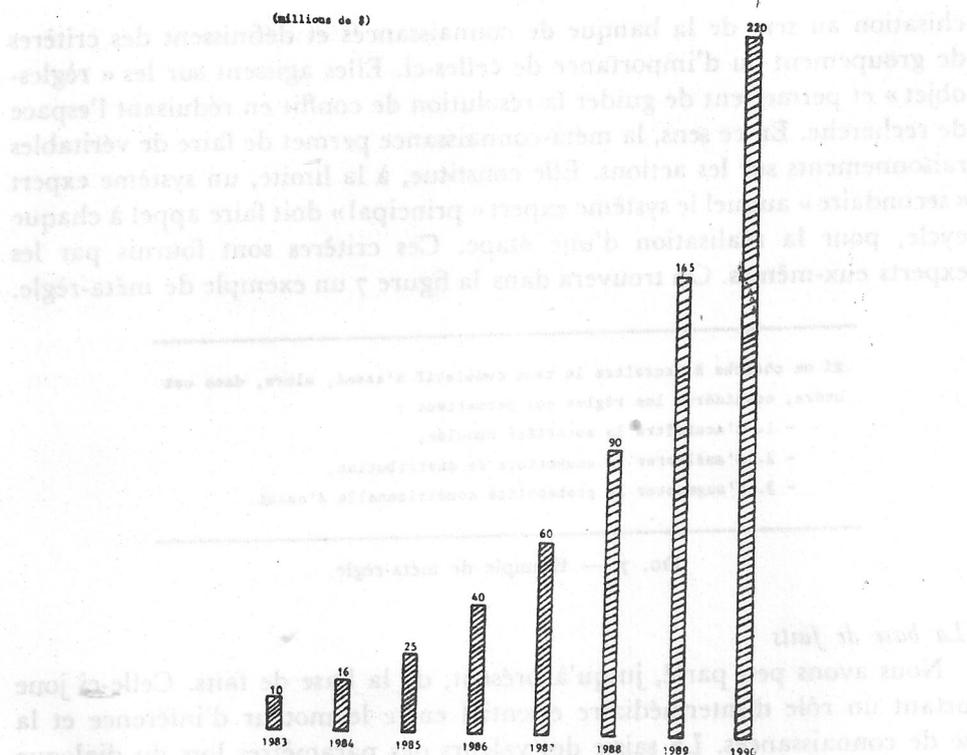


FIG. 8. — Evolution du marché des systèmes à base de connaissances aux Etats-Unis
(Source : DM Data Inc. in Retour D. 1985 b)

dépassée. Des systèmes experts font l'objet d'une utilisation régulière dans des domaines aussi divers que le diagnostic médical et la prospection géologique. Trois ouvrages récents (Harmon et King, 1985; Bonnet, 1984; Bonnet *et al.*, 1986) en font un inventaire.

Bien qu'il soit difficile d'isoler avec exactitude le premier développement digne d'intérêt dans ce domaine, comme cela est souvent le cas dans une discipline jeune, il est raisonnable d'attribuer une « mention spéciale » au système MYCIN et à son environnement de développement EMYCIN.

MYCIN a été développé au cours des années 70 à l'Université Stanford. Son objet principal était d'aider un médecin dans le diagnostic et le traitement de la méningite et des infections bactériennes. Il a été un des premiers systèmes experts à faire l'objet d'une évaluation objective, qui a établi de manière non ambiguë son efficacité. Dans divers tests aveugles, sa performance a été jugée excellente par un jury de spécialistes. De plus, ses prescriptions se sont avérées correctes dans 65 % des cas, alors que celles des spécialistes du domaine ne l'étaient que dans 42,5-60 % des cas.

Plus proche du marketing est le système XCON, développé conjointement par Digital Equipment Corporation (DEC) et l'Université Carnegie-Mellon. L'objet du système est de configurer les ordinateurs VAX-11/780 à partir des besoins d'une entreprise utilisateur potentiel. En 1979, cette ligne de produits comportait plus de 420 éléments, constituant en quelque sorte le domaine de définition d'une configuration type. Dès 1981, XCON fut adopté par la majorité des centres de productions de DEC. Récemment, il a fait l'objet de dévelop-

pements nouveaux pour étendre son expertise aux équipements de type PDP11, ainsi que pour apporter un soutien commercial aux vendeurs. Ce dernier système, XSELL, permet aux ingénieurs commerciaux d'aider le client à définir ses besoins, d'établir le prix correspondant à la configuration retenue et de passer la commande à XCON, qui établit alors la configuration définitive.

DELTA/CATS-1 (Diesel-Electric Locomotive Trouble-shooting Aid) ou (Computer Aided Trouble-shooting System-1) a été développé par General Electric pour saisir et exploiter l'expérience accumulée par David Smith, un de ses ingénieurs spécialisés dans l'entretien et la réparation des locomotives diesel-électriques. La figure 9 décrit les phases clés de ce projet qui a abouti, aujourd'hui, à un système opérationnel de diagnostic des pannes, comportant, par le biais d'un interface graphique, une description détaillée de la façon d'y remédier.

<u>Nombre de règles de production</u>	<u>Année</u>	<u>Phase</u>
45	1981	Analyse de faisabilité
350	1982	Prototype
530	1983	Système opérationnel pour 50 % des pannes
1200	1984	Système opérationnel pour 80 % des pannes

FIG. 9. — Evolution du système DELTA au travers de ses différentes phases

D'autres systèmes experts sont opérationnels dans les domaines de la chimie organique (DENDRAL), du génie génétique (GENESIS), de l'analyse mathématique (MACSYMA), de la reconnaissance du langage (HEARSAY II), de la prospection géologique (PROSPECTOR) et du forage en milieu pétrolier (SECOFOR). Dans notre environnement immédiat, la société FRAMENEC a développé le système expert MABEL en marketing des biens d'équipement lourd qui sera disponible sous peu. MABEL a six fonctionnalités :

1. Aide à l'optimisation de la prospection;
2. Aide à l'établissement des prévisions de vente;
3. Aide au mailing (choix des thèmes, des sociétés et des fonctions dans les sociétés);
4. Aide au choix des médias (cibles, fonctions de calcul du lecteur réel, rendement à attendre);
5. Expositions (thèmes, cibles, rendement à attendre);
6. Participation à la création de nouveaux produits, à leur réalisation et au business/plan.

Au moment où cet article paraîtra, d'autres systèmes auront plus que vraisemblablement passé le cap de la validation industrielle.

Le développement de systèmes experts exige encore, malheureusement, des investissements considérables (voir fig. 10). Dans ce domaine comme dans bien d'autres, il est vraisemblable que l'évolution future se caractérisera

	Type de système		
	Petit	Moyen	Gros
Nombre de règles de production	50-350	500-3000	10000
Nombre d'hommes-années de développement	1/4-1/2	1-2	3-5
Coût du projet	\$50-60.000	\$500.000 à \$1.000.000	\$2.000.000 à \$5.000.000

FIG. 10. — Coût approximatif des systèmes experts
(Source : Harman et King, 1985)

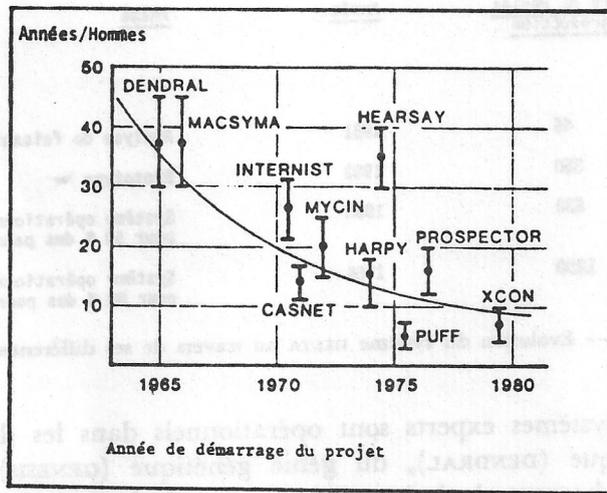


FIG. 11 a. — Temps nécessaire au développement de différents systèmes experts
(Source : R. Davis, 1985)

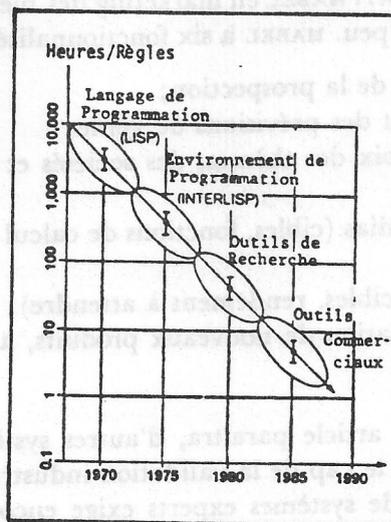


FIG. 11 b. — Temps nécessaire à la conception de systèmes experts en fonction de l'environnement de développement
(Source : Harmon et King, 1985)

par un accroissement considérable de productivité, tant au niveau de la conception que du développement et de l'évaluation de tels systèmes. C'est ce que suggère l'information reproduite dans les figures 11 a et 11 b.

La disponibilité sur le marché d'un nombre croissant d'environnements de développement de systèmes experts sur micro-ordinateurs, contribuera sans nul doute à cette évolution. La diffusion des concepts et méthodes sur lesquels ils reposent par l'intermédiaire de la recherche universitaire, de l'enseignement et du conseil, en accélérera les retombées dans les années à venir.

6. LE RÔLE DES SYSTÈMES INTELLIGENTS EN MARKETING

Les deux approches d'assistance à la décision marketing que nous avons décrites dans cet article sont largement complémentaires. Elles permettent de mieux couvrir le champ des décisions susceptibles d'être enrichies par la disponibilité de systèmes intelligents.

D'une manière générale, ces deux approches illustrent l'évolution observée dans le développement de supports de décision efficaces :

- données + algorithmes = solution, optimisation [SIAD];
- connaissances + inférence = diagnostic, conseil [SE].

La première approche, à laquelle correspondent la plupart des systèmes d'aide à la décision développés en marketing, a donné dans plusieurs domaines des résultats encourageants. C'est le cas notamment des systèmes d'assistance à la gestion de produits nouveaux, de médias planning, et de gestion de la force de vente, déjà évoqués (Lilien et Kotler, 1983).

Leur utilisation, toutefois, reste confinée à quelques grands groupes industriels. L'absence de maîtrise exercée par l'utilisateur sur la conception de ces systèmes en est vraisemblablement la raison principale. Leur manque de spécificité et la complexité conceptuelle des modèles analytiques sur lesquels ils reposent en sont d'autres.

A l'inverse, les systèmes experts offrent un environnement de développement souple, aisément maîtrisable par l'utilisateur potentiel. Comprendre quelques règles de production reflétant les réactions possibles d'un marché est beaucoup plus aisé qu'exprimer cette même réaction sous une forme mathématique!

Une certaine substituabilité existe donc entre ces deux approches. Elle est cependant loin d'être totale. Le développement de systèmes experts devrait être le plus rentable lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- existence d'expert(s) reconnu(s) dans le domaine;
- problème ou tâche de nature essentiellement cognitive;
- performance des experts supérieure à celle d'amateurs;
- possibilité d'exprimer et d'enseigner les éléments sur lesquels repose cette expertise.

Plutôt que de citer un certain nombre de décisions marketing susceptibles de faire l'objet d'un tel développement, il est utile de revoir ce qui, dans cette démarche, illustre dès aujourd'hui les potentialités des systèmes experts.

- *Les études de cas.* — Elles constituent en marketing particulièrement, un moyen privilégié de transfert des connaissances et de l'expertise. Leur objet est d'illustrer la complexité des situations auxquelles le décideur doit faire face et la multiplicité des voies d'action envisageables. De telles études sont autant d'expressions de la réalité marketing qui pourraient assez aisément être « saisies » dans des systèmes experts.
- *Les modèles associatifs.* — De nombreux modèles purement descriptifs du comportement des entreprises ont vu le jour au cours de ces dernières années. Ces modèles issus de l'analyse statistique d'un grand nombre de situations semblables, visent à identifier des « constantes » au niveau du comportement des entreprises. Ils ont été développés dans le domaine de l'analyse stratégique (Buzzel et Faris, 1976), de l'élaboration des budgets de communication (Lilien, 1979) et de l'évaluation des produits industriels nouveaux (Choffray et Lilien, 1986). Leurs résultats pourraient être aisément enrichis de l'expérience accumulée par certains experts du domaine, et intégrés dans des systèmes de diagnostic à base de connaissances.
- *Les limites à la modélisation.* — Une des grandes faiblesses de certains modèles de marketing provient de la difficulté, voire de l'impossibilité, à intégrer dans une structure analytique « maîtrisable » des seuils d'efficacité et autres discontinuités, particulièrement lorsque plusieurs variables sont concernées. C'est notamment le cas des modèles de marketing mix. Une opportunité réelle de développement de systèmes experts existe à ce niveau, dans la mesure où une double représentation factuelle et déductive des connaissances donne toute liberté d'expression de ces phénomènes.

A ces trois niveaux, les systèmes experts apportent plus qu'une alternative acceptable aux approches actuellement mises en œuvre. Ils offrent un environnement directement opérationnel de saisie, d'accumulation et d'enrichissement de l'expertise des décideurs et de leurs entreprises. Ils ne constituent pas, toutefois, une panacée. Dans les situations où la recherche de l'optimalité est souhaitable, et où il existe un modèle analytique de la réalité satisfaisant, l'approche par les systèmes experts présente un caractère moins opérationnel.

7. CONCLUSION

Dans un environnement économique caractérisé par la mondialisation des marchés, la banalisation des technologies et la primauté du service rendu à l'utilisateur, l'accès à l'information, l'accumulation de l'expérience et de l'expertise constituent une des dimensions fondamentales de la compétitivité des entreprises.

Dans ce contexte, acquérir, conserver, adapter et mettre en valeur les connaissances qu'ont acquises les décideurs de la réaction de leurs marchés et du comportement des utilisateurs de leurs produits, devient une tâche fondamentale du marketing. Suivre l'évolution ne suffit plus, il faut l'anticiper pour la mieux maîtriser.

C'est à ce niveau qu'interviennent les systèmes d'assistance à la décision intelligents et en particulier les systèmes experts. Véritables environnements de gestion de l'expérience et des connaissances, ils permettent à chacun d'apporter le meilleur de soi-même au bon fonctionnement de l'entreprise. Ils s'inscrivent dans une optique de continuité dans l'excellence, en accumulant dans des banques de connaissances, l'expérience acquise dans la résolution de problèmes multiples par ces experts que sont les décideurs.

En leur état actuel de développement, les systèmes experts ont déjà fait la preuve de leur opérationnalité en marketing. C'est le cas de systèmes tels que XCON (assistance dans la configuration des ordinateurs DEC) et XSELL (assistance à la force de vente). Mais leur avenir se situe bien au-delà. Leur modularité, les possibilités qu'ils offrent d'enrichir progressivement les connaissances sur lesquelles ils reposent, d'intégrer l'expertise de plusieurs décideurs, voire de plusieurs entreprises, et enfin, de représenter sous une forme simple, aisément compréhensible, des phénomènes issus de l'interaction entre des variables multiples, en font un environnement particulièrement prometteur en matière de diagnostic et d'aide à la décision marketing.

De tels systèmes comportent toutefois également des faiblesses. Celles-ci proviennent essentiellement des limites de leur zone d'expertise et de leur moindre performance dès qu'ils s'en approchent. La manière dont ils traitent l'incertitude et l'interdépendance dans la représentation des connaissances devrait également être un sujet d'interrogation. Enfin, dans la mesure où ils visent à capturer et à reproduire l'expertise humaine, ils contribuent à poser un véritable problème de société au niveau de l'accès au savoir et du transfert de sa propriété.

Complémentaires plus que substituables aux systèmes d'aide à la décision actuellement utilisés en marketing, les systèmes experts offrent une opportunité nouvelle de prolongement de l'action des décideurs. Nul doute qu'ils contribueront, dans les années à venir, à une meilleure utilisation d'une ressource rare : la compétence.

BIBLIOGRAPHIE

- Baile S. (1983), Les outils d'aide à la Décision Marketing, *Revue française de Gestion*, n° 43.
- Bonnet A. (1984), *L'intelligence artificielle : promesses et réalités*, Paris, Inter-Éditions.
- Bonnet A., Haton J.-P. et Truong-Ngoc J.-M., *Systèmes experts : vers la maîtrise technique*, Paris, Inter-Éditions.
- Buzzell R. et Farris P. (1976), Industrial Marketing Costs, *Working Paper*, Marketing Science Institute.
- Choffray J. M. et Lilien G. L. (1986), A Decision-Support System for Evaluating Sales Prospects and Launch Strategies for New Products, *Industrial Marketing Management*, 15.
- Choffray J. M. (1985), *Marketing Expert : Logiciels d'aide à la décision*, Paris, McGraw-Hill.
- Claycamp H. J. (1974), RESCUE Investment Analysis Program, *Note Technique non publiée*, juin.
- Cochran W. (1953, 1963), *Sampling Techniques*, New York, John Wiley.
- Davis R. (1985), Amplifying Expertise with Expert System, *Sloan* (été).
- Ernst C. (ed.) (1985), *Introduction aux systèmes experts de gestion*, Paris, Ed. Eyrolles.
- Ernst G. et Newell A. (1969), *GSP : A Case Study in Generality and Problem Solving*, New York, Academic Press.
- Farreny H. (1985), *Les systèmes experts : principes et exemples*, Toulouse, Cepadues Editions.
- Fitzroy P. (1976), *Analytical Methods for Marketing Management*, Maidenhead, McGraw-Hill.
- Foreman E. (1984), *Expert Choice User Manual*, McLean, Decision Support Software Inc.
- Forsyth R. (ed.) (1984), *Expert Systems : Principles and Case Studies*, Great Britain, Chapman & Hall Computing.

- Ganascia J. G. (1985), La conception des systèmes experts, *La Recherche*, octobre.
- Green P. et Carmone F. (1969), Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Non-metric Hypothesis, *Psychometrika*, vol. 29.
- Green P. et Carmone F. (1968), *Multidimensional Scaling and Related Techniques in Marketing Analysis*, Boston, Allyn & Bacon.
- Harman H. (1960, 1967, 1976), *Modern Factor Analysis*, Chicago, The University of Chicago Press.
- Harmon P. et King D. (1985), *Artificial Intelligence in Business*, New York, John Wiley.
- Hayes-Roth F., Waterman D. A. et Lenat D. B. (ed.) (1983), *Building Expert Systems*, Menlo Park, Addison Wesley Publishing Company.
- Kotler P. (1971), *Marketing Decision Making : A Model Building Approach*, New York, Holt, Rinehart & Winston.
- Kruskal J. (1964), Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis, *Psychometrika*, vol. 29.
- Lenat D. (1982), EURISKO : A Program that Learns New Heuristics and Domain Concepts, *Artificial Intelligence*, 21.
- Lilien G. L. et Kotler P. (1983), *Marketing Decision Making : A Model Building Approach*, Cambridge, Harper & Row.
- Lilien G. L. (1979), ADVISOR 2 : Modeling the Marketing Mix Decision for Industrial products, *Management Science*, vol. 25.
- Little J. D. C. (1979), Decision Support Systems for Marketing Managers, *Journal of Marketing*, vol. 43.
- Little J. D. C. (1975), BRANDAID : A Marketing Mix Model, Part I : Structure; Part II : Implementation, *Operations Research*, vol. 23.
- Little J. D. C. (1970), Models and Managers : The Concept of a Decision Calculus, *Management Science*, vol. 16.
- Lodish L. N. (1971), CALLPLAN : An Interactive Salesman's Call Planning System, *Management Science*, vol. 18.
- Merunka D. (1986), Les nouvelles mesures d'efficacité, *Revue française de Gestion*, juin-juillet-août.
- Montgomery D. B. et Silk A. J. (1972), Estimating the Dynamic Effects of Marketing Communications Expenditures, *Management Science*, vol. 18.
- Naert P. et Leeflang P. (1978), *Analytical Methods for Marketing Management*, Leiden, Martinus Nijhoff.
- Retour D. (1985 a), L'Intelligence artificielle aux portes de l'entreprise, *Revue française de Gestion*, juin-juillet-août.
- Retour D. (1985 b), *Les systèmes experts aux Etats-Unis*, Paris, Fondation nationale pour l'Enseignement de la Gestion des Entreprises.
- Rosenblatt F. (1957), *The PERCEPTRON : A Perceiving and Recognizing Automaton*, New York, Cornell Aeronautical Lab.
- Shepard R. (1962), The Analysis of Proximities, Part I and Part II, *Psychometrika*, vol. 27.
- Shortliffe E. (1976), *Computer Based Medical Consultations : MYCIN*, New York, American Elsevier.
- Thurow L. C. (1985), Pruning Our White-Collar Ranks : A Key to Productivity, *Technology Review*, décembre.
- Urban G. L. (1970), A Model for the Analysis of New Frequently Purchased Consumer Products, *Operations Research*, vol. 18.