



**HAL**  
open science

# Les systèmes experts de diagnostic technique : Opportunité d'utilisation et contraintes de réalisation

Nathalie Fabbe-Costes

## ► To cite this version:

Nathalie Fabbe-Costes. Les systèmes experts de diagnostic technique: Opportunité d'utilisation et contraintes de réalisation. *L'Entreprise Logistique*, 1989, Intelligence Logistique et Systèmes Experts, Cahier d'Etudes et de Recherches - Volume V (Hiver 1988-1989), pp.63-83. hal-01287238

**HAL Id: hal-01287238**

**<https://hal.science/hal-01287238v1>**

Submitted on 15 Mar 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **l'entreprise logistique**



---

CAHIER D'ETUDES ET DE RECHERCHES

Volume V - Hiver 1988-1989

---

## **Intelligence Logistique et Systèmes Experts**

*Mary Kay ALLEN, Dominique CEUGNIET, Serge-Louis DUPUIS  
Nathalie FABBE-COSTES, Martine SEBAG*

---

EUROLOG - GROUPE ESSEC  
ET  
SOCIETY OF LOGISTICS ENGINEERS - FRANCE

---

# Intelligence Logistique et Systèmes Experts

Editorial

par Roger Gaublin et Hervé Mathis

## SOMMAIRE

---

<b>Editorial</b> .....	7
<b>Intelligence artificielle et logistique au futur</b> .....	9
Mary Kay ALLEN	
<b>Les systèmes experts dans le champ de l'intelligence artificielle</b> .....	19
Serge-Louis DUPUIS	
<b>Comment développer un système expert logistique</b> .	39
Denis TOURNESAC	
<b>De l'emploi d'un générateur de systèmes experts, l'exemple de Datamenter</b> .....	51
Martine SEBAG	
<b>Les systèmes experts de diagnostic technique. Opportunité d'utilisation et contraintes de réalisation</b>	63
Nathalie FABBE-COSTES	
<b>Réflexions générales sur l'avenir des systèmes experts</b> .....	85
Dominique CEUGNIET	

# Les systèmes experts de diagnostic technique : Opportunité d'utilisation et contraintes de réalisation

**Nathalie FABBE-COSTES**

*C.R.E.T., Université d'Aix Marseille II  
et Port Autonome de Marseille*

## RÉSUMÉ

### Partie I

Les systèmes experts qui sont des programmes informatiques qui ont pour objectif d'aider au raisonnement humain dans des domaines bien définis, en reproduisant et/ou exploitant l'expertise de spécialistes, semblent trouver dans les activités de diagnostic technique une voie privilégiée pour leur intégration industrielle. L'objet de cet article est d'aller plus avant dans l'évaluation de leur intérêt économique, dans la perspective de leur exploitation opérationnelle dans les entreprises industrielles.

La première partie tente d'analyser, à partir d'observations concrètes, les situations favorables d'utilisation de la technique système expert dans les activités de diagnostic technique. Il s'agit, à partir d'un essai de typologie des différentes situations, d'apprécier les conditions d'intégration de ce type de système dans les entreprises.

### Partie II

Toujours dans l'optique de l'exploitation opérationnelle de ces systèmes dans les entreprises industrielles, et illustrant le propos par des exemples concrets, il s'agit d'une part de repérer les principaux obstacles actuels à la mise en œuvre de cette technique informatique, d'autre part de dégager les perspectives dont elle est néanmoins porteuse.

## ABSTRACT

### Part I

Expert systems are computer programs whose objective is to help human reasoning in specific areas through the reproduction and/or exploitation of experts' advice. Technical diagnosis appears to be their privileged way to an industrial integration.

This article will thoroughly evaluate the economic opportunity their uses represent for industrial firms. The first part is an attempt at analyzing, by means of actual cases, the appropriate situations that lend themselves to the application of expert systems in technical diagnosis.

Leaving aside the development of expert systems — which is the theme of our second part — this article will appraise, via a typology of various situations, the conditions for such systems to be better integrated in firms.

### Part II

Keeping in view the exploitation of such systems in industrial firms, it will show on the one hand the main obstacles that hinder the implementation of this computer technique and, on the other hand, the prospects it actually carries.

## Partie I

### Opportunité d'utilisation des Systèmes Experts de diagnostic technique

#### 1. INTRODUCTION

Depuis le démarrage, d'ailleurs largement commenté par la presse, des systèmes experts, le diagnostic technique est considéré comme l'une des applications les plus exemplaires tant du point de vue de sa faisabilité que du point de vue de son efficacité, donc des promesses de rentabilité opérationnelle ; ce qui tendrait à être confirmé par le nombre toujours croissant des projets en cours (1). Le peu de recul que nous avons sur la pratique rend délicate l'analyse de la justification économique de la réalisation opérationnelle de systèmes experts dans ce domaine ; pour l'essentiel les informations diffusées sur les systèmes en cours ou réalisés traitent plus de problèmes informatiques que d'analyses économiques, quand elles ne se limitent pas à de la « publicité ». Néanmoins, à l'heure où l'industrie commence à réfléchir aux applications des systèmes experts, en particulier à celles du diagnostic technique, il est nécessaire, parallèlement aux travaux purement informatiques que mènent les spécialistes de l'Intelligence Artificielle, de progresser dans nos réflexions économiques.

Avant de développer notre propos, et parce que cela en fait partie, il convient de revenir sur l'idée largement répandue et pourtant fausse que le diagnostic technique n'est qu'un, quel que soit le contexte et les conditions dans lesquelles il est exercé. Peut-être est-il d'ailleurs nécessaire de revenir rapidement sur la notion de diagnostic technique et d'expliquer les raisons de l'intérêt que les industriels lui portent.

#### 2. LE DIAGNOSTIC TECHNIQUE : STRATEGIQUE

En se limitant à ses activités opérationnelles, le diagnostic technique représente le cœur des fonctions techniques de la maintenance industrielle. C'est sur sa qualité que reposent la prévention des défaillances, le dépannage et la remise en route des matériels, la décision de réparation des pièces ou d'améliorations... c'est-à-dire tout ce qui permet au mieux d'éviter les défaillances des matériels, au moins d'en limiter les effets. Or, si le nombre des dysfonctionnements tend à diminuer, en particulier avec la mise en place d'une gestion de la maintenance adaptée et intégrée à la gestion de la production (2), mais aussi du fait de l'amélioration par les constructeurs de la fiabilité des équipements, leurs conséquences économiques sont de plus en plus lourdes. Ils représentent en effet des aléas qui viennent perturber les organisations mises en place, aléas qui ont d'autant plus d'impact que les flux, tant internes qu'externes à chaque entreprise, sont « tendus ». La disponibilité des matériels de production, en particulier dans les organisations qui répondent aux nouvelles normes logistiques de production/circulation des produits, devient donc un impératif tel qu'il justifie toutes les recherches visant à la garantir.

Si l'activité du diagnostic technique est généralement présentée de façon générique, elle revêt cependant des aspects notoirement différents du point de vue pratique, même si la base de la connaissance technique qui est utilisée reste la même. Sont en effet concernées les fonctions-diagnostic : de « consultation » après une panne pour déterminer la

(1) S.E. d'aide au diagnostic de panne des portiques de déchargement de porte-conteneurs du Port Autonome de Marseille au Terminal de Fos-Commerce.

(2) L'appréhension de la Production et de la Maintenance doit être globale au sein d'une même phase d'exploitation du matériel.

cause de la défaillance et proposer une solution (3) (cas le plus fréquent), de mise en place de régimes dégradés convenables en cas d'incidents de fonctionnement (poursuite de l'exploitation dans des conditions satisfaisantes de sécurité/qualité), de surveillance des matériels par analyse de paramètres de fonctionnement, de contrôle de la qualité qui concerne plus les réglages des machines, de déclenchement de tâches de maintenance en fonction de l'état du matériel... La nature même de chacune de ces facettes du diagnostic est de surcroît considérablement différente selon le niveau de technicité du matériel concerné, l'existence ou non d'une acquisition automatique de paramètres sur les engins, et selon les contraintes résultant du type d'utilisation des machines et du contexte organisationnel de l'entreprise.

Le caractère stratégique du diagnostic technique explique en tout cas l'intérêt que les industriels portent à tous les systèmes, dont les systèmes experts, qui seraient susceptibles de résoudre leurs problèmes de disponibilité et de fiabilité. De là à affirmer que les systèmes experts sont la solution...

### 3. CRITIQUE DE L'ARGUMENTAIRE « CLASSIQUE »

Pourtant de nombreux articles et publications présentent le diagnostic technique comme une application industrielle particulièrement prometteuse des systèmes experts. Quelles sont les raisons généralement avancées pour le justifier ?

- la démarche du diagnostic est une des activités intellectuelles que l'on sait le mieux reproduire et les modes de représentation des connaissances communément utilisés sont bien adaptés à celles que mettent en œuvre les spécialistes du diagnostic technique (MYCIN ancêtre/modèle des systèmes experts n'y est certainement pas indifférent).
- la connaissance est souvent disponible et relativement facile à extraire (on a toujours un bon technicien/spécialiste).
- la démonstration/utilisation du système est généralement satisfaisante (du moins vis-à-vis des décideurs).

Ces arguments, que nous pourrions d'ailleurs discuter (en particulier nous reviendrons par la suite sur le problème de la connaissance), ne sont pas de nature à justifier économiquement de tels systèmes, même si la « relative facilité » de la réalisation du système expert a un impact sur son économie. Ils ne font en effet que confirmer l'idée que le diagnostic technique (qu'il soit de panne ou autre) est stratégiquement un bon choix pour une première « maquette » de système, pour des raisons principales de faisabilité (arguments 1 et 2) et de démonstration (argument 3).

Quant aux avantages que l'on peut espérer d'une telle opération ? Ils sont généralement évoqués au conditionnel et mettent essentiellement en avant des gains indirects dus à la mise à plat de la connaissance (actualisation, pérennisation, valorisation, diffusion...) que l'on pourrait obtenir sans la réalisation opérationnelle d'un système. Par ailleurs, les problèmes posés par l'introduction et la construction d'un système expert dans l'entreprise sont généralement supposés résolus. Il semble en fait que la décision de réaliser un système expert ne réponde pas toujours à une réflexion qui serait à la hauteur du projet engagé, surtout compte tenu du niveau de l'investissement (à partir de 500 KF, mais plus généralement de l'ordre de 1-2 MF, souvent plus).

(3) Le volet complémentaire du diagnostic technique est la réparation/thérapie qui conseille des plans d'action ou d'intervention en fonction du diagnostic établi.

Quelle est donc la démarche qui peut nous amener à justifier ou non l'intérêt économique des systèmes experts de diagnostic technique ?

Les systèmes experts ne sont pas tout à fait des systèmes informatiques comme les autres ; ils font en effet partie des outils d'aide à la décision et participent à la réalisation de certaines activités intellectuelles humaines. Pour cela, l'analyse des facteurs de l'environnement dans lequel un système expert aura à s'intégrer nous semble essentielle pour engager une décision. L'approche qui est proposée est donc, dans une première étape, un essai de typologie des situations dans lesquelles peuvent s'envisager l'utilisation d'un système expert en diagnostic technique.

#### 4. ESSAI DE TYPOLOGIE DES SITUATIONS D'INTEGRATION D'UN S.E.

« Les systèmes experts sont des logiciels destinés à remplacer ou assister l'homme dans des domaines où est reconnue une expertise humaine qui est insuffisamment structurée pour constituer une méthode de travail précise, sûre, complète, directement transposable sur ordinateur, et/ou sujette à révisions ou compléments selon l'expérience accumulée (4). Si les systèmes experts apparaissent comme une réponse au besoin d'informatisation de certaines fonctions (est-ce vraiment le cas du diagnostic technique ?) difficiles à modéliser sous forme d'algorithmes sûrs et définitifs, ils sont aussi porteurs d'une réalité sociale qui demande une analyse préalable des conditions et des objectifs de leur intégration dans une entreprise.

Distinguons les principales situations qui peuvent se présenter en fonction de 3 types d'informations (5).

**La qualité de l'utilisateur** (destination du S.E.) (6) :

- un expert (qu'il ait ou non participé à la réalisation du S.E.) (7),
- un non-expert,
- un futur expert.

**L'objectif du système expert** (rôle social) (8) :

- remplacer l'expert (faire le diagnostic et conclure),
- assister l'intervenant (aider au diagnostic),
- former l'utilisateur.

(4) *Les systèmes experts : principes et exemples*, H. Farreny, Cépadués Ed. 07/85.

(5) Pour affiner l'analyse on pourrait aussi tenir compte de la nature des équipements concernés, du degré d'informatisation du suivi de la maintenance, de l'existence d'acquisition automatique de paramètres sur le matériel... mais ce sont de notre point de vue des données secondaires par rapport aux 3 qui ont été choisies, dont cependant nous tiendrons compte lors d'une approche plus détaillée.

(6) Un expert est à la fois un bon technicien et un spécialiste du matériel sur lequel porte le S.E. (un technicien qui ne connaît pas le matériel est un futur expert), un non-expert ne doit pas devenir expert (ou c'est un futur expert).

(7) Le terme « expert » ne concerne pas de notre point de vue que des « super-spécialistes rares, chers et peu disponibles », il comprend aussi (peut-être même surtout) les techniciens qui ont une bonne expérience des matériels et dominent parfaitement leur domaine aussi restreint soit-il.

(8) La notion d'objectif se rapporte à l'utilisation opérationnelle du S.E. ; les avantages indirects qu'il apporte, et qui sont généralement mis en avant, ne sont pas de notre point de vue de nature à justifier la décision, même s'ils participent « in fine » au bilan de l'opération S.E.

**La nature du service maintenance** dans lequel s'intègre le système expert (9) :

- maintenance assumée,
- maintenance sous-traitée,
- maintenance vendue.

Nous allons analyser par rapport à ces 3 données l'intérêt d'un système expert en diagnostic technique. Les diverses situations étudiées seront visualisées dans des tableaux de croisement de données qui seront commentés (10).

#### 4.1. Croisement qualité utilisateur/objectif du système

	remplacer	assister	former
expert .....	* 1 *	0	* 2 *
non-expert .....	0		* 3 *
futur expert .....	* 4 *		

Le croisement de ces deux informations permet d'une part d'envisager les éventuels conflits homme/machine que l'utilisation d'un système expert peut entraîner, d'autre part de définir les principales fonctionnalités du système qui garantiront son intégration sociale.

Le propre des systèmes experts est d'intégrer des connaissances et de pouvoir les mettre en œuvre pour aboutir à un diagnostic, ce qui leur confère une capacité d'analyse sinon de décision. A ce titre, si le système doit recouper tout ou partie des compétences de son utilisateur et arriver ainsi à le concurrencer (\* 1 \*, à terme \* 4 \*) — même si ce n'est que partiellement — il en résulte une situation de conflit qui aboutit généralement au rejet du système (en tout cas par l'utilisateur prévu) ce qui nie l'opérationnalité du système.

Une des règles garantissant la bonne complémentarité de l'homme et de la machine est donc que le **système** (quel que soit son objectif) soit **plus compétent que son utilisateur** (la compétence ne se juge pas au diagnostic seul, elle réside aussi dans l'analyse de la situation, des informations, la complétude de la connaissance...). Ce degré de compétence nécessaire pose, entre autres, le problème de la qualité de la connaissance que l'on est capable de transmettre au système, du point de vue de son acquisition comme de celui de sa traduction informatique. Une autre règle, tout aussi importante dans la mesure où le système doit être un partenaire, est que le niveau de **dialogue** du système soit **adapté à la qualification de son utilisateur** (particulièrement vrai pour les systèmes de « consultation » pour lesquels la qualité des informations que l'utilisateur donne est primordiale pour le succès du diagnostic).

Ces premières réflexions laissent à penser qu'à chaque situation correspond un système différent, tant du point de vue des connaissances et du raisonnement, que du point de vue de la richesse des interfaces. Cette idée est d'ailleurs confirmée par l'analyse des exigences que supposent implicitement chacun des objectifs envisageables pour le système.

(9) La distinction qui est faite se rapporte à la double notion de possession/utilisation du matériel et de réalisation de la maintenance : une entreprise qui maintient le matériel qu'elle utilise est en situation de M. assumée, celle qui fait maintenir par d'autres le matériel qu'elle utilise est en M. sous-traitée, celle qui maintient un matériel utilisé par d'autres est en M. vendue. (Maintenance sous-traitée et vendue sont « duales ». La présence de ces 2 facettes d'une même situation permet d'analyser la position des 2 partenaires du contrat vis-à-vis d'un éventuel S.E.).

(10) Les situations discutées sont repérées dans les tableaux par \* x \*, celles jugées les plus favorables sont signalées par 0.

Si l'obje  
de la s  
été défi  
le taux  
d'autan  
tiné à fr

Si l'obje  
**gogiqu**  
appréci  
expert d  
de réalis  
\* 2 \* et \*

En mati  
rapport  
souvent  
situation  
dre parce  
Il deman  
revue très  
c'est à l'i  
ner le ma  
et limiter  
« noyer »

Au-delà  
ralement  
fixé ainsi  
que si l'ut  
succès d'  
préalable  
ses utilisa  
tiques tecl  
parce qu'e  
nisation se

Intégrée à  
et ses ma  
Notons qu  
porteurs d  
développe  
une vérité

(11) Cas de  
mande numé

(12) Cas de  
tion techniq  
lisation géogr

(13) Cas de E

(14) Les béné  
teur du systè  
envisager un  
apporter une

Si l'objectif est de **remplacer l'expert** (même partiellement), il est primordial de s'assurer de la **sûreté du diagnostic** que donne le système dans la domaine de validité qui aura été défini. A ce titre, la phase de validation est essentielle, et on n'hésitera pas à limiter le taux de réponse du système afin d'éviter des erreurs. La sûreté du diagnostic sera d'autant plus nécessaire qu'il sera diffusé largement, utilisé par des non-experts ou destiné à fonctionner de manière plus autonome.

Si l'objectif est la **formation de l'utilisateur**, il faudra en plus garantir les **qualités pédagogiques** du système (qualité des explications, guidage de l'élève, analyse des erreurs, appréciation du niveau acquis...), ce qui conduit en recherche à coupler un système expert de diagnostic à un système expert pédagogue (11). La difficulté actuelle de ce type de réalisation conduit à les réserver à la formation d'experts (d'où le rejet des situations \*2\* et \*3\*).

En matière d'**assistance à l'utilisateur**, la priorité est de **répondre à son besoin** par rapport au diagnostic qu'il a à établir et à la conclusion qu'il doit y apporter ; il s'agit le plus souvent de la priorité informationnelle du système (analyse, restitution) (12). Si aucune situation n'est proscrite pour l'assistance, c'est sûrement l'objectif le plus difficile à atteindre parce que service spécifique à un utilisateur qui est capable de prendre une décision. Il demande donc non seulement une analyse précise des besoins en même temps qu'une revue très complète de la connaissance. En effet la notion d'assistance supposant que c'est à l'intervenant de conclure sur le diagnostic, le système expert doit à la fois lui donner le maximum de pistes de réflexion en fonction des données qui lui sont disponibles, et limiter le nombre des informations à celles réellement pertinentes pour éviter de le « noyer » par une trop grande quantité de données (13).

Au-delà de la faisabilité technique du diagnostic par un système expert (ce qui est généralement la seule chose mise en avant), la compétence du système par rapport à l'objectif fixé ainsi que la faculté de devenir un partenaire pour son utilisateur (ce qui n'est le cas que si l'utilisateur tire « un bénéfice » [14] de l'outil) sont donc les conditions majeures au succès d'un projet. Elles ne peuvent être remplies que si sont définis précisément, et préalablement à toute décision, la finalité du système (objectif et fonction-diagnostic) et ses utilisateurs, d'une part parce que ces données déterminent largement les caractéristiques techniques du système (dont il faut quand même prouver la faisabilité), d'autre part parce qu'elles remettent en cause l'ordre social de l'entreprise, et qu'une nouvelle organisation sera à valider.

Intégrée à l'entreprise, le système doit aussi pouvoir évoluer avec elle : avec ses hommes et ses matériels, ce qui est particulièrement important pour le diagnostic technique. Notons que tous ces aspects, jugés à tort « annexes » au diagnostic proprement dit, sont porteurs de deux réalités à prendre en compte : ce sont les plus coûteux au niveau du développement informatique et les plus difficiles à concevoir, ce sont eux qui assurent une véritable intégration opérationnelle du système.

(11) Cas de Socrate système expert pédagogue d'aide au diagnostic de panne de machines-outils à commande numérique développé à la Régie Renault (J. Moustafiades, Avignon 86).

(12) Cas de Cats'1 (aide au dépannage de locomotives General Electric) pour la richesse de la documentation technique intégrée, et de Rufus (aide au diagnostic des rames R.E.R. A) pour sa précieuse aide à la localisation géographique.

(13) Cas de Extra traitement des alarmes d'un réacteur nucléaire (E.D.F.).

(14) Les bénéfices à exiger d'un système expert sont donc de 2 ordres : l'un concernant le personnel (utilisateur du système mais aussi experts de l'entreprise — si ce ne sont pas les utilisateurs — pour lesquels il faut envisager un redéploiement de leur potentiel), l'autre global pour l'entreprise (l'exploitation du système doit apporter une amélioration sur un facteur stratégique qui doit être clairement défini).

#### 4.2. Croisement nature service maintenance/objectif du S.E.

	remplacer	assister	former
assumée .....	* 1 *	0	
sous-traitée .....	* 2 *		* 3 *
vendue .....	0	0	

Le croisement de ces deux informations permet d'envisager la cohérence du rôle du système par rapport à la politique globale de maintenance suivie.

Dans le cadre d'une **maintenance assumée**, il nous semble que le remplacement opérationnel de l'expert (ou des experts) (\* 1 \*), même si ce n'est pas sa suppression sociale, présente le risque de voir le spécialiste perdre le contact avec le terrain et donc de ne pouvoir suivre convenablement l'évolution du matériel ni améliorer son expertise (celle-ci se faisant par une confrontation permanente avec les éléments). Par suite, il risque de ne pouvoir faire évoluer le système expert dont la connaissance restera donc statique, ce qui est d'autant plus dommageable que l'entreprise pratique une politique d'amélioratif soutenue. En fait, l'expérience prouve qu'on ne remplace jamais complètement l'expert, le système n'arrivant à des performances comparables que dans les cas les plus courants, en tout cas ceux qui sont connus.

Dans certaines situations, le remplacement de l'expert par un système peut cependant s'avérer intéressant (en fonction des moyens disponibles, du type d'exploitation, du coût évalué de la défaillance...) en particulier lorsque la disponibilité des experts, que ce soit dans l'espace ou le temps, pose problème. C'est souvent le cas de l'utilisation en continu (3/8) des équipements où le système expert peut prendre la relève de l'expert quand celui-ci n'est pas là (15). De même l'exploitation de matériel mobile, en particulier dans le secteur des transports, peut justifier, pour assurer une grande couverture géographique tout en garantissant un bon niveau de disponibilité, de diffuser aux nœuds du réseau un système expert de diagnostic technique qui évite le déplacement des experts ou les limite aux cas les plus complexes. Le développement de l'informatique embarquée ouvre de surcroît des perspectives de télé-diagnostic, télé-surveillance qui pourront intégrer la technologie des systèmes experts, en particulier pour assurer l'état de « veille ». D'autre part, dans la mesure où l'exploitant peut l'assumer et où les impératifs de disponibilité l'exigent, un remplacement partiel de l'expert pour les dépannages de premier niveau (du point de vue informatique un système expert est-il alors justifiable ?) peut aussi s'envisager mais à la condition que les rôles de chacun soient clairement définis, au risque de créer des conflits de compétences et à terme une déresponsabilisation préjudiciable des experts.

Du point de vue de la formation de futurs experts, et toujours dans le cas de la maintenance assumée, un système se justifie principalement lorsque les matériels sont neufs et que l'expertise n'a pas encore été acquise par les spécialistes de l'entreprise. Dans ce cas, la connaissance n'existe généralement que chez le concepteur du matériel, mais il n'a le plus souvent pas l'expérience de son exploitation. Lorsqu'il s'agit de former de futurs experts sur du matériel déjà bien connu de l'entreprise, il faut justifier à la fois d'un nombre suffisant d'experts à former, et d'une non-disponibilité des spécialistes capables d'assurer cette formation, qui par ailleurs est un facteur de reconnaissance sociale important de l'expert.

En ce qui concerne les cas de **maintenance sous-traitée**, indépendamment du cas \* 2 \* qui n'existe pas a priori puisque l'entreprise qui sous-traite n'a généralement pas d'expert

(15) C'est un des arguments de la société Vecteur S.A. pour la promotion de son outil de développement Se-D-Pan.

(de plus liser un dans le de main dans la traite, il tenance ses con détailler.

Pour l'er matériel tème exp (16). Par tuée par vente. Il partiellen tions d'ut réserve d voir des s les cas le: observati automatique

Dans le s de la couv système e fusion et la et surtout d'informati nisation pe des équipe type de pr Soutien Lo en même t tenabilité, conception conçue dès

La complex pement de

(16) C'est d'a en diagnostic

(17) C'est le c Framatome de procédé mené de qualité et d

(18) Cas de M techniciens int

(19) C'est l'obj tèmes de diagn rapidité du diag

(20) Voir De l', de Recherche,

(de plus qui acceptera de vendre la connaissance qui est un facteur de stratégie ?), utiliser un système expert pour la formation d'intervenants (\* 3 \*) ne peut s'envisager que dans le cadre du premier dépannage (sinon il s'agit d'une modification de la politique de maintenance qui au moins sur le matériel concerné devient assumée). Cependant, dans la mesure où la connaissance n'est généralement pas dans l'entreprise qui soustrait, il ne peut s'agir que d'un système réalisé avec ou par la société qui vend la maintenance et/ou le matériel. Cette dernière trouvera certainement plus d'intérêt à exploiter ses connaissances pour développer d'autres types de systèmes, ce que nous allons détailler.

Pour l'entreprise qui vend un service de maintenance (généralement le concepteur du matériel ou des entreprises extrêmement spécialisées), l'investissement dans un système expert de diagnostic technique peut se justifier dans de nombreux cas de figure (16). Par exemple, un constructeur aura intérêt à l'amélioration de la maintenance effectuée par ses clients, du fait d'un recours moins fréquent à ses spécialistes de l'après-vente. Il peut à cet effet proposer à l'exploitant des matériels un système qui remplace partiellement ses experts (17), en particulier pour résoudre les cas de mauvaises conditions d'utilisation (erreurs de manipulation) et intervenir en premier dépannage (sous réserve des problèmes de responsabilité vis-à-vis du constructeur). Il peut aussi concevoir des systèmes installés chez les utilisateurs qui avancent le travail du spécialiste dans les cas les plus complexes, en particulier en enregistrant des informations (circonstances, observations, paramètres de fonctionnement) au moment de l'incident (par acquisition automatique ou par dialogue).

Dans le service après-vente à partir de bases de maintenance, l'effet d'échelle vis-à-vis de la couverture géographique mais aussi de la gamme de produit (18), joue en faveur du système expert de diagnostic technique, quel que soit son objectif. En particulier, la diffusion et la démultiplication sur un réseau d'une expertise homogène permet de maîtriser et surtout de garantir la qualité/efficacité du service qui est vendu (19). De par le retour d'informations qui sont à la fois précises et plus fiables, la mise en place d'une telle organisation permet en plus pour un constructeur de mieux mesurer la fiabilité opérationnelle des équipements entretenus et d'avoir en retour un effet sur les conceptions futures. Ce type de préoccupation s'intègre tout à fait dans les perspectives du développement du Soutien Logistique Intégré (20). Notamment si le système expert de diagnostic est étudié en même temps qu'est défini le produit, la prise en considération des conditions de maintenabilité, de fiabilité, de capacité à l'usage... du produit qu'il suppose, et ce dès sa conception et non plus a posteriori, va dans le sens d'une ingénierie globale du produit conçue dès le moment de l'étude du système.

La complexité croissante des systèmes de production, en même temps que le développement de moyens de transmission et de communication, donne par ailleurs naissance

(16) C'est d'ailleurs le segment de marché que vise la société I-Best pour son outil de développement de S.E. en diagnostic de panne Cornelius.

(17) C'est le cas du système TIG qui réalise le transfert sur le site d'installation du procédé de soudage (usine Framatome de Chalon-sur-Saône) des connaissances acquises au cours de l'étude de développement du procédé menée en laboratoire. TIG permet aux exploitants d'utiliser l'installation dans le respect des critères de qualité et de la dépanner. (P. de Bonnières, M.A. Calas, S. Para, Avignon 86).

(18) Cas de Merlin-Gérin qui réalise et met à la disposition de son service de M.A.V. des S.E. pour que ses techniciens interviennent avec une qualité égale sur la totalité de ses 40 produits.

(19) C'est l'objectif de la Régie Renault avec son programme Sitere, qui vise à équiper ses centres de systèmes de diagnostic, afin de réduire les temps d'indisponibilité et les coûts liés à une panne, en améliorant la rapidité du diagnostic et en évitant les déposes inutiles de pièces (01 Hebdo, décembre 85).

(20) Voir *De l'Après-Vente au Soutien Logistique : Nouveau Défi*. L'entreprise Logistique, Cahier d'Etudes et de Recherche, volume III, hiver 86-87.

à un nouveau marché de télédagnostic, télésurveillance et télémaintenance qui aura recours à des outils informatiques de plus en plus sophistiqués. Dans ce contexte, et même si une société qui vend un service de maintenance travaille généralement avec des spécialistes, un système expert pourrait permettre à des non-experts d'être les premiers interlocuteurs sur appel d'un client, les experts n'intervenant que sur les cas difficiles (21).

## 5. CONCLUSION

Cette approche détaillée des conditions de l'intégration d'un système expert de diagnostic technique à son environnement montre d'abord qu'à la diversité des cas de figure correspond une diversité des systèmes. Il ne peut donc y avoir de réponse unique à la question de l'intérêt des systèmes experts en diagnostic technique. Ensuite elle confirme que l'intégration d'un système expert dans l'ensemble organisationnel d'une société (social et technique) nécessite une réflexion remontant très en amont du système lui-même, une réflexion qui relève de la stratégie d'entreprise. La décision touche en effet à la définition de la politique de maintenance (quelle que soit sa nature), à la gestion des ressources humaines (personnel, poste de travail et qualification), à l'organisation du système d'information de l'entreprise... tout en ayant des conséquences non négligeables sur les autres fonctions de l'entreprise. A chaque situation doit donc répondre une analyse particulière qui étudie globalement les conditions de l'intégration d'un système expert de diagnostic technique et qui définit en conséquence les principales fonctionnalités du système souhaitable.

L'analyse qui a été menée ne fait cependant que mettre en évidence les questions relatives à l'avantage de l'utilisation d'un système expert de diagnostic technique. Une fois établi cet avantage, la réflexion doit donc se poursuivre à l'analyse de l'intérêt de la réalisation du système avant de conclure que l'investissement se justifie. L'étude nécessaire des contraintes techniques et pratiques que pose la réalisation des projets de systèmes experts de diagnostic technique est l'objet de la seconde partie de l'article.

## 1. INTF

Entre l'év  
(qui était l  
faire réali  
est néces  
multiples  
tes selon  
liés à la c

## 2. CON'

Les contra  
commenta  
pour cause  
tions. Pour  
opérationn

Le bénéfici  
cure (amél  
liés à un di  
doit être co  
d'être que s  
prise. La m  
le respect c  
à la deman  
duction corr  
perturbation  
ailleurs con:

(21) Exemple de Digital Equipment à Sophia-Antipolis (base de télédagnostic).

(1) La mesure  
technologiques

(2) Il convient  
prise a à adopt  
siquement, la n  
ce pour un coût

## Partie II

### Analyse des contraintes techniques de réalisation d'un système expert de diagnostic technique

#### 1. INTRODUCTION

Entre l'évaluation de l'opportunité d'utiliser un système expert de diagnostic technique (qui était le propos de la première partie de notre réflexion) et la décision de le réaliser (ou faire réaliser), il est une démarche d'évaluation technique indispensable. Cette évaluation est nécessaire pour définir précisément les caractéristiques du système en fonction des multiples contraintes que son opérationnalité suppose. Nous envisagerons ces contraintes selon trois points de vues : les performances que demande l'application, les écueils liés à la connaissance, les questions informatiques.

#### 2. CONTRAINTES DE REALISATION LIEES A L'APPLICATION

Les contraintes qu'impose l'application envisagée sont celles qui font le moins l'objet de commentaires d'analyse. En fait, ce sont celles dont on s'affranchit le plus volontiers (et pour cause !) dans la phase de maquettage, celle que concerne la majorité des publications. Pourtant ce sont elles qui justifient, le système expert étant réalisé, son efficacité opérationnelle. Elles sont, à ce titre, souvent les plus exigeantes.

Le bénéfice pour l'entreprise se mesure aux gains effectifs (1) que le système lui procure (amélioration de la disponibilité, de la qualité, de la productivité), gains qui sont liés à un diagnostic plus sûr, plus rapide et/ou plus fiable. Or, le diagnostic technique ne doit être considéré qu'intégré à la politique de maintenance qui, elle-même, n'a de raison d'être que si elle permet de mener à bien la stratégie logistique (2) que développe l'entreprise. La maintenance a en effet pour finalité de permettre du point de vue technologique le respect de la qualité de la production (produit ou service) et des délais de réponse à la demande. Avec la réduction des stocks tout au long des chaînes industrielles (production comme transport), toute interruption du process (panne par exemple) inscrit une perturbation qui devient vite pénalisante et risque de remettre en cause les efforts par ailleurs consentis.

(1) La mesure exacte des avantages attendus est toujours difficile, plus encore lorsqu'il s'agit d'innovations technologiques, ce qui est le cas des systèmes experts.

(2) Il convient de nuancer cette notion de « stratégie logistique » en fonction de l'aptitude que chaque entreprise a à adopter une réelle démarche intégratrice qui vise à la maîtrise de l'ensemble de ses flux. Plus classiquement, la maintenance a pour objet d'assurer des objectifs de disponibilité des équipements en service, ce pour un coût d'exploitation raisonnable.

La véritable justification économique de tout système se situe donc dans la réponse qu'il apporte à la réalisation de la stratégie (3) logistique poursuivie par l'entreprise. En fonction de cette dernière, le système doit donc prendre en compte des impératifs tels que : rapidité de temps de réponse, facilité d'utilisation, taux de résultat etc... Des contraintes qui sont liées à la performance qu'il faut atteindre, dans le contexte du type de l'utilisation prévue (fonction-diagnostic, objectif, utilisateur...), du mode d'exploitation prévu (lieu, degré d'autonomie, taux d'utilisation...), de l'environnement informatique existant, de la technicité du matériel à diagnostiquer...

Sans revenir sur les contraintes qui ont pu être précédemment évoquées (cf. partie I, chapitre 3), présentons celles qui seront les plus pénalisantes pour l'économie du projet. Leur évaluation préalable est, de notre point de vue, indispensable à la fois pour le décideur qui peut se garantir des performances du système, et pour le réalisateur qui s'engage sur des critères bien précis. Elle permet en plus d'identifier les points les plus difficilement accessibles (sur lesquels le doute risque de ne pouvoir être levé qu'à l'expérimentation), voire ceux qui compte tenu des moyens mis en œuvre (généralement déterminés par le niveau d'investissement consenti) seront définitivement impossibles. Les éléments de la phase d'évaluation permettront alors de décider soit de l'abandon du projet si l'on ne peut revenir sur les contraintes établies, soit d'en réviser certaines « à la baisse ».

**Le taux d'utilisation** qui peut s'évaluer à partir de l'expérience des interventions, caractérise l'intensité d'usage du système. Il est important pour définir la nature du dialogue que le système établira avec l'utilisateur. Plus le taux d'utilisation sera élevé, plus l'utilisateur acceptera un dialogue pauvre pourvu qu'il soit rapide. Si l'utilisateur ne se sert que peu souvent du système le dialogue doit être avant tout clair et sans ambiguïté, une fonction d'aide doit être envisagée. De même, l'environnement informatique de l'entreprise, et plus spécialement son niveau de pénétration, a un impact sur l'interface homme/machine : un utilisateur peu habitué à se servir d'un ordinateur doit être mieux guidé et « surveillé » (pour la sécurité du système vis-à-vis des erreurs de manipulation). Or, plus la qualité des interfaces doit être grande, plus elle suppose des développements logiciels qui bien évidemment représentent un coût supplémentaire.

**Le nombre des utilisateurs**, surtout s'ils doivent être simultanés, sera plus important pour le choix de l'architecture à adopter (cf. 4).

**Le niveau de rapidité** qui détermine le seuil d'efficacité, est aussi un facteur prépondérant dans la définition technique du système. Les systèmes experts n'ont en effet pas la réputation d'être rapides. En particulier, plus la connaissance est importante et profonde (au sens des arborescences), moins les systèmes experts sont capables de résoudre le problème posé dans un laps de temps raisonnable. De même, plus est fréquent le recours à des programmes externes (lecture dans des bases de données ou déclenchement de programmes algorithmiques) ou au dialogue avec l'utilisateur, plus ils sont pénalisés. La rapidité demandée peut donc ne pas être réaliste par rapport aux limites technologiques actuelles (4) des systèmes experts, surtout lorsque la technologie du micro-ordinateur est souhaitée.

Signalons à ce sujet que la notion de rapidité ne doit pas seulement se référer à l'expérience du temps passé, elle doit entre autres intégrer le concept de fiabilité du diagnostic

(3) Remarquons que plus la stratégie est « pointue » (vers le stock zéro, les flux tendus, le temps réel...), plus la rupture risque d'avoir des conséquences importantes. La marge d'investissement qui peut être alors consentie pour éviter ou minimiser ses effets est dans ces cas là plus grande.

(4) Le principal objectif de nombreux programmes de recherche engagés, dont celui des ordinateurs de la 5<sup>e</sup> génération, est bien d'améliorer les performances des systèmes d'I.A., en particulier par le renouvellement de la technologie des matériels.

(mieux qu'en tous fa problèr

Généra diagnos nome d poser, Cela pe des don tème au quer de surtout s sager si

Qu'il s'aq saisie de gique du seuleme ment du tions qu'i

L'accès à intégrer c l'activité défailranc (ce qui inf des interfa devra con

Au degré Machine). maquettes l'utilisateur blème, et fournir au donner à l l'environne

(5) La garanti nement quelle plus de temps tre vite en rou

(6) Cette néce qui s'ouvre à la société Sinorg

(7) L'avenir d'i tèmes « espior maintenabilité. faciliter les inte

(8) La notion d tion et les contr

(9) La Société grer son outil C

(mieux vaut parfois intervenir plus sûrement que rapidement [5]). A ce sujet, rappelons qu'en tant que « machine », le système expert n'est pas soumis à la fatigue, au stress... tous facteurs qui nuisent à la fiabilité et donc à la rapidité globale de résolution des problèmes.

Généralement dans le cadre du diagnostic technique, et surtout s'il s'agit de la fonction-diagnostic dépannage, une rapidité acceptable demande que le système soit plus autonome dans son mode de raisonnement. Ce **degré d'autonomie** suppose qu'il puisse disposer, de façon automatique, de l'essentiel des informations qui lui sont nécessaires. Cela peut demander qu'il accède à des bases de données informatiques ou qu'il récupère des données acquises sur les matériels (6). Sur ce dernier point, plus l'intégration du système au matériel sera grande, plus rapide sera la réponse qu'il pourra fournir (7). Embarquer de l'informatique représente un coût qui peut être hors de proportion avec le projet, surtout si le nombre des équipements est important. C'est cependant une solution à envisager si l'on a l'objectif du « temps réel » (8), et une technique qui se généralisera (9).

Qu'il s'agisse de l'informatique de gestion ou de l'équipement des matériels en systèmes de saisie de paramètres (informatique embarquée ou automates), l'environnement technologique du projet est primordial. En particulier, si la saisie de paramètres n'existe pas, non seulement son développement sera un facteur supplémentaire de coût et d'accroissement du temps de développement, mais en plus la connaissance pour traiter les informations qu'il transmettra risque d'être à développer parallèlement.

L'accès à des bases ou des banques de données est aussi nécessaire si on souhaite intégrer des notions de fiabilité d'éléments, ou mieux associer le diagnostic technique à l'activité d'ensemble de la maintenance (déclencher des interventions, expliquer une défaillance...). Tous ces accès supposent en tout cas que le système expert soit ouvert (ce qui influencera le choix de l'outil qui permettra de développer le système [cf. 4] et que des interfaces de dialogue avec les systèmes externes avec lesquels le système expert devra communiquer soient développées.

Au degré d'autonomie du système répond le **degré de consultation** (dialogue Homme/Machine). Hormis les qualités démonstratives de la consultation (cas de toutes les maquettes) et de ses valeurs pédagogiques, le recours trop fréquent au dialogue avec l'utilisateur peut représenter une perte de temps qui nuit à la rapidité de résolution du problème, et risque de lasser l'utilisateur. Par contre le dialogue est valorisé s'il permet de fournir au système des informations auxquelles il ne peut avoir accès, ou s'il permet de donner à l'intervenant des éléments de décision pour définir son action. L'analyse de l'environnement permet là encore d'envisager le meilleur compromis entre un système

(5) La garantie que tout problème peut être résolu en une seule intervention est importante. Tout dysfonctionnement quelle que soit sa durée est un facteur de désorganisation. Il est donc préférable de passer un peu plus de temps sur une intervention mais être sûr d'avoir déterminé la cause et d'y avoir remédié, que de remettre vite en route, au risque de voir se reproduire l'incident.

(6) Cette nécessité est confirmée par les récentes orientations définies pour le produit Maintex (Framentec) qui s'ouvre à la scrutation des matériels par capteurs, et aux banques de données de GMAO (accord avec la société Sinorg pour l'interfaçage avec le produit Sirlog).

(7) L'avenir d'ailleurs devrait voir se généraliser, sur les matériels les plus sophistiqués, l'intégration de systèmes « espions », ou systèmes d'auto-diagnostic, étudiés dès la conception du matériel pour améliorer leur maintenabilité. Une perspective qui devrait s'accompagner d'une plus grande modularité des produits pour faciliter les interventions.

(8) La notion de temps réel est extrêmement floue. Elle varie selon la branche industrielle, le type de production et les contraintes individuelles de chaque entreprise.

(9) La Société I-Best répond d'ailleurs à cette demande en proposant un boîtier hardware qui permet d'intégrer son outil Cornelius dans les ensembles ou machines.

complètement autonome qui ne s'adresse à l'utilisateur que pour lui donner la solution, éventuellement lui expliquer, et un système de consultation qui avance pas à pas en fonction des réponses successives que lui fournit l'utilisateur.

### 3. CONTRAINTES DE REALISATION LIEES A LA CONNAISSANCE

Les systèmes experts de diagnostic technique analysent, par rapport à la fonction-diagnostic qui leur a été définie, l'état du matériel à partir de faits observables (automatiquement ou non). Le « diagnostic » est une « hypothèse cohérente » qui explique un ensemble de données. Deux techniques sont principalement utilisées : le principe d'une table associant comportement observé et diagnostic, ou celui d'une combinaison de la connaissance sur le système avec la connaissance sur les problèmes potentiels, pour générer des dysfonctionnements potentiels validés ou non par les observations. En matière de diagnostic technique, l'expertise procède de la cumulation des connaissances sur le fonctionnement théorique du matériel (conception) avec les connaissances expérimentales et empiriques résultant de son exploitation (utilisation). Les principales difficultés liées à la connaissance sont de s'assurer de la disponibilité et de la qualité de l'expertise qui permettra de répondre aux objectifs du projet, ensuite de traduire cette expertise en réalisant la cohérence entre des connaissances de natures différentes (connaissances profondes, superficielles, raisonnement précis, intuitif, notions de contexte, historique, symptômes, indices de panne...).

Le recueil de la connaissance, sa formalisation, sa structuration (10) et sa validation (11) sont les points-clé de la réalisation d'un système expert, de par leurs difficultés et leur caractère fondamental. Car, comme le précise E.A. Feigenbaum, « la puissance des systèmes d'intelligence artificielle (dont les systèmes experts) ne réside pas dans la procédure d'inférence, la puissance réside dans la connaissance spécifique relative au domaine du problème ».

Qui détient cette connaissance ? Peut-on y accéder ? A quel prix ?

**La disponibilité de l'expertise** qui doit toujours être associée à **sa qualité** est la première condition à la réalisation d'un système expert opérationnel. Il faut ensuite compter le temps de l'acquisition, ce que personne ne peut raisonnablement évaluer (dans la réalité des choses de nombreuses hommes-années sont nécessaires pour compléter une application importante qui puisse être utilisée de façon opérationnelle [12]). Le temps d'acquisition dépend du nombre d'experts qui participeront au développement (l'unanimité est souvent difficile à obtenir), de leur motivation (l'objectif du remplacement des experts est un facteur de blocage), du mode de transfert choisi : réalisation par l'expert avec un outil orienté diagnostic (compter le temps d'apprentissage à l'outil et les éventuels errements de l'expert dans la construction de la base de connaissance) ou par un groupe comprenant l'expert et un ingénieur de la connaissance (tenir compte des relations qui seront établies entre les individus). Rappelons cependant que l'accès à l'expertise représente dans le coût de la réalisation d'un système expert la part la plus importante.

(10) L'acquisition de la connaissance se fait par un processus non linéaire pour lequel il y a une absence totale de méthodologie.

(11) La validation (au sens informatique) de la connaissance d'un système expert est un problème qui n'a pas été encore résolu du point de vue méthodologique.

(12) Plus de 50 hommes-années ont été nécessaires pour industrialiser R1 et en faire XCON le produit qu'utilise DEC pour configurer ses ordinateurs. (*Expert systems : perils and promise* ; Communication of the ACM, vol. 29, n° 9, septembre 86).

**L'analyse** a une influence (13), ainsi que d'inférence l'effet que les leurs constr

Plus les technologies devra être p de développ des micro-o

Ajoutons qu **temps** : ana sur un moye autant de cc gérer inform. ciée à la ges titivité d'une type « calcul programmes (ce qui n'est

Pour complé d'étudier les **connaissanc** (dont il faut b voire omis. F essentiel pou assumée, où qui vient moc

L'un des prer cette capacité « tout casser existe, dans l habilité à mo connaissance

S'il faut se gar nécessaire de de la connaiss rent possible p représentation faces qui sero

(13) Les principal permet de décrire variables (au sens développé pour g

(14) Une stratégie ses, et la confirm

(15) La principale velle base. A notre conflits, incohéren

L'analyse de la connaissance est ensuite nécessaire, car la nature de la connaissance a une influence considérable sur les modes de représentation qui devront être adoptés (13), ainsi que sur les stratégies de contrôle qui seront mises en œuvre dans le processus d'inférence (14), donc sur l'architecture de l'ensemble matériel et logiciel. Rappelons en effet que les outils de développement ne sont pas aussi universels que le prétendent leurs constructeurs.

Plus les techniques nécessaires seront variées et complexes, plus le calculateur hôte devra être puissant (vers la station de travail, surtout si le système est centralisé) et l'outil de développement complet (vers des outils d'environ 500 Kf, qui trouvent vite les limites des micro-ordinateurs, surtout vis-à-vis de leurs performances).

Ajoutons que les fonctions du diagnostic technique intègrent souvent la notion de temps : analyse de la succession des informations pour le raisonnement immédiat, suivi sur un moyen terme des performances du matériel, étude de phénomènes de dérive... autant de concepts bien perçus par un technicien d'expérience mais qui sont difficiles à gérer informatiquement, encore plus en « temps réel ». De surcroît la connaissance associée à la gestion du temps est parfois difficile à apprécier : qu'est-ce en effet que la répétitivité d'une panne ?... L'intégration du temps implique en tout cas des traitements de type « calculs », généralement algorithmiques. Le système doit donc pouvoir lancer ces programmes au moment opportun, ce qui demande l'existence de procédures « d'action » (ce qui n'est pas toujours possible selon les outils).

Pour compléter cette analyse des contraintes liées à la connaissance, il convient aussi d'étudier les problèmes liés à la modification, l'adaptation et à la mise à jour de la connaissance qui a été introduite. Fonctions essentielles de l'opérationnalité du système (dont il faut bien envisager la maintenance), ce sont des aspects souvent sous-estimés... voire omis. Pourtant, la nécessité de pouvoir maintenir la connaissance est un facteur essentiel pour l'activité du diagnostic technique, surtout dans le cas de maintenance assumée, où la politique de maintenance intègre généralement la pratique de l'amélioratif qui vient modifier le matériel, donc la connaissance.

L'un des premiers avantages des systèmes experts qui a été mis en avant est pourtant cette capacité, sinon facilité, d'ajouter, modifier, enrichir la connaissance sans avoir à « tout casser », et sans faire appel à des informaticiens. Si dans le principe l'avantage existe, dans la pratique il doit s'accompagner de certaines précautions. Qui peut et sera habilité à modifier la connaissance ? Qui validera (et comment) la nouvelle base de connaissance ?...

S'il faut se garantir les conditions sociales de l'évolution de la connaissance (cf. 4-2), il est nécessaire de les permettre techniquement. Là encore abordée dès la phase d'analyse de la connaissance, la réflexion permet de choisir un formalisme qui soit le plus transparent possible pour le ou les « gardiens de la connaissance » (harmoniser le système de représentation et d'utilisation des connaissances à leurs capacités), et d'étudier des interfaces qui seront adaptées à la fonction de modification (15).

(13) Les principaux modes utilisés en diagnostic sont : la représentation objet (généralement hiérarchisée) qui permet de décrire le matériel, et les règles de production pour les connaissances opératoires. L'usage de variables (au sens mathématique) est généralement nécessaire. Le raisonnement parallèle sera amené à être développé pour gagner du temps.

(14) Une stratégie mixte est souvent souhaitable pour réaliser à la fois la propagation des informations acquises, et la confirmation des hypothèses envisagées.

(15) La principale difficulté, sur modification de la connaissance, est de s'assurer de la cohérence de la nouvelle base. A notre connaissance, aucun produit intègre de véritable système de validation (signalement des conflits, incohérences, redondances...), tout au plus vérifie-t-il la syntaxe.

La prise en compte de cet aspect du problème crée généralement des conflits avec d'autres contraintes, surtout si la modification de la base de connaissance doit être assumée par l'expert (16) qui est rarement un informaticien. Or, la complexité des problèmes de diagnostic technique demande souvent une puissance d'expression du formalisme importante, généralement obtenue au prix d'une sémantique complexe que l'expert ne parviendra peut-être pas à maîtriser, sauf si une approche « haute couture » a été adoptée lors de la réalisation du système expert. L'aménagement d'une interface « expert » adaptée représente en tout cas un investissement nécessaire.

Il est aussi nécessaire de revenir sur **le mythe du système expert** qui résout le problème que personne ne sait encore résoudre, voire qui n'a jamais été clairement posé (ce que nombre de décideurs sont tentés de croire). Il n'y a **pas de système expert s'il n'y a pas par ailleurs des hommes qui possèdent la connaissance** : connaissance du matériel (commune aux différentes fonction-diagnostic elle est parfois contenue dans les manuels, la documentation, les schémas...), et connaissance opératoire qui est propre à l'objectif du système et à sa fonction-diagnostic. Cette connaissance opératoire qui est souvent variable en fonction des experts, est plus ou moins heuristique. Elle comprend l'utilisation des données disponibles (17) (la perception du problème), et la technique même de diagnostic (l'analyse du problème).

Quant aux processus d'apprentissage dont on parle tant, non seulement ils sont loin d'être opérationnels, mais ils ne manqueront pas de poser des problèmes « métaphysiques » aux responsables. Déjà les questions de responsabilité liée à l'utilisation des systèmes informatiques « intelligents », dont témoigne la vaste réflexion juridique lancée depuis peu aux Etats-Unis, se posent. La responsabilité, liée au risque encouru en cas d'erreur, ne laisseront en tout cas pas l'expert être évincé de la boucle, au moins dans un premier temps. Pourtant, l'intelligence (que l'on accorde à tort aux systèmes experts actuels) est étroitement liée à la capacité d'apprentissage que l'on souhaiterait voir développée, surtout en diagnostic technique, plus particulièrement pour mieux exploiter les historiques des matériels, mieux tirer profit des informations acquises sur les machines ou enregistrées lors des diagnostics... De même l'intelligence est-elle associée à la capacité de dialogue, le dialogue technique étant peut-être le plus complexe puisqu'il allie le langage naturel au graphisme... De nombreux laboratoires travaillent sur ces questions, mais ce sont encore des perspectives à long, très long terme.

#### 4. CONTRAINTES DE REALISATION LIEES A L'INFORMATIQUE

Les systèmes experts sont au bout du compte des programmes informatiques. Cependant ils sont programmés de façon particulière (18), spécificité qui d'ailleurs est peut-être le seul véritable point commun à tous les systèmes experts (19). L'aspect purement informatique de la réalisation d'un système expert, qui ne doit être abordé qu'après tous les autres, du fait de leur impact sur la technique qui doit être utilisée, comporte en lui-même certaines difficultés.

(16) *Dans quelle circonstance l'expert peut-il lui-même modifier sa base de connaissance ?* P. Mazas, Régie Renault, Actes du CIIAM 86, Hermès Ed.

(17) De la fiabilité des informations qui sont données au système dépend la qualité du diagnostic.

(18) Nous ne reviendrons pas dans cette publication sur la présentation des systèmes experts qui a été déjà largement décrite dans de nombreux articles et ouvrages.

(19) *Systèmes experts dans l'entreprise*, G. Benchimol, P. Levine, J.-C. Pomerol, Hermès Ed., 1986.

Nous a  
techniq  
la décis  
ter ? Qu

Sans er  
tains de

Le choix  
des cap  
de la str  
marché  
des confi

**Le choix**  
de la cor  
cher (est  
partenair  
global au  
d'ouvertu  
formalism  
particulie  
exclusive  
ces » qui  
tiques de  
sance qu  
mentaire  
gagné pe  
ment, sur  
port globa  
ou partiell

« **Les soli**  
nelles de s  
moins fort  
teurs, car  
développe  
(22), la tai  
plus docur  
maintenan  
les autres  
tion, champ  
la solution

A propos c  
**informatiq**  
démonstrat  
de grande e  
donc à rése

(20) *Une éva*  
Laboratory, St

(21) *Architect*

(22) L'exploita  
ou bien sur co

Nous avons étudié comment l'analyse complète du projet détermine les caractéristiques techniques du système à développer. En fonction de ces données, il faut ensuite prendre la décision du mode opératoire de la réalisation. Qui réalise ? Quelle architecture adopter ? Quelles compétences intégrer ?...

Sans entrer dans les détails techniques, ce qui n'est pas notre propos, présentons certains des problèmes auxquels une entreprise est confrontée.

Le choix entre **réalisation informatique en propre ou avec partenaire** tient compte : des capacités propres de l'entreprise en matière d'informatique et d'I.A. (éventuellement de la stratégie de R & D de l'entreprise pour l'intégration de compétences), de l'état du marché des outils de développement (généraux et/ou orientés diagnostic technique), et des contraintes qui ont été définies pour le système.

Le **choix de l'outil de développement** est principalement lié à l'analyse qui a été faite de la connaissance qu'il devra permettre de représenter (cf. 3). Il est cependant à rapprocher (est-il conditionné ou conditionnant ?) de l'environnement matériel envisagé et du partenaire éventuel. L'évaluation d'un outil, qui ne peut exister que par rapport à l'usage global auquel il est destiné, consiste d'une part à vérifier qu'il remplit les conditions d'ouverture qui ont été définies (cf. 2), d'autre part à résoudre le conflit entre simplicité du formalisme et richesse de la représentation des connaissances. L'expérience montre en particulier que les limites d'un système de représentation unique (le cas des systèmes exclusivement à base de règles de production) sont souvent surmontées au prix « d'astuces » qui aboutissent à des représentations maladroites voire illisibles. « Si les caractéristiques de base d'un système sont telles que l'on peut coder plus facilement la connaissance que l'on essaie de capter à l'aide d'un système expert, l'investissement supplémentaire pour le logiciel et le matériel peut être alors largement compensé par le temps gagné pendant l'acquisition des connaissances (20). Le choix d'un outil de développement, surtout dans le cadre de la réalisation en propre, doit en plus tenir compte du support global du produit : formation, documentation, portabilité, possibilité d'aide complète ou partielle pour la réalisation...

« **Les solutions architecturales** » pour la mise en exploitation d'applications opérationnelles de systèmes experts dépendent des contraintes de mise en œuvre : liaison plus ou moins forte avec l'informatique existante, volume des applications, nombre des utilisateurs, caractéristiques des mises à jours, niveau des interfaces (21). L'architecture à développer concerne : le matériel d'implantation du logiciel principal et de consultation (22), la taille des mémoires à atteindre (d'autant plus importantes que le système sera plus documenté, ce qui est souvent le cas des systèmes d'aide au dépannage ou à la maintenance), les interfaces utilisateurs et systèmes, les protocoles de dialogues avec les autres machines (ordinateurs ou automates), l'adaptation à l'environnement (pollution, champs électro-magnétiques, distances...)... Une part importante de la validation de la solution adoptée doit concerner la garantie, la fiabilité du « système » ainsi composé...

A propos de l'architecture d'un système expert, revenons sur la question de la **micro-informatique**. Si elle convient généralement pour le développement de maquettes de démonstration, elle s'avère notoirement insuffisamment puissante pour des applications de grande envergure. Le système expert de diagnostic technique sur micro-ordinateur est donc à réserver à des applications élémentaires (type table de correspondance cf. 3) et

(20) Une évaluation des outils de développement de systèmes experts ; M.H. Richer, Knowledge System Laboratory, Stanford University, Génie Logiciel n° 7, mars 1987.

(21) Architectures pour l'Intelligence Artificielle ; J.M. Videcoq (Bull Cediag), Génie Logiciel n° 7, mars 1987.

(22) L'exploitation peut être envisagée : sur station de travail, sur micro-ordinateur, sur configuration dorsale, ou bien sur configuration frontale, micro/mainframe ou micro/station.

est plutôt destiné à remplacer, sur le mode de la consultation, l'expert auprès des opérateurs des machines dans les cas de dépannage les plus simples. Ce type d'application est reconnue particulièrement intéressante dans les cas où 20 % des problèmes représentent 80 % des dysfonctionnements, mais on peut alors se demander s'il est raisonnable dans ce cas d'entériner des situations de défaillance qui, éventuellement, ne devraient pas exister, dans la mesure où on aurait pu, les connaissant, programmer une maintenance d'amélioration.

**L'accès à des paramètres acquis sur les machines** qui fait aussi partie de l'architecture du système, est un point qui mérite attention. Les informations acquises sont en effet la source à laquelle le système vient puiser des faits pour progresser dans son raisonnement; de leur qualité dépend celle du diagnostic. Pour accéder automatiquement aux informations nécessaires à l'obtention du degré d'autonomie souhaité pour le système (cf. 2), il convient de s'assurer: de la capacité de saisir avec fiabilité les informations demandées par la nature du diagnostic, de la suffisante rapidité de la scrutation (fonction de la rapidité d'évolution des phénomènes à surveiller), des performances du réseau de transmission par rapport à l'objectif du « temps réel ».

Une des questions informatiques importantes est: **quelles compétences est-il nécessaire d'intégrer**: compétences pour maintenir le système, à la fois du point de vue de la connaissance qu'il inclut (ce que nous avons déjà vu) et du point de vue de l'exploitation de l'ensemble informatique qu'il représente. Plus spécialement si l'objectif est de remplacer l'expert, toute panne du système aura des conséquences dramatiques immédiates sur les performances de l'entreprise qui remettront en cause la justification du système. Si « la pente naturelle de la plupart des grandes organisations est de devenir autonome en matière de conception, réalisation, exploitation et maintenance de systèmes experts » (23), que doit-il en être des autres entreprises? Cette question confirme s'il était besoin le caractère stratégique de la décision de réalisation, dans laquelle l'engagement de la direction générale est essentielle.

## 5. CONCLUSION

L'analyse qui a été faite dans cette publication montre que l'intérêt et la justification économique d'un système expert de diagnostic technique n'ont de sens que par rapport à un projet bien défini, et qu'ils ne se confirment que par une étude précise des tenants et aboutissants de l'application **opérationnelle** envisagée. Cette étude doit adopter une approche globale qui successivement: définit le problème à résoudre (éventuellement décomposé en sous-problèmes), évalue les connaissances et les méthodes mises en œuvre, détermine les outils et les méthodes informatiques à exploiter (éventuellement les partenaires à associer), et précise le schéma de développement (chiffré) à suivre. L'ordre des questions qu'il convient d'aborder qui a été adopté dans cette publication, correspond à celui qui nous semble le plus « logique » pour une méthode de décision.

Toutefois, la décision de réaliser le système ne doit pas masquer au décideur **l'importance des techniques de maintenance** qu'il devra continuer de développer par ailleurs. A quoi sert en effet de produire un diagnostic « parfait » et de proposer « la » solution au problème si par ailleurs la préparation du travail n'a pas été faite correctement ou si la pièce nécessaire à l'intervention n'est pas disponible? De plus, le diagnostic technique n'est qu'un moyen parmi d'autres (même s'il joue un rôle de tout premier plan) pour faire

(23) *Systèmes experts: vers la maîtrise technique*, A. Bonnet, J.-P. Haton, J.-M. Truong-Ngoc, Inter Editions, 1986.

face aux  
détection  
des équip  
gérables,  
tiquant un  
des matér

Plus encc  
diagnostic  
anticipée (  
(améliorati  
plémentair  
façon intég  
l'entreprise

L'introduct  
Avancée)  
teuse de r  
mes mis e  
leur organi  
est nécess  
poursuiven  
devant être

De la mém  
système ex  
de l'utilisati  
temps que  
de fiabilité,  
che module  
tenabilité (f  
conception  
duit étudié),  
même temp  
systèmes e  
(matériel bu

Quel que so  
est menée c  
ment opéra  
**l'organisati  
connaissar**  
(actions de  
évidence de

Le développ  
effet de rem  
nance. En p  
de la plupar  
budgétaire.  
informations  
identifiant la

(24) Sans encc  
AKR...) intégrer  
au diagnostic si

face aux détériorations (défaillance, usure, dérèglement...) de l'outil. Par exemple, si la détection et la résolution plus rapide des pannes améliorent effectivement la disponibilité des équipements, il ne faut pas oublier que, contrairement aux arrêts prévus qui sont évitables, elles représentent des aléas dont il vaut mieux essayer de s'affranchir en pratiquant un bon préventif qui, en plus, assurera une meilleure disponibilité opérationnelle des matériels.

Plus encore lorsque l'on dispose d'un outil performant tel qu'un système expert de diagnostic technique, il ne faut pas négliger la qualité de la surveillance, de la réparation anticipée (préventif), de la remise en état (curatif), du remplacement, des modifications (amélioratif)... car toutes les techniques de maintenance qui sont développées sont complémentaires. Pour cela un système expert de diagnostic technique doit être étudié de façon intégrée aux autres outils d'aide à la maintenance, et intégrée à l'organisation de l'entreprise.

L'introduction de l'Intelligence Artificielle (qu'il conviendrait mieux d'appeler Informatique Avancée) et de ses techniques, comme innovation technologique, est en tout cas porteuse de ruptures à la fois sociales et économiques. Et, au-delà de la fiabilité des systèmes mis en œuvre (fiabilité intrinsèque et opérationnelle), leur efficacité est soumise à leur organisation et à la motivation des hommes qui les font fonctionner. En particulier, il est nécessaire que les autres fonctions de l'entreprise (production, service après-vente...) poursuivent des objectifs qui servent la même stratégie d'entreprise, les besoins globaux devant être exprimés en terme de flux.

De la même manière, dans le domaine du Soutien Logistique Intégré, la réalisation d'un système expert de diagnostic technique n'a d'intérêt que si elle se fait dans la perspective de l'utilisation finale du matériel qu'elle concerne, et doit donc être effectuée en même temps que l'étude de celui-ci. De plus, elle ne permettra de répondre aux trois objectifs de fiabilité, maintenabilité et disponibilité, que si elle s'accompagne en plus d'une approche modulaire de la conception du produit et si elle tient compte de l'impératif de maintenabilité (facilité et rapidité d'intervention). A cette condition, elle induira une meilleure conception (de par l'analyse de type fiabiliste des problèmes potentiels qui posera le produit étudié), et offrira des outils pour la maintenance qui pourront être commercialisés en même temps que le produit. Ceci s'inscrit dans la perspective de la commercialisation de systèmes experts « tout fait » selon diverses modalités : accès à un service télématique (matériel bureautique, informatique...), système vendu avec le matériel (24).

Quel que soit l'aboutissement d'un projet de réalisation de système expert, la réflexion qui est menée dans la phase préalable à la décision finale de s'engager dans le développement opérationnel du système, a au moins le mérite : de faire ressortir l'importance de **l'organisation du renseignement** pour l'aide à la décision, de faire le **point sur la connaissance**, éventuellement de générer des mises à jour de la connaissance (actions de formation, recherche de complément de documentation...), et de mettre en évidence des problèmes de conception du matériel.

Le développement des projets de système expert de diagnostic technique ont aussi pour effet de remettre en question les produits plus traditionnels de l'informatique de maintenance. En particulier, il met en évidence les carences sur le plan de la gestion technique de la plupart des logiciels actuels, plus particulièrement axés sur la gestion au sens budgétaire. Les points les plus essentiels de la gestion technique sont : l'accès à des informations fines et fiables sur les défaillances et dysfonctionnements des matériels (en identifiant la cause des problèmes plus que leur manifestation), le suivi de « dossiers

(24) Sans encore avoir recours à la technologie des S.E., la plupart des fabricants de robots (dont ASEA, AKR...) intègrent à leur matériel des systèmes de diagnostic, et proposent une option télédiagnostic. (*L'aide au diagnostic se généralise*, Les Echos Industrie, 15 avril 1987).

machines » qui mémorisent l'essentiel des interventions (25) (en particulier les actions de remplacements et modifications, ainsi que la réalisation des tâches préventives) et la gestion des liens qui peuvent exister entre les différentes actions de maintenance entreprises (cohérence de la planification des tâches en fonction de leur contenu technique et pratique). Le développement d'un système expert en diagnostic technique, surtout s'il doit échanger des informations avec le système de GMAO mis en place, est souvent à l'origine d'une redéfinition de certaines de ses fonctionnalités, toujours dans l'optique d'une meilleure efficacité de la maintenance.

Le foisonnement des projets et des idées en matière de systèmes experts de diagnostic technique est en tout cas significatif de l'importance économique de la fonction Maintenance, longtemps considérée en marge de la stratégie globale des entreprises.

## 6. PERSPECTIVES OUVERTES PAR LES S.E. EN DIAGNOSTIC TECHNIQUE

Pour clore cette publication, je souhaiterais aborder les développements futurs que suscitera la progression de l'automatisation du diagnostic technique, qu'il soit ou non d'ailleurs réalisé par un système expert.

Dans le cadre des ateliers pilotés en temps réels, des travaux de recherche étudient l'étape qui doit suivre celle du diagnostic technique : la prise en compte des répercussions que l'aléa technique, observé et diagnostiqué, a sur le suivi de fabrication et d'ordonnement (26). Il s'agit donc d'une interface intelligente entre la surveillance de l'atelier de production et la GPAO qui permet de décider si il faut ou non procéder à un réordonnement des tâches (tenant compte de la dégradation observée) ou si une modification du plan de production (au niveau des ordres de fabrication suggérés) est suffisante.

Un projet est en cours dans ce domaine à la SERI (Renault Automation) pour l'ordonnement d'un atelier d'une des filiales de la Régie Renault (27). Le système prévu comblera trois systèmes experts : un pour l'aide au planning, un autre pour l'aide à son réajustement en cas d'aléas et de perturbations, et un troisième pour le suivi d'atelier qui diagnostique de sa situation.

Des réflexions plus ambitieuses concernant des systèmes intervenant dans toute la durée de vie d'un produit (dont les systèmes de diagnostic technique) se font jour. Développées actuellement dans le cadre des circuits électroniques (28), elles préfigurent peut-être une évolution plus générale. L'intégration des multiples outils qui interviendront dans les différentes phases de la vie d'un produit ne manquera pas en effet de poser des difficultés conceptuelles et pratiques. Si l'idéal d'un système unique qui serait utilisé tout au long de cette durée de vie n'est pas envisageable actuellement, le développement d'une « intégration » des programmes associés à chaque phase (qui seraient capables

(25) Signalons que la mémorisation des interventions peut être à plusieurs vitesses. S'il est nécessaire de conserver toutes les actions majeures de modification et de remplacement, la mémorisation des tâches de préventif se limitera le plus souvent aux dernières fois où elles ont été effectuées. Il est par ailleurs parfois préférable, plutôt que de conserver des faits bruts, d'enregistrer des informations « compilées » plus faciles à exploiter et plus significatives.

(26) Plate-forme expérimentale : production des skis Lacroix, *Un S.E. de gestion des aléas en production*. Actes du CIIAM'86, Hermès Ed.

(27) *Ordonnement : du système D au système expert*, L'Usine Nouvelle, mai 1987.

(28) *IMAX : une infrastructure logicielle pour la manipulation de connaissances en XAO*, P.L. Bath, N. Giambiasi, C. Delorme, Actes CIIAM'86, Hermès Ed.

de recevoir des  
vers les étapes :

Dans cette optique (29), un système de production le démarche produc en cours de prod qualité du produi développé parall connaissance su vente.

Plus encore que l verront le jour d réflexion logistiqu flux physiques (y c assurer la compét production au ser et de la qualité es techniques et des font partie, aux co cet article.

(29) *Bull-Oasis, une ex technique*, Bull S.A., Avi

(30) *La logistique, clé Paradigme*.

de recevoir des informations des étapes précédentes et de transmettre leurs résultats vers les étapes suivantes) fait partie du domaine du possible et du souhaitable.

Dans cette optique, Bull a développé et exploite à l'établissement d'Angers OASIS-DPS7 (29), un système expert d'aide au diagnostic qui permet de tester tout au long du cycle de production les unités centrales DPS7 sous GCOS7. Ce système qui résulte d'une démarche productive d'ensemble à Angers, permet de détecter les défauts du système en cours de production au moment le moins pénalisant. Il garantit à la fois une meilleure qualité du produit et une plus grande efficacité de la production. Le système qui a été développé parallèlement au produit DSP7 (problème de la montée en puissance de la connaissance sur le matériel neuf), sera suivi d'un développement destiné à l'après-vente.

Plus encore que les systèmes experts de diagnostic technique, les systèmes intégrés qui verront le jour devront être le résultat d'une démarche d'entreprise qui relève d'une réflexion logistique globale. Cette approche d'ensemble qui est fondée sur la maîtrise des flux physiques (y compris ceux d'information) de l'entreprise est en effet la seule à pouvoir assurer la compétitivité actuellement indispensable au succès industriel (30). Repenser la production au sens large en terme de flux et poursuivre le double objectif du temps réel et de la qualité est assurément le gage d'une performance qui exige en contrepartie des techniques et des outils d'informations et d'aide à la décision. Les systèmes experts en font partie, aux conditions d'analyse que nous avons présentées dans les deux parties de cet article.

---

(29) *Bull-Oasis, une expérience industrielle sur les systèmes experts de diagnostic*, J. Fumeron, Direction technique, Bull S.A., Avignon 87.

(30) *La logistique, clé de l'introduction du temps réel dans la production*, J. Colin, C. Fiore, 1986, Ed. Paradigme.