

SYSTEMES EXPERTS ET MAINTENANCE INDUSTRIELLE

-----

PANORAMA DES PROBLEMES ET DES APPLICATIONS

-----

Marc GABRIEL

Responsable de l'ATAMI (Atelier pour les Techniques Avancées en Maintenance Industrielle)

et

Professeur à ESSTIN (Ecole Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nice - Sophia Antipolis)  
rue Ludwig Van Beethoven  
Sophia Antipolis  
06560 VALBONNE

La maintenance intervient tout au long du cycle de vie d'un produit. Durant toutes les phases, l'utilisation de la technique des systèmes experts peut apporter un plus à l'homme de maintenance, même si diagnostic de panne et ordonnancement restent les domaines privilégiés pour leur application. A moyen terme, tout doit être intégré dans un outil général de maintenance avec plusieurs modules experts.

Le chef d'entreprise doit actuellement relever un double défi pour rester compétitif et augmenter ce que l'on appelle sa "compétence". Non seulement sa productivité doit sans cesse s'accroître, mais il doit également améliorer la qualité des produits qu'il fabrique, de même que la qualité de son service après-vente. Dans ce cadre, la maintenance entre pour une part de plus en plus grande, même si la direction n'en est pas toujours consciente.

La notion de "maintenance" tend à remplacer la notion plus ancienne d'"entretien" car le "diagnostic" n'est plus qu'un des éléments de cette maintenance. La définition de la maintenance industrielle normée par l'AFNOR tient bien compte de cette évolution : "ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé" (AFNOR 1985).

La notion de maintenance va donc être intimement liée au produit tout au long de son cycle de vie. Dès les phases de spécification et de conception, les critères prévisionnels de Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité doivent être pris en compte pour obtenir une sûreté de fonctionnement acceptable. La qualité du produit intervient alors dans la phase de fabrication. La prise en main du produit par l'utilisateur implique alors une bonne formation. Dans la partie opérationnelle, on va retrouver la maintenance "classique", c'est-à-dire corrective (où l'on trouve l'aide au diagnostic) et préventive ou prédictive. A ce stade, il ne faut pas négliger tout ce qui touche au management de la maintenance (Bases de données, planification, documentation technique, gestion des données techniques).

L'objet étant fabriqué, le service après-vente ou après-achat va fortement contribuer à l'image de marque de l'entreprise et permettre de donner un "feed-back" utilisable lors des spécifications d'un nouveau produit.

La notion de maintenance est ainsi intimement liée à toutes les phases du cycle de vie du produit. Au cours de ces dernières années, on a assisté à une automatisation croissante. Il s'en suit un environnement technologique de plus en plus complexe, de plus, les produits fabriqués font eux même appel à de nouvelles technologies fortement intégrées (COMTE 1987). L'évolution des technologies est souvent plus rapide que les possibilités de formation des intervenants. Le remplacement de parties mécaniques par des cartes électroniques ne peut être suivi par un remplacement des hommes. L'amélioration de la phase de conception tend également à fortement fiabiliser les produits. L'homme doit donc intervenir de moins en moins souvent sur des produits dont il maîtrise de moins en moins les technologies utilisées. Il a donc besoin de nouveaux outils pour l'aider dans son travail. L'utilisation des systèmes experts semblent être une des réponses à cette demande très forte de l'homme de terrain (RAULT 1987). Maintenant plus accessibles et mieux maîtrisés, ils tendent à s'intégrer dans l'environnement industriel existant. Le but de ce papier est de donner quelques exemples significatifs et non exhaustifs de l'utilisation de ce nouvel outil pour aider l'homme de maintenance pendant les différentes phases du cycle de vie du produit.

## 1. LA REPRESENTATION DES CONNAISSANCES

Comme pour les autres domaines d'application des systèmes experts, l'un des problèmes essentiels à résoudre est celui de la représentation des connaissances des experts du domaine considéré (MAHE 1987). La maintenance est un domaine technique qui peut être abordé en utilisant deux niveaux de connaissances, surtout en ce qui concerne le diagnostic de défaillances (VIDECOQ 1987). On peut distinguer des connaissances profondes et des connaissances de surface. Les premières sont liées à l'architecture fonctionnelle du système ; elles dérivent de la structure du procédé. C'est donc le concepteur qui détient ce type de connaissances. Les secondes sont plutôt celles que possède l'homme du terrain, qu'il a acquises avec l'expérience de fonctionnement du système. Elles font un bon dépanneur et lui permettent souvent de court-circuiter une partie de la démarche fonctionnelle. De nouveaux outils dédiés à ces problèmes de diagnostic de maintenance sont donc apparus pour tenir compte de ces deux types de connaissances à côté des GSE (Générateurs de Systèmes Experts) qui peuvent

s'appliquer, plus ou moins bien, aussi bien à la maintenance qu'à l'analyse financière. On peut citer les premiers appareils tels que Mainte (Sté Framentec), FLAG (Sté CGE), ou Diagnex (Sté ITMI). Dans ce dernier, les deux formes de connaissances sont représentées différemment et se complètent. Les connaissances liées à l'expérience sont représentées sous forme de règles de production alors que les connaissances fonctionnelles utilisent une représentation symbolique pour minimiser le nombre de règles nécessaires.

## 2. LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

Lors de la conception d'un nouveau produit, la sûreté de fonctionnement doit être prise en charge. En particulier, des outils d'aide à la construction de sa fiabilité sont nécessaires (AMDEC ou Analyse des Modes de Défaillance de leurs effets et de leur criticité ; arbres de défaillance, graphes de Markov). Plusieurs sociétés proposent des ateliers de sûreté de fonctionnement dont un ou plusieurs modules peuvent être de type système expert. L'outil FIABEX de la Sté CEP suit cette approche et permet aussi bien d'automatiser des analyses prévisionnelles que la surveillance opérationnelle des systèmes (FIABEX 87). L'atelier SURFONC de la Sté SGTE est basé sur le même principe, il incorpore un module expert NORMES permettant de tenir compte des normes internationales pour la conduite de grands projets (LIGERON 87). Il est depuis peu consultable à distance en utilisant la télématique (BLAISON 88).

## 3. LE DIAGNOSTIC DE PANNE

C'est la préoccupation majeure des services de maintenance (BOUCHE 87) ; c'est également le domaine de la maintenance qui a le plus fréquemment utilisé la technique système expert. Pour la maintenance corrective, le diagnostic de pannes est crucial. Comme les machines deviennent plus complexes, les raisons d'un dysfonctionnement sont plus difficiles à déceler. Le nombre important de connaissances à utiliser a orienté tout naturellement l'utilisateur vers les techniques systèmes experts (JEZZARD 1988). Une autre raison semble être que la philosophie système expert cadre parfaitement avec l'état d'esprit d'un homme de maintenance. L'expert (humain ou non) doit savoir résoudre un certain nombre de problèmes dans un domaine limité, pouvoir expliquer son raisonnement, détecter les contradictions, tenir compte de renseignements inexacts et des moyens disponibles, se remettre en cause et utiliser des raccourcis non logiques. Dans une procédure classique de dépistage des pannes par arbre de décision :

- 1 - le système propose un test à effectuer,
- 2 - le réparateur effectue le test et signale le résultat
- 3 - le système analyse le résultat et donne le diagnostic ou passe au test suivant.

L'utilisation d'un système expert va apporter de nouvelles possibilités :

- 1 - demande d'explication sur la conduite d'un test,
- 2 - raisons du choix du test,
- 3 - possibilité de refuser momentanément ou définitivement un test proposé,
- 4 - introduction du résultat d'une observation non demandée à tout moment,
- 5 - justification de la conclusion à laquelle aboutit le système.

La nécessité d'utiliser des données incomplètes rend difficile l'utilisation de programmes informatiques classiques.

Le fait qu'un système expert soit facile à faire évoluer est également un élément important, car les machines évoluent grâce aux efforts des hommes de maintenance et il faut que le système expert évolue en même temps sans nécessiter une remise en cause complète. C'est dans ce domaine de maintenance que les applications sont

les plus nombreuses. On peut citer à titre d'exemple compréhensible par tout un chacun, le système SITERE développé par Renault sur le diagnostic des éléments d'une voiture (MARTINEAU 1986).

#### 4. LA MAINTENANCE PREDICTIVE

Par rapport à la maintenance conditionnelle qui est déclenchée par un élément extérieur, la maintenance prédictive va optimiser le délai d'intervention des compagnons de maintenance. Elle s'appuie également sur des résultats de mesures mais aussi sur une meilleure connaissance des machines qui est acquise lors de leur utilisation (historique affecté à chaque machine). L'utilisation des systèmes experts dans ce créneau est très prometteuse et doit se développer rapidement (IZRAR 1987 - MOREL 1987). Les techniques utilisées sont principalement l'analyse des vibrations ou des fluides et l'emploi de la thermovision.

La gestion des alarmes peut également entrer dans ce cadre. Elle a été mise en place rapidement dans des domaines sensibles tels que les plateformes pétrolières en mer (OASYS - CFP par exemple) ou les centrales nucléaires (LE METAYER 1987).

A titre d'illustration notons que ce "gros" système expert, nommé EXTRA, ne gère, pour l'instant, que 10 % des alarmes, ce qui représente 220 alarmes pour 1000 défauts élémentaires pour 600 matériels. Il comporte 5 000 règles et peut effectuer une analyse en moins de 4 secondes sur un ordinateur SPS 7 de Bull. Le problème essentiel reste l'interprétation correcte des données, le système devant aider à prendre une décision rapide.

Le diagnostic des défaillances des cartes électroniques contribue à améliorer les possibilités d'effectuer une bonne maintenance prédictive (DELORME 1987 - DEVES 1987). L'utilisation d'un système expert permet de générer la procédure de test la mieux appropriée. Intégré au niveau du système de CAO, ce système peut intervenir dès la conception et être utilisé pour l'analyse de testabilité.

#### 5. L'ORDONNANCEMENT

La maintenance d'une installation industrielle est constituée d'un ensemble de nombreux travaux plus ou moins importants, à faire plus ou moins rapidement (maintenance corrective et prédictive) en utilisant un potentiel humain et matériel (pièces de rechanges et outils) plus ou moins spécialisé. Le responsable du service doit donc faire une balance entre les travaux à effectuer et les moyens (souvent insuffisants) dont il dispose, tout en restant dans des limites de sécurité (pour les hommes et le matériel) et en essayant de conserver la productivité de l'installation. Un bon système doit permettre, à tout moment, de modifier la planification établie pour tenir compte d'une urgence.

Jusqu'à présent les méthodes classiques s'appuyaient sur les méthodes graphiques de type PERT. L'inconvénient majeur de tels systèmes était leur lourdeur à tenir compte d'une modification. La tendance actuelle est l'utilisation de la technique des systèmes experts qui se prêtent bien à une évolution des connaissances dans le temps. Le domaine de l'ordonnancement en maintenance fait appel à un grand nombre de contraintes mal structurées souvent complexes et imprévisibles. Le système utilisé doit donc permettre de minimiser les risques d'arrêt pendant des périodes critiques (une liaison avec la maintenance prédictive est évidente), il doit donner à l'utilisateur la possibilité de modifier les contraintes (manque de pièces ou spécialiste malade par exemple). Une solution en maintenance utilisant la programmation de type objets (Frames) a été donnée (PODBURY 1987). De nombreux autres exemples existent dans le domaine plus large de la GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur) mais peuvent être facilement transposés à la maintenance (KANET 1987).

Des outils spécialisés apparaissent sur le marché. ISIS (Intelligent Scheduling Information System) développé par Carnegie Melon University est utilisé par Westinghouse Corporation pour la maintenance d'une turbine (FOX 1984 - COMTE 1987). Le système expert utilisé produit un planning plus performant et en un temps plus réduit que les experts humains. Le point important est sa capacité à accepter des modifications, des contraintes pour donner un nouveau calendrier. Un outil tel que ISIS peut être utilisé pour un programme de maintenance prédictive où un grand nombre de petits travaux peuvent être préprogrammés, complétés en

"temps réel", par les contraintes induites par la maintenance corrective (JEZZARD 1988).

## 6. L'UTILISATION DES DONNEES TECHNIQUES

La maintenance fait appel à de nombreuses bases de données, souvent internes, sauf pour les données de fiabilité. L'utilisation de la technique Système Expert permet une aide à l'interrogation et à la navigation dans ces bases pour un compagnon de maintenance du terrain (GRIFFIN 1986 - BASSANO 1987). En particulier, pour tout responsable de service maintenance, la documentation technique en ligne est un idéal. Cette documentation est souvent dispersée et incomplète. L'apparition des mémoires optiques qui permettent d'augmenter la densité des informations stockées et l'amélioration des techniques de compression des images apportent une solution à ce problème. Vidéodisque de CD ROM sont déjà utilisés (CREHANGE 1987 - THONNET 1987). En couplant à ces supports les techniques système expert et hypertexte, une utilisation simple de la documentation technique devient envisageable dans le milieu industriel. L'apparition du CDI (Compact Disc Interactif) comme produit grand public dans les prochaines années doit permettre d'amplifier ce phénomène en diminuant fortement les coûts de tels systèmes qui doivent rapidement devenir un nouveau module des progiciels de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur)(GABRIEL 1987)

## 7. LA FORMATION DE MAINTENANCE

Capables d'expliquer leur cheminement vers la solution d'un problème, l'utilisation d'un système expert permet un premier type de formation sur le tas. Des systèmes d'EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) plus sophistiqués utilisent maintenant cette technique. On peut citer les travaux effectués chez Renault pour la formation au diagnostic de panne des systèmes automatisés (MOUSTAFADIES 1987).

## 8. LE SERVICE APRES VENTE

Il participe grandement à l'image de marque de la société et ne doit pas être négligé. Le problème essentiel est la diversité et l'éloignement géographique des produits, une fois installés chez le client. Les récentes journées organisées par EC2 sur "Systèmes Experts et Télématique" ont permis de montrer que des solutions existent maintenant (EC2 1988). Des outils spécifiques existent qui permettent un partage de l'utilisation à distance d'un système expert par plusieurs utilisateurs (Outils proposés par INFOGRAMES, Métrologie, AMAIA et COGNITECH). Une application exemplaire a été présentée par SERVICE SA pour l'aide au diagnostic et à la réparation des appareils de haute technologie du groupe Philips par ses distributeurs pour les lecteurs de compact disc (BOUCHON 1988). Cette application télématique experte est complétée par des fonctions plus classiques telles que commande de pièces détachées ou de documentation et demande de prix.

## 9. UN OUTIL GENERAL DE MAINTENANCE

A moyen terme, tous les éléments qui viennent d'être passés en revue doivent être regroupés dans un outil général qui complète les systèmes de GMAO existants et qui tient compte des deux démarches obligatoires de maintenance corrective (après la défaillance) et prédictive (avant la défaillance).

En conclusion, l'introduction de l'utilisation des systèmes experts dans le domaine de la maintenance ne s'amplifiera que si les utilisateurs sont convaincus que cela leur apporte un plus.

Sans reprendre les avantages généraux des systèmes experts, on peut citer les deux principaux qui devraient convaincre les responsables :

1 - un temps de développement réduit pour obtenir un logiciel de meilleure qualité,

2 - une évolution aisée des connaissances contenues dans le système.

Cette modification de la base de connaissance doit être réalisée par l'expert qui, libéré des tâches routinières, va pouvoir consacrer une large partie de son temps aux problèmes encore mal résolus.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 1985 - Norme Française AFNOR X60 - 010 dans "Recueil de normes en Maintenance industrielle", AFNOR 1985.

BASSANO 1987 - J.C. BASSANO "Systèmes Experts et systèmes documentaires intelligents - Etat de l'art et perspectives" Journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1987, p 491-510.

BLAISON 1988 - G. BLAISON, M. GABRIEL, M. LALANNE, J.C. LIGERON et B. ROBILLARD "Télénormes - Système Expert accessible à distance pour la gestion de la fiabilité applicable aux grands projets". in réf. EC2 1988, p 91-109

BOUCHE 1987 - M. BOUCHE, V. PLAUCHU, D. RETOUR et H. BRAURE "Maintenance industrielle et système expert de diagnostic de panne" Maintenance, (sept 1987), p 3-9

BOUCHON 1988 - J.C. BOUCHON "L'aide au diagnostic et à la réparation des appareils électriques domestiques" in réf. EC2 1988, p 15-21

COMTE 1987 - B. COMTE "Intelligence artificielle et Test Automatique", rapport de mission aux Etats-Unis CLAME, 1987

CORNILLE 1987 - J.M. CORNILLE, A. MELIER et J. RUHLA "Le système expert de maintenance PEDRO : bilan et perspectives" Journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1987, p 667 - 686

CREHANGE 1987 - M. CREHANGE, J.M. DAVID, J. NIZARD, G. GERMAIN et M. GABRIEL "SEMAVI : système à base de connaissance d'interrogation d'une base d'images techniques pour l'aide à la maintenance" in réf. GABRIEL 1987, p 94 - 100

DELORME 1987 - C. DELORME, N. GIAMBIASI, R. LBATH et P. ROUX "THESEE : un système expert d'aide à la génération de vecteurs de tests" in réf. GABRIEL 1987, p 39 - 51

DEVES 1987 - P. DEVES, J.P. MARX, P. DAGUE et O. RAIMAN "DEDALE : An Expert System for Troubleshooting Analogue Circuits" Int. Test Conf. (1988) Washington

EC2 1988 - Systèmes Experts et télématique, EC2, Paris 1988

FIABEX 1987 - La lettre de la sûreté de fonctionnement, n° spécial Fiabex, n° 1, novembre 1987.

FOX 1984 - M.S. FOX et S.F. SMITH "ISIS - A knowledge-based system for factory scheduling" Expert System 1 (1984) p 25 - 49

GABRIEL 1987 - M. GABRIEL et J.C. RAULT Systèmes Experts en Maintenance Ed. Masson Paris (1987)

GABRIEL 1987 i - M. GABRIEL et Y. PIMOR "Maintenance Assistée par Ordinateur" - Ed. Masson, Paris, 2e éd. (1987)

- GRIFFIN 1985 - A.F.GRIFFIN "Intelligent information retrieval from on line technical documentation" in "Artificial Intelligence in Maintenance" ed. by J.J.RICHARDSON, NOYES Publ., Park Ridge, (1985), p 465 - 474
- IZRAR 1987 - B. IZRAR et M. GABRIEL "Application de la technologie systèmes experts en maintenance corrective et préventive conditionnelle" 1ères journées nationales sur l'électronique et l'informatique au service de la maintenance - AFCET CIAME - Paris (1987) p 35 - 43
- JEZZARD 1988 - F. JEZZARD "Artificial intelligence in the maintenance field" The plant engineer - (jan. fév. 1988), p 39 - 41
- KANET 1987 - J.J. KANET et H.H. ADELSBERGER "Expert systems in production scheduling" Europ. J of operational research 29 (1987) p 51 - 59
- LE METAYER 1987 - B. LE METAYER "gérer les alarmes dans les centrales nucléaires" Les échos industrie, (3.03.1987), p 13
- LIGERON 1987 - J.C. LIGERON "Le management de grands projets" Ed. Lavoisier, (1987) Paris
- MAHE 1987 - H. MAHE et P. VESOUL "Acquisition des connaissances et adaptation à l'utilisateur : outils et méthodes" Journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1987, p 625 - 645
- MARTINEAU 1986 - G. MARTINEAU "L'approche système expert d'aide au diagnostic dans le réseau d'après-vente d'un constructeur automobile" in réf. GABRIEL 1987, p 88 - 93
- MOREL 1987 - J. MOREL, B. RICHARD, J.P. TIARRI, J.M. DAVID et J.P. KRIVINE "DIVA: système expert d'aide au diagnostic des défauts d'un groupe turbo-alternateur" 1ères journées nationales sur l'électronique et l'informatique au service de la maintenance" -AFCET - CIAME Paris 1987, p 67 - 76
- MOUSTAFADIES 1987 - J. MOUSTAFADIES "Socrate : un système expert pédagogique d'aide au diagnostic de pannes" journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1986
- PODBURY 1987 - C.A. PODBURY et T.S. DILLON "Maintenance Scheduler - A Frame based expert system" journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1987, p 649 - 666
- RAULT 1987 - J.C. RAULT "Maintenance et systèmes experts : besoins et marchés" in réf. GABRIEL 1987, p 22 - 31
- THONNET 1987 - M. THONNET et M. GABRIEL "Un premier CD ROM multi entreprises en France : Diffusion et utilisation de la documentation technique dans le domaine de la maintenance CD 87 Versailles, juin 1987, p 48 -60
- VIDECOQ 1987 - J.M. VIDECOQ, P. BRIDON, A. OUVRARD et L. MAESANO "AIDE : aide interactive au dépannage en expérimentation" journées d'études sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon 1987, p 857 - 865