

Système expert pour le contrôle prédictif de qualité en production industrielle

*Témoignage d'une expérience industrielle de recueil de
connaissance dans un contexte multiexpert*

Alain MILLE¹ Daniel PIALOT²

et

Jean Marie BECKER(1), Luc DELCROIX³, Olivier LECOINTRE(2), André MICHEL(1), Jean Marc POURPRIX(3), Thierry SIMONI(1), ***
STELLMAN(2)

¹LISA-Informatique Industrielle, CPE Lyon, 31 Place Bellecour, 69288, Lyon Cedex02

²Société Rhône-Mérieux, Service des Biomathématiques,

³Société DIPOLE, ****

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Description du problème et des tâches à modéliser | 2 |
| 1.1. Présentation succincte du procédé de fabrication | 2 |
| 1.2. Objectif du projet: Détecter les dérives de qualité et corriger le procédé | 3 |
| 2. Acquisition de connaissances: l'étude des lots de l'historique et le recueil des expertises | 4 |
| 2.1. Analyse de l'historique et élaboration de la carte de contrôle multivariée | 4 |
| 2.2. Recueil des expertises et formalisation des connaissances | 4 |
| 2.2.1. Méthode de travail | 5 |
| 2.2.2. Déroulement de la phase de recueil des connaissances | 6 |
| 3. Description du système réalisé | 12 |
| 4. Discussion | 14 |
| 4.1. Discussion sur l'approche carte de contrôle multivariée | 14 |
| 4.2. Discussion sur le recueil des connaissances expertes | 15 |
| 4.2.1. A propos de la modélisation des connaissances.... | 15 |
| 4.2.1.1. Les tâches modélisées | 15 |
| 4.2.1.2. Une connaissance multi-expert | 15 |
| 4.2.1.3. Faire évoluer la base de connaissance. | 16 |
| 4.2.2. A propos de la nature des connaissances acquises.... | 16 |
| 4.2.3. Notre proposition pour une implantation future..... | 16 |
| 5. Conclusion | 17 |

Figures

| | |
|---|----|
| Figure 1-1 Description d'une étape de fabrication | 3 |
| Figure 2-1 Deux graphiques présentant la dynamique des lots selon les variables | 10 |
| Figure 3-1 Ecran présentant les cartes de contrôle multivariées | 13 |
| Figure 3-2 Déroulement général d'une session du système d'aide à la décision | 13 |
| Figure 3-3 Liste de sortie d'une session du système expert | 14 |
| Figure 4-1 Architecture d'un système multi-expert basé sur l'expérience. | 17 |

Introduction

La maîtrise de la qualité est un enjeu considérable en production industrielle et le projet qui est présenté dans ce papier a été imaginé et mis en place pour y contribuer.

L'idée principale est d'exploiter les informations recueillies au cours de la fabrication d'un lot, ou préalablement à la fabrication, en vue de le situer très rapidement par rapport à de précédents lots afin de détecter au plus tôt d'éventuelles dérives.

L'industriel a eu l'idée d'utiliser les Cartes de Contrôle Multivariée comme Tableau de bord des différentes productions connues et d'y projeter la fabrication en cours pour la situer. Le support graphique des cartes de contrôle permet ainsi de juger rapidement d'une "dérive" du lot courant par rapport à l'historique.

Le diagnostic d'une dérive étant ainsi posé, il s'agit de pouvoir aider les opérateurs à comprendre ce qu'il se passe et à imaginer des actions correctives.

Pour réaliser cette fonction d'aide à l'opérateur, l'industriel a décidé d'expérimenter le couplage de l'approche statistique à un système "expert" qui serait sollicité en cas de dérive et fournirait les éléments d'explication et de préconisation adéquats.

Le projet s'est déroulé sur deux années qui ont permis l'étude de l'historique, le recueil des connaissances sur la fabrication choisie comme application pilote et la réalisation d'un prototype industriel complet intégrant toutes les fonctions en vrai grandeur.

L'ergonomie du système a été particulièrement étudiée pour assurer à la fois confort d'utilisation, robustesse de fonctionnement et sécurité des données.

Enfin, comme dans tout projet industriel, les normes, règlements, recommandations ont été considérés comme incontournables. En particulier, la Traçabilité a été un souci constant dans l'élaboration du prototype.

Le papier présente tout d'abord la fabrication par lots qui a été l'objet du projet, détaille les méthodes utilisées pendant le travail, décrit les résultats en résumant les fonctionnalités disponibles, s'attache à situer le travail en terme de contribution scientifique et conclue sur les pistes ouvertes par ce premier prototype.

1. Description du problème et des tâches à modéliser

1.1. Présentation succincte du procédé de fabrication

Le projet a été mis en place pour une fabrication de produits pharmaceutiques réalisés par lots selon un procédé se déroulant en plusieurs phases dans plusieurs zones distinctes.

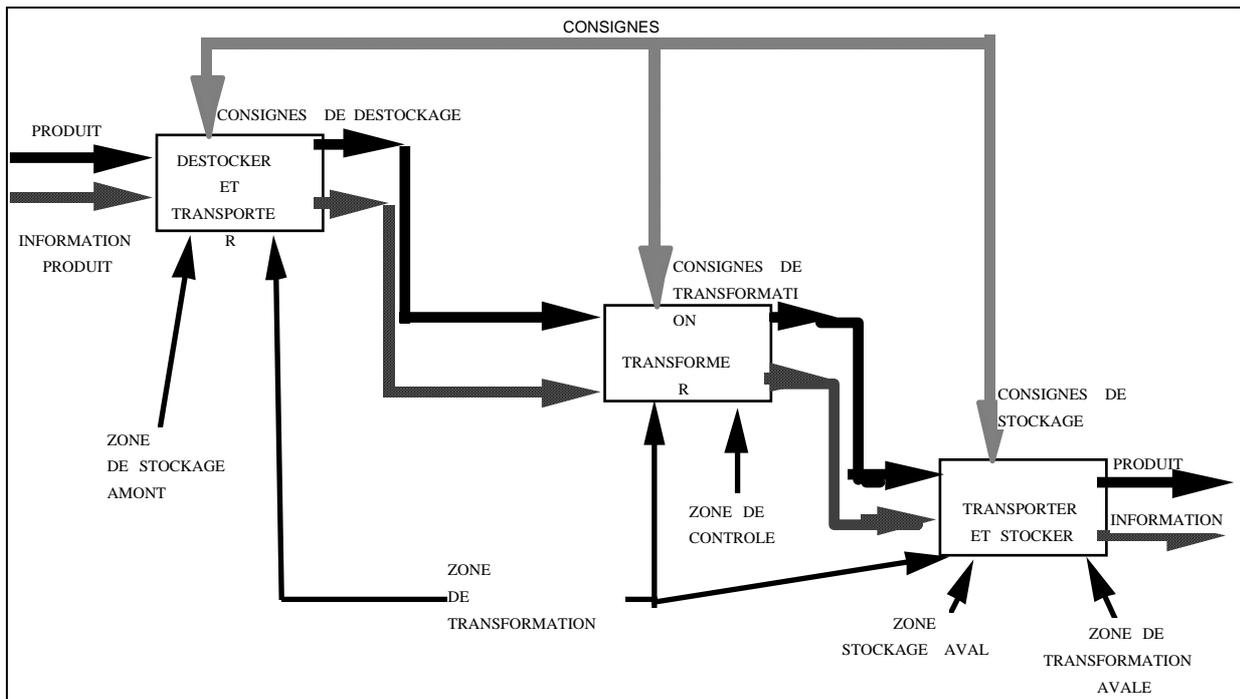
Chaque zone est spécialisée pour une étape de fabrication ou effectuer des contrôles particuliers.

Le passage d'une zone à l'autre se déroule sous contrôle strict et un document suit le lot dans les différentes étapes de la fabrication. Entre chaque zone de fabrication, le lot en cours est transporté par conteneurs ou directement acheminé par tuyaux dans certains cas, lorsque l'automatisation du transfert stérile a été réalisé. Dans tous les cas, le produit est stocké temporairement entre chaque zone.

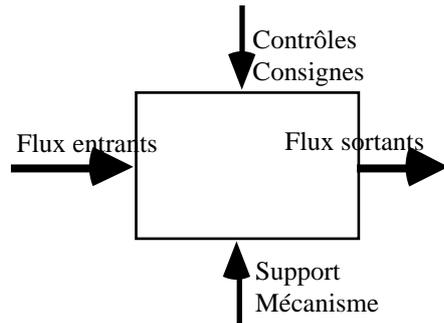
Les opérations sont réalisées dans chaque zone sous la responsabilité d'équipes spécifiques. Le contrôle de stérilité est assuré tout au long de la chaîne de fabrication. Les protocoles de fabrication sont précis, explicites et donnent lieu à un suivi particulièrement soigneux. Le lecteur intéressé trouvera dans [Cam83] et [Fon86] une description détaillée du procédé de fabrication mis en oeuvre dans le projet.

Dans la fabrication du vaccin qui a été pris comme pilote pour notre application, les zones de fabrication retenues sont: la production du principe actif brut, la purification et la mise sous forme pharmaceutique. Chacune de ces zones est spécialisée mais le principe générale d'organisation est le même.

Une étape de fabrication dans une zone peut être modélisée de la manière suivante:



La séquence précédente emprunte au formalisme SADT sa représentation graphique avec les conventions suivantes:



Le produit accompagné de sa fiche de description est déstocké selon les consignes de déstockage à l'initiative de la zone de transformation et selon un plan de travail coordonné (système informatique centralisé).

Produit et information sont transportés dans la zone de transformation où, selon les consignes de transformations les traitements sont effectués par la zone de transformation et les contrôles réalisés par la zone de contrôle compétente.

En fin de traitement, le produit transformé est stocké dans une zone aval avec sa fiche de description et sous la double responsabilité de la zone courante et de la zone aval.

Figure 1-1 Description d'une étape de fabrication

Cette modélisation met en évidence la façon dont le cloisonnement est organisé entre les différentes zones. La mise à disposition du produit en cours de fabrication d'une zone à l'autre est sanctionnée par un document visé des deux cotés et il n'est pas rare que le déstockage (ou le stockage) se fasse en présence d'une personne de chaque équipe concernée.

Ce cloisonnement vise à assurer un strict respect des consignes devant garantir en particulier la stérilité des produits.

De même, les relations entre les zones de fabrication et les zones de contrôle sont encadrées par un protocole précis et les documents échangés, complétés suivent le produit dans son cycle de fabrication.

C'est en tenant compte de cette organisation de la production que les méthodes de recueil d'informations et des connaissances ont été mises en place.

1.2. Objectif du projet: Détecter les dérives de qualité et corriger le procédé

La production des lots de vaccins fait l'objet d'un souci de qualité et de sécurité qui a amené l'entreprise à suivre chaque lot et à garder une trace relativement détaillée des productions. L'analyse de l'historique des lots a permis d'identifier un certain nombre de variables importantes pour expliquer la qualité finale du produit. La qualité finale du produit est estimée en fonction des résultats des tests d'efficacité et de stérilité d'une part et des éventuels retour clientèle qui portent plutôt sur des problèmes d'aspect (par exemple) d'autre part.

En cas de dérive de qualité, l'entreprise souhaite que le système puisse fournir des éléments d'explication à l'opérateur et des préconisations pour remédier ou empêcher la dérive.

Les tâches principales assignées au système sont donc:

- détection d'une dérive de qualité (la qualité dépend de plusieurs critères - rendement, efficacité, aspect, etc..)
- diagnostic des causes possibles de la dérive
- proposition d'actions correctives.

L'hypothèse est faite que l'expertise pour réaliser ces tâches existe collectivement dans l'entreprise qui souhaite "encapsuler" cette connaissance pour aider l'opérateur dans les tâches correspondantes de diagnostic puis de correction.

La détection des dérives repose sur l'analyse comparée du lot courant avec les lots de l'historique et consiste à lui affecter la classe de qualité des lots les plus similaires.

2. Acquisition de connaissances: l'étude des lots de l'historique et le recueil des expertises

Nous présentons dans ce chapitre le travail préalable qui a été réalisé pour permettre le développement d'un outil d'aide à la gestion de la qualité produit tel que présenté au chapitre précédent.

Le recueil des connaissances des experts sera plus largement décrit pour sa valeur de témoignage dans un cadre industriel avec ses contraintes de productivité et de résultat. Le recueil des expertises n'a pas été mis en place comme un laboratoire de méthodes mais bien comme un processus à contrôler dans le temps et dans ses coûts.

2.1. Analyse de l'historique et élaboration de la carte de contrôle multivariée

L'information contenue dans l'historique de production est segmentée et on analyse séparément l'historique de la production du principe actif brut, l'historique de la purification et celui de la mise sous forme pharmaceutique, de manière à obtenir des cartes de contrôle multivariées locales, correspondant à chaque zone.

Pour chaque étape de la production sélectionnée, l'historique comporte à la fois des informations sur le procédé (conditions de déroulement de l'étape considérée) et sur la qualité obtenue. Dans le cas général, plusieurs paramètres de qualité sont disponibles. Les relations entre ces paramètres sont analysées séparément en prenant en considération l'ensemble de l'historique, soit en utilisant une analyse en composantes principales (si tous les paramètres sont quantitatifs), soit en utilisant une analyse des correspondances multiples (si certains paramètres sont qualitatifs) [Leb et al]. Les groupes de qualité qui serviront de référence ont été établis en se basant sur les résultats de cette analyse multivariée (4 groupes dans le cas de l'exemple prototype, soit schématiquement "très bien", "bien", "juste suffisant" et "insuffisant").

Chaque lot de l'historique est rattaché à un groupe de qualité. La partie procédé de l'historique est alors considérée. On cherche à mettre en relation les observations sur le procédé pour le lot et l'appartenance à un groupe de qualité, en utilisant une analyse factorielle discriminante sur variables qualitatives [Sap] en raison de la présence constante de paramètres qualitatifs dans les procédés.

Les plans factoriels de l'analyse discriminante fournissent le support de représentation de la carte de contrôle multivariée. Cette approche s'inspire des propositions de [] et de [Pia90].

L'enveloppe convexe de chaque groupe de qualité est dessinée dans les plans de la carte de contrôle. En fonction des caractéristiques du procédé tout lot réel ou simulé est représenté en projection dans les plans de la carte. Il est facile de vérifier immédiatement de quel groupe de qualité le lot apparaît proche d'après les caractéristiques du procédé et faire un pronostic de qualité en fonction des résultats déjà obtenus pour des lots proches dans le déroulement du procédé. La carte de contrôle multivariée automatise une analyse par similitude. Il est également possible de rapprocher la position occupée par le lot, des positions occupées par les lots précédents ce qui offre l'opportunité de détecter visuellement l'apparition d'une évolution (peut-être une dérive) des conditions du procédé.

A partir des caractéristiques réelles ou simulées du procédé, on calcule la distance du lot au centre de chaque groupe de qualité. Le lot est rattaché au groupe dont il apparaît le plus proche. En cas d'éloignement important de chacun des groupes, le lot peut n'être rattaché à aucun des groupes de qualité.

Dès lors que le lot est rattaché au groupe non satisfaisant, ou se trouve proche de la limite du groupe non satisfaisant, on évalue la contribution de chacun des paramètres du procédé à la position du lot et on incrimine les paramètres qui y contribuent le plus (2 paramètres sont ainsi retenus dans l'exemple prototype). Ces paramètres sont cités dans le diagnostic statistique et transmis au système expert.

2.2. Recueil des expertises et formalisation des connaissances

La nature cloisonnée de la fabrication et le nombre de zones concernées dans le procédé de fabrication a imposé de recueillir les connaissances de nombreux experts. Les experts sont des cadres de l'entreprise, en situation opérationnelle et possédant expertise théorique et expérience pratique conséquente.

Les experts sont les responsables des zones de fabrication et des zones de contrôle. Ils collaborent tous à la fabrication et connaissent le lot chacun selon un point de vue qui peut être assez différent. Plusieurs ont une expérience suffisamment longue pour avoir occupé plusieurs postes en fabrication ou en contrôle. Leur tâche principale est la mise en oeuvre du process dans leur zone mais ils ont également comme tâche plus exceptionnelle d'expliquer les problèmes de qualité quand ils surviennent. La procédure d'explication d'une dérive de qualité consiste à rassembler les acteurs de la fabrication et des contrôles et à étudier le lot en cause pour remonter aux événements de son histoire qui pourraient expliquer sa dérive. Cette procédure est rare et n'est pas décrite de manière unique. Il s'agit plutôt d'une sorte d'enquête pour vérifier tous les éléments d'information concernant le lot puis de se livrer à un "brain storming" pour expliquer ce qui s'est passé. Les informations relatives à ces travaux sont confidentielles et sensibles.

L'entreprise souhaite que le plan de recueil d'expertise soit décrit par avance et que le calendrier de mise en oeuvre ne soit pas remis en cause.

2.2.1. Méthode de travail

Le recueil d'expertise est donc mis en place avec les objectifs suivants:

- préciser les critères qualité tels qu'ils sont vus par les experts,
- dégager les paramètres sensibles de la production pour atteindre la qualité recherchée,
- découper les segments de fabrication pour faire apparaître les relations causes-conséquences dans la dynamique d'une fabrication.

Un groupe de pilotage est mis en place, avec:

- Un chef de projet Industriel (représentant officiel de l'entreprise).
- Un responsable industriel et un responsable scientifique pour l'organisation pratique du recueil des connaissances.
- Un groupe de quatre interviewers.

Huit experts sont désignés par le chef de projet de façon à ce que les différents secteurs de production et de contrôle soient représentés - Préparation matières premières, Fabrication de principe actif brut, Purification, Mise sous forme pharmaceutique, Contrôles physico-chimiques et biologiques -. Un expert généraliste complète la liste et, dans un secteur qui vient de changer d'équipe très récemment, deux experts sont associés.

La méthode de travail est très classique dans son principe:

- Exploitation des documents existants
- Série d'interviews enregistrées, retranscrites⁴ et contrôlées⁵.
- Réunions de synthèse.

Un "fil rouge"⁶ doit guider les entretiens:

- L'expert situe de manière "ouverte" sa place dans la fabrication
- Description des tâches liées à son secteur
- Etudes de cas sur lesquels l'expert sera amené à réfléchir "à voix haute".
- Généralisation des informations issues des cas.

Le recueil des connaissances tire sa complexité du nombre de personnes concernées, aussi bien experts qu'interviewers, ainsi que du cloisonnement des zones de travail.

La réalisation pratique du recueil des connaissances a nécessité un peu plus de six mois et les paragraphes qui suivent se proposent d'en dégager les moments clés et les points les plus intéressants..

⁴les interviews ne sont pas retranscrites in-extenso mais mises en forme. Cette décision fut prise pour essayer de parvenir à une synthèse le plus rapidement possible, mais la perte d'information est sensible et un effet pervers s'est fait sentir à la correction des experts. Ils corrigeaient dans le sens d'une mise en conformité avec la "théorie".

⁵L'expert relit la transcription et corrige le document. Après validation des corrections, le document est visé.

⁶Le groupe a choisi d'appeler "fil rouge", le fil conducteur des interviews.

2.2.2. Déroulement de la phase de recueil des connaissances

Le tableau suivant présente une synthèse des différentes étapes du recueil des connaissances. Les étapes clés et les leçons qui peuvent en être tirées sont ensuite reprises en se référant à ce tableau.

| Code Etape | Descriptif succinct et situation dans le temps | Type d'étape | Commentaire sur les objectifs et les résultats de l'étape |
|--------------|---|--|---|
| RP1 | Groupe de Pilotage 3 réunions sur 2 mois. 09/91,10/91 | Réunions de Préparation | Le comité de pilotage prépare sa stratégie, ses méthodes, son calendrier. Les interviewers s'accordent sur les objectifs et les outils du recueil des connaissances. |
| RP2 | Groupe de Pilotage et groupe d'experts 10/91 | Présentation aux experts du projet et de la phase de recueil des connaissances | La réunion est animée par un spécialiste des techniques de communication. Les experts sont invités à réagir au projet et à formuler le rôle qu'ils peuvent y jouer |
| RP3 | Groupe de pilotage 11/91 | Simulation d'interview devant le comité de pilotage. | Rodage du déroulement d'une interview. Maîtrise du temps, du développement de l'expertise ... Des observateurs renvoient aux interviewers les points forts et faibles de l'interview. La technique d'enregistrement est affinée. |
| INT1 1 h | Une interview/expert 11/91 | Interview ouverte | Le processus de fabrication tel que vu par l'expert, ses convictions, sa pratique, son expérience |
| INT2 2 h | Une interview/expert 12/91 | Interview semi-fermée Etude d'un ou deux cas | Réactions de l'expert, Appréciations portées sur sa zone d'intervention, son regard en amont et en aval, son raisonnement "à voix haute". |
| RS1 | Synthèse groupe de pilotage | Réunion de "revue" du comité de pilotage | Les faiblesses de la méthode de recueil des connaissances, modification de la stratégie vers un travail plus centré sur l'historique. |
| INT3 2 h | Une interview/expert 01/92 | Interview semi-fermée Etude de l'historique | Raisonnement sur la dynamique des lots. Les cas qui ressortent. Le jugement en cas d'information manquante. L'analyse des fluctuations constatées. Les actions qui auraient pu être tentées. |
| RS2 | Groupe de Pilotage et groupe d'Experts 01/92 | Synthèse intermédiaire | L'ensemble des acteurs du recueil d'expertise est rassemblé pour faire un premier point sur l'avancement du projet. Les experts souhaitent aller plus loin dans le décloisonnement. Cette expérience est pour eux l'occasion d'une réflexion globale sur le procédé et leur mode d'organisation. Une technique originale est proposée pour terminer le recueil d'expertise qui consiste à réunir: - un expert "interviewé", - un expert d'une autre zone dans le rôle de l'interviewer, - un observateur (un des interviewers-cogniticien), chargé d'exploiter l'échange. |
| INT4 1h30 | 1 expert Interviewé 1 expert Interviewer 1 Observateur-cogniticien 02/92 | Interview tripartite | Recherche des points de consensus et de différences d'avis. Mise en évidence des différents points de vue de zone. Elicitation des relations interzones. |

| | | | |
|------------|--|--|--|
| RS3 3 h | Groupe de pilotage Groupe d'experts Le spécialiste en communication 03/92 | Réunion de synthèse terminale | Cette réunion a été l'occasion de présenter les différents points de vue qui se dégageaient des interviews. Une série de propositions de " règles " brutes ont été soumises à l'assemblée pour en renforcer certaines, en affaiblir d'autres, etc.. La réunion a été l'occasion d'échanges directs entre les participants qui ont permis de mettre en lumière que les critères qualité des uns et des autres étaient rarement globaux et que ce qui pouvait être un critère local important pouvait être second globalement. |
| RT 3 h | Groupe de pilotage restreint 03/92 | Réunion de formalisation des connaissances en base de règles | Les responsables du projet et le coordinateur du recueil d'expertise se sont efforcés de formaliser les informations brutes validées en RS3 pour les mettre sous une forme "contrôlable". La formalisation s'est limitée aux stades précoces de la fabrication et une quarantaine de "règles" ont été formulées. La validité des règles est soumise au contexte. Un petit nombre de méta-règles sont proposées en conséquence. |
| | 06/92 | Validation complète de l'ensemble du logiciel | Le prototype dans sa version 0 est disponible. Une période de test sur site commence sous le contrôle du responsable industriel. |

Tableau 2-1 Description des différentes étapes de recueil des connaissances

Ces différentes étapes se sont succédées à un rythme relativement soutenu et ont toutes été sanctionnées par un document. Le contenu et la formalisation faite dans ces documents sont considérés comme la référence brute du travail de recueil des connaissances.

Une mise en perspective dans le temps permet d'illustrer la dynamique de ces étapes les unes par rapport aux autres.

Le schéma suivant illustre le calendrier et la densité du travail mené.

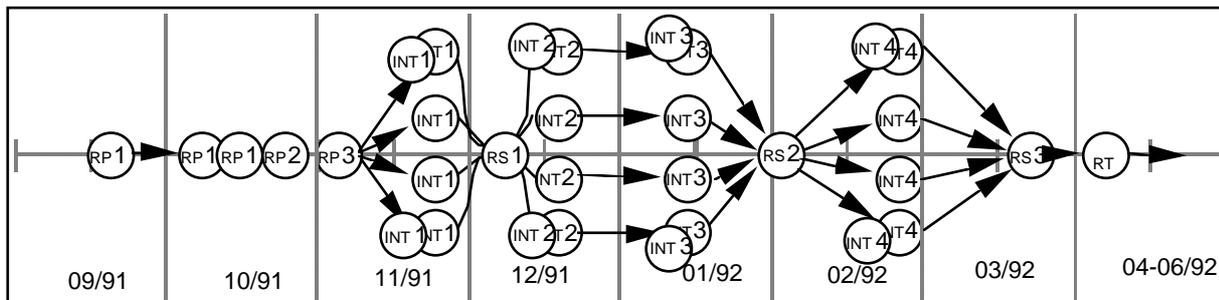


Figure 2.1: Planning des différentes étapes de recueil des connaissances

Ce schéma démontre la compacité du travail de recueil de connaissances et illustre le délai nécessaire à une formalisation de l'expertise quand elle est multi-experts.

RP1: le groupe de pilotage a comme fonction de gérer l'ensemble du projet. Ses réunions ne sont pas exclusivement réservées à l'étude du recueil d'expertise. Toutefois, les réunions de septembre et octobre eurent ce problème comme point principal à l'ordre du jour. C'est à cette occasion que les problèmes "politiques" sont abordés, que la meilleure façon d'associer les experts au projet est débattue, que le "coût" de l'expertise est établi. Le coût de l'expertise recouvre essentiellement le temps pris aux cadres de la société, mais aussi les coûts de retranscription et d'interviewer. Une contrainte est établie: les enregistrements, comme les documents ne doivent pas sortir de l'entreprise. La confidentialité des informations doit pouvoir être garantie et la diffusion d'un document d'expertise ne peut être diffusé qu'avec l'accord expresse de l'expert concerné. Ces précautions sont nécessaires pour instaurer un climat de confiance entre les interviewers et les experts.

Le compte-rendu de la réunion est dactylographié.

RP2: Cette réunion est considérée comme la plus difficile à réussir. L'objectif est important, il s'agit de convaincre les experts de l'intérêt du travail, de leur montrer les résultats attendus pour l'entreprise et pour eux-mêmes. Le nombre des participants (une vingtaine), leur qualité (cadres de l'entreprise, membres de la direction, interviewers, responsables du projet ,etc..) et l'enjeu de la réunion sont autant de facteurs difficiles à maîtriser pour réussir à faire passer des messages. L'animation de cette réunion par un spécialiste de la communication qui se présente comme observateur et révélateur des messages émis et renvoyés, est une bonne initiative. L'animateur de la réunion n'étant engagé ni dans le projet ni dans l'entreprise, il est assez facile pour lui de jouer le rôle de médium privilégié dans les échanges. Une telle réunion doit donc être préparée soigneusement et chacun doit pouvoir s'identifier au projet en y trouvant une place valorisante. Les critères principaux de la réussite d'une telle démarche nous semblent être:

- un lancement **officiel** du projet.
- une **identification** personnelle de chaque acteur.(les experts et les interviewers sont présentés les uns aux autres)
- une présentation de l'ensemble du projet prévisionnel en terme **d'objectifs** et de **calendrier**.
- des explications **pédagogiques** sur les principes d'un système à base de connaissances. (vocabulaire, intérêt et limites) Dans notre cas, nous présentons un exemple de système expert développé avec un outil permettant de mettre en évidence le raisonnement suivi.
- des explications sur **les étapes du recueil** de connaissances et sur les validations. (confidentialité)

A cette occasion, un modèle de comportement en interview, issu de la programmation neurolinguistique, est proposé aux interviewers et aux experts par l'animateur de la réunion. Ce modèle est très simple, il comporte trois composantes plongées dans un certain environnement- le Processus Interne (capacités, méthodes, stratégies..), l'Etat Interne(croyances, valeurs, critères...) et le Comportement Externe-. Il sert de guide dans l'évaluation de la situation en interview, de façon à l'exploiter au mieux pour atteindre les objectifs de mise en évidence des connaissances.

Une série de recommandations sont formulées pour classer les difficultés et les écueils de la communication, en particulier dans un processus de recueil des connaissances:

- renvoyer précisément au point de vue de l'expert plutôt qu'à un cours magistral sur le sujet. Il est important d'impliquer directement l'expert dans les questions posées.
- vérifier par la reformulation plutôt que plaquer une représentation personnelle sur celle de l'expert (par des phrases du genre "je vois ce que vous voulez dire ...").
- vérifier que les généralisations sont conscientes (l'expert veut-il vraiment dire "toujours", jamais", etc..)
- faire réagir sur les présuppositions en demandant ce qui se passerait si ce qui est supposé se révélait faux.
- authentifier les relations causes-effets en les faisant systématiquement justifier.
- identifier le mode privilégié de structuration de pensée de l'expert(visuel, auditif, kinesthésiste..), ce qui permettra de solliciter particulièrement cette forme d'expression dans les reformulations par exemple.

Enfin, la méthode du Chunk (selon Bandler et Grinder) est proposée comme technique de reformulation "productive". Il s'agit de varier les angles sur une question particulière par généralisation (chunk up), spécialisation (chunk down) et analogie (chunk latéral). Des points de repères sont également fournis aux **experts** sur la tâche d'élicitation des connaissances. Ils sont encouragés à ne pas craindre de donner des détails, à vérifier le sens des questions posées, à tenter de rester spécifiques et précis. Il faut noter que ces recommandations ont été acceptées par les interviewers et les experts sans remise en cause, ni étude d'autres points de vue. Elles sont donc rapportées ici avec les arguments et la description faite par l'animateur. Il n'y pas eu un travail de recherche mené sur ce point précis, même s'il nous semble que les apports de la psychologie cognitive pourraient être intéressants dans cette phase de préparation d'un recueil d'expertise.

La réunion s'est déroulée dans un climat de confiance, les experts étant pour la plupart curieux(au sens positif du terme) de savoir ce qu'il allait sortir de ce recueil de connaissances.

RP3: Réunion du groupe de pilotage pour roder la technique d'interview. La durée d'interview est fixée autour d'1 heure 30 avec un minimum d'une heure et un maximum de deux heures. Ces durées doivent être fixées à l'avance pour permettre aux experts de gérer leur emploi du temps au mieux.

Pour que les interviewers prennent leurs "marques", une simulation d'interview est menée avec l'aide du coordonnateur industriel qui joue le rôle de l'expert. Plusieurs interviewers se succèdent en étant observés par les autres. Le bilan et l'écoute de la bande enregistrée sont révélateurs des défauts classiques dans ce type d'exercice: écoute insuffisante, gestion du temps rapidement oubliée, présentation initiale trop longue ou trop courte...Cet exercice a été jugé très important par les participants pour apprendre à observer et à s'observer. L'interview est un exercice plutôt difficile et est souvent confondu avec "questionnaire oral" En effet, l'interviewer se présente avec des questions à poser préparées à l'avance, alors qu'il est surtout important de se rappeler les objectifs du recueil de connaissance.

Le compte-rendu de la réunion est dactylographié.

INT1: Il s'agit de la première série d'interviews. 6 Interviews sont menées par 4 interviewers et concernent les 7 experts (une interview est menée avec deux experts d'une zone qui ont demandé d'être ensemble à cette occasion). L'objectif fixé pour cette première interview est d'acquérir le modèle du processus de fabrication tel qu'il est vu par chaque expert. Ce modèle peut donner lieu à un dessin, un diagramme, une explication etc..Cet objectif remplit un double rôle: habituer l'interviewer à la vision de l'expert et à son vocabulaire, permettre à l'expert d'exprimer tout ce qui lui semble générique dans la fabrication. C'est aussi l'occasion d'écouter l'expert sur ses convictions concernant la qualité, d'enregistrer sa façon de la gérer en pratique et d'être attentif à son expérience de situations de recherche d'explication sur la qualité. (précision du récit, expérience directe ou non, etc..). L'interview doit rester très ouverte avec un minimum de questions et de recentrages par l'interviewer.

L'interview est enregistrée, la cassette archivée après qu'un compte-rendu d'interview soit rédigé. Le texte du compte-rendu est dactylographié, relu par l'interviewer puis transmis à l'expert qui note sur le document ses remarques. Chaque interview est traitée de la même façon.

INT2: Deuxième série d'interviews qualifiées de "semi-ouvertes". Un ou deux cas sont préparés par le comité de pilotage pour faire réagir les experts. Les cas sont complets mais l'objectif est d'observer comment l'expert, en partant des informations qui concernent sa zone, explore le cas pour en trouver les clés. La technique utilisée par les interviewers est soit le raisonnement à voix haute, soit l'observation avec interruption quand la démarche de l'expert n'est pas comprise. Dans presque chaque cas, l'expert se reporte à la documentation propre à sa zone pour vérifier tel ou tel point. Il apparaît que le document qui circule avec le lot et qui le caractérise est bien connu pour ce qui concerne les informations précédant ou suivant immédiatement la zone de l'expert, tandis que les informations de début de production et de fin de production font hésiter parfois l'expert dans leur signification. La portée de son point de vue général couvre bien l'ensemble du process de fabrication mais la portée de son point de vue de spécialiste est plus courte dans l'espace des zones (sauf exception des experts ayant occupé plusieurs postes mais dans ce cas la portée est limitée malgré tout dans le temps).

RS1: Cette première réunion après deux séries d'interviews est l'occasion de faire un premier bilan sur plusieurs points:

- cohérence des travaux menés par les différents interviewers et des méthodes employées.
- identifier les biais possibles introduits par la méthode.
- énoncé des faiblesses et des points saillants des éléments recueillis.

Les interviewers marquent de leur personnalité le travail mené, mais la réunion démontre que les différences se situent plutôt au niveau du style et que les objectifs restent clairs et homogènes. Le tour de table permet d'établir quelques défauts liés à la méthode et quelques problèmes liés à tout travail de ce genre:

- les experts ont tendance, au moment de la relecture du document d'interview, à le corriger pour qu'il corresponde mieux à une présentation "didactique" et à le dépersonnaliser. Ceci peut être facilement évité en faisant une transcription complète et exhaustive de l'interview. Dans ce cas, l'expert ne voit pas le document sous le même angle, il n'est que la copie fidèle de l'enregistrement réalisé. Le biais de "synthèse" réalisé par l'interviewer peut être également important. Ceci peut être considéré comme une erreur de méthode, car l'interviewer tente dans son document de mettre en évidence les premiers éléments de raisonnement (essentiellement, tout ce qui peut ressembler à une règle) et ceci est prématuré à ce niveau d'avancement du travail.

- quelques experts considèrent qu'ils doivent trop expliquer le process et la théorie dans le cadre de l'interview. Ils ne comprennent pas forcément que l'interviewer ne soit pas de la partie. Ils ont l'impression parfois de formuler le b-a ba de leur métier. Il ne faut pas hésiter à expliquer le principe de l'acquisition des connaissances et toute l'importance d'une relative ignorance de l'interviewer du domaine de l'expert. Toutefois, ces remarques des experts n'ont pas entraîné de conséquence dans leur participation au travail et leur point de vue a évolué avec le temps.

- quelques experts déclarent (au début du processus) se sentir en situation d'audit. En effet, le sujet reste délicat à traiter, puisqu'il s'agit d'étudier avec eux en quoi des dérives de qualité dépendent de leur activité et ce qu'il conviendrait de faire pour l'éviter. Cet impression est vite dissipée si le comité de pilotage sait dédramatiser les enjeux du projet.

- des problèmes techniques peuvent avoir des conséquences difficiles à récupérer. Une cassette défectueuse et le résultat de l'interview est compromis. La planification d'un autre rendez-vous est problématique dans le contexte d'un tel projet, contraint en temps et en budget.

Le bilan des premières synthèses de connaissances est contrasté:

- le modèle du processus présenté par les experts est identique au niveau très général (la théorie du domaine) mais quand il est présenté plus en détail, indique la portée du point de vue de l'expert (sa zone et les zones adjacentes dans une moindre mesure). Toutefois, la suite du recueil d'expertise montrera qu'il s'agit parfois d'une portée volontairement réduite pour éviter de porter un jugement sur les opérations dont l'expert n'est pas directement responsable.

- certains experts restent très près des lots et leur expertise est formulée presque exclusivement par des exemples. D'autres au contraire, s'efforcent de rester formels et génériques dans leur présentation d'activité. Le style de document rédigé après les expertises favorise le deuxième type d'expertise.

- la plupart des experts, dans leur raisonnement à voix haute, reviennent à leurs archives lorsqu'ils doivent expliquer une dérive de qualité. Le retour à l'historique est systématique dans les zones de contrôle. La validité des informations indiquant une dérive est d'abord vérifiée. La recherche de situations "similaires" est ensuite faite "à la main", et le raisonnement se poursuit en cherchant si les explications trouvées dans le cas de l'historique peuvent être valables pour le cas fourni. Ce travail de recherche dans l'historique a toutefois été gêné par le fait que toutes les zones ne partagent pas toutes les informations et que les archives locales ne concernent en général que les informations produites dans la zone elle-même.

Le groupe de pilotage décide de renforcer l'étude du raisonnement de l'expert basé sur l'historique des lots. Les responsables du projet préparent, à l'intention des interviewers, un dossier reprenant 7 cas complets dont plusieurs ayant présenté une dérive plus ou moins importante. La durée de l'interview suivante est fixée à 2 heures pour permettre l'étude détaillée de l'activité de détection, diagnostic et préconisation des experts sur le dossier fourni.

INT3: Les interviewers étudient le dossier constitué des données brutes des différents lots et les rassemble en tableaux avec un certain nombre d'illustrations graphiques de paires variable-indice de qualité. La figure ci-dessous présente deux graphiques élaborés à cette occasion.

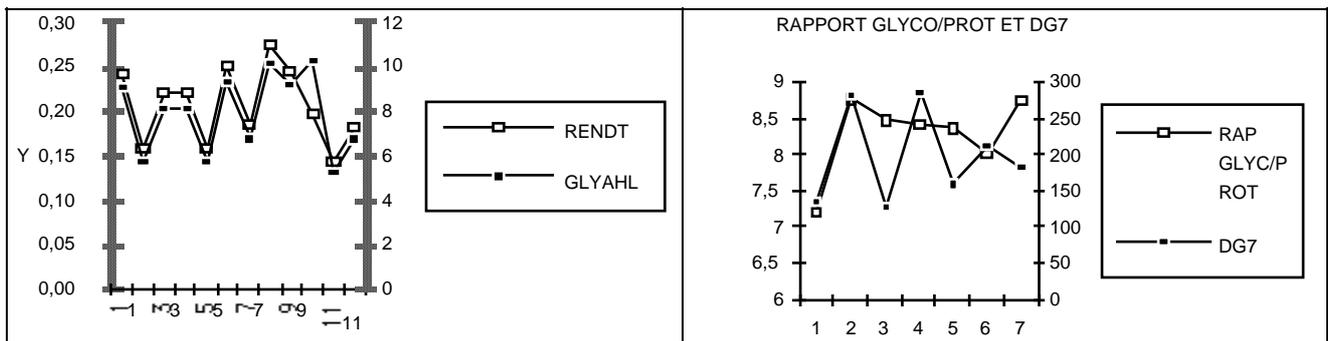


Figure 2-1 Deux graphiques présentant la dynamique des lots selon les variables

Le travail d'interview consiste à repérer la méthode utilisée par l'expert pour étudier le dossier des lots proposés:

- il commence par vérifier la cohérence du dossier par rapport à ses propres archives. Il réalise cette tâche spécialement pour les lots qui semblent avoir un comportement particulier dans la dynamique.
- il reprend ensuite les corrélations qui lui semblent devoir exister entre variables, et met en rapport les valeurs trouvées avec la variance des variables concernées pour discerner ce qui est significatif.
- il recherche l'histoire du lot dans sa zone, c'est à dire les informations et commentaires qui sont ajoutées sur les documents internes à la zone (cahier de paillasse, etc.)

Malheureusement la série de lots fournie par les responsables de l'entreprise ne comporte pas de cas " difficiles " et ayant donné lieu à des problèmes de qualité tels qu'ils soient retenus pour une enquête. Les responsables du projet ont préféré ne pas sortir de documents qui manifestement peuvent soulever quelques difficultés au moment de l'établissement des causes du problème de qualité. Cette précaution a, en effet, permis d'éviter de faux-débats, mais l'absence de véritable cas de dérive de qualité a empêché probablement l'expert de se mobiliser vraiment sur le dossier. Le résultat de cette interview est toutefois intéressante car elle permet de mettre en évidence la méthode générale de résolution de problème utilisé par chaque expert dans les tâches de détection et diagnostic. La tâche de préconisation a été beaucoup plus difficile à mettre en évidence, car les experts revenaient au protocole standard.

Le seul indice de qualité pris en compte est le rendement, et sur ce point précis, il est possible de démontrer que les informations internes (par exemple incident technique) peuvent expliquer un rendement soudain médiocre (dans notre cas, flacon brisé).

La technique de l'enregistrement sonore trouve ses limites dans ce type d'interview, et les capacités de l'interviewer à noter les points importants sont ici déterminantes.

RS2: Première réunion de synthèse et de bilan entre tous les acteurs du projet. L'animateur de la réunion est le même que celui de la réunion inaugurale.

Le tour de table des experts leur permet de donner leur point de vue sur l'avancement du recueil d'expertise et les avis se contrastent: les uns sont plutôt enthousiaste sur cette occasion qui leur est offerte de faire une étude de l'ensemble du processus de fabrication, tandis que d'autres restent sceptiques sur les connaissances utiles qui pourront réellement servir dans le système expert. L'ambiance est moins détendue, mais les informations échangées sont beaucoup plus denses. Les experts profitent de l'occasion pour s'interroger mutuellement sur leurs pratiques, sur l'analyse qu'ils font des dérives et d'une manière générale montrent un grand intérêt pour connaître les activités et

méthodes de leurs collègues. Cette échange général (assez difficile à maîtriser) est la caractéristique principale de la réunion.

Le biais introduit par cette réunion pour la suite du recueil de connaissances n'est pas évaluable mais existe sûrement, puisqu'un échange de points de vue peut facilement entraîner une démarche consensuelle autour d'un point de vue acceptable par tous et donc le plus souvent appauvri en informations.

L'objectif de la réunion n'est pas atteint sur le point de la synthèse attendue et le groupe de pilotage décide avec l'accord des experts de faire la dernière série d'interviews sous une forme facilitant la prochaine synthèse nécessaire. L'interview rassemblera un expert interviewer, un expert interviewé et un cogniticien observateur-animateur de l'interview.

INT4: L'interview tripartite permet à l'expert interviewer de proposer à l'expert interviewé les éléments d'explication qu'il identifie dans le cas d'une dérive de qualité. En particulier, il lui soumet les explications qui lui semblent concerner la zone de l'expert interviewé. Le discours est assez technique mais l'avancement du recueil de connaissance est suffisant pour que le cogniticien tire profit des échanges inter-experts. La connaissance recueillie à cette occasion est plus approfondie et justifiée que dans les premières interviews. Après une courte période d'attitude défensive de l'expert interviewé, la discussion tourne assez vite à la recherche coopérative d'explications qui satisfassent les deux partenaires. Le cogniticien intervient pour relancer le débat en fonction des informations qu'il a collectées par ailleurs. Cette interview est très productive pour plusieurs raisons:

- elle est plus proche du scénario de résolution de problème mis en oeuvre après une dérive de qualité.
- elle intervient quand une bonne part de la connaissance générale a été formulée et que la focalisation sur le problème à résoudre est donc plus facile.
- l'expert apprécie que l'interviewer ne soit pas un naïf de son domaine.
- elle s'est déroulée avec une adhésion complète des experts qui avaient suggéré cette forme de travail, avant qu'elle ne leur soit présentée.

RS3: Réunion de synthèse regroupant l'ensemble des acteurs pour la dernière fois. Le groupe de pilotage a préparé une série de "morceaux choisis" de l'important recueil de documents issus de l'acquisition des connaissances. Ces extraits ont été choisis en fonction de l'importance accordée à la connaissance représentée au regard des tâches à modéliser (détection, diagnostic et préconisation d'action). Ils sont diffusés aux participants puis discutés un à un. La forme retenue est la copie conforme du texte des documents issus de l'acquisition des connaissances. Chaque extrait est discuté et noté selon l'importance accordée par les experts. C'est également l'occasion de les formuler plus clairement et plus complètement. Les évaluations vont du simple rejet à la validation complète et passe par une variété de scores (sorte de force de cette connaissance dans le raisonnement des experts).

Un biais important peut être introduit dans ce type de réunion par le souhait éventuel d'éviter les débats conflictuels, et en conséquence d'exclure des connaissances à soumettre celles qui peuvent être discutées un peu à peine. L'objectif reste de fabriquer une seule base de connaissance et la synthèse est dans ce cas nécessaire. L'animation de cette réunion démontre que le processus d'acquisition de connaissance ne touchait pas à son point terminal, mais les contraintes de temps imposèrent d'exploiter les connaissances acquises en l'état.

Les critères de qualité énoncés le plus souvent par les experts et sur lesquels un consensus s'est dégagé sont:

- stérilité,
 - rendement,
 - régularité de productivité,
 - reproductibilité des résultats,
 - fabrication juste à temps,
- qui sont globaux et :
- pureté,
 - aspect visuel du produit,
 - réactivité supérieure à la norme
- qui sont plus spécialisés à certaines zones.

RT: Le groupe de pilotage se réunit pour exploiter les extraits de connaissances retenus avec leurs scores pour établir une première série de règles et métarègles. Les métarègles sont facilement formulées; elles concernent la zone dans laquelle se trouve le lot au moment du déclenchement du système d'aide, et le fait que les informations fournies concernent des variables simulées (cas où l'opérateur souhaite tester le protocole qu'il s'apprête à mettre en oeuvre) ou concernent des variables réelles (auquel cas, l'opérateur est plus intéressé par les actions qui restent possibles dans la prochaine étape de fabrication).

Les règles retenues se limitent à prendre en compte le tout début du cycle de fabrication, correspondant à l'historique disponible au niveau statistique

Formalisation des connaissances

Dans le cadre du projet, les modèles étaient prédéfinis en fonction du rôle que devait jouer le système expert auprès des opérateurs.

La fonction détection est assurée par le système d'analyse statistique du lot par rapport à l'historique.

Les fonctions attendues du système à base de connaissances sont le diagnostic des causes de la dérive et la préconisation d'actions pour éviter la dérive (cas de la simulation) ou redresser la dérive (cas d'un lot engagé).

La formalisation des connaissances a été particulièrement simple: elle est exprimée directement sous la forme de règles de production (type Si (prémisse) Alors (conclusion)). Cette représentation est suffisante pour le type de connaissance et un jeu de 60 règles (discriminées par paquets de 20 par les métarègles) a permis de représenter les connaissances synthétisées.

Les méta-règles permettent de gérer le contexte de la demande d'avis au système expert en prenant en compte trois situations particulières:

- le cas d'une demande sur situation simulée qui active un raisonnement prenant en compte la possibilité de modifier les données transmises issues de la simulation.

- le cas d'une demande concernant les données réelles de la production en cours qui active un raisonnement ne prenant en considération que les actions encore possibles.

- le cas d'une demande concernant des données réelles de la production en cours et des données "reconstituées" grâce à l'historique. Les données reconstituées sont marquées et ce marquage est pris en compte dans la production des solutions.

Le contexte est constitué principalement d'une information sur l'étape de fabrication et des paramètres qui expliquent le plus (au sens statistique du terme) la dérive diagnostiquée.

Les règles sont constituées d'une part de règles destinées à l'explication et d'autre part de règles de préconisation. Les nuances sont exprimées par un vocabulaire spécifique dans les textes proposés à l'opérateur.

La validation de la base de Connaissance a été réalisée par le groupe de pilotage, et par une période de tests sur le site. La validation n'a pas fait l'objet d'un protocole particulier, ce qui constitue une faiblesse du travail. (l'hypothèse de la validation en situation avait été simplement retenue). Toutefois, la taille de la base de connaissance a permis sa "vérification" sur papier par les experts qui ont eu le document final entre les mains. Ce document final présente clairement les règles avec leurs conditions d'application, sous la forme d'un tableau récapitulatif. Chaque règle porte un N° qui est tracé pendant la période de validation.

Le rapport [Mil92] présente l'ensemble des documents et synthèses réalisés pendant cette phase de recueil d'expertise.

3. Description du système réalisé

Le système réalisé bénéficie d'un interface humain particulièrement étudié pour situer d'un coup d'oeil un lot en cours sur la carte de contrôle multivariée, comme le montre la copie d'écran ci-dessous:

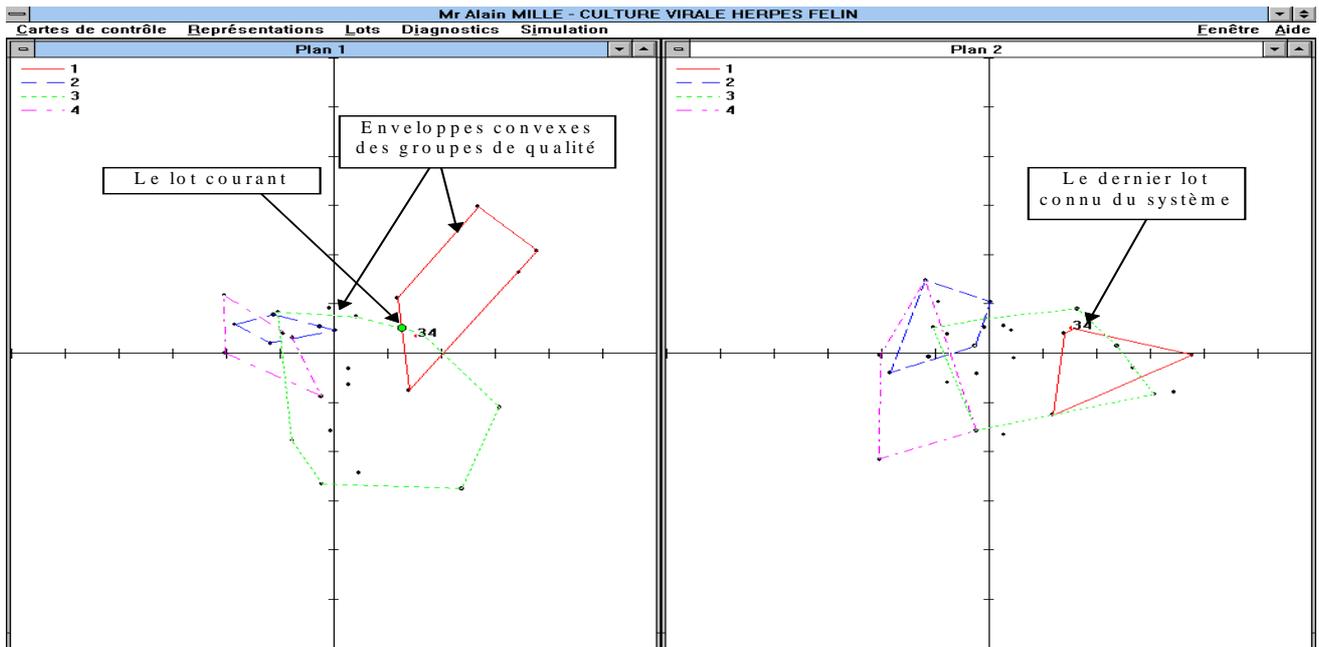


Figure 3-1 Ecran présentant les cartes de contrôle multivariées

Le schéma suivant présente l'essentiel du déroulement d'une session de consultation du système d'aide à la détection-interprétation-réparation de dérive de qualité.

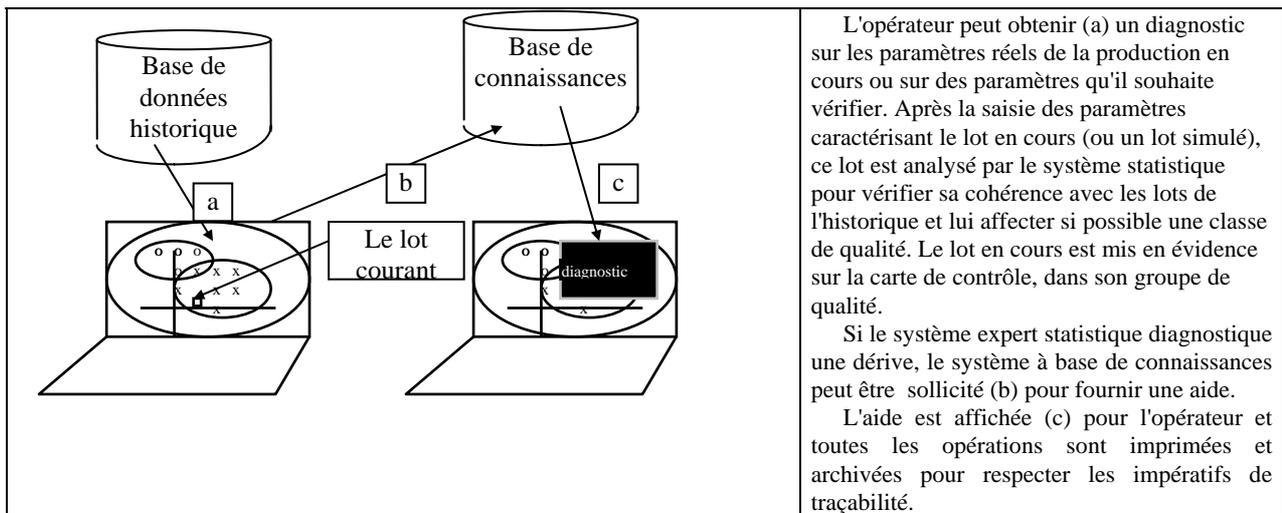


Figure 3-2 Déroulement général d'une session du système d'aide à la décision

La figure suivante illustre le résultat d'un appel au système expert par la trace qui est fournie et imprimée:

```

Numéro du lot : 151
Le : 04 / 08 / 94
20 :05 :58
-----
Complémentation
RAS
Cohérence quantitative
26.0335
Les valeurs que vous avez indiquées pour les paramètres
de culture virale représentent une combinaison relativement
exceptionnelle par rapport aux valeurs observées pour l'historique.
La saisie ne comporterait-elle pas une erreur ?
Cohérence qualitative
3.3259 RAS
Affectation qualitative :
  
```

```

2.4686
3.6828
3.6167
4.0167
3.3847
2.4686
1
1 (Groupe de qualité prévu pour le lot).

D'après ses caractéristiques par rapport à l'historique, le lot
pourrait donner une récolte virale présentant un titre relativement faible.

Diagnostic à faire par le système-expert.

Numéro du lot 151
Le : 04 /08 /94 à 20 :06 :12
Variables pesantes (Paramètres qui pourraient être en cause) :
Paramètres Niveau Effet
Volume en culture virale 3 0.0740
Fin Ampli. Cell. 1 0.0490
Concentr. Cell. Cult. virale à J0 1 0.0400
pH fin Cult. Cell. 1 0.0390
Paramètres soumis au système expert :
Volume en culture virale
Concentr. Cell. Cult. virale à J0

Compte rendu de l'analyse du système expert :
*****
Pour le diagnostic concernant la variable
« concentration cellulaire en culture virale à J0 »
je travaille sur une valeur « saisie »
*****
Pour le diagnostic concernant la variable
« volume en culture virale »
je travaille sur une valeur « saisie »
***** diagnostic r27 *****
La concentration cellulaire est plutôt faible en considération des situations observées dans l'historique. Les opérations de numération et de
préparation du milieu se sont-elles déroulées correctement ?

```

Figure 3-3 Liste de sortie d'une session du système expert

Une description détaillée du fonctionnement du système réalisé est présentée dans [MilPia94].

4. Discussion

4.1. Discussion sur l'approche carte de contrôle multivariée

Une carte de contrôle multivariée ne peut être établie que si le pouvoir discriminant des paramètres du procédé est suffisant: au minimum, une séparation stricte des lots classés "très bien" et des lots classés "insuffisants" est nécessaire.

Comme alternative à la définition des groupes de qualité et à l'utilisation d'une analyse discriminante, une analyse en composantes principales sur variables instrumentales [Sab**] pourrait être utilisée. Cet outil est momentanément gardé en réserve dans une optique de simulation de valeurs des paramètres de qualité, simulation basée sur la technique de reconstitution de données.

Un des soucis majeurs de la conception de la carte de contrôle multivariée est de la concevoir de manière à minimiser le risque de blocage du fonctionnement. Ce souci a conduit à concevoir des procédures de reconstitution des données manquantes, toute donnée manquante étant susceptible de bloquer le fonctionnement du système. De même, les paramètres du procédé ont été séparés en 2 groupes sur la base de leur pouvoir discriminant:

- * paramètres majeurs seuls utilisés pour le positionnement du lot.
- * paramètres mineurs seulement saisis.

Cette dichotomie qui permet de réduire le risque d'apparition de données manquantes pénalisantes nécessite un minimum de suivi entre qualité diagnostiquée et qualité observée, suivi qui permet de s'assurer que le groupe des paramètres majeurs présente bien le pouvoir discriminant attendu de lui. Dans le cas contraire, un paramètre mineur n'est pas à l'origine de la discordance entre diagnostic et observation.

La phase de recherche d'une carte de contrôle globale pour l'ensemble de la fabrication, s'appuyant sur les critères de qualité finaux du contrôle libératoire, n'a pas encore été abordée.

La mise en place d'une telle carte nécessitera la définition de paramètres discriminants majeurs pour chaque étape de production.

4.2. Discussion sur le recueil des connaissances expertes

Nous nous proposons dans cette discussion de situer notre travail par rapport aux récents développements de la recherche dans le domaine de l'acquisition des connaissances.

Ce domaine de recherche est présenté maintenant comme une unité spécifique et le lecteur intéressé trouvera un état de l'art assez complet sur ce domaine dans l'éditorial du numéro spécial de la Revue d'Intelligence Artificielle signé par Nathalie Aussenac, Jean Paul Krivine et Jean Sallantin [AKS92] ou encore dans [KriDav91].

4.2.1. A propos de la modélisation des connaissances....

La démarche d'acquisition des connaissances est présentée comme une démarche de modélisation des tâches de l'expert et un effort de formalisation de tâches génériques a été réalisé par plusieurs chercheurs comme les pionniers [HRWL83] puis [Chandrasekaran en 1987] ou [Breuker et Wielinga en 1987]. Ces travaux ont d'ailleurs été repris pour la réalisation d'environnements de génie cognitif facilitant la réalisation des systèmes à base de connaissances. Le lecteur intéressé pourra consulter [ABB92], [WVS92] ou [Ste91] pour des synthèses .

Cette démarche de modélisation fait l'hypothèse qu'il est possible d'identifier les tâches de l'expert (ou des experts) qui sont en situation de résoudre le problème qui leur est soumis. C'est souvent le cas et le fait de bénéficier de tâches génériques fournit une grille d'analyse et plus tard une batterie de méthodes de résolution de problème qui facilitera la mise au point et la maintenance des systèmes à base de connaissances.

4.2.1.1. *Les tâches modélisées*

Dans notre contexte, les fonctions recherchées dans le système développé n'existaient pas auparavant. Il était donc à peu près certain que l'expertise précise des tâches à assurer ne s'exerçait pas régulièrement.

A la question générale " Que faites vous ?", nous avons du substituer la question " Que feriez-vous ?". La nuance est d'importance dans un environnement cloisonné comme celui de la production par lots. En effet, la vision complète de l'ensemble d'une production relevait de la théorie plutôt que de la pratique pour tous les experts interviewés. Certains avaient une expérience sur plusieurs zones mais aucun n'avait d'expérience sur tout le cycle.

Nous avons travaillé en fixant les tâches à illustrer:

- détection d'une dérive de qualité,
- explication de la dérive,
- préconisation de modification de paramètres de fabrication,

et pour chacune de ces tâches nous nous sommes efforcés de faire la synthèse des points de vue des experts concernés. Ces tâches correspondent bien aux tâches génériques décrites dans la littérature, et il est probable que la connaissance de méthodes génériques de résolution de ce type de problème aurait pu guider le recueil de connaissance.

La tâche d'interprétation de dérive

Les tâches de diagnostic des causes de dérive et d'interprétation des paramètres observés existaient de manière non formelle, dans la mesure où des dispositions exceptionnelles sont prises quand un lot présente un problème de qualité important (problème de stérilité par exemple). En effet, une "enquête" est menée à cette occasion sur les origines du rejet d'un lot. Ce type d'investigation est décidé également quand la productivité présente un niveau particulièrement bas. Aucun expert en particulier n'est investi du contrôle de qualité, mais tous sont impliqués à leurs niveaux. Ils sont rassemblés à l'occasion de l'analyse "a posteriori" de dérives de qualité et leurs différents points de vue sont alors confrontés.

La tâche de préconisation d'action.

La tâche de modification des paramètres de fabrication sur diagnostic de dérive de qualité est complètement nouvelle. Il s'agit d'une tâche **d'adaptation** du plan de fabrication. En effet, chaque étape de fabrication d'un lot est très précisément définie par un protocole rigoureux et les contrôles font partie intégrante de ce protocole. Les propositions d'action sur les paramètres de production concernent donc la marge de manoeuvre laissée à l'opérateur au sein de chaque zone. Après de nombreux cas d'adaptation qui seraient semblables, il pourrait être utile de basculer cette adaptation dans le protocole général de fabrication. Ce n'est qu'après une validation du système qu'il serait envisageable de le faire.

Les préconisations sont donc limitées à ce qu'il est possible de faire dans une zone et il est assez difficile de mesurer à quel point cette modification locale pourra avoir de l'importance au niveau des zones suivantes. Il n'existe en effet pas de moyen simple de consulter les différentes zones amont ou aval pour confirmer ou infirmer les décisions prises localement.

4.2.1.2. *Une connaissance multi-expert*

Pour mettre en évidence l'expertise collective, les temps forts de synthèse (RS2 et RS1) et l'interview tripartite (INT4) ont été utilisés.

Les ouvrages sur les méthodes d'acquisition des connaissances (par exemple [FirHel91] ou [Vog89]) n'envisagent pas ce type de situation où les experts sont rassemblés et leurs points de vue confrontés.

Pour ce qui concerne ce projet, le bilan tiré est nuancé. En effet, dans une confrontation, il y a toujours le risque d'une "querelle d'expert" et ce type d'interview doit être préparé avec beaucoup de soins. Mais si les choses se passent dans un esprit de coopération, la séance de travail est très riche d'enseignement. Il est peut-être possible d'aller plus loin et de s'inspirer des travaux sur l'analyse de la valeur comme technique coopérative de résolution de problème. Il aurait été intéressant d'animer la réunion de synthèse en fixant les objectifs clairement (explication de dérive, action de réparation), puis, en découvrant les sous-objectifs correspondant à chaque zone et chaque contexte, évaluer les "morceaux de connaissances" par leur contribution à la satisfaction d'un objectif ou d'un sous-objectif. Il est presque certain que cette technique oriente vers une représentation plus riche de la connaissance que le simple jeu de règles.

Dans la mesure où la tâche de modélisation d'expertise nécessite la coopération pour aboutir, il nous semble nécessaire de mener l'acquisition des connaissances de manière spécifique au caractère multiexperts de la connaissance. Ceci s'oppose dans une certaine mesure aux méthodes inspirées par Newell et Simon qui centraient leur effort la mise en évidence du processus de raisonnement **d'un** expert. La prise en compte explicite de la coopération nécessite la modélisation d'un processus plus complexe que le raisonnement individuel: l'émergence d'un compromis entre plusieurs points de vue.

4.2.1.3. Faire évoluer la base de connaissance.

Dans l'état actuel des choses, les préconisations retenues sont prudentes, contrôlées par une "théorie du domaine", c'est à dire par un jeu de règles d'applicabilité des préconisations selon le contexte.

Cette tâche nécessite une acquisition de compétence qui comporte deux étapes distinctes:

- une étape de proposition de solution, laquelle a été menée au cours de notre travail, qui donne lieu à un certain nombre de préconisations.

- une étape de vérification de validité des préconisations qui devrait être menée sur des lots tests. Cette étape peut être particulièrement coûteuse et elle doit être menée de manière spécifique.

Ces deux étapes, pour nécessaires qu'elles soient, ne sont pas suffisantes pour garantir l'adéquation des préconisations aux très nombreux contextes qui peuvent se produire. Le problème central de l'évolution du système à base de connaissances reste posé.

4.2.2. A propos de la nature des connaissances acquises....

A l'issue de la période de recueil des connaissances, il est apparu assez clairement que les experts exprimaient leurs connaissances sous une forme qualitative. C'est cette forme de raisonnement qui revient le plus souvent avec des qualificatifs comme "grand", "faible", mais aussi "probable", "possible", ou encore des verbes indiquant des tendances comme "augmente", "faiblit", "évolue en sens inverse", etc..Les règles strictes sont réservées à la vérification de la théorie.

Enfin, de nombreuses règles font référence à l'historique, en le prenant comme justificatif direct de leur préconisation. La référence est statistique, mais il est apparu, dans le processus de recueil des connaissances, que la référence pouvait être plus précise, favorisant un raisonnement analogique qui s'appuie sur des connaissances plus spécifiques (référence explicite à un lot particulier). Ce raisonnement analogique concerne la reconnaissance d'un type de dérive et pourrait être utilisée directement pour expliquer la dérive. Toutefois, le recueil d'une telle expertise nécessiterait la reprise des dossiers de lots de l'historique pour les compléter avec les explications des experts, ce qui en pratique est impossible.

Il pourrait en être tout autrement pendant la période de validation du système, qui pourrait se transformer en période d'apprentissage, c'est à dire d'intégration des explications et des décisions considérées comme bonnes. Une base de cas se constituerait ainsi avec son réseau d'explications et de plans de réparations. Les travaux dans ce sens [Aam91] sont très prometteurs même si ils introduisent un niveau de complexité d'un ordre différent.

4.2.3. Notre proposition pour une implantation future.....

Les remarques précédentes plaident pour l'élaboration d'un cadre d'aide à la décision, adapté à la fabrication par lots, qui soit donc multi-expert, qui raisonne sur l'historique et l'expérience explicite et qui prenne en compte les différentes facettes de l'incertitude. Une telle architecture de système à base de connaissances pourrait être multiagents avec des agents spécialisés (en s'inspirant des modèles présentés dans [Ros93]selon les zones et la nature des connaissances exploitées, coordonnée par un Expert "Praticien" qui compléterait l'expertise "statistique" par l'élection des cas qui sont les plus proches et fournissant aux experts des hypothèses à vérifier à partir des situations reconnues dans le passé (plusieurs systèmes présentés dans [Kol93] fonctionnent sur ce principe). Le schéma suivant présente ce que pourrait être une telle architecture:

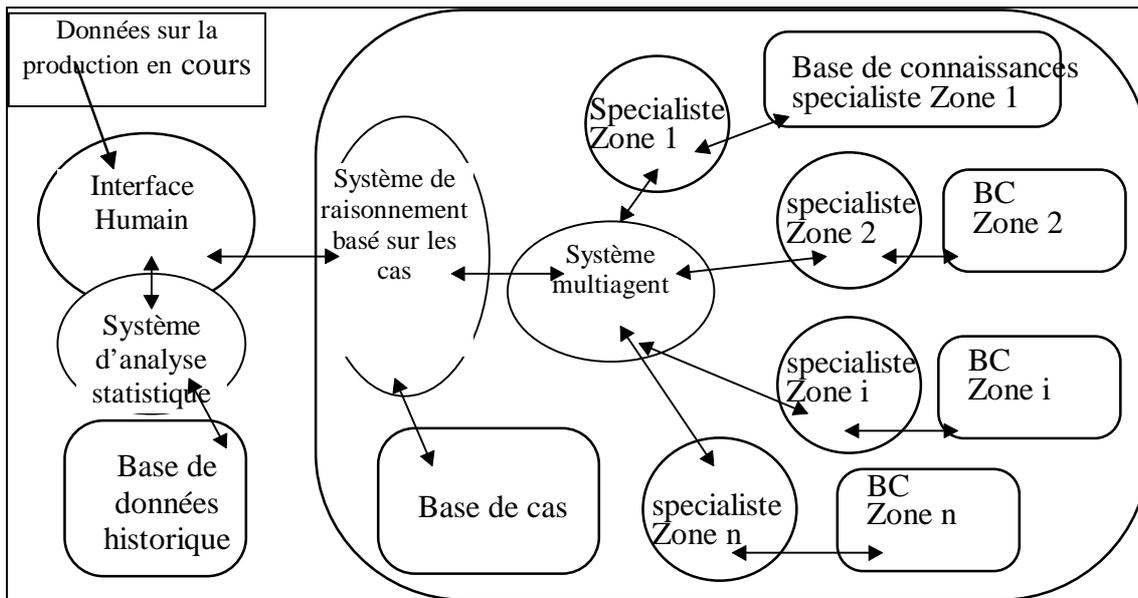


Figure 4-1 Architecture d'un système multi-expert basé sur l'expérience.

Chaque spécialiste de ce système peut posséder des caractéristiques de raisonnement qui lui sont propres et implanter la prise en compte de l'incertitude qui lui convient.

Notre expérience démontre tout l'intérêt que présente une approche coopérative dans ce type de résolution de problème, cette coopération étant ciblée par une approche purement analogique pour gérer la dérive et indiquer des pistes de recherche aux experts.

Cette approche n'est pas très éloignée de celle suivie par les experts qui se réunissent après un incident en disposant des historiques, des données du problème et d'une série de cas qui ressemblent à celui qui est traité. L'élaboration d'hypothèse peut ainsi être guidée et c'est dans un espace réduit que les hypothèses doivent être vérifiées.

5. Conclusion

Cet article est destiné à fournir un témoignage relativement détaillé d'une expérience industrielle d'acquisition de connaissances multiexperts concernant des tâches d'interprétation et d'aide à la décision. Il insiste sur les difficultés rencontrées et tente de les expliquer en proposant des moyens de les surmonter. En particulier, les problèmes concrets liés à un fonctionnement sur un calendrier contraint et avec un groupe important d'experts et d'interviewers sont décrits et situés dans leur contexte.

La discussion tente ensuite de placer le travail dans le contexte de la recherche sur les méthodes, techniques et outils d'acquisition et de formalisation des connaissances. Les tâches à modéliser correspondent bien aux tâches génériques classiquement citées dans la littérature, mais la spécificité de la synthèse des connaissances de plusieurs experts s'est révélée difficile à surmonter. Les techniques spécifiques d'acquisition de connaissances multiexperts constituent encore un secteur de recherche active, dynamisé par l'émergence des systèmes multiagents. Parmi les systèmes existants prenant en compte la dimension multiexpert, nous pouvons citer AQUINAS [BooBra87] qui inclut dans son environnement une possibilité de représenter séparément les connaissances recueillies auprès de plusieurs experts, et, plus spécifiquement orienté coopération multiexperts, le système MEDKAT présenté rapidement dans [BucWi92]. La synthèse des connaissances en une seule base unifiée est difficile à valider, sauf si la synthèse se traduit par une généralisation[Gai89].

L'évolution de la base de connaissances a été abordée uniquement sous l'aspect technologique par une implantation facilitant le remplacement aisé de la base de connaissances et la refonte des procédures d'analyse statistique. Ces évolutions sont possibles sans modifier l'application dans son code principal. Toutefois, nous sommes conscients de la faiblesse intrinsèque d'un système à base de connaissance dont l'évolution demandera un effort conséquent et répété à l'industriel pour le maintenir à jour des évolutions du process et de la technologie mise en oeuvre.

En conséquence et pour terminer l'article, nous proposons une évolution vers un système de connaissances multiagents et possédant des capacités d'apprentissage par les cas. Cette approche permet de synchroniser le traitement statistique de l'historique avec un traitement hypothético-déductif basé sur les cas correspondants aux lots de la classe de qualité détectée. La complexité ajoutée au système se justifierait par une adaptation progressive de la base de

connaissance et de l'historique conjugués. Enfin, les explications apportées à l'opérateur bénéficierait des informations spécifiques des cas les plus proches du cas en cours d'analyse.

BIBLIOGRAPHIE

| | |
|------------------|---|
| Aam91 | Agnar Aamodt, A Knowledge Intensive Integrated Approach to Problem Solving and Sustained Learning, Thesis, University of Trondheim, 1991, 301 pages. |
| ABB92 | Patrick Albert, Isabelle Bousquet et Eric Brunet, Kads Tools, an Industrial Workbench for the Kads Technology, 10 pages |
| AKS92 | Nathalie Aussenac, Jean Paul Krivine, Jean Sallantin: Editorial sur l'acquisition des connaissances, Revue d'Intelligence Artificielle, vol N°6, N°1-2, pages 6 à 8 |
| BooBra87 | John H Boose, Jeffrey M Bradshaw, Expertise Transfer and complex problems: using Aquinas as a knowledge-acquisition workbench for knowledge-based systems., in Readings in Knowledge acquisition and learning (Morgan Kaufmann 1993), p 240-251 |
| BucWil92 | Bruce G Buchanan & David C Wilkins, Readings in knowledge acquisition and learning, Morgan Kaufmann Publishers, 1993, 907 pages |
| Cam83 | M Camand, M Precausta, Une unité de production de Vaccins, Biofutur N°17, Octobre 83, pages 26-30 |
| FirHel91 | Maureen Firlej et Dave Hellens, Knowledge Elicitation, A practical handbook, 1991, 188 pages |
| Fon86 | J Fontaine, A propos de la production des vaccins contre les virus animaux, Ann. Méd. Vét, N°130, 1986, pages 253-265 |
| Gai89 | Brian R Gaines, The Quantification of Knowledge- Formal Foundations for Acquisitions Methodologies, Methodologies for intelligent systems, 4, 1989, Elsevier Science Publishing, Zbigniew W Ras Editor, in Readings in Knowledge acquisition and learning (Morgan Kaufmann 1993), p 462-474 |
| HRWL83 | Hayes-Roth F, Waterman D & Lenat D (1983) Building Expert Systems, New-York, Addison-Wesley. |
| Kol93 | Janet Kolodner, Case Based Reasoning, Morgan Kaufman Publishers, 1993, isbn 1.55860.237.2, 668 pages |
| KriDav91 | JP Krivine, JM David, L'acquisition des connaissances vue comme un processus de modélisation : méthodes et outils, Intellectica 1991/2,12, pages 101 à 137 |
| Leb et al | **LEBART et al***** |
| Mil92 | Alain Mille, Rapport de fin de contrat, Système Expert CCMV, Juillet 1992, 300 pages |
| MilPia94 | Alain Mille, Daniel Pialot et Al (JM Becker, P Lecointre, A Michel, JM Pourprix, T Simoni, M Stelman), Système Expert de contrôle prédictif de qualité en production industrielle: Association d'une approche statistique et d'un système expert., Rapport interne non encore soumis à publication, 1994, 18 pages |
| Pia90 | Daniel PIALOT ***** |
| New82 | Allen Newell, The Knowledge Level, Artificial Intelligence N°18-82, pages 87-127 |
| RiesSha89 | Christopher K Riesbek, Roger C Shank, Inside Case based reasoning, LEA, Publishers, Hills dale, Newjersey, 1989, 423 pages |
| Ros93 | Jeffrey S Rosenshein, Consenting Agents: Negotiating mechanisms for multiagent systems, 13th IJCAI, Chambéry, France, 28/08/93-03/09/93, pages 792 à 799 |
| Sab*** | Sabatier***** |
| Sap | [SAPORTA] ***** |
| Ste91 | Luc Steels, Commet: A Component methodology for knowledge engineering, Work package 2/3/4 du projet esprit CONSTRUCT, 63 pages |
| Vog89 | C Vogel, Génie Cognitif, Masson 1989 |
| WVS92 | Bob Wielinga, Walter Van de Velde, Guus Shreiber, The Kads Knowledge Modelling Approach, Projet de recherche Esprit 5248, 20 pages |