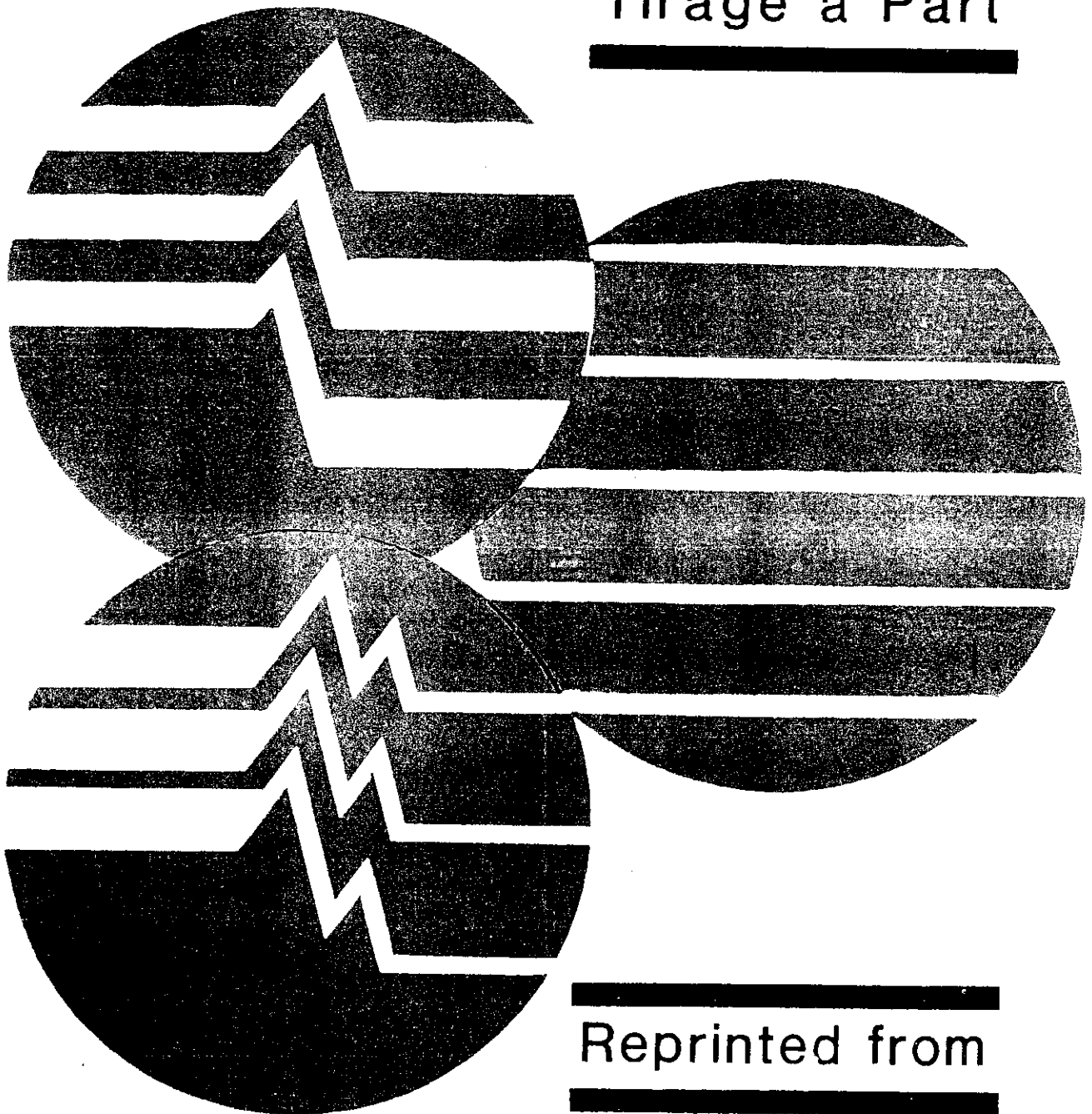


ITBM

- LE SYSTEME EXPERT "VALAB" AU LABORATOIRE DE BIOCHIMIE : VALIDATION
ASSISTEE PAR ORDINATEUR (V.A.O.)
ROGARI E., PHILIPPE H., DE GRAEVE J., VALDIGUIE P.,75

Tirage à Part



Reprinted from

INNOVATION ET TECHNOLOGIE EN BIOLOGIE ET MEDECINE

INNOVATION ET TECHNOLOGIE EN BIOLOGIE ET MEDECINE

SOMMAIRE

VOL. 11, N° 1, 1990

ARTICLES ORIGINAUX

- OPTIMISATION DU CONTRASTE DANS L'ETUDE DE L'INFARCTUS MYOCARDIQUE RECENT PAR UTILISATION DE SEQUENCE IRM MULTI-ECHOS PONDERE EN T2.
KASTLER B., GERMAIN P., FLORENTZ P.,1
- MODELISATION DES EFFETS NON LINEAIRES SUR UNE ONDE ULTRASONORE PLANE DE FORME TEMPORELLE QUELCONQUE EN MILIEU FAIBLEMENT DISSIPATIF.
LELONG J., CHAPELON J.Y., CATHIGNOL D.,17
- APPLICATION DES POTENTIELS EVOQUES VISUELS STATIONNAIRES A L'EXAMEN DES ENFANTS EN BAS-AGE. ETUDE PRELIMINAIRE.
BOCQUET X., CHARLIER J., ZANLONGHI X.,30
- SYSTEME EMBARQUE EN VUE DE L'ANALYSE DE LA VIGILANCE CHEZ LES CONDUCTEURS DE VEHICULES ROUTIERS.
FAKHAR S., AZENCOT J., VALLET M.,38
- ACQUISITION ET TRAITEMENT DES SIGNAUX DE MANOMETRIE COLIQUE.
QUERO J.C., LE PICHON J.P., AASSIF E.H., GOSSELIN A.,54
- COMPARAISON DE DIFFERENTS MILIEUX DE CULTURES CELLULAIRES. ASPECTS TECHNIQUES ET ECONOMIQUES.
MATHIOT B., DUSCH M., MAUGRAS M., STOLTZ J.F.,65
- LE SYSTEME EXPERT "VALAB" AU LABORATOIRE DE BIOCHIMIE : VALIDATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (V.A.O.)
ROGARI E., PHILIPPE H., DE GRAEVE J., VALDIGUIE P.,75

NOTES TECHNIQUES

- DEVELOPPEMENT D'UN MICROPHONE PIEZOELECTRIQUE EN OS POUR LES MESURES DE VIBRATION.
SANJAY YADAV, SINGH V.R.,89
- QUANTIFICATION DE LA FLUORESCENCE EN CYTOLOGIE PAR VIDEO-MICROFLUOROMETRIE.
CAMUS E., SANTISTEBAN OTEGUI M.S., MONET J.D., BRUGAL G.,96
- ANALYSE DE TACHES ET ROBOTIQUE MEDICALE.
QUETIN N.,107

Subscriptions to I.T.B.M. are available from :

ITBM

I.T.B.M. - C.R.D.P.
3, RUE JEAN BART - B.P. 199 - 59018 LILLE CEDEX
FRANCE - TELEX 160315F

1989 PRICES : FRANCE : 400 FRENCH FRANCS.
: ELSEWHERE : 450 FF or U.S.\$75.
(6 ISSUES)

**LE SYSTEME EXPERT "VALAB" AU LABORATOIRE DE BIOCHIMIE :
VALIDATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (V.A.O.)**

ROGARI E., PHILIPPE H., DE GRAEVE J., VALDIGUIE P.

Résumé : L'importance croissante de l'activité de contrôle dans les grands laboratoires d'analyses médicales d'une part, et le haut niveau d'automatisation et d'informatisation dont ils bénéficient d'autre part, permettent l'intégration des techniques de l'intelligence artificielle afin de mettre à la disposition des biologistes un système d'aide à la validation biologique. C'est au travers de ce concept qu'est développé le projet VALAB (Validation Assistée au Laboratoire d'Analyses Biologiques) : système expert dédié à la validation biologique, assurant une expertise autonome et temps réel, et intégrant un processus de décision automatisé équivalent à la signature du biologiste. L'expertise repose sur les éléments de corrélation des résultats : existence d'une antériorité, associations privilégiées d'analytes, service d'hospitalisation, âge, sexe. Une évaluation a permis de qualifier VALAB par une confrontation d'expertise avec les biologistes. L'opérationnalité du système porte sur dix analytes, elle est effective depuis Novembre 1988 et représente la signature de plus de 10.000 dossiers en situation réelle.

Mots-clés : VALIDATION BIOLOGIQUE, SYSTEME EXPERT, EVALUATION COMPARATIVE, SYSTEME OPERATIONNEL, TEMPS REEL, DECISION.

**VALAB : AN EXPERT SYSTEM IN BIOCHEMISTRY LABORATORY FOR
AUTOMATED VALIDATION AID**

Abstract : The growing importance of controlling medical analysis in big laboratories which dispose of high level of automation and computing makes possible the integration of artificial intelligence techniques in help decision system for biological validation by pathologists. Project VALAB was worked out from this concept. It is an expert system which ensures an autonomous and real time expert appraisal for biological validation as well as integrating an automatized decision process equivalent to biologist's final validation. This expert appraisal is based upon correlation between anterior results, preferential association between different parameters, hospital department, patient's age and sex. VALAB has been evaluated by comparison with decision made by biologists during a VALAB evaluation protocol. This system is operational since November 1988 and represents the validation of over 10.000 medical patient's results in real situation.

Key words : BIOLOGICAL VALIDATION, EXPERT SYSTEM, COMPARATIVE EVALUATION, WORKING CAPACITY, REAL TIME, DECISION.

LE SYSTEME EXPERT "VALAB" AU LABORATOIRE DE BIOCHIMIE :
VALIDATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (V.A.O.)

ROGARI E.* , PHILIPPE H.** , DE GRAEVE J.* , VALDIGUIE P.*

*Laboratoire de Biochimie, CHU de Rangueil, Toulouse

**Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systèmes,
C.N.R.S., Toulouse

Introduction :

L'Intelligence Artificielle [1] regroupe un ensemble de techniques informatiques qui privilégient dans leurs principes de résolution l'approche conceptuelle à l'approche algorithmique. Parmi elles les **Systèmes Experts** [2] représentent une classe d'outil capable de modéliser et de reproduire le raisonnement symbolique, proche de la pensée naturelle, et accessible dans une large part au non informaticien. En cela les **Systèmes Experts** semblent particulièrement adaptés aux applications médicales [3].

L'importance croissante de l'activité de contrôle dans les grands laboratoires d'une part, et le haut niveau d'automatisation dont ils bénéficient d'autre part permettent l'intégration des techniques de l'Intelligence Artificielle afin de mettre à la disposition des biologistes un système d'aide à la Validation Biologique [4]. C'est au travers de ce concept, la **Validation Assistée par Ordinateur (V.A.O.)**, [5], [6], [7], [8] qu'est développé le projet "**VALAB**" (**Validation Assistée au Laboratoire d'Analyses Biologiques**) : **Système Expert** dédié à la Validation Biologique des dossiers de patients. Réalisé dans le cadre d'un laboratoire hospitalier à fort débit (1000 dossiers/jour), VALAB est intégré à un environnement préexistant d'appareils informatiques et d'automates. Il est opérationnel et assure une expertise autonome et temps réel avec prise en charge d'un processus de décision automatisé équivalent à la signature du biologiste.

La simulation du raisonnement de l'expert en biologie dont la décision globale résulte de la synthèse de nombreux paramètres est assurée par l'environnement **Générateur de Systèmes Experts "KHEOPS"** [9] qui gère de manière dynamique et interactive l'ensemble des connaissances élémentaires, les règles, contenues dans VALAB.

Dans l'organisation d'un laboratoire d'analyses biologiques [10], la Validation Biologique représente, après

Tirés à part : E. ROGARI, Laboratoire de Biochimie, CHU de Rangueil, 31054 Toulouse Cedex, France.

la Validation Technique, l'étape ultime de la validation des résultats biologiques. Elle examine indépendamment chaque dossier de patient et consiste en une interprétation qualitative et multivariée qui porte sur la cohérence globale de l'ensemble des résultats d'un même malade. Le service d'hospitalisation, l'existence d'une antériorité et les corrélations inter-analytes [11] sont les principaux éléments de réflexion de ce travail analytique dont l'objectif est d'éviter tout résultat aberrant dû à une erreur : mauvais prélèvement, inversion de tubes, erreur d'identification, dérive d'analyseur.

Matériel et Méthode :

1 - Matériel :

Ajouté comme un maillon supplémentaire dans la chaîne informatique de traitement des dossiers, le système expert VALAB est implanté au niveau d'un micro-ordinateur connecté à l'unité centrale de gestion du laboratoire, de type mini-ordinateur multi-tâches, multi-utilisateurs, selon le mode périphérique intelligent (Fig.1), [12].

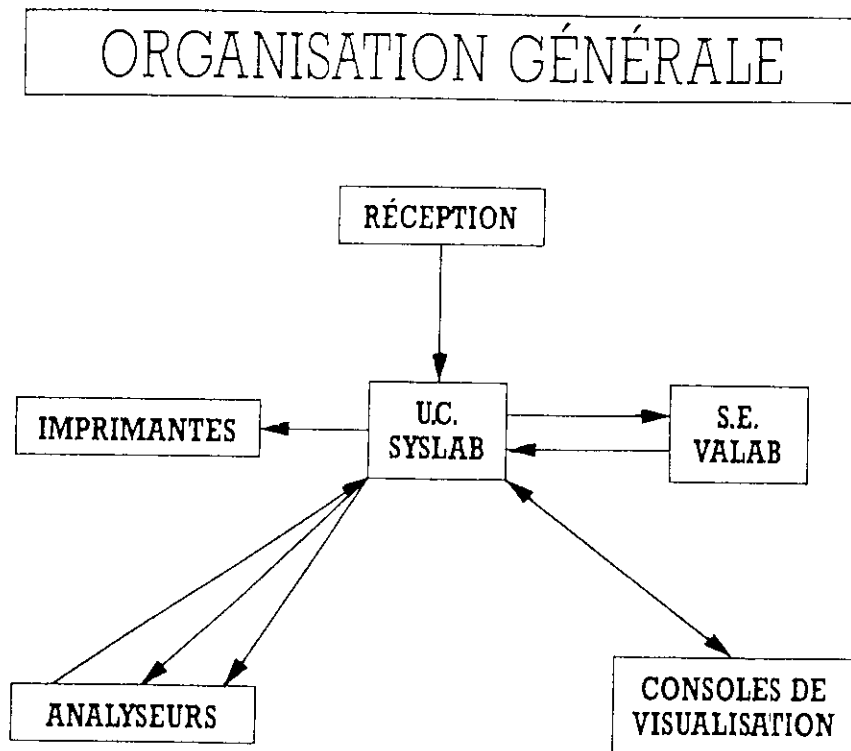


Figure 1

Dans cette organisation le système expert VALAB représente une entité de compétence largement indépendante du laboratoire hôte et son intégration ne nécessite aucune modification de l'équipement informatique préexistant.

1.1 - Micro-Ordinateur :

Il s'agit d'un micro-ordinateur compatible IBM PC-AT à processeur Intel 80286 avec une mémoire vive de 640 kilo-octets et une mémoire de masse de 40 méga-octets (disque dur). Il est équipé d'un coprocesseur Le_Lisp sous la forme d'une carte additionnelle AMAIA CL1000 supportant son propre processeur Motorola 68000 et sa propre mémoire vive de 4 méga-octets. L'avantage de cette architecture est de pouvoir adresser une grande quantité de mémoire vive au travers du système d'exploitation MS-DOS.

1.2 - Support logiciel :

L'environnement logiciel de base est représenté par le système d'exploitation MS-DOS, l'intégrateur graphique WINDOWS et le langage de programmation Le_Lisp version 15.21 de l'INRIA [13], [14]. Le_Lisp est un langage particulièrement adapté aux techniques de l'intelligence artificielle [2].

Le logiciel générateur de système expert KHEOPS développé au LAAS [9] constitue l'environnement spécifique de l'application VALAB. Cet outil est composé d'un moteur d'inférence [2] et de fonctionnalités associées.

. Les caractéristiques du Moteur d'Inférence [2] font référence aux Systèmes de Production [3].

- Règles de Production en trois parties :

SI (Prémisse) et (...)
ALORS (Conclusion) et (...)
EVALUER (Action) et (...).

La vérification logique, au sens booléen vrai ou faux, de la conjonction des Prémises, faits élémentaires en membre gauche de la règle, entraîne l'acquisition des Conclusions mais permet également d'évaluer les Actions. C'est à dire la possibilité, à tout moment de l'expertise, de déclencher des procédures externes aux cycles d'inférence. Par exemple, afficher un message à l'écran ou envoyer un ordre de validation par l'intermédiaire d'un port de communication.

- Logique Propositionnelle étendue (Zéro Plus), elle est définie par le triplet : (Opérateur, Attribut, Valeur). Chaque Fait Élémentaire peut associer à un attribut une valeur et un opérateur symbolique (EQ, NEQ, APPARTIENT, HORS et EVALUE pour les membres gauches, SETQ, DEDUIRE et EXCLURE pour les membres droits) ou numérique (=, <, >, <=, >=, <> pour les membres gauches uniquement), [9].

- Chainage en Avant exclusif [3], le raisonnement part des hypothèses jusqu'à une conclusion sur le mode déductif.

- Raisonnement Monotone et Irrévocable [2], un fait déduit ne peut se voir affecter une nouvelle valeur lors d'une même session d'expertise.

- Construction de Fonctions de Décision [9], elle permet d'intégrer l'expertise au programme principal. L'algorithme de compilation crée pour chaque base de règles une représentation codée de la connaissance dont l'entité est une Fonction Le_Lisp [14] directement exécutable.

. Les fonctionnalités de KHEOPS constituent la puissance et la richesse de cet environnement.

- La compilation des bases de règles [15] donne une approche temps réel à l'expertise. La Compilation permet d'optimiser l'exécution de l'expertise en supprimant toute la phase de développement des tests logiques pour mettre directement en rapport la réponse appropriée à une question au travers d'une structure de réseau de décision déterministe (en Vecteur Lisp [13]).

- L'analyse de la cohérence logique des bases de règles vérifie la consistance et la complétude [16]. La Consistance représente la cohérence logique de la base de connaissance par l'absence de contradiction dans tout ensemble de clauses dynamiquement liées par le chainage des règles. Cela apporte une solution, de fait, au problème de la résolution des conflits [3]. La Complétude observe la complémentarité logique entre l'ensemble des raisonnements modélisés et les possibilités finies d'états de l'univers décrit. Cette fonction assure, par une réponse toujours adaptée, une compétence effective au Système Expert quel que soit le problème posé.

2 - Méthode :

La reproduction, selon un modèle formel propre aux systèmes experts, des raisonnements utilisés par le biologiste lors de la Validation Biologique a nécessité la définition d'une méthode de développement en trois phases.

2.1 - Acquisition de la connaissance [17]:

L'objectif de cette première étape consiste à rendre explicite l'ensemble des raisonnements élémentaires que l'on peut individualiser parmi la connaissance globale du domaine considéré. Elle présente trois aspects.

. Etude analytique :

C'est la mise en évidence des éléments discriminants de la décision du biologiste par un travail analytique

d'interrogation et d'observation à posteriori. Parmi eux, on distingue :

- Comparaison au résultat précédent avec les notions de "delta check" [18] et de Coefficient de Stabilité (rapport [valeur actuelle / valeur précédente]).

- Association privilégiée d'analytes dynamiquement liés entre eux, comme les couples Urée-Créatinine ou Sodium-Chlorure [11], par les phénomènes de régulation (homéostasie, compensation) de l'organisme, et dans le contexte de syndromes (altération d'une fonction d'organe, déshydratation, dilution).

- Equilibre ionique par la Balance Ionique qui permet d'apprécier la neutralité électrique entre anions et cations.

- Service d'hospitalisation pour la crédibilité apportée à une anomalie biologique qui témoigne d'une pathologie en rapport avec la nature du service (insuffisance rénale en néphrologie par exemple).

- Age et sexe pour pondérer l'interprétation de certains résultats (Glycémie, Uricémie).

. Etude statistique :

Elle concerne les critères numériques de corrélation, comme les coefficients de stabilité, dont la distribution unimodale évoque une loi normale [19] et permet de déterminer des intervalles de confiance pour les valeurs plausibles (Tab.1).

Tableau 1 :

	-----		-----	
	! Intervalle de confiance à 5% !			
	! Avant troncature!		! Après troncature!	

C.S. Sodium	!	[0.95-1.06]	!	[0.96-1.05]
C.S. Chlorure	!	[0.92-1.07]	!	[0.94-1.05]
C.S. Potassium	!	[0.62-1.63]	!	[0.80-1.27]
C.S. Réserve alcaline	!	[0.77-1.39]	!	[0.82-1.29]
C.S. Protéines	!	[0.85-1.17]	!	[0.88-1.14]
C.S. Calcium	!	[0.84-1.19]	!	[0.89-1.11]
C.S. Urée	!	[0.60-1.89]	!	[0.67-1.69]
C.S. Créatinine	!	[0.58-1.82]	!	[0.73-1.43]
C.S. Glucose	!	[0.53-1.80]	!	[0.63-1.55]
=====	!	=====	!	=====
C.S. Balance ionique	!	[0.95-1.05]	!	[0.96-1.04]

Remarques :

C.S. : Coefficient de Stabilité.

Effectif de l'échantillon : 380 dossiers.

. Etude qualitative :

Inspirée de la physique qualitative [20] et à l'origine des systèmes experts de deuxième génération, son principe repose sur le cumul des tendances dont la résultante définit de façon dynamique les seuils d'acceptabilité. Pour être simple on peut dire que plus il y a d'arguments en faveur d'une pathologie (service, antériorité, autres résultats) plus une anomalie biologique en rapport est acceptable (Kaliémie à 6,5 mM/l chez un insuffisant rénal).

2.2 - Construction de la Base de Connaissance :

Après la phase préparatoire d'acquisition, cette seconde étape représente le développement concret de l'application. Le cogniticien y organise en base de connaissance l'ensemble des agents élémentaires mis en évidence selon un formalisme propre aux Systèmes Experts. Si l'essentiel de cette tâche de construction consiste effectivement en l'écriture des règles, elle présente cependant plusieurs aspects.

. Modélisation :

la Validation Biologique s'apparente à une analyse multivariée sur un mode déductif orientée vers une prise de décision. On peut remarquer la parfaite adaptation entre le modèle théorique, représenté par l'outil KHEOPS, et la nature de l'expertise.

. Ecriture des règles :

Chaque règle (Fig.2) correspond à l'expression formelle d'un raisonnement ou agent élémentaire. Le système expert VALAB contient un millier de règles.

EXEMPLE D'ECRITURE DE REGLES

```
r1000                                r8510
(si                                    (si
(eq demande-k 'positive)             (eq vao-k 'oui)
(eq antériorité-k 'négative)         (eq demande-k 'positive)
(> k1 3.35)                           (eq antériorité-k 'négative)
(< k1 4.96)                           (eq dissociation-k 'positive)
alors (setq validation-k 'positive)   alors (setq validation-k 'positive))
      (setq normal-k 'positive)
      (setq vao-k 'oui))

r4001                                r18000
(si                                    (si
(eq demande-k 'positive)             (eq demande-k 'positive)
(eq antériorité-k 'positive)         (eq antériorité-k 'positive)
(eq dissociation-k1-k2 'négative)    (eq dissociation-k1-k2 'négative)
(> k1 7.5)                           (neq normal-k 'positive)
alors (setq validation-k 'négative)   alors (setq validation-k 'négative)
      (setq normal-k 'négative-grave) évaluer
      (setq vao-k 'non)               (print "défaut de corrélation avec
évaluer (print "hyperkaliémie sévère")) l'antériorité de la kaliémie"))
```

Figure 2

. Structuration de la connaissance :
C'est une nécessité liée à la maintenance et aux performances des bases de connaissance importantes. Deux points sont à souligner.

Le premier point consiste à regrouper les règles par thèmes afin de diviser la base de connaissance globale en plus petites unités : les bases de règles. Chacune représentant un module de connaissance autonome avec sa propre entité de décision. Ainsi, le Système Expert VALAB est constitué d'une trentaine de bases de règles et toutes expriment indépendamment une partie de la conclusion finale. Par exemple, une base de règles est dédiée à la validation individuelle de chaque paramètre biologique, une autre à la qualification des services d'hospitalisation ou encore à la synthèse des commentaires (Fig.3).

STRUCTURE DE LA BASE DE CONNAISSANCE

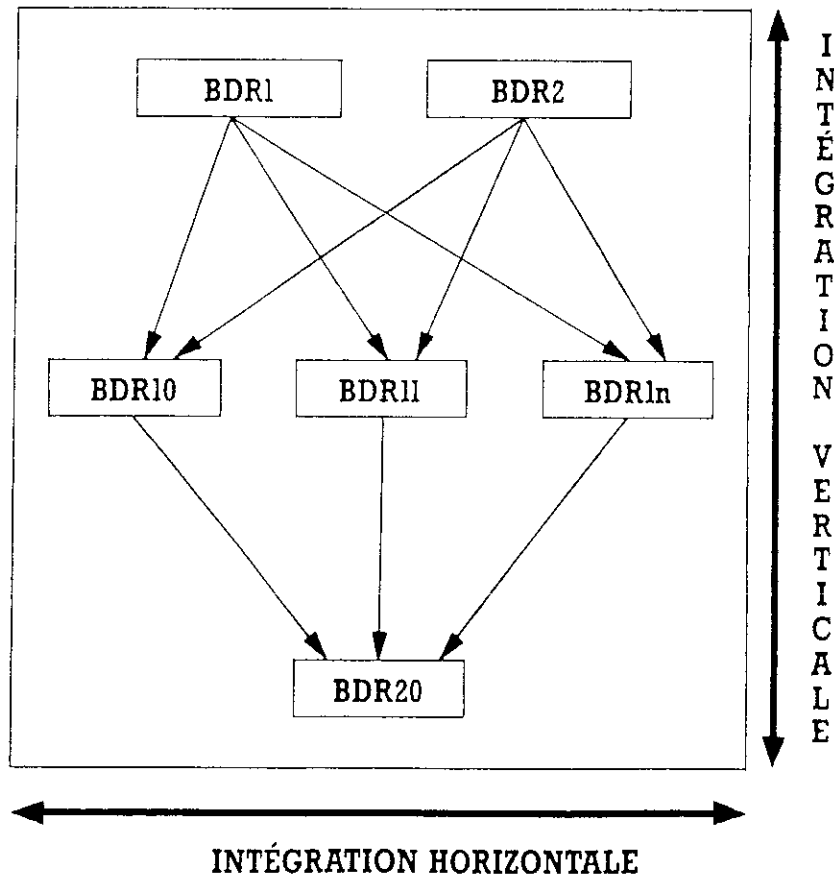


Figure 3

Le deuxième point est lié à l'organisation stratégique de ces éléments de décision selon une double intégration (Fig.3) :

- Horizontale, c'est la *Juxtaposition* des bases de règles de même niveau de conclusion. Pour reprendre le schéma (Fig.3) de la structure de la base de connaissance de VALAB, le niveau BDR-X est composé de bases de règles concernant la nature des services, le niveau BDR-1X comprend toutes les bases de règles se rapportant à la validation des analytes, enfin le niveau BDR-2X contient les bases de règles de synthèse. A un même étage toutes les bases de règles sont indépendantes, leur ordre de déclenchement est sans priorité, cela fait appel au concept de parallélisme.

- Verticale, il s'agit de l'*Inclusion Hiérarchique* des bases de règles de niveaux différents avec transmission ascendante des conclusions intermédiaires. Complémentaire de l'intégration horizontale, elle définit la chronologie de déclenchement des bases de règles liées entre elles lorsqu'une conclusion, ou variable de sortie, doit être transmise en tant que fait élémentaire, ou variable d'entrée, d'une base de règles amont vers une autre aval. Dans notre exemple les conclusions concernant les services, premier niveau, sont utiles à la validation de chaque paramètre, deuxième niveau. De même, les conclusions de ce deuxième niveau sont nécessaires à la synthèse sur la validation globale du dossier au troisième niveau : le dossier complet peut être validé seulement si tous les analytes sont validables individuellement.

L'avantage de la structuration de la base de connaissance est triple : elle facilite la mise au point, elle permet une extension par module et elle optimise la stratégie de décision.

. Compilation des bases de règles [15] : elle consiste en un prétraitement et conduit à une modification de la représentation interne des connaissances. Le résultat permet une vitesse d'exécution compatible avec une application intégrée dans une chaîne de traitement de l'information en temps réel. La durée d'une session d'expertise est de l'ordre de la seconde.

2.3 - Evaluation du Système Expert [21]:

L'évaluation constitue la troisième et dernière phase du développement d'un Système Expert dédié. Bien que n'apportant aucun élément nouveau sur le plan cognitif de l'application, elle représente l'étape obligatoire qui garantit la crédibilité de l'expertise pour tout système opérationnel. Notre application a, pour sa part, fait l'objet d'une évaluation à deux niveaux.

. La cohésion de la base de connaissance [15]:
C'est la vérification de la cohérence interne, au sens logique, de l'ensemble des connaissances décrites dans le système expert par l'analyse de la consistance et de la complétude [9], [16]. Cela permet une vérification exhaustive concernant l'absence d'éléments conflictuels.

. Evaluation des résultats d'expertise [22] :
Sur le plan cognitif, elle constitue la validation finale de VALAB au travers de son domaine de compétence, la Validation Biologique, par confrontation avec les biologistes. Elle est réalisée à partir de cent dossiers de patients soumis parallèlement à l'expertise de VALAB et de sept biologistes lors d'un protocole reproduisant les conditions réelles de la Validation Biologique avec pour les biologistes la double contrainte d'une expertise individuelle et en séquence des dossiers.

Résultats :

L'intégration dans l'activité de routine d'un processus de décision automatisé par Système Expert au laboratoire résulte de la maîtrise d'un ensemble de contraintes liées soit à l'environnement, soit à la nature de l'expertise.

1 - Contraintes liées à l'environnement :

Le caractère opérationnel de VALAB est défini par sa complète transparence de fonctionnement dans l'organisation du laboratoire grâce aux trois caractéristiques suivantes : "temps réel", autonomie, interface.

. Expertise "temps réel", l'objectif est atteint puisque la durée d'une session d'expertise pour un dossier est de l'ordre de la seconde ; ce qui constitue une performance globalement supérieure à l'expertise humaine dont la durée moyenne peut être estimée à quinze secondes. De plus VALAB étant un système dédié à la seule tâche de Validation Biologique, sa continuité de fonctionnement lui permet d'être toujours disponible pour la validation d'un nouveau dossier dès que les résultats sont collectés.

. Expertise autonome avec enchaînement automatique des séquences de validation au niveau du micro-ordinateur, sans l'intervention d'un opérateur, selon le cycle de base suivant :

- Acquisition d'un dossier,
- Session d'expertise,
- Retour du commentaire,
- Retour de l'ordre de validation,
- Itération du cycle de base.

. Interfaçage et connexion d'un Périphérique Intelligent sans remettre en cause l'organisation préalable ni modifier l'environnement informatique préexistant. La connexion est

réalisée par liaison série asynchrone de type RS232 à 4800 bauds qui permet d'émuler une console alpha-numérique à partir du Périphérique Intelligent pour échanger des données sous forme de codes ASCII. L'interface est un logiciel analyseur syntaxique [AHO 86], fruit d'un développement propre, qui assure, outre la compréhension sémantique du contenu des dossiers, la reconnaissance et la gestion dynamique des différentes étapes concernant le traitement de chaque dossier.

2 - Contraintes liées à la nature :

Remplacer la signature de l'expert, médecin ou pharmacien biologiste, par une signature informatique automatisée nécessite pour préserver l'éthique médicale de garantir une reproduction fidèle des compétences du domaine d'expertise. La phase de qualification du Système Expert doit satisfaire les critères de cohésion et d'évaluation.

2.1 - Cohésion de la base de connaissance :

La cohérence logique garantit l'absence de toute situation conflictuelle dans le système expert par une exploration systématique et exhaustive de la combinatoire des règles. Consistance et complétude, par l'absence de contradiction et l'assurance d'une réponse adaptée, permettent à VALAB d'une part d'apporter des garanties sur le plan éthique, d'autre part de s'intégrer à une chaîne continue de traitement de l'information.

2.2 - Evaluation des résultats d'expertise :

Une évaluation dont les résultats ont été significativement positifs, a permis de qualifier VALAB [21] pour son domaine de compétence en le comparant aux biologistes selon les méthodes épidémiologiques de dépistage [23] dont les critères sont la sensibilité, la spécificité et les valeurs prédictives (Tab.2).

L'analyse comparative de ces chiffres est significative pour la crédibilité et la qualification du processus de décision automatisé. Elle confirme par des indicateurs objectifs la performance globale de VALAB puisque le score réalisé pour chacun des critères d'évaluation est toujours à l'avantage du Système Expert.

2.3 - Opérationnalité du système expert :

Portant sur 10 paramètres biologiques (Sodium, Chlorure, Potassium, Réserve Alcaline, Protéines, Calcium, Urée, Créatinine, Glucose, Balance Ionique), elle est effective au laboratoire hospitalier de Biochimie du CHU Rangueil-Toulouse depuis le Premier Novembre 1988 et représente la signature automatisée de plus de 10.000 dossiers en situation réelle. Dans sa définition actuelle, le domaine d'expertise de VALAB couvre 37,8% de l'activité économique du laboratoire et permet de valider entre 25 et 50% des dossiers examinés en fonction du mode de sélection

Tableau 2 :

	Sensibilité	Spécificité	Valeurs prédictives	
			Positive	Négative
Référence	1.000	1.000	1.000	1.000
VALAB	<u>0.737</u>	<u>0.963</u>	<u>0.824</u>	<u>0.940</u>
Expert 1	<u>0.737</u>	0.877	0.583	0.934
Expert 2	0.421	0.951	0.667	0.875
Expert 3	0.632	<u>0.963</u>	0.800	0.918
Expert 4	0.684	<u>0.901</u>	0.619	0.924
Expert 5	<u>0.737</u>	0.864	0.560	0.933
Expert 6	<u>0.421</u>	0.914	0.533	0.871
Expert 7	0.526	0.914	0.588	0.892

des dossiers à valider (fourchettes d'acceptabilité). L'objectif de ce projet est de compléter l'expertise pour couvrir la quasi totalité des examens de routine, soit une vingtaine d'analytes qui représentent près de 90 % de l'activité économique.

Discussion :

VALAB, Système Expert de V.A.O., correspond à une attente des biologistes, face à l'accroissement dans leur activité des tâches de contrôle souvent répétitives, sous les aspects professionnels, économiques et scientifiques.

. Sur le plan professionnel, il accroît la sécurité et la fiabilité des résultats par une augmentation du niveau de contrôle pour tous les dossiers : disparition à terme des fourchettes d'acceptabilité pour sélectionner les dossiers nécessitant une validation analytique.

. Au point de vue économique, il améliore la productivité en diminuant le nombre de dossiers soumis au biologiste : seuls les dossiers refusés par le système expert demeurent à la charge du biologiste.

. Pour le versant scientifique, il permet un début de normalisation des critères de Validation Biologique : grâce notamment aux données objectives et universelles de l'analyse statistique.

Par ailleurs, la qualité des résultats obtenus est l'exemple d'une parfaite adaptation entre la modélisation d'un processus de décision en biologie et l'utilisation d'un outil informatique (KHEOPS) au formalisme simple (Logique Propositionnelle étendue) mais aux fonctionnalités puissantes (Compilation, Consistance, Complétude).

Conclusion :

Le principal élément de conclusion concerne la

satisfaction des objectifs du projet VALAB par la réalisation d'un système expert opérationnel au service de Biochimie du CHU Rangueil-Toulouse au travers du concept de V.A.O. et dédié à la Validation Biologique des résultats. Cette application novatrice dans l'organisation d'un laboratoire d'analyses biologiques est aujourd'hui intégrée à notre activité de routine hospitalière et possède à son actif plus de 10.000 expertises en situation réelle. VALAB constitue l'exemple médical d'un système expert dont la responsabilité, par un processus de décision automatisé, équivaut la signature d'un biologiste pour la validation de résultats.

Enfin, VALAB représente un point de départ auquel des extensions sont prévues, telles que l'augmentation du nombre des analytes expertisés et l'intégration à un système d'aide à la décision clinique.

Bibliographie :

- 1 - WINSTON, P.H. Intelligence Artificielle, INTEREDITION Edit., PARIS (1988).
- 2 - FARRENY, H. Les Systèmes Experts principes et exemples, CEPADUES-EDITIONS Edit., TOULOUSE (1985).
- 3 - FIESCHI, M. Intelligence Artificielle en médecine des Systèmes Experts, MASSON Edit., PARIS (1984).
- 4 - VALDIGUIE, P. Procédé de validation des analyses biomédicales, 10.000 Biologistes, Journal d'Information édité par Boehringer Mannheim France, 23, 8-10 (1983).
- 5 - DE GRAEVE, J., ROGARI, E., FIORE, P., VALDIGUIE, P. Micro informatique, contrôle de qualité, validation assistée par ordinateur, Actes des Premières Journées de la Société d'Informatique de Laboratoire, Vittel, France, 15-17, (1987).
- 6 - ROGARI, E., PHILIPPE, H., DE GRAEVE, J., VALDIGUIE, P. Validation assistée par ordinateur : V.A.O., Colloque International de Biologie Prospective 1988, Pont à Mousson, France, In Ann. Biol. Clin., 7, 611 (1988).
- 7 - ROGARI, E., PHILIPPE, H., DE GRAEVE, J., VALDIGUIE, P. Validation assistée par ordinateur : V.A.O., Le Nouveau Biologiste, 113, 38-40 (1989).
- 8 - ROGARI, E. Validation assistée par ordinateur : V.A.O. exemple du système expert "VALAB", Thèse de Médecine, Toulouse (1989).
- 9 - GHALLAB, M., PHILIPPE, H. A compiler for real-time knowledge based systems, Proc. IEEE International Symposium on AI for Industrial Applications, Hitachi city, Japon, 287-293, (1988).
- 10 - GENTILINI, J.L., Organisation et Informatique dans un laboratoire de référence, INRIA Edit., LE CHESNAY (1986).

- 11 - SIEST, G., HENNY, J., SCHIELE, F. Interprétation des examens de laboratoire, KARGER Edit., PARIS, (1981).
- 12 - VALDIGUIE, P., Informatique décentralisée : le poste de travail, Inf. Sci. Biol., 7, 64-68 (1981).
- 13 - WINSTON, P.H., HORN, B.K.P. Lisp, ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY Edit., USA (1981).
- 14 - CHAILLOUX, J. and al. Le lisp de l'INRIA - Le manuel de référence, INRIA Edit., LE CHESNAY (1986).
- 15 - GHALLAB, M. Compilation des bases de connaissances, Actes des Journées Nationales PRC-GRECO Intelligence Artificielle, TEKNEA Edit., PARIS, 231-254, (1988).
- 16 - AYEL, M., CHEIN, M., PIPARD, E., ROUSSET, M.C. De la cohérence dans les bases de connaissances, Actes des Journées Nationales PRC-GRECO Intelligence Artificielle, TEKNEA Edit., PARIS, 357-388 (1988).
- 17 - BOY, G., FALLER, B., SALLENTIN, J. Acquisition et ratification de connaissances, Actes des Journées Nationales PRC-GRECO Intelligence Artificielle, TEKNEA Edit., PARIS, 321-356 (1988).
- 18 - NOSANCHUK, J.S., GOTTMAN, A.W. CUMS and delta checks, Amer. J. Clin. Path., 62, 707-715 (1974).
- 19 - SCHWART, D. Méthodes Statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, FLAMMARION/MEDECINE-SCIENCES Edit., PARIS (1981).
- 20 - FORBUS, K.D. Qualitative process theory, Artificial Intelligence, 24, 1, 83-168 (1984).
- 21 - LAURENT, J.P. and al. Schéma pour la description et l'évaluation de systèmes experts et d'outils de développement de systèmes experts, Actes des Journées Nationales PRC-GRECO Intelligence Artificielle, TEKNEA Edit., PARIS, 389-434 (1988).
- 22 - HENRY, C., MORIZET-MAHOUDEAUX, P., KABEYA, B. Conception et validation d'un système expert avec génération de méta-faits pour l'aide au diagnostic médical, Innov. Tech. Biol. Méd., 8, 2, 148-162 (1987).
- 23 - RUMEAU ROUQUETTE, C., BREART, G., PADIEU, G. Méthodes en épidémiologie, FLAMMARION/MEDECINE-SCIENCES Edit., PARIS (1986).

Article reçu le : 25 mai 1989 ; Accepté le : 13 septembre 1989.