



HAL
open science

Methodes et outils d'acquisition des connaissances

Rose Dieng

► **To cite this version:**

Rose Dieng. Methodes et outils d'acquisition des connaissances. [Rapport de recherche] RR-1319, INRIA. 1990. inria-00075240

HAL Id: inria-00075240

<https://inria.hal.science/inria-00075240>

Submitted on 24 May 2006

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

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

IRIA

UNITÉ DE RECHERCHE
IRIA-SOPHIA ANTIPOLIS

Rapports de Recherche

N° 1319

Programme 1
Programmation, Calcul Symbolique
et Intelligence Artificielle

MÉTHODES ET OUTILS D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
BP 105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (1) 39 63 55 11

Rose DIENG

Novembre 1990



★ R R . 1 3 1 9 ★

1 Introduction

La conception d'un système expert exige un travail de *transfert de connaissances* entre des sources d'expertise (experts humains ou documents) et un outil informatique de façon à disposer ensuite d'un système à base de connaissances (SBC) pouvant être consulté comme un expert. Traditionnellement, cette construction met en jeu un ou plusieurs experts, ainsi qu'un ou plusieurs ingénieurs de la connaissance (les *cogniticiens*) chargés d'extraire la connaissance des experts pour la traduire dans le formalisme de représentation des connaissances offert par un générateur de systèmes experts cible [68.66.12].

La phase de transfert d'expertise est souvent considérée comme le goulot d'étranglement du développement d'un système expert [68]. En effet, elle peut durer des mois voire des années et, compte-tenu de la complexité des connaissances de l'expert qui parvient difficilement à expliciter ses processus mentaux, la connaissance extraite risque souvent d'être inexacte, incomplète, voire inconsistante. Diverses recherches sont donc menées pour aider l'expert et le cogniticien dans cette phase de transfert d'expertise :

- certains chercheurs réfléchissent à des *méthodes* inspirées du *génie logiciel* (description du cycle de vie d'un SBC, méthodes générales) ou de la *psychologie* (analyse de la nature de l'expertise, techniques de recueil des connaissances),
- d'autres proposent des *outils* destinés à aider l'expert ou le cogniticien, avec des ambitions diverses. Certains outils permettent l'extraction de la connaissance à partir d'*interviews de l'expert* ou de *documents écrits*. Dans certains cas, la présence d'un cogniticien n'est plus nécessaire, l'expert pouvant manipuler directement l'outil pour y entrer son expertise. Certains outils sont plutôt des éditeurs sophistiqués et conviviaux. D'autres considèrent l'acquisition des connaissances comme une activité de *modélisation* et sont guidés par les modèles. D'autres aident plutôt à entrer dans la base de connaissances (BC) une connaissance déjà acquise et décrite à l'aide d'une *représentation intermédiaire*. Enfin, certains outils utilisent des *techniques inductives* pour apprendre de nouvelles connaissances à partir d'exemples [105.81.61]. Bien que ces systèmes d'apprentissage automatique proposent une approche importante, nous ne les aborderons pas, car ils nécessiteraient une étude complète à eux seuls. Notons que certains outils d'aide au transfert d'expertise disposent d'un tel module d'apprentissage [56].

Il existe déjà un certain nombre de documents de synthèse sur le thème de l'acquisition des connaissances [8.15.89], ainsi qu'une thèse approfondie sur le sujet [5]. Le but de ce papier est de faire une synthèse des méthodes ou outils proposés *récemment* dans la recherche. Nous espérons offrir ainsi une vision générale de la recherche sur le transfert d'expertise, sans prétendre toutefois à l'exhaustivité.

Après avoir indiqué les différentes classes de problèmes traités par les SBC et décrit le cycle de vie d'un SBC, nous soulignerons l'apport d'autres disciplines comme la psychologie cognitive ou le génie logiciel puis nous présenterons un certain nombre de techniques "manuelles" de recueil d'expertise. Nous étudierons comment l'acquisition des connaissances peut être considérée comme une activité de modélisation. Nous décrirons quelques méthodes générales et divers outils d'acquisition des connaissances, en proposant des critères de comparaison entre de tels outils. Enfin, nous récapitulerons les directions actuelles de recherche et nous réfléchirons sur la constitution d'une base de connaissances "cogniticienne".

2 Les classes de problèmes

L'analyse des différentes classes de problèmes traités par les SBC doit permettre de mieux orienter le processus d'acquisition. Un certain nombre de travaux aident à la compréhension des types de problèmes possibles et des modes de résolution qui leur sont associés.

Dans [68], les auteurs distinguent les types de problèmes suivants : interprétation, prédiction, diagnostic, conception, planification, ordonnancement, commande, surveillance, mise au point, réparation, enseignement et contrôle. Ils en précisent les caractéristiques. Dans [34], Clancey propose une taxinomie

Méthodes et outils d'acquisition des connaissances

Knowledge acquisition methods and tools

Rose DIENG
INRIA - CERMICS
2004 Route des Lucioles
06565 VALBONNE CEDEX
E-mail : dieng@snoopy.inria.fr

RESUME

Comment aider l'expert ou le cogniticien dans la phase de transfert d'expertise, lors du développement d'un système à base de connaissances ? L'analyse des différentes classes de problèmes traités par les systèmes à base de connaissances permet de mieux orienter le processus d'acquisition. L'intérêt d'une démarche pluridisciplinaire est illustré par les apports fructueux de la psychologie cognitive et du génie logiciel aux travaux sur l'acquisition des connaissances. Toute une lignée de recherches repose sur l'idée fondamentale que l'acquisition des connaissances peut être vue comme une activité de modélisation. Ce papier vise à une synthèse sur les méthodes et outils proposés sur le thème de l'acquisition des connaissances. Il présente ainsi un certain nombre de techniques de recueil d'expertise et décrit de façon plus détaillée quelques méthodes générales et divers outils d'acquisition des connaissances, tout en proposant des critères de comparaison entre de tels outils. Il s'achève avec la présentation des directions actuelles de recherche.

MOTS-CLES

systèmes à bases de connaissances, acquisition des connaissances, recueil des connaissances, transfert d'expertise, ingénierie de la connaissance, méthode d'acquisition, outil d'acquisition, cycle de vie, modélisation.

ABSTRACT

How to help the expert or the knowledge engineer during expertise transfer phase, for development of a knowledge-based system ? The analysis of the different types of problems studied in knowledge-based systems helps to guide the acquisition process. The interest of a multidisciplinary approach is illustrated by the fruitful contribution of cognitive psychology and software engineering to research about knowledge acquisition. Some research relies on the basic idea that knowledge acquisition can be seen as a modelling activity. This paper aims at a synthesis on the existing knowledge acquisition methods and tools. It presents some knowledge elicitation techniques, details some general methods and various knowledge acquisition tools. It also proposes criteria for comparison of such tools and, lastly, it presents current research trends.

KEYWORDS

knowledge-based systems, knowledge acquisition, knowledge elicitation, expertise transfer, knowledge engineering, acquisition method, acquisition tool, life-cycle, modelling.

dans laquelle les problèmes sont classés en problèmes d'*analyse* (interprétation d'un système) et problèmes de *synthèse* (construction d'un système). Si l'on caractérise un système par ses entrées, ses sorties et le système lui-même (i.e. sa structure et son fonctionnement), les problèmes d'analyse peuvent se répartir en trois classes de problèmes suivant ce qui est inconnu : les problèmes d'identification ou de reconnaissance permettent d'identifier un système dont on connaît les entrées et les sorties ; les problèmes de prédiction permettent de prédire les sorties du système, connaissant ses entrées et le système lui-même ; les problèmes de contrôle permettent de trouver les entrées adéquates d'un système connu pour obtenir les entrées désirées. Pour la synthèse, on distingue les spécifications (contraintes que doit satisfaire le système à construire), la conception (au sens abstrait du terme) et l'assemblage correspondant à la construction physique du système (à l'aide de ses composants). La conception peut consister en une configuration pour structurer un système ou une planification pour construire un plan d'actions. La figure 1 montre la classification de Clancey.

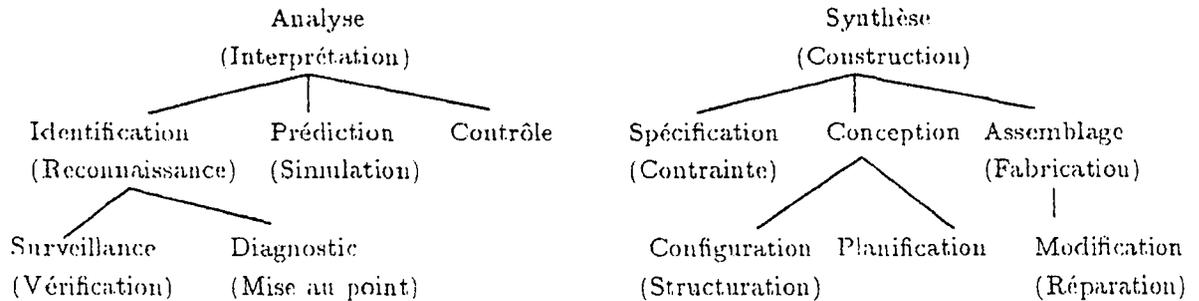


Figure 1 : La classification des problèmes proposée par Clancey

Dans [15], Boose précise la classification de Clancey. Un problème d'analyse consiste à identifier des ensembles d'objets d'après leurs caractéristiques, le problème comportant un nombre fini de solutions. Dans un problème de synthèse, la solution doit être construite à partir de sous-solutions. Les solutions potentielles étant trop nombreuses ne peuvent être explicitement stockées dans le système. Les problèmes d'analyse comprennent la classification, la mise au point, le diagnostic, l'interprétation tandis que parmi les problèmes de synthèse figurent la configuration, la conception, la planification et l'ordonnancement. Certains problèmes combinent les deux sortes de tâches : la commande, le contrôle, l'instruction, la surveillance, la prédiction et la réparation.

La taxinomie de tâches génériques proposée par KADS [25] est inspirée de celle de Clancey:

```

analyse_de_systeme
  identification
    classification
      classification_simple
      diagnostic
        diagnostic_faute_unique
        classification_heuristique
        diagnostic_systematique
        tracement_causal
        localisation
        diagnostic_fautes_multiples
    evaluation
  surveillance

  prediction
    prediction_de_comportement
    prediction_de_valeurs
  modification_de_systeme
  reparation
  remede
  controle
  maintenance
  
```

```

synthese_de_systeme
  transformation
    conception
      conception_par_transformation
      conception_par_raffinement
        conception_par_raffinement_a_flot_simple
        conception_par_raffinement_a_flots_multiples
      configuration
    planification
  modelisation

```

Figure 2 : Les tâches génériques proposées par KADS (extrait de [25])

Enfin, divers travaux de Chandrasekaran & al [30,29,27,28] reposent sur l'idée que tout SBC devrait être construit grâce à des briques de base, appelées *tâches génériques*, chacune étant associée à un type élémentaire de résolution de problème. Chaque tâche générique est caractérisée par sa fonction (i.e. le type de problème qu'elle résout), la représentation et l'organisation des connaissances et ses stratégies d'inférence. Cela permet d'aborder l'acquisition des connaissances et la construction d'un SBC à un niveau d'abstraction plus élevé [27]. Un certain nombre de tâches génériques ont été identifiées. A chacune d'elles est associée une stratégie d'acquisition des connaissances adaptée. [29] récapitule les avantages de cette approche où connaissance et inférence ne sont pas séparées.

Toutes ces recherches aident à mieux comprendre les différents types de tâches d'un expert et donc à mieux adapter le mode d'acquisition des connaissances.

3 Le cycle de vie d'un système à base de connaissances

Souvent, les méthodes d'acquisition des connaissances sont associées à une certaine vision du cycle de vie du SBC. Les premières propositions [68,66] décrivant le cycle de vie d'un SBC étaient souvent basées sur le *prototypage rapide*. Elles distinguaient les phases suivantes :

- Etape d'*identification* qui permet la mise en place des acteurs et des ressources, le choix d'un problème approprié et d'objectifs précis.
- Développement en quelques mois d'une *maquette* : cette phase comprend la *conceptualisation* du problème (à partir d'entretiens cogniticien-expert, explicitation des principaux concepts, relations et stratégies de résolution du problème), puis la *formalisation* (représentation dans un formalisme), *l'implantation* dans un outil choisi de façon adéquate et enfin des *tests* pour valider cette maquette.
- Développement d'un *système complet* (par extension ou modification totale de la base de connaissances de la maquette).
- *Validation du système complet* : cette phase consiste en une évaluation du système obtenu par rapport à des bibliothèques de cas tests ou par d'autres experts que ceux ayant participé à son développement.
- *Intégration* dans l'entreprise (avec une éventuelle connexion à d'autres logiciels) et *maintenance*.

Un tel cycle de vie repose sur le prototypage rapide car le cogniticien implante dès que possible une maquette, après un nombre suffisant d'entretiens. Il raffine ensuite cette maquette grâce à de nouvelles interviews, ce qui entraîne un certain nombre de retours-arrière. D'autres descriptions du cycle de vie [65,79] sont également basées sur le prototypage rapide.

Dans une approche différente, appelée *l'acquisition structurée des connaissances* [39,127,128,72,125], l'implantation n'a lieu que plus tard, une fois la connaissance décrite dans une *représentation intermédiaire*.

Le cycle de vie proposé dans [103] se rattache à cette seconde approche :

- *Définition du problème*.

- *Modélisation de la connaissance.* Cette phase permet de recueillir la connaissance et de développer des modèles du domaine indépendamment des décisions d'implantation. On obtient alors un ensemble de modèles sur lesquels sera basée la conception du système. Les auteurs distinguent deux activités : le *recueil des connaissances*¹ (qui permet de parvenir à une description textuelle de la connaissance du domaine) et l'*analyse* (grâce à laquelle on obtient un modèle objet et un modèle de résolution de problèmes).
- *Conception du système.*
- *Implantation et tests.*

Remarquons que la description du cycle de vie du SBC correspond déjà à une méthode d'acquisition des connaissances. Deux approches ont été identifiées : le prototypage rapide et l'acquisition structurée, basée sur une représentation intermédiaire.

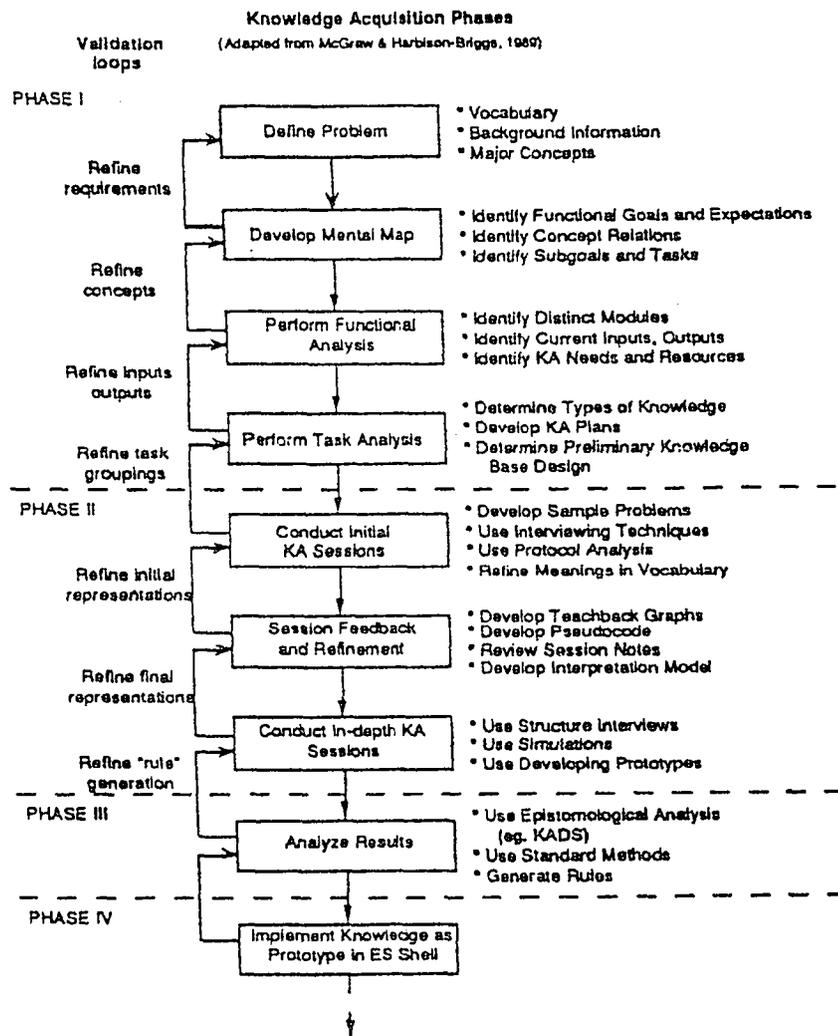


Figure 3 : Les phases de l'acquisition des connaissances (d'après [113]).

A travers le cycle de vie d'un SBC apparaissent donc les différentes activités que doit mener le cognicien, activités pour lesquelles un outil pourrait lui offrir de l'aide : recueil des connaissances.

¹ Pour traduire le terme anglais "elicitation", nous utiliserons les termes "recueil" ou "extraction" plutôt que celui d'"extériorisation" proposé par [89].

conceptualisation et analyse des connaissances recueillies, introduction effective dans la BC. Ces activités sont précisées dans la figure 3 (extraite de [113]).

4 Apports d'autres disciplines

Les méthodes proposées pour aider au transfert d'expertise tiennent compte des spécificités des SBC, sans oublier les apports d'autres disciplines : génie logiciel (KADS [24,4,25]), psychologie cognitive (KOD [83.122.121.123] et MACAO [7.5.6]), voire linguistique et anthropologie cognitive (KOD).

4.1 Les apports du génie logiciel

Les liens entre acquisition des connaissances et génie logiciel sont divers. La plupart des modèles de cycle de vie proposés sont inspirés des méthodes de développement de logiciels. On peut décomposer le cycle de vie d'un logiciel classique dans les étapes suivantes : étude des besoins, analyse, conception globale, conception détaillée, codage et mise au point, tests, intégration et maintenance [26]. Le cycle de vie décrit dans la méthode KOD [122] peut être comparé à une méthodologie de conduite de projet, la spécification correspondant au modèle pratique, la conception globale au modèle cognitif et la conception détaillée au modèle informatique.

D'autres analogies ont été remarquées : par exemple, [45] met en exergue l'analogie entre l'extraction des besoins lors du développement d'un logiciel classique et l'acquisition des connaissances.

La nécessité d'une spécification d'un SBC, bien que reconnue [57], a été peu abordée : or, ce sont les techniques de spécification formelle des logiciels classiques qui permettent d'en assurer la qualité de développement. Enfin, les recherches sur les tests et la validation de la qualité d'une BC peuvent s'inspirer utilement des techniques de génie logiciel [35.63].

4.2 Les apports de la psychologie

Représentation de la connaissance, mécanismes du raisonnement, explications sur celui-ci et extraction d'informations adéquates à partir de ces explications sont des sujets d'étude naturels de la psychologie. Une analyse de la nature de l'expertise permet de mieux comprendre les difficultés d'extraction de celle-ci. Dans [8], sont résumés divers travaux proposant des modèles de l'expertise (par exemple, les *modèles mentaux* [62]). Les études sur la différence entre les modèles mentaux de l'expert et du novice (représentation physique versus représentation naïve) visent à une meilleure compréhension de la nature de l'expertise. Comme le signale [5], l'expert utilise des représentations sophistiquées, complexes et variées. Disposant simultanément de plusieurs formes de représentation, il peut passer rapidement de l'une à l'autre, en cas de besoin.

Le chapitre 4 de [5] présente une revue détaillée des apports de la psychologie cognitive pour l'acquisition des connaissances. Parmi eux, figure la notion de *modèle cognitif*. Dans MACAO [5], l'auteur considère que l'expert résolvant un problème utilise des informations particulières choisies dans son environnement. Le modèle cognitif de l'expert (ou modèle de la nature et du fonctionnement de ses connaissances) est basé sur :

- des *schémas empiriques* (ou procédures) décrivant la connaissance utilisée pour résoudre certaines parties du problème.
- et des *schémas conceptuels*, plus abstraits, constituant une sorte de méta-connaissance, décrivant la connaissance de l'expert sur ses stratégies et le choix des procédures adéquates.

Ces schémas sont composés d'unités de raisonnement appelées *unités fonctionnelles* : ils sont mis en jeu quand des éléments particuliers du contexte (appelés *déterminants*) sont identifiés.

Le transfert d'expertise par la méthode MACAO va donc permettre d'acquérir les structures mises en évidence dans ce modèle cognitif.

De même, la méthode KOD [122] propose un modèle cognitif qui sert d'intermédiaire entre le langage naturel dans lequel l'expert exprime sa vision du monde et le langage informatique dans lequel le SBC sera implanté.

Enfin, comme nous le verrons plus loin, nombre de techniques de recueil des connaissances sont également utilisées en psychologie cognitive pour recueillir les données à analyser.

4.3 Autres apports

[122] contient nombre de références à des travaux de linguistique ou d'anthropologie cognitive. Par exemple, les réflexions de l'auteur sur les taxinomies sont inspirées de l'anthropologie cognitive alors que les paradigmes (description, action, déclaration) sur lesquels reposent les trois modèles composant la méthode KOD sont mis en évidence par l'analyse des discours en langage naturel.

Comme le souligne [57], l'acquisition des connaissances et les processus de transfert dans une société humaine sont complexes et peu compris. Les neurosciences, la psychologie, la linguistique, l'éducation, la sociologie, l'anthropologie, la philosophie et la théorie des systèmes sont autant de disciplines qui peuvent apporter des contributions significatives, à condition de les intégrer, d'adapter leurs vocabulaires spécifiques, et de combiner leurs différents objectifs.

5 Les techniques de recueil des connaissances

Dans [68.66.60] sont donnés de nombreux conseils sur la façon dont le cogniticien doit mener les entretiens. Les techniques possibles pour conduire ces interviews ont été étudiées par de nombreux auteurs. Elles sont assez souvent inspirées des travaux en psychologie.

On peut trouver une récapitulation des méthodes d'extraction des connaissances dans [127.8.21.22.60.108.69.113.5.94.107.120]. Parmi les méthodes "cogniticiennes" fréquemment citées, notons :

- Les *interviews*. Elles peuvent être guidées par certaines questions préparées par le cogniticien, se moduler au fil de la conversation, être basées sur le vocabulaire habituel de l'expert. Elles peuvent être *structurées* ou non ; elles peuvent se focaliser sur certains sujets, demander des explications sur certains concepts à approfondir, avoir lieu suivant un agenda strict. Le cogniticien peut prendre des notes, ou, mieux, l'interview peut être *enregistrée* par des moyens audio ou vidéo. [85] propose une grille d'aide au cogniticien pour l'interview, selon les formes de connaissances et les types de questions possibles.

Lors d'un entretien, le cogniticien peut, selon [89], utiliser :

- des *techniques de reformulation*. Le cogniticien exprime avec ses propres mots ce que l'expert vient de dire, afin de provoquer une réaction de celui-ci. Ces techniques comprennent :
 - * la *répétition exacte* dans le cas d'un doute du cogniticien.
 - * la *réflexion* pour vérifier sa propre compréhension.
 - * la *déformation* (simplification ou trahison volontaires) pour susciter une réaction vive de l'expert.
 - * le *rappel des entretiens antérieurs*, pour dévoiler des contradictions éventuelles.
- *l'incompréhension*.
- *la contradiction*.

Le cogniticien peut jouer un rôle plus ou moins actif [15] : il peut soit participer au processus de résolution du problème par l'expert (comme un apprenti), soit démontrer sa compréhension par la paraphrase voire en résolvant le problème, soit recevoir un cours de l'expert.

- *L'analyse de protocoles verbaux*. On enregistre l'expert réfléchissant à haute voix en résolvant un problème réel [100.101.119]. Un scénario de simulation doit être mis en place a priori avec un spécialiste du domaine, puis l'expert doit être mis en situation et les protocoles sont transcrits, puis codés et interprétés. Cette méthode demande au cogniticien beaucoup de préparation et un long décodage et exige une grande coopération de l'expert. Selon [49], le fait de penser tout haut ne perturbe guère le processus de raisonnement, alors que d'autres considèrent que cette technique peut entraîner des *biais* car la verbalisation perturbe l'exécution de la tâche, les processus mentaux ne sont nécessairement accessibles à la verbalisation, et le codage des protocoles entraîne

des biais [5]. [122] considère cette technique comme peu utile si elle n'est pas accompagnée de dialogues cognicien-expert.

- *Autres méthodes directes.* Différentes variantes de l'analyse de protocoles sont possibles [5] : analyse des interruptions, analyse des verbalisations consécutives à la résolution du problème. Le même auteur décrit également différentes variations sur l'énoncé du problème résolu par l'expert : on peut imposer à celui-ci diverses contraintes (résolution en temps limité, indisponibilité de certaines informations, informations manquantes dans l'énoncé), proposer de petites variations sur le problème, comparer des problèmes (comparaison étape par étape des cas réels déjà traités), faire étudier des cas limites.
- *L'observation directe.* Cette méthode repose sur un enregistrement vidéo de l'expert en situation de travail. L'observation peut porter sur les tâches effectuées, sur les données et documents utilisés et sur les actions produites. Notons que cette technique est inspirée de l'analyse du travail, en psychologie du travail. Cette méthode permet de recueillir une grande quantité d'informations et met en évidence un modèle de comportement humain [23]. Mais elle est longue et coûteuse.
- *L'utilisation d'un questionnaire.* Une fois une partie de l'expertise déjà identifiée, ce procédé permet de mieux contrôler l'expression de l'expert.
- *Les verbalisations rétrospectives* (passage en revue de protocoles antérieurs). L'expert est invité à reprendre et commenter un cas déjà traité. Cependant, s'il s'agit d'un cas traité par lui antérieurement, ses souvenirs et ses explications a posteriori risquent d'être un peu inexacts. S'il s'agit du travail d'un autre expert, le risque de déformation est encore plus grand.
- *L'introspection.* L'expert rend compte de la façon dont il résoudrait un cas typique imaginaire. Mais les données ainsi recueillies ne sont guère fiables car l'expert n'emploie pas nécessairement les stratégies et les modes de raisonnement qu'il affirme utiliser [108].
- *La technique du "magicien d'Oz".* Grâce à des protocoles en ligne avec l'utilisateur, l'expert simule le comportement du futur système [108] ainsi que son environnement. En particulier, les fonctionnalités du futur système expert interactif sont simulées grâce à la communication de l'expert avec l'utilisateur, via un terminal. Les participants peuvent penser à haute voix. La communication par terminal étant plus lente qu'une communication verbale peut révéler des étapes nouvelles dans le processus de communication. Les données recueillies par cette méthode sont complexes et requièrent des méthodes d'interprétation particulières.
- *L'échelonnement et le tri.* Ils permettent de découvrir des relations entre concepts. On demande à l'expert de trier des problèmes suivant leur degré de difficulté ou suivant le type de procédures de résolution qui leur sont attachées. Facile à utiliser, cette technique n'est pas coûteuse [108].
- *Le brainstorming.* Il permet de produire des idées au sein d'un groupe de personnes [124]. Cette méthode simule un groupe de spécialistes, réunis autour d'une table et essayant de formaliser leur expertise sur un sujet précis. Plusieurs feuilles de papier, où est décrit au départ le sujet de réflexion, sont disponibles au centre de la table. Chaque spécialiste prend une feuille, la lit, y note ses idées puis la remet au centre. Ce cycle a lieu jusqu'à ce que chaque personne ait lu et rempli toutes les feuilles. Celles-ci constituent une sorte de *tableau noir* [67,102]. Cette méthode permet en général de recueillir un grand nombre d'idées. Une fois les idées regroupées en idées principales, leur taux de consensus est calculé par comparaison.

Notons que les techniques citées sont également utilisées en ergonomie [111] ou en psychologie [119]. Quelles que soient les techniques de recueil d'expertise utilisées, il est essentiel d'essayer d'éviter les biais. Dans [94] sont proposés des moyens pour les minimiser dans certaines techniques.

En ce qui concerne les efficacités respectives des différentes méthodes, divers travaux décrivent des expériences permettant cette comparaison. Dans [64], sont évaluées et comparées différentes techniques de verbalisation : la réflexion à haute voix, la réponse à un questionnaire, les verbalisations rétrospectives et la communication expert-novice. [112] utilise des expériences empiriques pour tester l'efficacité de différentes techniques de recueil des connaissances. [36] propose une étude comparative d'un certain nombre de méthodes. [120] compare différentes techniques de recueil du point de vue de la psychologie cognitive.

Quelles que soient les techniques utilisées, une fois les données verbales obtenues, il faut les exploiter. Dans [127], les auteurs étudient comment interpréter et évaluer ces données verbales. Ils soulignent qu'elles sont souvent *incomplètes* (omissions de l'expert, connaissance compilée, connaissance supposée à tort déjà connue du cogniticien, manque de motivation ou de coopération de l'expert, manque d'expérience de l'expert pour expliciter sa pensée, difficulté de certaines descriptions en langage naturel) ou *inexactes*. Le processus d'interprétation doit permettre de faire une correspondance entre les données verbales et les structures de connaissances, et ce, aux niveaux suivants [127] : identification de la connaissance, conceptualisation de la connaissance, analyse épistémologique, analyse logique et analyse d'implantation. Citant dans [127] une expérience illustrant leur méthode reposant sur la notion de modèles d'interprétation, les auteurs concluent qu'une grande quantité d'information peut être obtenue même à partir d'une brève interview.

6 Acquisition des connaissances et modélisation

Le terme modèle est utilisé très souvent dans la littérature sur l'acquisition des connaissances avec diverses significations.

Dans [118], les auteurs distinguent deux notions différentes :

- un modèle de la connaissance statique de l'expert sur *l'univers de discours*,
- un modèle de *tâche* décrivant le processus de résolution de problèmes spécifiques à effectuer sur cet univers de discours.

Dans [103], la modélisation est vue comme une *représentation intermédiaire* entre la connaissance extraite des experts et celle implantée dans un système. Les modèles peuvent être utilisés comme moyen de communication entre experts et cogniticiens : ils peuvent aider à structurer et à décrire le domaine indépendamment de l'implantation. Ils fournissent aussi une aide pour prendre des décisions sur la représentation et les stratégies de raisonnement. Les auteurs distinguent :

- un modèle préliminaire pour la communication entre experts et cogniticiens,
- un modèle objet, grâce auquel le domaine est décrit sous forme d'objets,
- un modèle de résolution du problème : y est proposée une description structurée d'une stratégie permettant d'atteindre la bonne solution à partir d'une description en entrée.

Dans [55], un SBC est considéré comme un modèle d'une expertise et le *développement d'un SBC constitue donc une activité de modélisation*, consistant à transformer l'ensemble des données obtenues après verbalisations de l'expert ou à partir de sources documentaires, en une structure abstraite. L'interprétation de ces données fournit un modèle du monde réel que la construction du SBC permet de mettre en correspondance avec un modèle dans le monde artificiel. Dans [127,25], les auteurs définissent la notion de *modèle d'interprétation* qui permet de guider le cogniticien lors de l'analyse des données. Un modèle d'interprétation contient une description abstraite des caractéristiques de différentes tâches génériques.

Dans KADS, le SBC à construire est donc un modèle dans le monde artificiel et s'obtient après des phases de modélisation successives effectuées à un niveau abstrait. La méthode KADS met en exergue les modèles suivants :

- un *modèle conceptuel* où le cogniticien modélise l'expertise de l'expert, après une analyse linguistique puis conceptuelle des données obtenues (données verbales ou autres, obtenues par diverses techniques à partir des sources d'expertise humaines ou documentaires). Ce modèle conceptuel décrit l'expertise du domaine, indépendamment du langage d'implantation.
- un *modèle fonctionnel* ou *modèle de conception globale*, qui correspond à l'architecture fonctionnelle du futur SBC et s'obtient par une analyse épistémologique du modèle conceptuel. Là peuvent intervenir les termes du formalisme de représentation des connaissances du langage d'implantation.
- un *modèle de conception détaillé*, après une analyse logique effectuée sur le modèle fonctionnel.

Une autre notion de modèle (*modèle mental* et *modèle cognitif* de l'expert) est inspirée de travaux menés en psychologie : la méthode MACAO [5] par exemple est basée sur un modèle cognitif.

La méthode KOD [83,122,121,123] repose sur trois modèles : le modèle pratique, le modèle cognitif et le modèle informatique, qui seront décrits de façon détaillée plus loin.

7 Méthodes d'acquisition des connaissances

Dans cette section, nous examinerons en détail quelques méthodes, sans effectuer de comparaison entre elles.

7.1 KADS ²

7.1.1 Présentation générale

La méthode KADS [24,4.55,25,26] traite tout le processus d'acquisition des connaissances, depuis l'organisation du domaine jusqu'au développement d'un système complet. Elle permet de décomposer le problème et de séparer analyse de la connaissance et implantation.

Le modèle de cycle de vie

KADS propose un modèle de cycle de vie, basé sur les méthodes de développement de logiciels. Une *analyse* complète des données précède la *conception* et l'*implantation* du système expert, ce qui diffère donc du prototypage rapide ou des approches incrémentales. Les résultats de la phase d'analyse (contraintes externes, modèle conceptuel, connaissance du domaine statique) servent d'entrée à la phase de conception où ils sont transformés en spécification de l'architecture fonctionnelle du SBC.

KADS repose sur l'hypothèse que les phases d'analyse et de conception doivent être séparées : il n'y a pas de retour sur la phase d'analyse, à partir de celle de conception ou d'implantation [25].

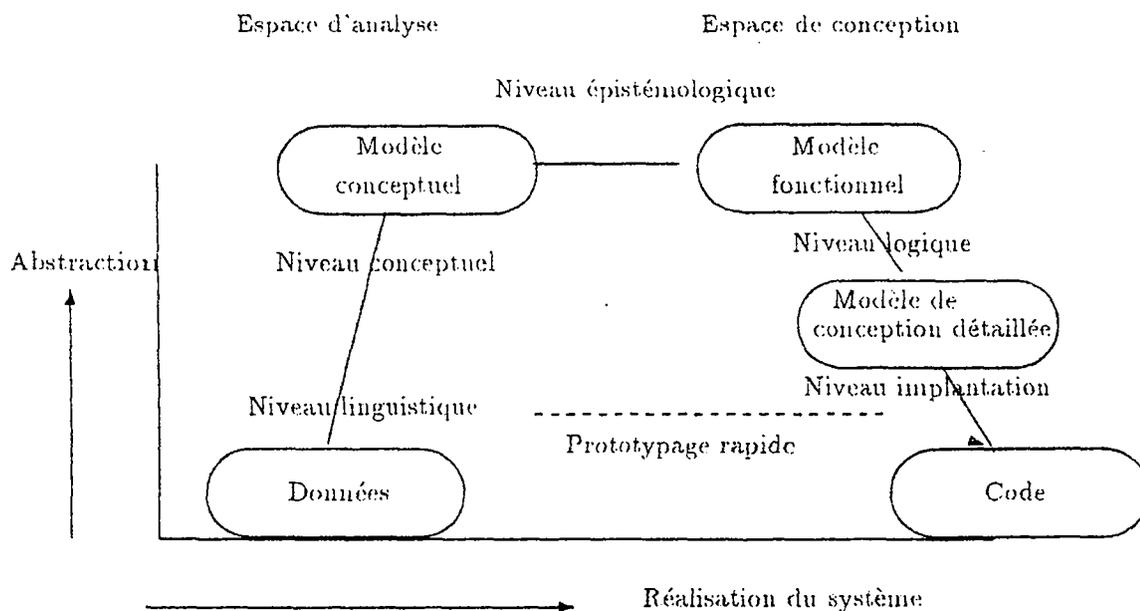


Figure 4 : Modèles et espaces de développement de KADS (Extrait de [25])

²Cette partie est un résumé - que nous espérons fidèle - de [25,26] essentiellement.

Les langages de modélisation

KADS comprend :

- un langage pour le *modèle conceptuel* (KCML),
- un module de *conception* (qui décrit comment le modèle conceptuel et les besoins externes peuvent être traduits dans une architecture adéquate),
- un module de *modulいたés* (qui spécifie la coopération et la communication du SBC avec l'utilisateur ou avec d'autres systèmes).

Techniques et outils

KADS dispose de diverses techniques de recueil des connaissances et de différentes méthodes ascendantes d'analyse des données recueillies. *KADS Power Tools* fournit des outils facilitant les phases d'analyse et de conception. L'outil SHELLEY [20] permet d'analyser les données (éditeur de protocoles), de construire un modèle conceptuel ainsi que les structures de la connaissance statique du domaine. Des objets du style hypertexte y sont utilisés.

7.1.2 Le langage de modélisation conceptuelle de KADS : KCML

Ce langage peut être utilisé comme une représentation intermédiaire entre les données de l'expertise et la conception/implantation d'un système expert. Indépendant du formalisme d'implantation du futur SBC, KCLM permet une conceptualisation de haut niveau de l'expertise du domaine.

La méthode KADS distingue différents types génériques de connaissances, organisés en quatre niveaux relativement indépendants [24.25] :

- le niveau *domaine* : il décrit la connaissance statique du domaine, indépendamment de son utilisation. Ce niveau comprend les concepts et les relations du domaine.
- le niveau *inférence* : il contient de la méta-connaissance sur le niveau domaine, décrivant la compétence fonctionnelle utilisée lors de la résolution de problèmes portant sur ce domaine. Cette compétence correspond à un ensemble de fonctions permettant de faire des inférences : l'instanciation, la classification, l'assemblage, la comparaison sont des exemples de telles fonctions [55]. Ces fonctions sont appelées *sources de connaissances* et leurs arguments *méta-classes* ou *rôles* : une hypothèse, une question, une contrainte, un diagnostic, un plan sont des exemples de rôles. Une méta-classe indique comment un ensemble spécifique de concepts du domaine peut être utilisé. En combinant les sources de connaissance grâce à leurs arguments d'entrée et de sortie, on peut construire une *structure d'inférence* qui reflète la compétence d'inférence requise pour accomplir une tâche de résolution de problèmes. Une structure d'inférence décrit quelles inférences peuvent être faites mais ni comment ni quand.
- le niveau *tâche* : la connaissance sur la décomposition des tâches y est explicitée. Ce niveau décrit les différents moyens d'atteindre un but lors de la résolution du problème et contient des buts (pouvant être décomposés en sous-but) et des tâches structurées. Le niveau tâche spécifie quelles inférences doivent être faites, suivant le plan créé dans le niveau stratégie.
- le niveau *stratégie* : il décrit les plans de résolution du problème en fonction du contexte et des compétences. Par exemple, on y précise comment résoudre le problème, réaliser le contrôle de l'exécution des buts, réagir en cas d'échec, construire de nouveaux plans...

Niveau	Relation	Objets	Organisation
stratégie	contrôle	plans, métarègles, impasses	structure de processus
tâche			
inférence	applique	métaclases, sources de connaissances	structure d'inférence
domaine	décrit		
		concepts, relations, structures	structure axiomatique

Figure 5 : Niveaux de description de la connaissance experte (Extrait de [25]).

Le processus KADS d'analyse d'une expertise est guidé par le modèle à quatre niveaux.

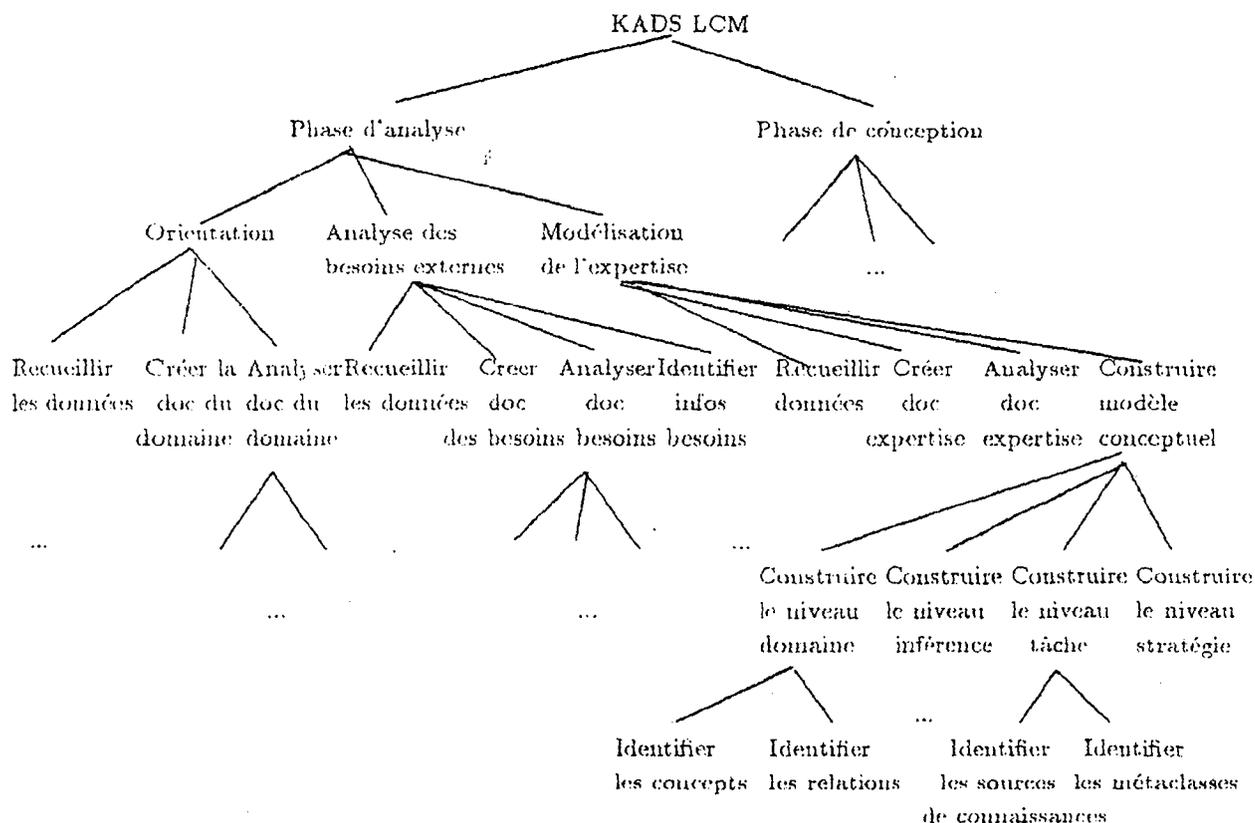


Figure 6 : Les activités du cognicien KADS (Extrait de [20]).

7.1.3 Modèles d'interprétation et tâches génériques

KADS propose une bibliothèque de *modèles d'interprétation* [127,25]. Fonctionnant comme une interface entre les données verbales brutes et l'implantation, un modèle d'interprétation peut servir de modèle initial pour guider le cognicien dans l'analyse des données. Il contient une description abstraite des caractéristiques d'une tâche générique. Une tâche réelle d'un domaine particulier est une composition - parfois dynamique - de

tâches génériques. La figure 2 (section 2) montrait la classification des tâches génériques proposée par KADS [25].

Le cognitif va donc utiliser cette bibliothèque pour reconnaître les modèles d'interprétation lui permettant de modéliser la tâche réelle de l'expert : il peut soit sélectionner soit combiner les modèles existants.

Dans [127], les auteurs notent que les modèles d'interprétation sont très utiles pour planifier et mener des entretiens et pour interpréter les données verbales recueillies. Un modèle d'interprétation suffisamment élaboré joue un rôle similaire au prototypage rapide. L'avantage des modèles d'interprétation par rapport à l'implantation d'une maquette est qu'aucun engagement détaillé n'a lieu par rapport au langage d'implantation. En outre, la connaissance de l'expert est extraite de façon plus fiable, car indépendante du langage d'implantation. Ces modèles d'interprétation ont été utilisés dans de nombreux systèmes cités dans [25]. Il semble que le cognitif même novice, ait peu de problèmes pour utiliser ces modèles. D'autre part, les méthodes d'interprétation proposées dans [127] sont utiles pour constituer une documentation de la base de connaissances.

7.1.4 Le modèle de conception globale

Le processus de conception est résumé dans la figure 7.

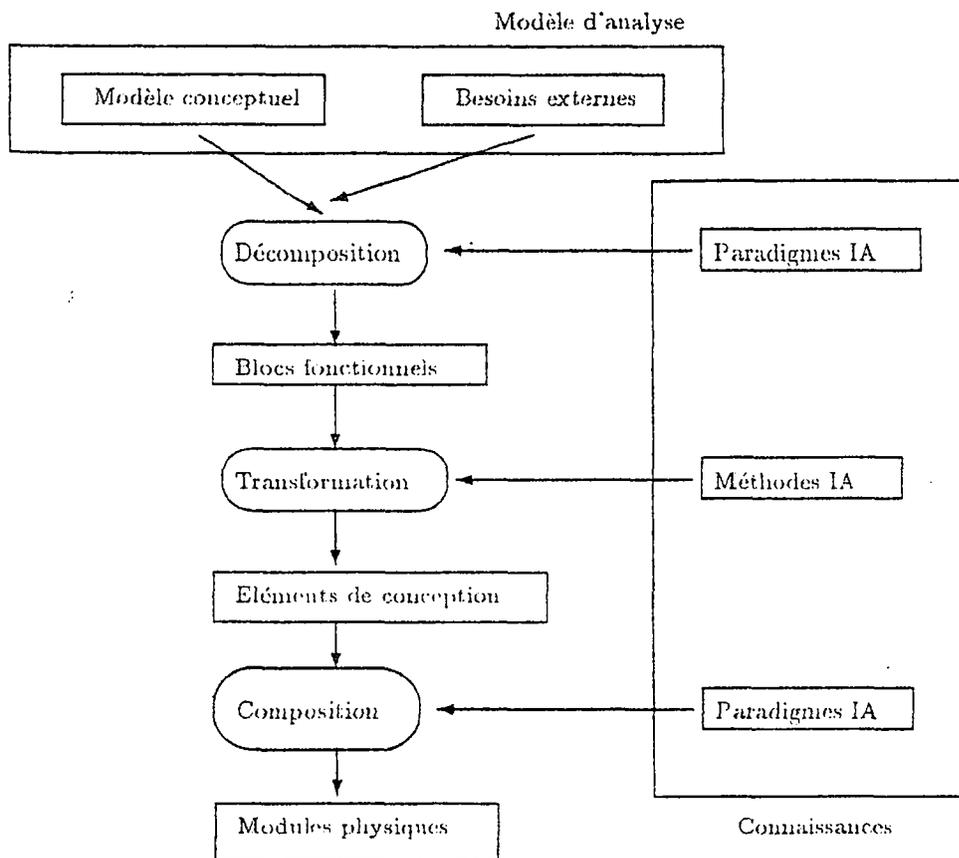


Figure 7 : Le processus de conception dans KADS (Extrait de [55]).

Le modèle de conception globale permet de transformer le modèle de l'expertise, en se basant sur les contraintes externes et utilisateurs. Il comprend :

- une *description fonctionnelle* : cette spécification des fonctionnalités internes et externes du futur SBC s'obtient en transformant le modèle conceptuel en un ensemble de blocs fonctionnels.
- une *description de comportement* : ensemble de méthodes précisant comment les fonctionnalités seront réalisées dans l'artefact.
- une *description de la structure de l'artefact* : les éléments de conception y sont alors agrégés en modèles physiques.

7.1.5 Conclusions

Comme le souligne [26], la méthode KADS peut être utilisée seule ou en complément de méthodes classiques. Elle est basée sur la séparation des phases d'analyse et de conception.

Pour la phase d'analyse, KADS offre une approche structurée dirigée par les modèles, une structure à quatre niveaux pour formaliser les connaissances, une bibliothèque de modèles d'interprétation, l'indépendance du modèle conceptuel par rapport au langage d'implantation du SBC.

Pour la phase de conception, KADS adapte les méthodes classiques tout en prenant en compte les spécificités des SBC.

7.2 KOD³

La méthode KOD (Knowledge Oriented Design) [122,121,123] est une méthodologie de développement des systèmes experts. Elle a pour objectif de proposer des cadres de collecte et de modélisation de la connaissance, et de permettre le passage de cette connaissance en une information manipulée par la machine.

Le processus de recueil et de réduction de la connaissance repose sur trois modèles (le *modèle pratique*, le *modèle cognitif* et le *modèle informatique*), et sur trois paradigmes (*l'être*, *le faire* et *le dire*).

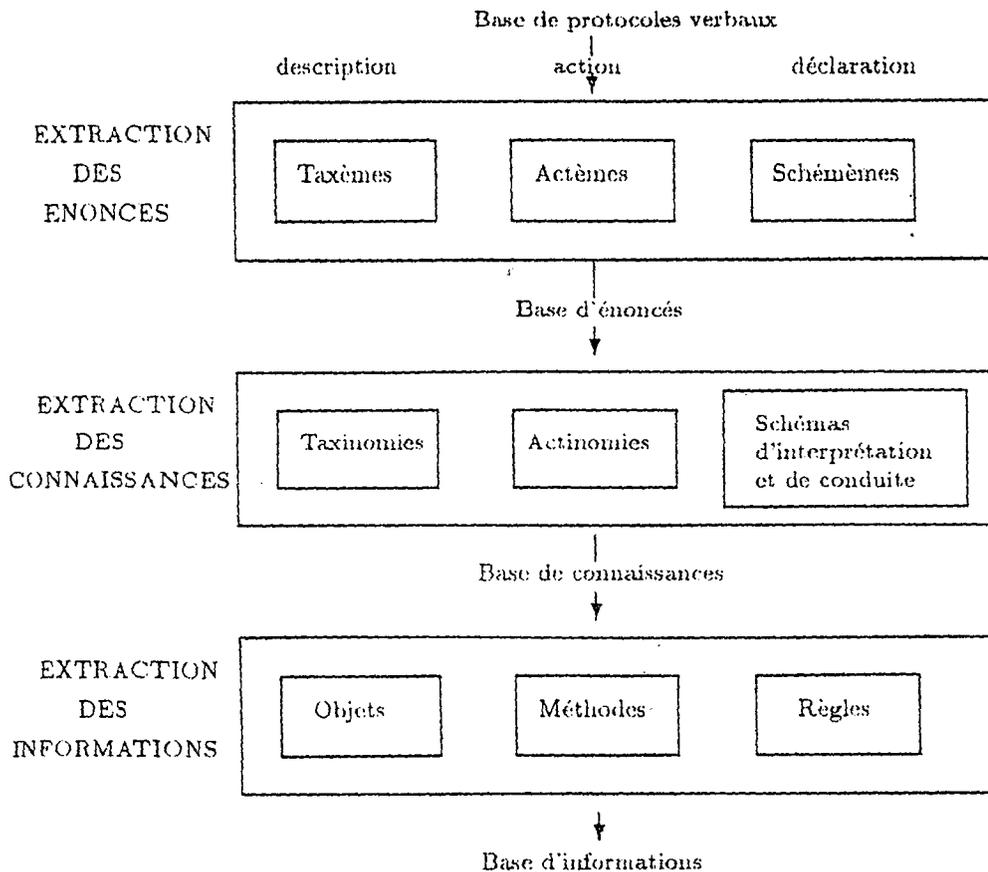


Figure 8 : Les trois niveaux de la méthode KOD (Extrait de [121]).

Au niveau cognitif, l'expert utilise des taxinomies, des actinomies et des schémas d'interprétation et de conduite. Toutes ces entités cognitives se manifestent, lors des verbalisations de l'expert, sous forme de taxèmes, actèmes et schémèmes, que le modèle pratique de la méthode KOD doit aider à extraire.

Voici quelques définitions plus précises des entités KOD :

- Les *taxinomies* sont des représentations hiérarchiques du monde physique, utilisées par l'expert.

³Cette partie est un résumé - que nous espérons fidèle - de [83,122,121,123].

- Les *actinomes* sont des schémas mentaux d'actions, utilisés par l'expert. Construites au fil des expériences de l'expert, ces actinomes lui permettent de répondre à des situations de type déjà connu.
- Les *schémas* d'interprétation aident l'expert à interpréter le réel. Il y fait appel quand il effectue des inférences. Longs à se constituer, ces schémas d'interprétation sont peu nombreux. Les *schémas* de conduite prescrivent ou interdisent certaines modalités de transformations.
- Les *taxèmes* désignent les objets du monde physique et sont les manifestations verbales des unités taxinomiques utilisées par l'expert.
- Les *actèmes* sont les manifestations verbales des unités actinomiques manipulées par l'expert : ils décrivent le changement d'état causé par un sujet sur un destinataire, éventuellement à l'aide de ressources. Des contraintes peuvent exister sur l'émetteur, sur le récepteur, sur le déclenchement de l'action, sur le temps ou l'espace, voire sur les ressources.
- les *schémèmes* sont des manifestations verbales des schémas d'interprétation ou de conduite utilisés par l'expert. Les schémas d'interprétation se manifestent par des schémèmes *causaux* (ou inférences) et ceux de conduite par des schémèmes *modaux* (ou contraintes). On distingue les inférences observables de l'expert en activité et celles inductives ou déductives qu'il énonce au cogniticien pour expliquer une interprétation ou une prévision.

Le modèle pratique et le modèle cognitif permettent donc de passer du discours de surface de l'expert au modèle informatique exécutable.

7.2.1 Le cycle de vie

L'idée de base est que les relations de l'homme avec le monde sont basées sur trois paradigmes (l'*être*, le *faire* et le *dire*), qui se retrouvent dans chacun des modèles intervenant dans le cycle de vie du SBC.

- *le modèle pratique*
Les trois modes du langage (*formes statiques* décrivant un état ou une possession, *formes causatives* décrivant une action et *formes déclaratives* décrivant une déclaration sur un état ou une action) correspondent respectivement aux paradigmes précités.
- *le modèle cognitif*
Dans le modèle cognitif - considéré dans [122] comme le chaînon manquant des systèmes experts - , les objets sont classés dans des *taxinomes*, les actions représentées par des *actinomes* et les déclarations par des *schémas* exprimant à la fois l'*interprétation* et l'*intention* de l'expert.
- *le modèle informatique* :
Vogel considère que les différents modèles de programmation actuels se réfèrent aux paradigmes suivants :
 - la programmation par objets (PPO) qui permet d'exprimer l'*aspect description*,
 - la programmation par acteurs (PPA) qui permet d'exprimer l'*aspect action*,
 - la programmation par la logique (PPL), qui permet d'exprimer l'*aspect déclaration*.

Conclusion

Ce cycle de vie peut être comparé à une méthodologie de conduite de projet, la spécification correspondant au modèle pratique, la conception globale au modèle cognitif et la conception détaillée au modèle informatique.

7.2.2 Le modèle pratique

A partir des données obtenues par verbalisations de l'expert, observations ou sources documentaires, le modèle pratique permet d'obtenir une spécification de l'expertise précisant les domaines de compétence, les phases de mise en œuvre de l'expertise, les taxèmes, actèmes et inférences utilisés.

Le modèle pratique guide la collecte des données pour faciliter la structuration ultérieure de la connaissance : l'expertise peut être ainsi identifiée avant sa modélisation ultérieure.

Pour le recueil des données, le cogniticien peut utiliser n'importe quelle technique d'entretien. Cependant, Vogel recommande le dialogue cogniticien-expert, sans lequel les techniques comme l'analyse de protocoles verbaux perdent de leur intérêt.

Ensuite, les données recueillies sont réduites, grâce à une série de filtrages, de façon à reconnaître les entités manipulées dans le discours de l'expert (*aspect description*), les comportements associés à ces entités (*aspect action*) et les inférences permettant d'interpréter ces comportements, de les prévoir ou de les expliquer (*aspect déclaration*).

Le corpus

En se basant sur une transcription des enregistrements de tous les entretiens cognicien-expert, sur des entretiens dirigés dans lesquels l'expert est invité à caractériser les objets manipulés, ainsi qu'éventuellement sur une série d'études de cas, le cognicien obtient le lexique de l'expertise organisé sous forme d'une base de taxèmes et d'actèmes, ainsi qu'une liste d'inférences produites à partir de la base des taxèmes.

Les taxèmes sont repérés grâce diverses expressions (voir figure 9).

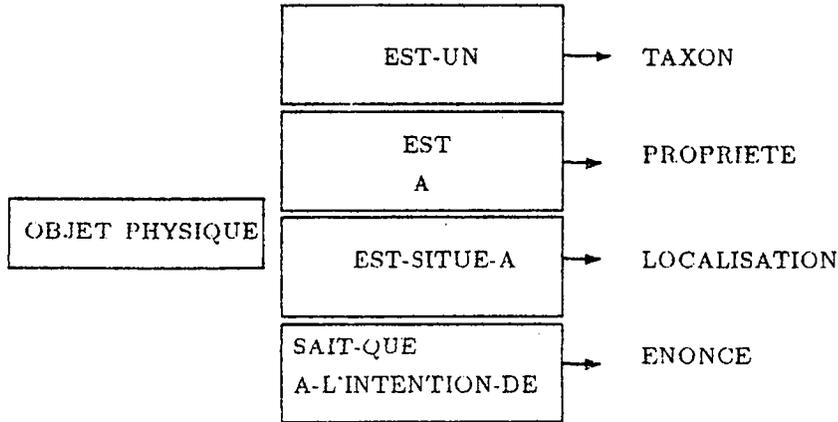


Figure 9 : Identification des taxèmes (Extrait de [122]).

La figure 10 montre une représentation possible des actèmes, assez proche des dépendances conceptuelles de Schank [109].

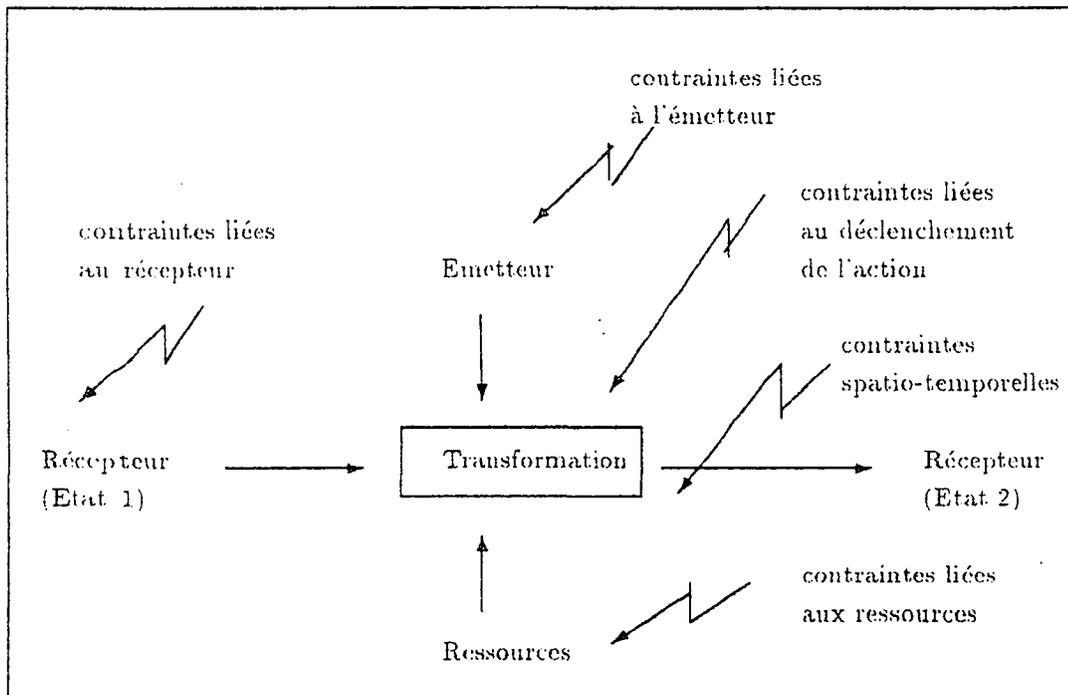


Figure 10 : L'actème (extrait de [121])

7.2.3 Le modèle cognitif

A partir de :

- la base des énoncés regroupant les taxèmes, actèmes et schémèmes isolés précédemment,
- une revue structurée des observations et des études de cas déjà réunies,
- des interviews centrées sur les structures en cours d'élaboration (taxinomies, actinomies et schémas).

le modèle cognitif permet de préciser une spécification détaillée de la BC à implanter.

Les taxinomies

Grâce à des entretiens dirigés au cours desquels l'expert doit présenter une classification des objets qu'il manipule et à une série d'exemples, le cogniticien définit la structure de la BC.

En s'inspirant des travaux en anthropologie cognitive, Vogel suggère qu'une taxinomie naturelle bien formée est caractérisée par cinq niveaux : un point de départ, de grandes formes de vie, un niveau générique, un niveau spécifique, un niveau variétal.

Les actinomies

A partir de la liste des actèmes isolés dans la base des énoncés et d'une analyse des études de cas disponibles, complétées par des entretiens centrés, le cogniticien aboutit à une spécification détaillée des actinomies.

Les schémas d'interprétation

Utilisant la liste des inférences produites hors contexte, ainsi que des entretiens dirigés complémentaires et une série d'études de cas, le cogniticien peut déduire la liste des schémas d'interprétation utilisés par l'expert.

Ces schémas d'interprétation de l'expert correspondent à des paquets d'inférence stéréotypés. Ils sous-tendent les inférences effectuées en surface par l'expert et peuvent être déclenchés diversement. Dans [122], l'auteur décrit comment le cogniticien peut recueillir ces schémas d'interprétation, soit directement en exploitant des études de cas antérieures, soit indirectement.

Lors de son activité, l'expert rapproche les phénomènes observés de leurs explications possibles, en levant les ambiguïtés éventuelles, grâce à des schémas d'interprétation qui peuvent être mis en œuvre par induction ou déduction. Plus l'expert agit dans son domaine d'expertise, plus il utilise des formes de raisonnement stéréotypées.

7.2.4 Conclusions

Les trois paradigmes (*description*, *action* et *déclaration*) servent de base à la description des trois modèles sous-jacents à la méthode KOD. Cette méthode aide à extraire diverses entités et propose des règles de qualification aux niveaux syntaxique, sémantique et structural pour garantir que les modèles pratique et cognitif ainsi obtenus sont bien formés [121,123]. La méthode KOD est désormais implantée dans un outil appelé KOD-STATION [46,3].

7.3 MACAO

S'adressant plutôt au cogniticien mais permettant aussi à l'expert d'exprimer directement ses connaissances, MACAO [7.5.6] est à la fois une méthode complète de développement d'un SBC, et un outil supportant cette méthode.

7.3.1 Le modèle cognitif

MACAO s'inspire de techniques de psychologie cognitive pour accéder aux différents aspects de l'expertise. Le modèle cognitif adopté est caractérisé par trois aspects :

- *l'évocation des connaissances.* L'expert explore de façon sélective les données du problème à résoudre. Lors de son activité, il recherche dans son environnement certains éléments, appelés objets de l'expertise, qu'il mémorise grâce à des images opératives en retenant uniquement les informations utiles pour leur exploitation. Ces images opératives sont adaptées au fil de son expérience. D'autre part, pour chaque objet de l'expertise, l'expert dispose d'une image cognitive regroupant toute sa connaissance - utilisable ou non - sur cet objet de l'expertise. Les objets de la connaissance sont donc différents des objets du monde réel. De ce fait, MACAO devra recueillir les données que l'expert retient pour exécuter sa tâche et non toutes les données réelles de son environnement. Les structures associées à ces objets de l'expertise évolueront avec l'expérience de l'expert.
- *le stockage des connaissances.* Les connaissances sont organisées de façon pyramidale : à la base, de nombreuses informations attachées à des contextes (scripts) et au sommet, un nombre restreint d'informations obtenues à partir des contextes (plans). Dans le modèle cognitif proposé, les connaissances de l'expert sont organisées suivant deux niveaux :
 - au niveau procédural, les objets de l'expertise ainsi que les relations de base les reliant sont stockés dans des scripts ou *schémas empiriques*, proches du monde réel.
 - à un niveau plus abstrait, ces scripts sont regroupés en *schémas conceptuels*, dans lesquels sont stockées les connaissances sur les éléments variables des scripts : grâce à ces éléments qui varient suivant le problème, l'expert peut adapter la procédure à utiliser pour résoudre son problème.
- *l'évolution des connaissances :* l'auteur suppose que l'évolution des connaissances est permise grâce à l'analyse et la réflexion sur les résultats de l'action. Pour un novice, cette activité d'analyse et de réflexion en cas d'erreur est efficace pour l'évolution des connaissances. Deux cas sont possibles :
 - le sujet est novice : l'erreur permet de délimiter ses possibilités d'action.
 - le sujet a déjà une expérience de ce type de problème et dispose donc de connaissances lui permettant d'effectuer des prédictions. L'erreur lui permettra de remettre en question certaines de ces prédictions et, en découvrant par analyse les éléments différenciant les deux situations, le sujet pourra adapter sa procédure : d'où une évolution de ses connaissances.

Voici le modèle déduit de cette analyse :

- Si le sujet est novice ou si les données du problème ne mettent pas en jeu les connaissances disponibles, il adoptera une méthode du type essai-erreur, en utilisant des connaissances générales. Les structures de connaissances construites à la fin de la résolution seront des *schémas empiriques*, correspondant à des procédures et composés d'*unités fonctionnelles*. Les unités fonctionnelles permettant de décider du choix d'une procédure sont des variables appelées *déterminants*.
- Si le sujet a déjà résolu des problèmes du domaine et dispose d'un schéma empirique où sont stockées les connaissances mises en jeu dans le problème, il effectuera d'abord un transfert de procédures. Si celles-ci permettent effectivement de résoudre le problème, le sujet renforcera son schéma empirique. Si les procédures ne sont pas adaptées, le sujet, constatant une erreur, reviendra à une méthode essai-erreur et acquerra une connaissance plus abstraite sur les variations de certains objets de l'expertise : cette connaissance abstraite constituera un *schéma conceptuel*.
- Si le sujet a déjà résolu plusieurs problèmes du domaine et dispose de plusieurs schémas empiriques, il procédera à une analyse selon les variations connues des unités fonctionnelles. Si la procédure utilisée aboutit à une solution, elle sera renforcée. En cas d'échec, l'auteur suppose que le sujet utilisera une méthode essai-erreur particulière telle que les essais impliquent les variations constatées dans les autres problèmes.

En structurant sa connaissance, l'expert obtient un ensemble de catégories de problèmes :

- l'aspect *statique* de ces connaissances apparaît dans le regroupement de plusieurs schémas empiriques en un schéma conceptuel traduisant le principe de résolution et la structure d'analyse d'une catégorie de problèmes. Les unités fonctionnelles permettant de choisir un schéma conceptuel particulier en fonction du contexte ou un schéma empirique sont des déterminants.

- L'aspect *dynamique* apparaît dans le mode d'utilisation et de construction des schémas : le novice passe du niveau empirique au niveau conceptuel, contrairement à l'expert.

Les hypothèses sur lesquelles repose ce modèle cognitif ont été testées lors d'une expérimentation validant l'existence de schémas empiriques et conceptuels.

Le transfert d'expertise par MACAO va donc permettre de décrire les unités fonctionnelles du domaine, les déterminants et les relations statiques ou dynamiques reliant les différentes unités fonctionnelles.

7.3.2 Le cycle de vie

La méthode MACAO se déroule en quatre étapes :

- *Identification de l'expertise.* Cette étape est basée sur une succession de dialogues expert-cogniticien et sur des observations de l'expert au travail. On peut ainsi spécifier l'environnement de l'utilisateur, ainsi que les principales caractéristiques de l'expertise. L'expert utilise des techniques de *grilles-répertoires* pour classer divers problèmes en catégories.
- *Recueil des protocoles de résolution de problèmes.* L'expert est invité à résoudre divers problèmes des catégories identifiées dans la première étape, et ce, dans des conditions aussi proches que possible de la réalité. Il explique ce qu'il fait en raisonnant à haute voix ou en fournissant toute information supplémentaire demandée par le cogniticien. Ces dialogues sont enregistrés. L'expert note dans le logiciel tous les objets qu'il manipule de façon à constituer le *glossaire* du problème. Puis, au cours d'entretiens centrés, il définit les concepts associés à chaque objet figurant dans le glossaire. Il note ces concepts dans le logiciel tout en justifiant oralement leur utilisation.

Ces deux étapes correspondent à l'identification et à la conceptualisation préliminaire de la connaissance. Recueil des protocoles et analyse de ceux-ci sont donc séparés, de façon à éviter les biais.

- *Conceptualisation, analyse et formalisation de la connaissance :* le cogniticien, guidé par le logiciel MACAO, analyse les informations précédentes en se basant sur le modèle cognitif. Il formalise les concepts et relations en termes d'unités fonctionnelles et de déterminants (entités de base du modèle cognitif). Pour ce faire, il confronte les problèmes d'une même catégorie et ceux de catégories différentes. Il identifie des relations *statiques* ou *dynamiques* entre unités fonctionnelles. Le logiciel MACAO aide le cogniticien à comparer les structures impliquées dans la résolution de chaque problème, en étudiant leurs similitudes et leurs différences. MACAO prévient le cogniticien en cas de formalisation inconsistante et peut suggérer de regrouper certaines unités fonctionnelles en procédures. Grâce à cette analyse, on obtient plusieurs *graphes de connaissance*, correspondant à chaque problème (*graphes instanciés*) ou décrivant chaque catégorie de problème (*graphes génériques*).
- *Validation interactive des connaissances par l'expert.* La validation a lieu directement par l'expert qui, lors d'entretiens centrés, peut corriger le graphe général des connaissances et explorer la hiérarchie du graphe. MACAO lui offre un éditeur interactif pour afficher ou mettre à jour la connaissance, avec vérification automatique de la consistance. Le cogniticien peut justifier la formalisation choisie ou la compléter. La validation est achevée quand l'expert est satisfait des différents graphes obtenus.

7.3.3 Conclusions

L'utilisation d'une représentation médiatrice représentée de façon externe par des graphes favorise une expression incrémentale des connaissances. MACAO permet une validation statique de la connaissance extraite. En outre, la méthode MACAO fait appel à différentes techniques reconnues en psychologie pour le recueil des connaissances. Elle intègre un modèle d'expertise grâce à la notion de modèle cognitif.

8 Outils d'acquisition des connaissances

8.1 Généralités

On peut trouver une revue détaillée des outils d'acquisition de connaissances dans [8,15]. Comme le souligne [15], plusieurs critères de comparaison de tels outils peuvent être envisagés:

- *le niveau de généralité et le type des tâches visées.* Même les outils d'acquisition les plus généraux ne visent pas toutes les tâches possibles. Certains outils sont spécialisés dans les tâches de diagnostic : ETS [14,13], MOLE [53,51,52], MORE [74,73], ROGET [11,10]. D'autres aident à des tâches d'analyse générales (AQUINAS [16,19,18], KRITON [42,41,87,88]) alors que quelques outils se focalisent sur les problèmes de synthèse (généralement la conception comme DSPL ACQUIRER [33], SALT [92,93,91,90] et 3DKAT [43,44,48,54]).
- *l'exploitation d'un domaine / d'une méthode / d'un langage d'implantation.* Certains outils exploitent la connaissance du domaine et sont adaptés à une application donnée (comme OPAL [97]) alors que d'autres exploitent plutôt une méthode de résolution de problèmes particulière pour guider l'acquisition des connaissances (AQUINAS, MOLE, SALT) ou même génèrent une base de connaissances directement utilisable (AQUINAS, ETS, KNACK [80], KRITON, MOLE, MORE, OPAL, ROGET, SALT, TEREISIAS [38]).
- *les techniques ou méthodes d'acquisition des connaissances.* Certains outils proposent des techniques assistées par ordinateur, interactives : il s'agit souvent de méthodes d'interviews basées sur la psychologie et reposant par exemple sur les grilles-répertoires, inspirées de la Personal Construct Theory [78] (ETS, AQUINAS, KRITON) ou sur l'analyse de protocoles (KRITON) ou sur un mode d'interview automatique (AQUINAS, KRITON, MOLE, ROGET, SALT). SIS [75,76] aide à construire automatiquement des *systèmes d'interviews* adaptés à des problèmes quelconques. On peut le considérer comme stockant de la connaissance sur "l'art des interviews". SIS dispose de sept stratégies primitives pour poser des questions. A partir de ces stratégies, on peut en définir de nouvelles, adaptées à une application particulière. KRITON, KADS ou MACAO acceptent l'utilisation de différentes techniques de recueil des connaissances.
- *la méthode de résolution de problèmes.* Dans [17], nombre de systèmes sont basés sur la *classification heuristique* décrite par Clancey [34] : c'est le cas d'AQUINAS, ETS, KITTEN [114,115], KNACK, KRITON, MOLE, MORE, ROGET, TEREISIAS alors qu'OPAL repose sur une méthode de *raffinement de plan schématique* et SALT sur une méthode *proposer-et-réviser*.
- *les représentations interne et externe.* Par exemple, dans [50], sont utilisés des graphes conceptuels permettant de décrire les dépendances logiques dans un domaine particulier. Les graphes de dépendances jouent un rôle important dans MACAO, SALT, 3DKAT et dans [82]. Un certain nombre d'outils utilisent des représentations basées sur des réseaux : KRITON, MOLE.
- *les dimensions de la modélisation.* Certains utilisent des *modèles profonds* (LEZARD [31,32]), d'autres des *modèles cognitifs* de l'expert (MACAO) ou des *modèles conceptuels* [125]. D'autre part, certains ont des représentations médiatrices ou intermédiaires [72,5] alors que d'autres sont basés sur des modèles de tâches ou des modèles d'interprétation (KADS).
- *la phase du cycle de vie* où l'outil peut être utilisé. Certains outils aident le cogniticien dans la phase de recueil d'expertise, avant l'entrée effective de la base de connaissances. D'autres se chargent également de la génération de la base de connaissances (AQUINAS, ETS, KNACK, KRITON, MOLE, MORE, OPAL, ROGET, SALT, TEREISIAS). D'autres proposent une méthodologie complète pour le processus d'acquisition complet (KADS, KOD, MACAO). Dans certains, l'analyse doit être complète avant que l'implantation commence (KADS), alors que, dans d'autres, l'implantation est effectuée de façon incrémentale (prototypage rapide permis par AQUINAS, ETS, KITTEN, KSSO, MORE, MOLE, PLANET et SALT).
- *la validation des connaissances.* Le problème de la validation de la connaissance acquise est important. La validation de la connaissance statique est possible dans la plupart des outils proposés alors que celle du comportement dynamique est rarement offerte. SALT permet la validation du raisonnement de l'expert, en effectuant effectivement une conception solution en réponse à

la requête de l'utilisateur. 3DKAT permet, grâce à une simulation qualitative sur des graphes de dépendance, de vérifier le comportement macroscopique du futur système expert, avant son implantation.

- *l'utilisation du système.* L'utilisateur visé (expert ou cogniticien) varie suivant l'efficacité et la vitesse d'utilisation de l'outil et le degré d'entraînement nécessaire pour l'utiliser. Par exemple, des outils comme ETS sont facilement utilisables directement par les experts qui apprécient la transparence de l'interface et de la méthodologie sous-jacente ainsi que la possibilité d'entrer la connaissance dans leur propre vocabulaire [17]. De nombreux outils (AQUINAS, ETS, KITTEN, KNACK, MOLE, MORE, OPAL, SALT, TEREISIAS) sont présentés comme destinés à l'expert [15], alors que MACAO et 3DKAT visent plutôt le cogniticien et éventuellement l'expert.
- *le nombre de systèmes effectifs construits avec l'outil.* De nombreux systèmes ont été construits en utilisant des outils comme AQUINAS, ETS, KNACK et MOLE, par exemple.
- *la présence de certaines caractéristiques.* Utilisation de techniques de haut niveau ou de bas niveau, présence d'un module d'apprentissage (INDUCT [56]), possibilité d'utiliser de multiples sources d'expertise (AQUINAS, KITTEN et MEDKAT [71]), manipulation de coefficients de certitude (MOLE [51]), lien avec des bases de données (INDUCT [56]), analyse de textes (KALEX [110], KRITON), utilisation d'outils hypertextes [126.84.96] sont autant de spécificités qui peuvent caractériser un outil.

8.2 Exemples

8.2.1 Outils orientés analyse

AQUINAS

Comme ETS dont il est l'extension, AQUINAS [16,18,15] est basé sur la technique des *grilles-répertoires*, inspirée de la "Personal Construct Theory" de Kelly [78] : l'expert entre et raffine la connaissance grâce à des grilles. Les solutions de problèmes sont extraites et étiquettent les colonnes de la grille. Les caractéristiques de ces solutions sont listées dans les lignes de la grille. Pour recueillir ces caractéristiques, on présente à l'expert des groupes de solutions qu'on l'invite à discriminer. Ensuite, l'expert fournit pour chaque solution un coefficient indiquant où il se trouve dans l'échelle des caractéristiques et il précise l'importance relative de chaque caractéristique pour l'obtention d'une solution donnée. Une fois une grille initiale construite, AQUINAS aide l'expert à raffiner et étendre la base de connaissances en appelant divers modules. Par exemple, similitudes entre solutions et caractéristiques sont analysées pour aider l'expert à raffiner des distinctions utiles et à éliminer les redondances ou in-conséquences. AQUINAS dispose aussi de *grilles-répertoires hiérarchiques*, permettant de décomposer des problèmes complexes.

AQUINAS dispose de diverses fonctionnalités en plus de celles d'ETS : extraction des distinctions, décomposition des problèmes, combinaison d'informations incertaines, tests incrémentaux, intégration de types de données, expansion et raffinement automatiques de la base de connaissances, utilisation de multiples sources de connaissances.

Entre autres applications, AQUINAS a été utilisé pour classer les différents outils d'acquisition des connaissances. On peut donc le voir comme un outil d'acquisition, dans lequel a été implantée une application particulière permettant de guider le cogniticien pour le choix entre plusieurs méthodes ou outils d'acquisition. Il sert ainsi d'atelier pour la conception de SBC [17].

KRITON

KRITON [42,41,87,88], est un outil destiné aux tâches d'analyse et permettant de créer des bases de connaissances pour l'environnement BABYLON [104]. Il permet le recueil des connaissances grâce à trois techniques : l'analyse de protocoles pour acquérir la connaissance procédurale et associative, l'interview et l'analyse de textes pour acquérir la connaissance statique.

- *Analyse de textes* : les textes sont lus à partir d'un fichier, les noms y sont mis en valeur. Le cogniticien peut inclure des noms dans la hiérarchie décrivant la façon dont le texte présente l'organisation des concepts du domaine.

- *Interview* : elle permet de compléter l'information recueillie à partir de l'analyse de textes. Elle est basée sur la technique des grilles-répertoires. Elle permet d'acquérir les attributs décrivant les concepts du domaine.
- *Analyse de protocoles* : quand l'expert résout un problème, il parle dans un microphone et mentionne ses actions, conclusions ou observations.

Le résultat de ce recueil est une représentation intermédiaire sous forme de réseaux, où les nœuds correspondent aux concepts et les liens aux relations entre eux. On distingue des relations structurelles (connaissance statique, recueillie à partir des interviews et de l'analyse de textes) et des relations associatives (extraites grâce à l'analyse de protocoles). Le tout est ensuite traduit dans le formalisme de BABYLON (schémas et règles de production).

8.2.2 Outils orientés synthèse

SALT

SALT [92.93.91.90] est un outil d'acquisition des connaissances pour des *tâches constructives de satisfaction de contraintes*. Il permet une approche ascendante pour la construction de la BC. Il suppose une stratégie générique de résolution de problèmes *proposer-et-réviser* pour créer une conception. Dans SALT, l'utilisateur indique diverses informations (formules, contraintes, remèdes à des viols de contrainte) et SALT génère un réseau de dépendances correspondant à cette information. Il détecte les boucles dans le réseau et propose une méthode guidée par l'utilisateur pour les traiter. Le système identifie des contraintes sur les paramètres de conception et fait des suggestions en cas de viol de contrainte dans la conception proposée, pour la réviser. La stratégie de résolution de problème supposée consiste à :

- étendre de façon incrémentale une conception proposée.
- vérifier des contraintes sur les paramètres de conception.
- réviser des décisions en réponse aux viols de contraintes.

L'utilisateur peut fournir une procédure pour spécifier une valeur de paramètres, identifier une contrainte sur une valeur de paramètre ou suggérer un remède pour un viol de contrainte. SALT garde trace des liens entre les différents éléments de connaissance et prévient l'utilisateur des endroits où des éléments pourraient manquer ou créer des inconsistances.

3DKAT

3DKAT [43.44.48.54] est un outil d'acquisition des connaissances dédié aux applications de conception. Il repose sur l'hypothèse que l'expert utilise en général un modèle implicite de ce qu'il veut concevoir. Au cours des entretiens, le travail du cogniticien va consister à se recréer implicitement ce modèle à partir de ce qu'il a compris des informations fournies par l'expert. 3DKAT permet donc au cogniticien de rendre explicite ce modèle.

Ce modèle est basé sur les dépendances entre les paramètres importants intervenant lors de la résolution du problème. Ce modèle peut être représenté par un *graphe de dépendances* appelé PDOG (Parameter Dependency Oriented Graph). Un nœud du graphe correspond soit à un attribut de l'objet à concevoir ou d'un de ses composants, soit à un paramètre provenant de l'environnement extérieur. 3DKAT propose une typologie des relations possibles entre les nœuds. Cette hiérarchie de liens est extensible par exemple par des relations spécifiques à une application. Une relation particulière, appelée *topos*, permet d'exprimer comment un paramètre influe sur un autre. Elle permettra de visualiser dynamiquement l'influence de la modification d'un paramètre donné et donc de *valider à aspect dynamique de la connaissance extraite*.

Au cours de la phase d'acquisition des connaissances, le cogniticien modélise sous forme d'un PDOG le modèle qu'il s'est construit à partir des interviews avec l'expert. Il pourra ainsi présenter ce graphe de dépendances à l'expert et le compléter ou le corriger avec lui. Divers types de raisonnement qualitatif sont possibles sur le graphe. On peut simuler l'effet d'une augmentation ou diminution d'un paramètre (raisonnement *what-if*), ou simuler comment on peut augmenter ou diminuer un paramètre

(raisonnement *how-to*). Ces deux types de raisonnement sont utiles aussi bien en conception qu'en re-conception à partir d'une solution existante.

Cette *simulation qualitative*, basée sur certaines relations (comme les topoï), permet, avant l'implantation du futur système expert, de vérifier son comportement macroscopique.

3DKAT permet aussi de visualiser le graphe des sous-parties d'un objet. Il offre également un modèle de tâches. Le graphe de tâches obtenu est relié au graphe de dépendances. Grâce à 3DKAT, l'expert peut donc valider les aspects statique et dynamique de la connaissance extraite par le cognitifien.

9 Directions des recherches actuelles

Dans [113] sont résumés divers axes de recherche actuels sur l'acquisition des connaissances :

- *Les outils de seconde génération.* D'une part, des travaux de plus en plus nombreux portent sur les systèmes experts de seconde génération [117,47] qui doivent combiner plusieurs formalismes de représentation des connaissances et permettre la coopération de multiples raisonnements (raisonnement heuristique, raisonnement à base de modèles, raisonnement qualitatif ...). Certains outils d'acquisition essaient de tenir compte des particularités des SBC de seconde génération (par exemple, la distinction entre *connaissances de surface* et *connaissances profondes*). Ainsi, le système LEZARD [31,32] extrait sous forme de règles de production la connaissance de surface à partir de la connaissance profonde, grâce à de la méta-connaissance, en interaction avec l'expert. De même, [86] s'intéresse au problème de l'acquisition des connaissances profondes.
D'autre part, certains prônent l'idée qu'une nouvelle génération d'outils d'acquisition est en cours d'apparition. [58] et [88] en décrivent les caractéristiques : entre autres, l'intégration d'un large spectre de méthodes pour embrasser toutes sortes de formes de connaissances et l'intégration de différentes sources de connaissances parfois conflictuelles.
- *L'extraction à partir de multiples experts.* Du fait de la possibilité de désaccord sur certains concepts ou sur le vocabulaire, il existe diverses méthodes permettant de déceler consensus, conflits, correspondances et contrastes. [129] décrit une approche permettant l'acquisition des connaissances à partir d'experts multiples. [45] propose une architecture multi-agents permettant de faire de l'acquisition des connaissances distribuée. La technique de "brainwriting" proposée dans [124,21,22] et les outils AQUINAS, KRITON et MEDKAT permettent l'extraction à partir de multiples experts. Les problèmes d'intégration de plusieurs sources de connaissance et en particulier les problèmes d'intégrité sous-jacents sont étudiés dans [95].
- *La validation.* Comme le remarque [57], la validation des SBC est très difficile car nous savons rarement définir et quantifier l'expertise. Comment déterminer si la BC capture la connaissance "utile" de l'expert, et ce de façon consistante et complète ? Certains essaient de clarifier le problème en définissant différentes notions [9] :
 - la *vérification* par rapport à des spécifications : preuve de la consistance, complétude et correction du logiciel à chaque étape de son cycle de vie.
 - l'*évaluation* de la qualité de la BC, de son utilité et du fait qu'elle est utilisable.
 - la *validation* : basée sur le cycle de vie, elle utilise des tests et des évaluations à chaque étape du processus de développement de la BC. Extraction comme implantation doivent être validées.

Dans [118], sont décrites différentes formes de validation : validation visuelle, par génération des conséquences, par prototypage ou par inspection du code.

D'autres distinguent l'exécution du SBC, la validation par rapport aux experts, la validation par rapport à d'autres sources de connaissances, la comparaison avec des bibliothèques de cas tests ...

[116] propose un modèle de validation psychologique des SBC, basé sur les notions d'*efficacité* des performances du SBC, d'*acceptabilité* par l'opérateur du processus de coopération mis en œuvre et d'*employabilité* par l'opérateur, compte-tenu de son environnement de travail.

[37] et [35] utilisent la notion de topoï pour valider la BC au niveau macroscopique.

- *L'intégration de l'apprentissage.* Dans [17], sont citées les nombreuses techniques d'apprentissage possibles : analogie, induction, apprentissage par explications, apprentissage à partir d'exemples ou de contre-exemples...
- *L'intégration de l'analyse de textes.* Par exemple, KALEX [110] permet d'écrire des éléments de connaissance en langage naturel. Puis le système traduit les phrases dans sa représentation interne en effectuant certaines vérifications sur le résultat formel de cette traduction. Dans [106], les auteurs proposent une vue unifiée de la compréhension du langage naturel et de l'acquisition des connaissances : la connaissance, au lieu d'être extraite d'un texte, y est ajoutée par un agent cognitif. L'expertise pour la compréhension du langage naturel et pour l'acquisition des connaissances peut être acquise et incorporée dans un système expert.
- *La convergence avec les hypermedia.* L'intérêt de l'utilisation d'outils hypermedia dans un outil d'acquisition des connaissances est souligné dans [126,59,84]. L'expert peut alors entrer ses données librement puis les annoter avec divers liens croisés. Certains outils servant de support à des méthodes générales de construction de SBC sont implantés à l'aide d'hypertextes : c'est notamment le cas de KOD-STATION [3,46], support de la méthode KOD et de SHELLEY[20,46], support de la méthode KADS. SMAC [96] est également implanté avec des outils hypertextes.
- *La convergence avec les tuteurs intelligents.* Dans [108], les techniques d'extraction traditionnellement utilisées pour l'acquisition des connaissances s'appliquent tout naturellement dans le cadre du développement d'un tuteur intelligent.
- *La prise en compte de l'intégration.* Dans [57], l'auteur souligne que souvent les SBC sont vues comme des packages seuls, sans prise en compte de la future intégration.
- *L'ergonomie et la prise en compte des interfaces utilisateurs.* La méthodologie préconisée dans [70] est guidée par la spécification des interfaces utilisateurs. Elle oblige l'expert à se focaliser sur les fonctionnalités exigées du système expert final et donc sur la seule connaissance nécessaire à l'application. Après avoir spécifié avec l'expert et les utilisateurs finaux ce que sera l'interface finale, le cognitif demande à l'expert comment résoudre les fonctionnalités ainsi mises en évidence par cette interface. On peut ainsi réaliser des maquettes d'interfaces et les présenter aux utilisateurs finaux pour appréciation.
La méthodologie MAC [40] permet également la prise en compte de l'utilisateur. Elle est basée sur un processus de raffinements successifs, de façon à analyser et définir la coopération entre l'utilisateur et le futur SBC. Compatible avec la méthode KADS, la méthode MAC peut être utilisée indépendamment de celle-ci. Après une décomposition en tâches abstraites, on obtient un modèle de coopération (i.e. un modèle conceptuel du futur SBC, qui établit quelles interactions devront être effectuées et quand). Ce modèle de coopération fournit les contraintes pour la conception de l'interface.
La prise en compte des utilisateurs finaux peut se traduire par la présence d'un ergonome dès la phase d'acquisition des connaissances.
- *La prise en compte des applications.* Cette prise en compte dès la phase d'acquisition des connaissances [99,98,77] facilite d'ailleurs la maintenance ultérieure du SBC construit. De façon plus générale, l'assistance à l'utilisateur doit être prévue dès la phase d'acquisition des connaissances.
- *La prise en compte de la future maintenance.* Le projet EES décrit dans [99,98], en prenant en compte les explications futures dans la méthode de développement de SBC, vise à obtenir des SBC plus faciles à maintenir. Dans le cas du prototypage rapide, [57] note que les SBC où ne sont stockées que les connaissances de surface sont confrontés à un problème de maintenance : contrairement aux logiciels classiques obtenus en suivant des techniques de génie logiciel, la maintenance de la BC peut alors requérir autant d'effort que pour le développement original.
- *la prise en compte de la documentation :* comme le décrit [5], trois types de documents jouent un rôle lors du développement d'un SBC : le document de préétude, les documents produits lors de la réalisation du système et la documentation finale du système expert (manuel de référence et manuel de l'utilisateur). Lors de l'acquisition des connaissances, les documents peuvent utiliser le langage naturel ou des fiches descriptives [60], ainsi que des schémas ou autres représentations graphiques. La gestion de certains de ces documents peut être prise en charge par le système, comme le suggère [89].

10 Conclusions : vers une base de connaissance "cognitive"

La recherche sur l'acquisition des connaissances est extrêmement vivante, comme en témoignent les séminaires de plus en plus nombreux consacrés à ce thème : Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW), European Workshop on Knowledge Acquisition (EKAW), Journées françaises sur l'Acquisition des Connaissances (JAC).

En France, quelques outils commerciaux commencent à apparaître [46] : KATE (acquisition des connaissances par apprentissage), KOD-STATION, NEXTRA, SHELLEY alors qu'au niveau recherche, divers projets sont en cours sur des méthodes ou outils : MACAO, SMAC, 3DKAT...

D'autre part, une bibliographie extrêmement fournie est présentée dans [2,1,15,5] : le lecteur y trouvera les références d'un nombre considérable d'articles. Un résumé de nombreux outils d'acquisition est offert dans [15]. Le lecteur intéressé trouvera dans une thèse consacrée à l'acquisition des connaissances [5] une masse d'informations : entre autres, sur l'influence de la psychologie cognitive ou sur un certain nombre de méthodes et d'outils.

Pour conclure, ce thème pluridisciplinaire bénéficie des apports des travaux issus d'autres disciplines : la psychologie cognitive, le génie logiciel, la linguistique. Diverses techniques de recueil des connaissances ont été étudiées. Les principes sous-jacents aux méthodes générales d'acquisition proposées sont variés : l'acquisition des connaissances peut être vue comme une activité de modélisation (KADS) : elle peut aussi être étudiée suivant les paradigmes description, action et interprétation (KOD) : elle peut également se baser sur un modèle cognitif (KOD et MACAO). Quant aux outils proposés, nombreux sont les critères de comparaison entre eux. Enfin, les voies de recherche actuelles portent sur des sujets aussi divers que les systèmes de seconde génération, la multi-expertise, les problèmes de validation, les techniques d'apprentissage, les hypermedia, la prise en compte des aspects utilisateurs, explications et documentation.

Notons qu'avec le nombre croissant de SBC effectivement développés de par le monde, s'accroît une expérience et un savoir-faire qui, cumulés avec les connaissances "théoriques" acquises grâce à la littérature sur les méthodes et outils d'acquisition des connaissances, constituent une expertise sur l'acquisition des connaissances. Une idée intéressante serait d'interviewer les cogniticiens sur leurs expériences et de *stocker dans une base de connaissances leur savoir-faire* : choix des techniques d'extraction adéquates, choix du bon outil d'aide à l'acquisition, choix du générateur de systèmes experts cible (doté des formalismes de représentation des connaissances et de modes d'inférence adéquats), conseils généraux comme ceux prônés dans [68,66,12]. Cette idée de stocker l'expertise sur l'acquisition des connaissances dans un système expert élargit une suggestion émise dans [106]. L'application de la méthode KADS pour analyser l'activité du cogniticien travaillant en suivant la méthode KADS repose sur le même souci de réflexivité et a permis de guider l'implantation de l'outil SHELLEY supportant cette méthode [20].

En analysant le travail du cogniticien, on pourrait se référer à diverses tâches génériques adéquates par lesquelles cette activité peut être décrite. Le développement du SBC complet est une opération de synthèse (planification et conception...). Les activités de choix y intervenant peuvent être rattachées à des problèmes d'analyse (classification en particulier).

Une partie du travail du cogniticien consiste à *l'art de l'interview*. Cette expertise a été analysée et sert de base au système SIS [75,76] qui permet de construire des systèmes d'interviews.

Notons enfin que, dans l'outil d'acquisition des connaissances AQUINAS [15], a été stockée l'expertise sur divers outils d'acquisition. AQUINAS sert donc d'atelier permettant de guider le cogniticien dans le choix d'un outil d'acquisition adéquat.

Toutes ces idées, reposant sur une analyse de l'activité du cogniticien considéré comme expert à son tour, devraient favoriser une meilleure compréhension de l'acquisition des connaissances.

Références

- [1] SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue, October 1989.
- [2] SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue, April 1989.

- [3] P. Albert and C. Vogel. Kod-station un environnement intégré pour le génie cognitif. *Génie logiciel et systèmes experts*, 19:28-30. Juin 1989.
- [4] A. Anjewierden. The KADS System. In *Proceedings of the 1st European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 87)*. Reading University, September 1987.
- [5] N. Aussenac. Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition des connaissances expertes. Octobre 1989. Thèse de Doctorat en Informatique, Université Paul Sabatier de Toulouse.
- [6] N. Aussenac and J.L. Soubie. Place d'un outil d'acquisition des connaissances dans la conception des systèmes intelligents. In *Actes des Journées Acquisition des Connaissances (JAC 90)*, pages 115-129. Lannion, Avril 1990.
- [7] N. Aussenac, J.L. Soubie, and J. Frontin. A mediating representation to assist knowledge with MACAO. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 516-529, Paris, July 1989. Also in *Proceedings of the 4th Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (KAW 89)*, Banff, Canada, October 1989.
- [8] S. Becker and B. Selman. *An Overview of Knowledge Acquisition Methods for Expert Systems*. Technical Report CSRI-184, University of Toronto, Canada, June 1986.
- [9] I. Benbasat and J. S. Dhaliwal. The Validation of Knowledge Acquisition : Methodology and Techniques. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 60-74. Paris, July 1989.
- [10] J. S. Bennett. ROGET: A Knowledge-based System for acquiring the Conceptual Structure of a Diagnostic Expert System. *Journal for Automated Reasoning*, 1:49-74, 1985.
- [11] J. S. Bennett. ROGET: Acquiring the Conceptual Structure of a Diagnostic Expert System. In *IEEE Proceedings Workshop on Principles of Knowledge-Based Systems*, pages 83-88, Denver, CO, December 1984.
- [12] A. Bonnet, J. P. Hatou, and J. M. Truong-Ngoc. *Systèmes experts : Vers la maîtrise technique*. Interéditions, 1986.
- [13] J. H. Boose. A Knowledge Acquisition Program for Expert Systems based on Personal Construct Psychology. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23:495-525, 1985.
- [14] J. H. Boose. Personal Construct Theory and the Transfer of Human Expertise. In *Proc. of the 4th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 27-33, Austin, Texas, USA, August 1984.
- [15] J. H. Boose. A Survey of Knowledge Acquisition Techniques. *Knowledge Acquisition*, 1(1):3-37, March 1989.
- [16] J. H. Boose and J. M. Bradshaw. Expertise transfer and complex problems: using AQUINAS as a knowledge-acquisition workbench for knowledge-based systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26:3-28, 1987.
- [17] J. H. Boose, J. M. Bradshaw, C. M. Kitto, and D. B. Schema. From ETS to AQUINAS: Six years of Knowledge Acquisition Tool Development. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 502-515, Paris, July 1989.
- [18] J. H. Boose, J. M. Bradshaw, and D. B. Schema. Recent progress in AQUINAS: a Knowledge Acquisition Workbench. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 2.1-2.15, Bonn, RFA, June 1988.
- [19] J. H. Boose and C. M. Kitto. Choosing Knowledge Acquisition Strategies for Application Tasks. *IEEE Journal*, 96-103, 1987.
- [20] C. Bouchet and E. Brunet. SHELLEY : an integrated workbench for KBS development. In *Actes des 9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, pages 317-328, Avignon, France, Mai-Juin 1989.
- [21] G. Boy, B. Faller, and J. Sallantin. Acquisition et ratification de connaissances. In *Actes des Journées Nationales du PRC-GRECO, Intelligence Artificielle*, pages 321-356, Toulouse, France, Mars 1988.
- [22] G. A. Boy. *Assistance à l'opérateur : une approche de l'intelligence artificielle*. Teknea, Octobre 1988.
- [23] G. A. Boy and A. Rappaport. Incremental knowledge acquisition for assistance to space robot arm manipulation. In *ROBEX'87*, Pittsburgh, PA, USA, 1987.
- [24] J. Breuker and B. Wielinga. KADS: Structured Knowledge Acquisition for Expert Systems. In *Proc. of the 5th International Workshop on Expert Systems and their Applications*, Avignon, France, 1985.

- [25] J. Breuker and B. Wielinga. Models of Expertise in Knowledge Acquisition. In Guida and Tasso, editors, *Topics in Expert System Design*. North-Holland, Elsevier Science Publishers B.V., 1989.
- [26] E. Brunet and J. Breuker. *La méthode KADS pour le développement des systèmes à base de connaissances*. Avignon, Mai-Juin 1990.
- [27] T. Bylander and B. Chandrasekaran. Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning : the 'Right' Level of Abstraction for Knowledge Acquisition. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26:231-244, 1987.
- [28] B. Chandrasekaran. Generic Tasks as Building Blocks for Knowledge-Based Systems : the Diagnosis and Routine Design Examples. *The Knowledge Engineering Review*. September 1988.
- [29] B. Chandrasekaran. Towards a Functional Architecture for Intelligence Based on Generic Information Processing Tasks. In *Proc. of the 10th IJCAI*, pages 1183-1192, Milan, Italy, August 1987.
- [30] B. Chandrasekaran, M. C. Tanner, and J. R. Josephson. Explanation : the Role of Control Strategies and Deep Models. *Expert Systems : the User Interface*, 1987.
- [31] J. Charlet. Acquisition de connaissances et raisonnements dans un système expert de seconde génération. In *9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications, Conférence spécialisée Systèmes experts de seconde génération*, pages 175-191, Avignon, France, Mai-Juin 1989.
- [32] J. Charlet and O. Gascuel. Knowledge Acquisition by Causal Model and Meta-Knowledge. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 212-225, Paris, July 1989.
- [33] T. Y. L. Chiang and D. C. Brown. DSPL ACQUIRER - A System of the Acquisition of Routine Design Knowledge. In Srirani and Adey, editors, *Proc. of the 2nd Conference on Applications of Artificial Intelligence in Engineering*, pages 95-110, Mech. Comp. Publ., Cambridge, MA, USA, August 1987.
- [34] W. J. Clancey. Heuristic classification. *Artificial Intelligence*, 27(3):289-350, December 1985.
- [35] F. Coisman and J.F. Puget. Outils d'aide à la validation de bases de connaissances : modules de spécification et de validation, October 1989.
- [36] B. W. Crandall. A Comparative Study Of Think-Aloud And Critical Decision Knowledge Elicitation Methods. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):144-146, April 1989.
- [37] H. Davis. Using models of dynamic behavior in expert systems. In *9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, pages 393-404, Avignon, France, Mai-Juin 1989.
- [38] R. Davis and D. Lenat. *Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence*. McGraw-Hill, New-York, 1982.
- [39] P. de Greef and J. Breuker. A case study in Structured Knowledge Acquisition. In *Proc. of the 9th IJCAI*, pages 390-392, Los Angeles, CA, August 1985.
- [40] P. de Greef and J. Breuker. A Methodology for Analysing Modalities of System/User Cooperation for KBS. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 462-473, Paris, July 1989.
- [41] J. Diederich. Knowledge-based Knowledge Elicitation. In *Proc. of the 10th IJCAI*, pages 201-204, Milan, Italy, August 1987.
- [42] J. Diederich, I. Rulmann, and M. May. KRITON: a Knowledge-Acquisition Tool for Expert Systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, 26:29-40, 1987.
- [43] R. Dieng and B. Trousse. 3DKAT, a Dependency-Driven Dynamic-Knowledge Acquisition Tool. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Knowledge engineering*, pages 85-93, Madrid, Espagne, 17-21 October 1988.
- [44] R. Dieng and B. Trousse. Utilisation de connaissances graduelles en intelligence artificielle. In *Actes des 9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, pages 407-415, Avignon, France, Juin 1989.
- [45] S. M. Easterbrook. Distributed Knowledge Acquisition as a Model for Requirements Elicitation. In *Proc. of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 530-543, Paris, July 1989.
- [46] EC2. *10èmes Journées Internationales sur les systèmes experts et leurs applications : Catalogue de l'Exposition*. Avignon, Mai-Juin 1990.
- [47] EC2. *10èmes Journées Internationales sur les systèmes experts et leurs applications, Systèmes experts de seconde génération*. Avignon, Mai-Juin 1990.

- [48] M. P. Epp and N. Riera. 3DKAT : Un outil d'aide à l'acquisition des connaissances. 1989. Rapport de stage. DESS-ISI. Sophia-Antipolis.
- [49] K. A. Ericsson and H. A. Simon. Verbal report data. *Psychological review*, 87(3):215-251. May 1980.
- [50] P. Erkhund and J. Kellett. Prospects for Conceptual Graphs in Acquisition Interfaces. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 169-179. Paris. July 1989.
- [51] L. Eshelman. MOLE: A knowledge acquisition tool that buries certainty factors. *International Journal of Man-Machine Studies*, 29:563-577. 1988.
- [52] L. Eshelman. MOLE: A Knowledge-Acquisition Tool for Cover-and-Differentiate Systems. In Marcus, editor, *Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems*, pages 37-80. Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [53] L. Eshelman and J. McDermott. MOLE: A knowledge acquisition tool that uses its head. In *Proc. of the 5th National Conference on Artificial Intelligence*, pages 950-955, Philadelphia, USA, August 1986.
- [54] E. Faisandier. Introduction des conditions dans l'outil d'acquisition des connaissances 3DKAT. Novembre 1989. Rapport de stage. ENSIMAG.
- [55] B. Bredeweg G. Schreiber, J. Breuker and B. Wielinga. Modelling in KBS Development. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 7.1-7.15. Bonn, RFA. June 1988.
- [56] B. R. Gaines. Knowledge Acquisition : the continuum linking machine learning and expertise transfer. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 90-101. Paris, July 1989.
- [57] B. R. Gaines. Second Generation Knowledge Acquisition Systems. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, page A3. Reading University. September 1987.
- [58] B. R. Gaines. Second Generation Knowledge Acquisition Systems. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 17.1-17.14. Bonn, RFA. June 1988.
- [59] B. R. Gaines and M. Shaw. A Knowledge Acquisition Extension to NOTECARDS. In *Proceedings of the 1st European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 87)*, page C1. Reading University. September 1987.
- [60] J. F. Gallouin. *Transfert de connaissances : Systèmes Experts : Techniques et Méthodes*. Editions Eyrolles, 1988
- [61] J. G. Gauascia. EKAW 90 Tutorial Notes : Machine Learning. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 287-296. Paris, July 1989.
- [62] D. Gertner and A. L. Stevens. *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, NJ, 1983.
- [63] S. Geyres. Une approche industrielle de la validation et de la vérification des systèmes à base de connaissances. *Génie logiciel et systèmes experts*, 16:25-35. Septembre 1989.
- [64] M. Haers and G. d'Ydewalle. The Problem of Knowledge Extraction with Human Experts : A Case of Expert Verbalizations. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 19-33. Paris. July 1989.
- [65] M. Halker and U. Welz. Software life-cycle for knowledge-based systems. In *9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, pages 329-342. Avignon. France, Mai-Juin 1989.
- [66] P. Harmon and D. King. *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business*. A Wiley Press Book. John Wiley & Sons Inc., 1985.
- [67] B. Hayes-Roth. Blackboard architecture for control. *Artificial intelligence*, 26:251-321, 1985.
- [68] F. Hayes-Roth, D. B. Lenat, and D.A. Waterman. *Building Expert Systems*. Reading MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1983.
- [69] R. R. Hoffman. A Survey of Methods for Eliciting the Knowledge of Experts. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):19-27. April 1989.
- [70] ILOG. *SMECI Versions 1.41 - 1.42. Manuel de référence*. Paris. Mars 1989.

- [71] V. Jagannathan and A. S. Elmaghraby. MEDKAT: multiple expert DELPHI-based Knowledge Acquisition Tool. In *Proceedings of the ACM NE Regional Conference*, pages 103-110, Boston, MA, October 1985.
- [72] N. E. Johnson. Knowledge Elicitation for Second Generation Expert Systems. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 23.1-23.10, Bonn, RFA, June 1988.
- [73] G. Kahn. MORE: From Observing Knowledge Engineers to Automating Knowledge Acquisition. In Marcus, editor. *Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems*, pages 7-35, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [74] G. Kahn, S. Nowlan, and J. McDermott. MORE: An Intelligent Knowledge Acquisition Tool. In *Proc. of the 9th IJCAI*, Los Angeles, CA, August 1985.
- [75] A. Kawaguchi, R. Mizoguchi, T. Yamaguchi, and O. Kakusho. An Intelligent Interview System for Conceptual Design of Database. In *Proc. of ECAI-86*, 1986.
- [76] A. Kawaguchi, R. Mizoguchi, T. Yamaguchi, and O. Kakusho. SIS: A Shell for Interview Systems. In *Proc. of the 10th IJCAI*, pages 359-361, Vol. 1, Milan, Italy, 23-28 August 1987.
- [77] C. Kellog, R. A. Gargan Jr, W. Mark, J. G. McGuire, M. Pontecorvo, J. L. Schlossbeg, and J. W. Sullivan. The Acquisition, Verification And Explanation Of Design Knowledge. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):163-165, April 1989.
- [78] G. A. Kelly. *The Psychology of Personal Constructs*. Norton, 1955.
- [79] G. Klinker. A Framework for Knowledge Acquisition. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 102-116, Paris, July 1989.
- [80] G. Klinker. KNACK: Sample-Driven Knowledge Acquisition for Reporting Systems. In Marcus, editor. *Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems*, pages 125-174, Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [81] Y. Kodratoff. *Leçons d'apprentissage symbolique*. CEPADUES, 1987.
- [82] J. Koutio and P. Loumamaa. A Graphical Framework for Knowledge Acquisition and Representation. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 490-501, Paris, July 1989.
- [83] A. Kuntzmann-Combelles and C. Vogel. KOD : a support environment for cognitive acquisition and management. In *Safety and Reliability Society Symposium*, 1988.
- [84] L. Lafferty, Jr Koller, A. M., G. Taylor, R. Schumann, and R. Evans. Techniques for capturing expert knowledge: an expert systems / hypertext approach. *SPIE, Applications of Artificial Intelligence VIII*, 1293:181-191, 1990.
- [85] M. Lafrance. The Knowledge Acquisition Grid: A Method for Training Knowledge Engineers. In *Proceedings of the Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop (KAW 86)*, Banff, Canada, Novembre 1986.
- [86] N. Lavrac and I. Mozetic. Methods for Knowledge Acquisition and Refinement in Second Generation Expert Systems. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 554-564, Paris, July 1989. Also in *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (110), October 1989.
- [87] M. Linster. KRITON: a Knowledge Elicitation Tool for Expert Systems. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 4.1-4.9, Bonn, RFA, June 1988.
- [88] M. Linster. Towards a second generation knowledge acquisition tool. *Knowledge Acquisition*, 1(2):163-183, 1989.
- [89] H. Mahé and P. Vesoul. Acquisition des connaissances et adaptation à l'utilisateur: Outils et méthodes. In *Actes des 7èmes journées internationales sur les systèmes experts et leurs applications*, pages 625-645, Avignon, France, Mai 1987.
- [90] S. Marcus. A knowledge representation scheme for acquiring design knowledge. In Tong and Sriram, editors. *Artificial Intelligence Approaches to Engineering Design*. Addison-Wesley, Reading, MA, 1988.
- [91] S. Marcus. SALT: a knowledge acquisition language for propose-and-revise systems. In Sandra Marcus, editor. *Automating Knowledge Acquisition for Expert Systems*, pages 81-123, Kluwer Academic Publishers, 1988.

- [92] S. Marcus. Taking backtracking with acquisition grain of SALT. *International Journal of Man-machine Studies*, 26(4):383-398, 1987.
- [93] S. Marcus and J. McDermott. SALT: a knowledge acquisition language for propose-and-revise systems. *Artificial Intelligence*, 1988.
- [94] M. A. Meyer, S. M. Mniszewski, and A. T. Peaslee. Using three minimally biasing elicitation techniques for knowledge acquisition. *Knowledge Acquisition*, 1(1):59-72, March 1989.
- [95] K. Morik. Integration Issues in Knowledge Acquisition Systems. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):124-131, April 1989.
- [96] S. Moulin. SMAC: a prototype of a modeling and acquisition tool for the expert. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, page , Paris, July 1989.
- [97] M. A. Musen, L. M. Fagan, D. M. Combs, and E.H. Shortliffe. Use of a domain model to drive an interactive knowledge-editing tool. *International Journal of Man-machine Studies*, 26:105-121, 1987.
- [98] R. Neches, W. R. Swartout, and J. Moore. Enhanced Maintenance and Explanation of Expert Systems through Explicit Models of their Development. *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-11(11):1337-1351, November 1985.
- [99] R. Neches, W. R. Swartout, and J. Moore. Explainable (and maintainable) expert systems. In *Proc. of the 9th IJCAI*, pages 382-389, Los Angeles, California, 1985.
- [100] A. Newell, H. Simon, R. Hayes, and L. Gregg. *Report on a workshop in new techniques in cognitive research*. Technical Report, CMU, Computer Science Department, 1972.
- [101] A. Newell and H. A. Simon. *Human Problem Solving*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1972.
- [102] P. Nii. Blackboard systems : the blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures. *AI Magazine*, 7(2):38-53, 1986.
- [103] I. Nordbo, M. Vestli, and I. Solvberg. METAMETH. Methodology for Knowledge Engineering. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 226-238, Paris, July 1989.
- [104] F. Di Primio and G. Brewka. BABYLON: Kernel System of an Integrated Environment for Expert System Development and Operation. In *Proc. of the 5th International Workshop on Expert Systems and their Applications*, pages 573-583, Avignon, France, 1985.
- [105] J. R. Quinlan, P. J. Compton, K. A. Horn, and L. Lazarus. Inductive knowledge acquisition : a case study. *Artificial Intelligence and Expert Systems*, 157-173, 1987.
- [106] S. Regoeczi and G. Hirst. On Extracting knowledge from text : Modelling the architecture of language users. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 196-211, Paris, July 1989.
- [107] J. P. Rosenking, I. C. Hayslip, and J. Eilbert. Traditional and automated approaches for acquiring expert knowledge. *SPIE, Applications of Artificial Intelligence VIII*, 1293:170-180, 1990.
- [108] J. Sandberg, R. Winkels, and J. Breuker. Knowledge Acquisition for Intelligent Tutoring Systems. In *Proceedings of the 2nd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 88)*, pages 27.1-27.12, Bonn, RFA, June 1988.
- [109] R. C. Schank and K. Colby. *Computer Models of Thought and Language*. Freeman, San Francisco, 1973.
- [110] G. Schmidt and T. Wetter. Towards Knowledge Acquisition in Natural Language Dialogue. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 239-252, Paris, July 1989.
- [111] B. Senach. Evaluation de l'ergonomie des interfaces : du prototypage aux systèmes experts. In *ERGO-IA - 90*, pages 85-106, Biarritz, France, Septembre 1990.
- [112] N. Shadbolt and A. M. Burton. The Empirical Study of Knowledge Elicitation Techniques. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):15-18, April 1989.
- [113] M. L. G. Shaw and B. R. Gaines. Knowledge Acquisition : some foundations, manual methods and current trends. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 3-18, Paris, July 1989.
- [114] M. L. G. Shaw and B. R. Gaines. Techniques for Knowledge Acquisition and Transfer. *International Journal of Man-machine Studies*, 27:251-280, 1987.

Table des matières

1	Introduction	2
2	Les classes de problèmes	2
3	Le cycle de vie d'un système à base de connaissances	4
4	Apports d'autres disciplines	6
4.1	Les apports du génie logiciel	6
4.2	Les apports de la psychologie	6
4.3	Autres apports	7
5	Les techniques de recueil des connaissances	7
6	Acquisition des connaissances et modélisation	9
7	Méthodes d'acquisition des connaissances	10
7.1	KADS ²	10
7.1.1	Présentation générale	10
7.1.2	Le langage de modélisation conceptuelle de KADS : KCML	11
7.1.3	Modèles d'interprétation et tâches génériques	12
7.1.4	Le modèle de conception globale	13
7.1.5	Conclusions	14
7.2	KOD ³	14
7.2.1	Le cycle de vie	15
7.2.2	Le modèle pratique	15
7.2.3	Le modèle cognitif	16
7.2.4	Conclusions	17
7.3	MACAO	17
7.3.1	Le modèle cognitif	17
7.3.2	Le cycle de vie	19
7.3.3	Conclusions	19
8	Outils d'acquisition des connaissances	20
8.1	Généralités	20
8.2	Exemples	21
8.2.1	Outils orientés analyse	21
8.2.2	Outils orientés synthèse	22
9	Directions des recherches actuelles	23
10	Conclusions : vers une base de connaissance "cogniti-cienne"	25

- [115] M. L. G. Shaw and J. B. Woodward. Validation in a knowledge support system: construing consistency with multiple experts. *International Journal of Man-machine Studies*, 29:329-350, 1988.
- [116] J. L. Soubie and C. Chabaud. Modèle de validation psychologique des systèmes à base de connaissances. In *ERGO-IA - 90*, pages 225-231. Biarritz, France, Septembre 1990.
- [117] L. Steels. Second Generation Expert Systems. In *Future Generation Computer Systems*, pages 1213-1221, 1985.
- [118] S. Twine. A Model for the Knowledge Analysis Process. In *Proceedings of the 3rd European Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems (EKAW 89)*, pages 253-268. Paris, July 1989.
- [119] P. Verdret. L'expertise en conception de programmes : approche à partir de la notion de satisfaction de contraintes. Juin 1989. Thèse de Doctorat en Psychologie, Université de Rouen.
- [120] W. Visser. Acquisition des connaissances : l'approche de la psychologie cognitive illustrée par le recueil d'expertise en conception. In *Actes des journées Acquisition des Connaissances (JAC 90)*, pages 115-129, Lannion, Avril 1990.
- [121] C. Vogel. Comment qualifier un système expert. *Génie logiciel et systèmes experts*, 16:4-9, Septembre 1989.
- [122] C. Vogel. *Génie Cognitif*. Masson, 1988.
- [123] C. Vogel. How to Qualify Knowledge-Based Systems. In *Proceedings of the 4th COMPASS Conference (COMPASS-89)*, 1989.
- [124] J. N. Warfield. *Societal Systems : Planning, Policy and Complexity*. John Wiley & Sons, 1971.
- [125] I. D. Watson, M. J.R. Shave, and S. Moralee. A knowledge analysis methodology using an intermediate knowledge representation based on conceptual graphs. In *Actes des 9èmes Journées Internationales sur les Systèmes Experts et leurs Applications*, pages 183-198, Avignon, France, Juin 1989.
- [126] T. L. Wells. Hypertext As A Means For Knowledge Acquisition. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):136-138, April 1989.
- [127] B. J. Wielinga and J. A. Breuker. Interpretation of verbal data for knowledge acquisition. In O'Shea, editor. *Advances in Artificial Intelligence*, pages 3-12, Elsevier Science Publishers B. V., North Holland, 1985.
- [128] B. J. Wielinga and J. A. Breuker. Models of expertise. In *Proceedings of the 7th European Conference on Artificial Intelligence*, pages 306-318, Elsevier Science Publishers B. V., North Holland, Brighton, July 1986.
- [129] W. A. Wolf. Knowledge Acquisition From Multiple Experts. *SIGART Newsletter, Knowledge Acquisition Special Issue*, (108):138-140, April 1989.



ISSN 0249 - 6399