

LE TRANSFERT DE LA CONNAISSANCE POUR LA RÉALISATION D'UN SYSTÈME EXPERT

Nathalie DUBUS
LAMA, URA 344 du CNRS
Université Joseph Fourier
Grenoble

Résumé

Réaliser un système-expert signifie qu'il faut transférer des connaissances de l'homme à la machine. La transcription de raisonnements d'experts particulièrement complexes nécessite de passer par des phases d'extraction, de modélisation et de formalisation de la connaissance. Chacune de ces étapes devra faire appel à des méthodes de travail spécifiques. La tâche d'acquisition de la connaissance est certainement la plus complexe, la moins formelle, mais aussi la plus intéressante dans le développement d'un système-expert. L'intérêt qui lui est porté va croissant puisqu'elle conditionne la qualité et la pertinence de l'outil réalisé et son efficacité pour l'aide à la décision dans les domaines de l'environnement et de l'aménagement du territoire.

Mots Clés

Burkina-Faso - Eau - Expertise - Modélisation - Raisonnement - Système-expert - Transfert de la connaissance

Un système expert est un outil informatique permettant de reproduire le raisonnement humain. Le développement du système expert Baobab, dont l'objectif est d'apporter une aide à la décision dans le domaine de la gestion des ressources en eau au Burkina Faso, nous a amené à nous poser nombre de questions sur la connaissance experte, son acquisition, sa modélisation et sa formalisation. En effet, le développement d'un système expert, bien au-delà d'un aspect purement technique, implique de transférer un savoir de l'homme à la machine. Epineux et ardu, ce transfert de la connaissance nécessite de procéder selon une méthode de travail d'autant plus rigoureuse que la connaissance mise en jeu est riche et complexe. Des méthodes d'acquisition de la connaissance ont déjà été mises au point ; nous allons, dans un premier temps, présenter les principales. Cela nous permettra ensuite de positionner la méthode adoptée pour le transfert de la connaissance dans le système expert Baobab. Nous dresserons enfin un rapide panorama des axes de recherche qu'il nous semble judicieux de développer afin d'améliorer ce transfert de connaissances.

1. Les principales méthodes d'acquisition de la connaissance

La tâche de transfert de la connaissance s'insère, au sein de la démarche générale de développement d'un système expert, entre la phase d'identification des buts, fonctions, acteurs et limites du système à réaliser et celle de l'intégration au sein de l'organisme utilisateur (fig. 1).

Figure 1 : Démarche générale de développement d'un système expert



Le transfert de la connaissance est rendu difficile en raison de la nature même de la connaissance experte. Celle-ci a en effet pour caractéristiques d'être compilée (l'entraînement des experts les amenant à rendre réflexe des procédures

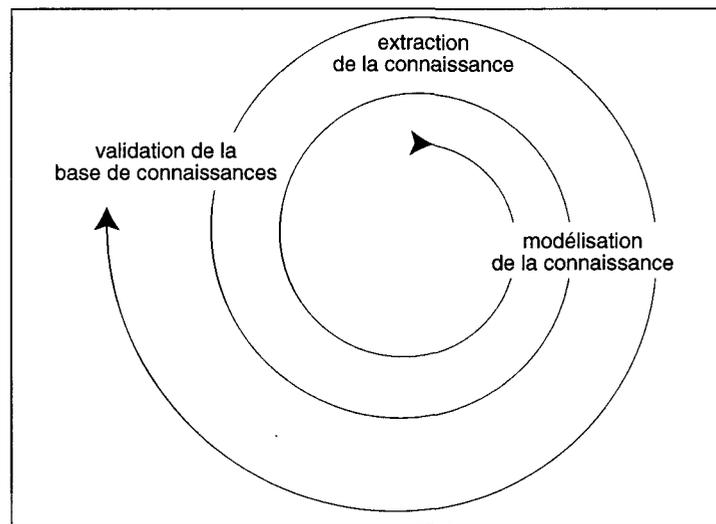
raisonnées), subjective (chaque expert possède une vue très spécialisée de son domaine d'application), volatile (un savoir-faire non utilisé est vite oublié), répartie (détenue souvent par plusieurs spécialistes).

Lors de la mise en œuvre des premiers systèmes experts, les méthodes permettant d'effectuer le transfert de la connaissance depuis le monde réel vers le système artificiel étaient totalement empiriques. Puis elles se sont précisées, structurées (méthodes analytiques), certaines s'automatisant (méthodes automatiques). Nous allons présenter rapidement ces différents types de méthodes, en insistant plus particulièrement sur celles ayant des points communs avec la méthode que nous avons adoptée pour le développement du système expert Baobab.

1.1. La méthode empirique

Les premiers développements de systèmes experts se sont faits sans aucune méthode précise quant à l'acquisition du savoir des experts, les principaux soucis des développeurs se focalisant plus sur le développement du moteur d'inférence. Les cognitivistes, qui étaient souvent les informaticiens eux-mêmes, procédaient de façon itérative, par prototypage rapide, en entrant dans le cycle «extraction de la connaissance-modélisation de la connaissance extraite-validation de la base de connaissances», jusqu'à ce que la base de connaissances soit correcte (fig. 2).

Figure 2 : La méthode empirique d'acquisition des connaissances



Ces méthodes de prototypage rapide donnent peu de chances de voir aboutir la construction d'une base de connaissances cohérente dans des domaines aussi complexes que le nôtre. Elles ont d'ailleurs été peu à peu abandonnées au profit de méthodes plus structurées.

1.2. Les méthodes analytiques

Plus structurées que les méthodes empiriques, les méthodes analytiques d'acquisition de la connaissance nécessitent l'intervention d'un cognitiviste.

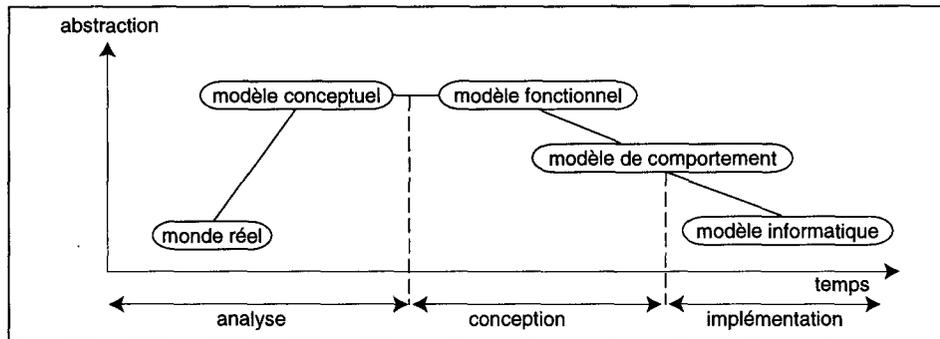
Nous allons brièvement présenter deux de ces méthodes, KADS et KOD, qui ont pour intérêt d'être suffisamment générales pour pouvoir intervenir dans n'importe quel type de domaine, de prendre en compte tout le processus d'acquisition de la connaissance, et de proposer chacune un modèle de la connaissance experte.

1.2.1. KADS (Knowledge Acquisition and Design Support)

KADS est une méthodologie pour la réalisation des systèmes experts dont les grands principes sont les suivants :
– elle se base sur un cycle de vie comprenant différentes phases de développement : analyse, conception, implémentation, installation, utilisation, maintenance et enrichissement des connaissances ;

- l'approche est dirigée par les modèles. En effet, le processus de réalisation d'un système expert est vu comme une activité de modélisation, c'est-à-dire une succession de transformations de modèles (fig. 3) ;
- cette méthode est assortie d'un atelier logiciel guidant la démarche du cognicien (module de conseil pour l'utilisation de la méthodologie, modules permettant la structuration et l'analyse des interviews, la conceptualisation du domaine en entités et relations, la proposition de plusieurs modèles d'interprétation).

Figure 3 : KADS : le cycle de vie d'un système-expert



1.2.2. KOD

La méthode KOD s'inspire en partie de la linguistique. Elle repose sur trois modèles de connaissance (le modèle pratique, le modèle cognitif et le modèle informatique), et sur trois paradigmes (représentation, action, interprétation). Cette méthode s'accompagne d'un logiciel fournissant des outils informatiques garantissant la mise en œuvre de ses différentes étapes, indépendamment de l'implémentation.

Comme KADS, KOD détaille les différentes phases du projet de construction d'un système à base de connaissances, et propose un modèle de connaissances à l'expert. En revanche, elle ne propose rien qui permette de distinguer les différents niveaux de connaissances de l'expert, ce qui peut nuire à l'explicabilité du système ainsi construit.

Ne disposant pas des outils informatiques permettant leur mise en œuvre, nous ne retiendrons de ces deux méthodes que les principes de modélisation successive et de cycle de vie.

1.3. Les méthodes automatiques

L'acquisition des connaissances peut ne pas être traitée par l'intermédiaire humain qu'est le cognicien, mais automatisée. C'est en ce sens qu'ont été conçus différents logiciels. La plupart sont encore des prototypes et ne remplacent pas complètement le cognicien. Ils l'aident en automatisant une partie de sa démarche. « Ces systèmes font souvent plus de l'édition des connaissances que de la véritable acquisition ». L'acquisition des connaissances reste ainsi une tâche vaste et délicate, toujours liée à une présence humaine.

La recherche sur les méthodes d'acquisition de la connaissance est actuellement en plein essor. Face à l'ampleur et à la complexité de la connaissance que nous avons à prendre en compte pour la réalisation de notre système expert, la nécessité d'adopter une approche structurée de transfert de cette connaissance s'est imposée. Les méthodes existantes n'étaient exactement adaptées ni à notre domaine d'étude, ni à nos moyens techniques ; nous nous en sommes cependant inspiré pour élaborer notre propre approche.

2. Méthode adoptée pour le transfert de la connaissance dans le système expert Baobab

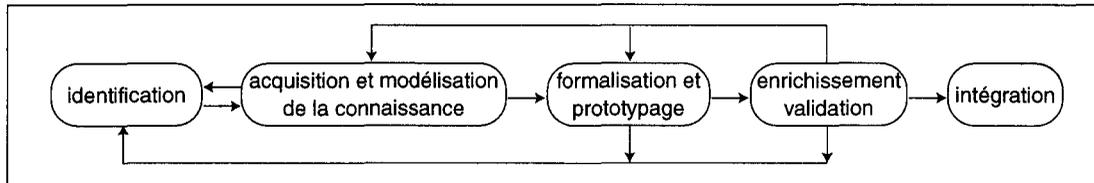
Le système expert Baobab est, nous le rappelons, un prototype d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des ressources en eau en milieu sahélien. Il permet, à partir d'une évaluation des besoins et des ressources en eau d'un village du Burkina Faso, de proposer des aménagements hydrauliques, leurs mesures d'accompagnement et leurs impacts socio-économiques.

La méthode de transfert de la connaissance qui a permis la réalisation de ce système expert a repris certains principes utilisés dans les méthodes présentées précédemment, comme ceux de cycle de vie, de modélisations successives et d'approche « pensée visuelle ».

2.1. Le cycle de vie

Le principe de cycle de vie se traduit par la mise en œuvre des étapes classiques de développement d'un système expert (fig. 4).

Figure 4 : Méthode adoptée pour le développement du système expert Baobab



Le transfert de la connaissance se fait lors des étapes d'acquisition et de modélisation conceptuelle de la connaissance, de formalisation et prototypage, d'enrichissement et de validation du prototype. Il s'amorce cependant dès la première phase d'identification de la tâche à accomplir par le système expert, à travers la définition de ses objectifs, fonctions et limites.

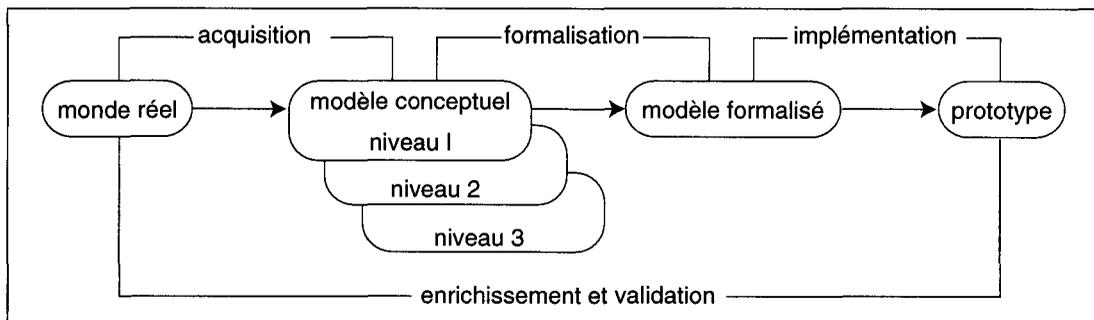
La démarche de développement d'un système expert est moins linéaire dans la réalité qu'elle peut le paraître sur la figure 4. De fortes interactions existent particulièrement entre la modélisation de la connaissance et la technique utilisée. L'outil, par les formalismes de représentation de la connaissance qu'il propose, peut en effet influencer fortement la façon de penser et donc de modéliser. De plus, comme dans la méthode empirique, nous sommes entrés dans un cycle de création de prototypes de complexité et complétude grandissantes. Nous avons ainsi fait un premier prototype simple, intégrant le squelette de notre connaissance, dont nous avons vérifié le bon fonctionnement et la cohérence ; nous l'avons ensuite enrichi de connaissances plus complètes, en revenant aux phases d'acquisition, de modélisation et de formalisation de la connaissance. Ce second prototype a de nouveau été testé, puis amélioré pour réduire ses lacunes et supprimer, redondances et incohérences. Il a ainsi évolué en un nouveau prototype qu'il nous faut à présent valider. La construction de ces prototypes de plus en plus affinés a été réalisée, entre autres, à partir de principes de modélisations successives.

2.2. Les modélisations successives et l'approche « pensée visuelle »

Les principes de modélisations successives et d'approche « pensée visuelle » ont été repris ; ils ont servi à la mise en place d'un système d'emboîtement de modèles conceptuels, conçus sous forme d'organigrammes présentant des niveaux de précision de plus en plus poussés, et aboutissant à un modèle formalisé, construit au moyen des formalismes de représentation de la connaissance du générateur de systèmes experts NEXPERT-OBJECT. Cette approche nous a permis d'appréhender la complexité de l'expertise mise en jeu en ayant une image globale, à partir de laquelle nous avons pu construire un modèle détaillé.

La figure 5 présente ces étapes de transfert de la connaissance du monde réel au monde artificiel, les actions d'acquisition, modélisation, formalisation, enrichissement et validation de la connaissance permettant la production de modèles conceptuels de différents niveaux, d'un modèle formalisé et enfin d'un prototype.

Figure 5 : Etapes du transfert de la connaissance du monde réel au monde artificiel



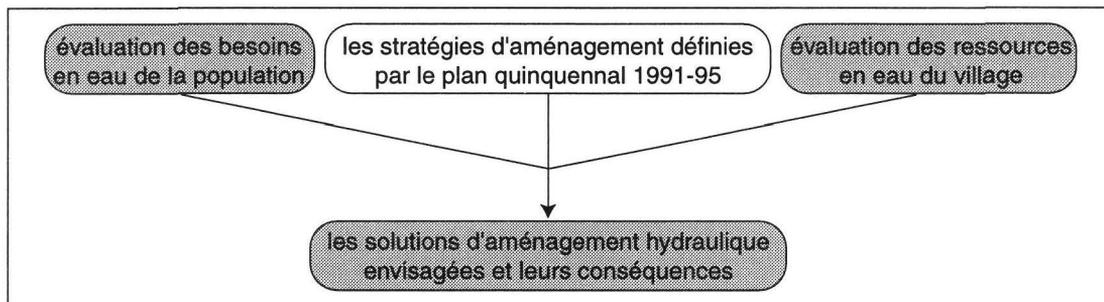
Les modèles conceptuels présentent, par zooms successifs, les éléments clés de l'expertise et leurs liens non explicités. Ils sont conçus indépendamment des formalismes de représentation de la connaissance. Le squelette du

raisonnement est ainsi mis en évidence, l'ensemble de la connaissance vu d'une façon synthétique, avec cependant trois niveaux de précision différents.

2.2.1. Les trois niveaux de la modélisation conceptuelle

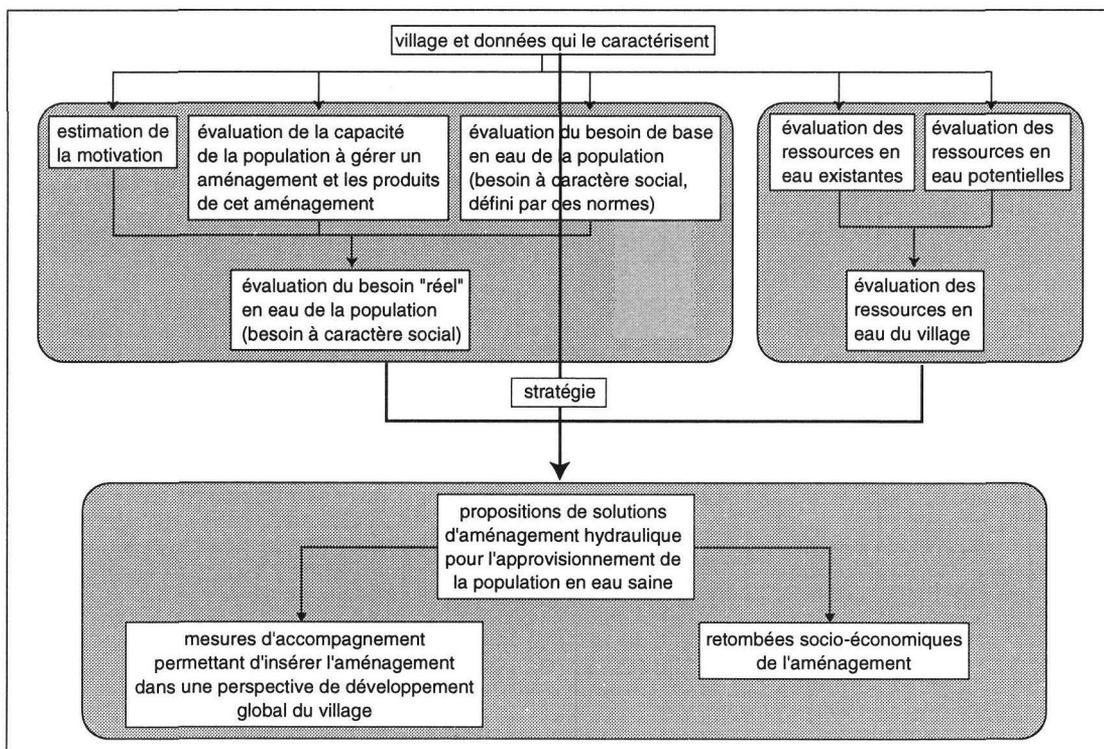
Dans le modèle conceptuel de niveau 1, le plus général, se retrouvent les grands points de la planification des ressources en eau. Nous les regroupons en trois grands pavés : le premier rassemble les éléments permettant d'évaluer les besoins en eau de la population d'un village burkinabé, le deuxième concerne l'évaluation de ses ressources en eau, le troisième traite des solutions hydrauliques préconisées par les experts et de leurs conséquences. Les stratégies d'aménagement représentent les grandes orientations de la politique de planification des eaux définies dans le plan quinquennal 1991-1995. Nous les avons placées au centre des pavés puisqu'elles sous-tendent l'ensemble des raisonnements.

Figure 6 : Modèle conceptuel de niveau 1



Dans chacun des pavés définis précédemment se retrouvent les grandes étapes du raisonnement de l'expert et les points forts qui les composent ; cet ensemble constitue le modèle conceptuel de niveau 2 (fig. 7).

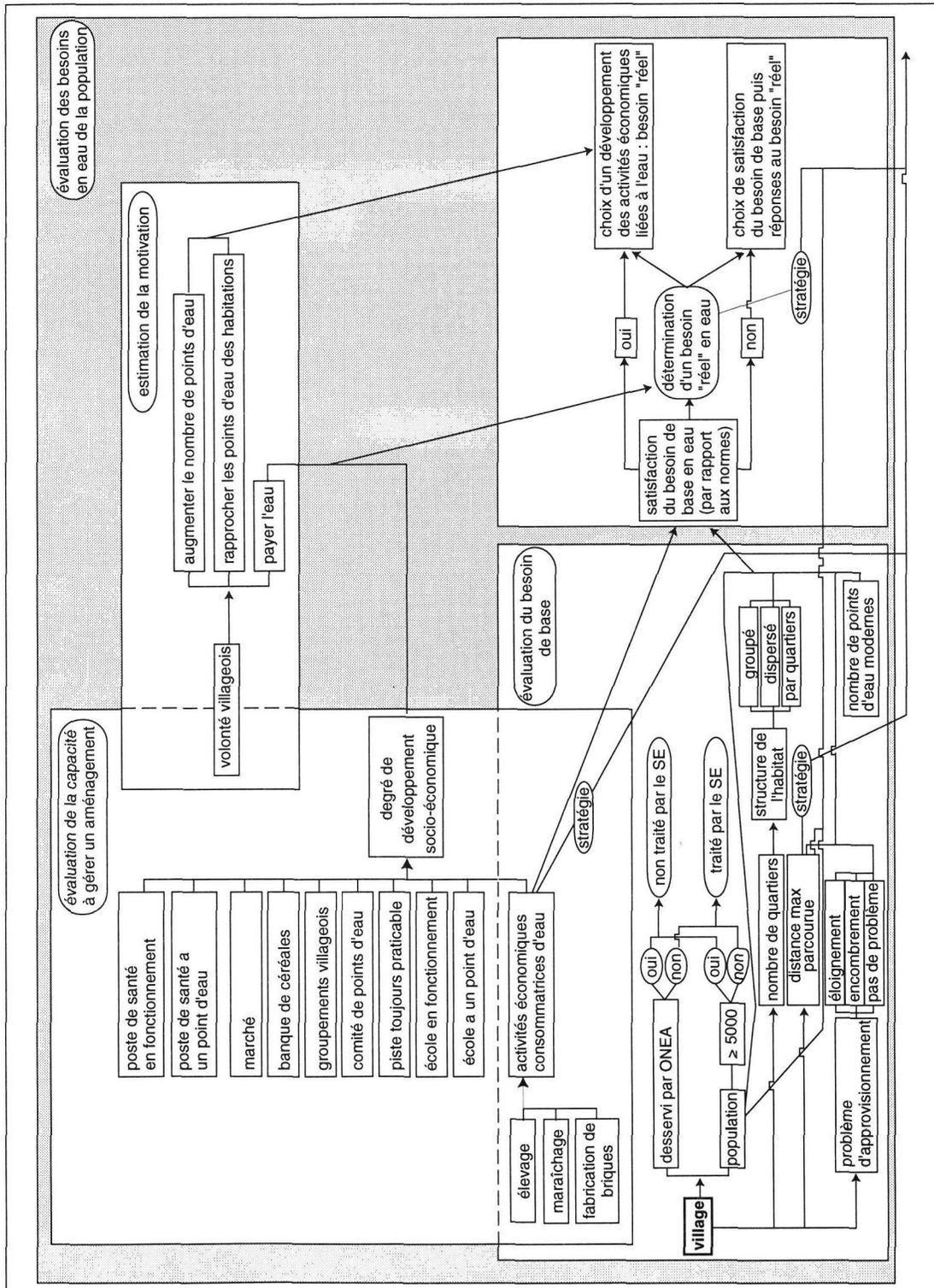
Figure 7 : Le modèle conceptuel de niveau 2



Toutes les estimations sont faites à partir de données caractérisant le village. Nous les retrouvons en détails dans le modèle conceptuel de niveau 3.

Nous ne présentons ici de ce modèle de niveau 3 qu'un extrait qui concerne l'évaluation des besoins en eau de la population d'un village, dans lequel sont identifiés les indicateurs permettant d'évaluer le besoin de base, la capacité de la population à gérer un aménagement et les produits de cet aménagement, sa motivation pour un développement socio-économique potentiel (fig. 8). Dans ce modèle figurent tous les éléments clefs du raisonnement de l'expert, même si aucun des liens les unissant n'est détaillé.

Figure 8 : Extrait du modèle conceptuel de niveau 3 : l'évaluation des besoins en eau



2.2.2. Modèle formalisé et prototypage

Les éléments constitutifs du modèle de niveau 3 forment la trame du modèle formalisé, plus fin, plus analytique, dans lequel se développe tout le détail de la connaissance. On peut considérer que la connaissance repose sur trois composantes :

- des faits ou données brutes qui caractérisent les objets du domaine considéré,
- des règles permettant de manipuler ces données,
- des stratégies de raisonnement exprimant la façon de se servir de ces règles.

Cette connaissance, disséquée, analysée, va être formulée au moyen de formalismes spécifiques :

- les classes, objets et propriétés pour les connaissances structurantes,
- les règles de production pour le raisonnement,
- les stratégies pour la logique de raisonnement de l'expert.

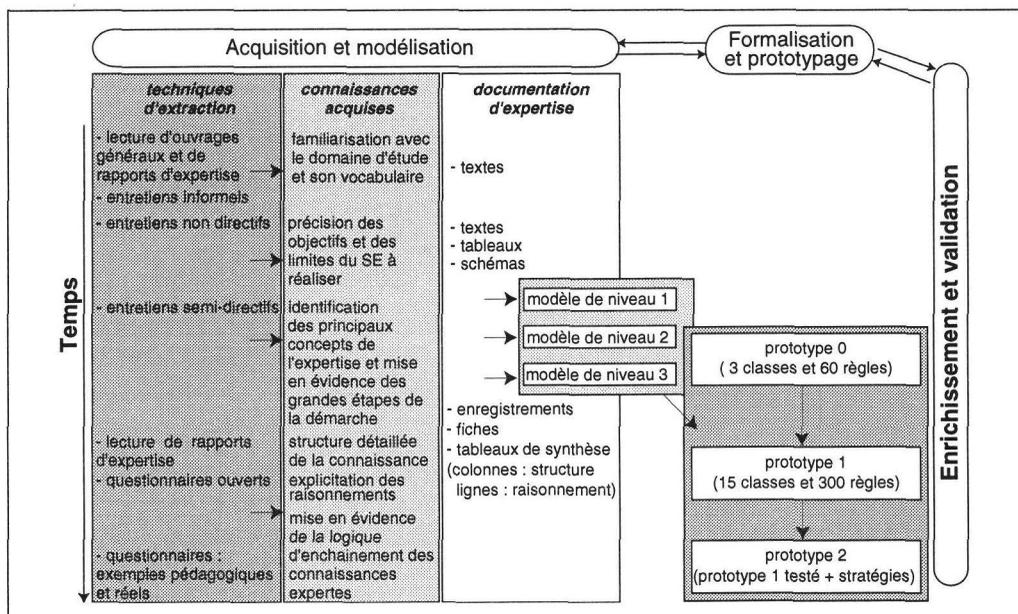
La conception des classes, règles et stratégies est une opération délicate et non linéaire. Nous avons ainsi, dans un premier temps, créé des classes qui ont permis de mettre en évidence une première structuration de notre connaissance. Puis nous avons écrit les règles de production. Ceci faisant, nous est parfois apparue la nécessité de compléter ou de créer de nouvelles classes. Formaliser la connaissance nécessite de la rigueur, de la méthode mais aussi de l'imagination. Le caractère « scientifique » de cette tâche est ainsi nuancé par un aspect plus subjectif : plusieurs voies de formalisation s'offrent souvent à l'esprit. Les choix sont forcément propres à celui qui réalise le système expert. Ils correspondent à son appréhension de l'expertise, à la clarté de son raisonnement, à sa logique de travail et à sa maîtrise de l'outil utilisé.

Cette formalisation permet l'informatisation du modèle, la réalisation d'un prototype. Ce premier prototype est, comme nous l'avons expliqué précédemment, testé, enrichi ; il débouche sur d'autres prototypes, de plus en plus fins et performants. Le dernier prototype doit enfin être validé. Les tests pratiqués se font, dans un premier temps, au moyen d'exemples simples et fictifs, qui permettent de déceler rapidement les premières incohérences et malfaçons du modèle. Pour être véritablement validé, le prototype doit ensuite être testé sur de nombreux cas réels ; les résultats donnés par le système seront observés, discutés, comparés à ceux fournis par les experts.

2.3. Chronique récapitulative du transfert de la connaissance

Afin d'avoir une vision synthétique des différentes étapes de transfert de la connaissance adoptées, nous avons reconstitué une sorte de chronique de ce transfert présentant, pour chaque phase de développement du système expert, son avancement en termes de connaissances acquises, documentation constituée et réalisation de modèles (fig. 9).

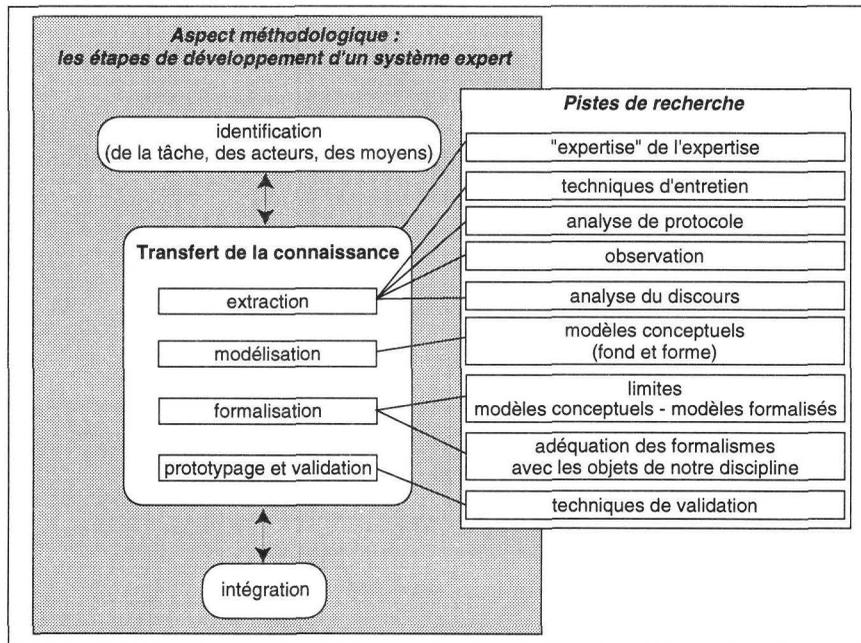
Figure 9 : Chronique du transfert de la connaissance



3. Perspectives de recherche

Le travail de recherche méthodologique sur le transfert de la connaissance pour la réalisation d'un système expert n'en étant, dans notre discipline, qu'à ses prémisses, il nous semble capital de l'approfondir. Nous avons ainsi identifié quelques voies de recherche qu'il nous semble important de creuser, ou, quand elles sont déjà explorées, d'associer à la mise en œuvre d'un système expert. La figure 10 représente ces pistes, liées aux différentes étapes de transfert de la connaissance.

Figure 10 : Pistes de recherche



L'extraction des connaissances sous-entend au préalable que l'on ait une idée précise de ce qu'est une expertise. Une recherche sur l'essence même de cette expertise s'impose ainsi. Nous envisageons donc de travailler sur le thème de « l'expertise de l'expertise ». La connaissance experte est, en effet, particulièrement difficile à appréhender en raison de ses caractéristiques propres. Une expertise se compose généralement de connaissances expertes, faisant appel à des raisonnements, à de la subjectivité, à du savoir-faire, mais aussi de connaissances non expertes, relevant par exemple du calcul mathématique. Identifier ces deux types de connaissances afin de traiter chacun d'entre eux à l'aide d'outils appropriés doit être un des pôles de recherche sur l'expertise même. L'extraction de l'expertise, quant à elle, doit être envisagée en utilisant des méthodes et techniques rigoureuses et poussées. Ces techniques, telles que l'entretien, l'analyse de protocole, l'observation, l'analyse de discours, si elles sont classiquement employées pour le traitement de nombreux problèmes, doivent être utilisées de façon optimale dans notre cas, c'est-à-dire réadaptées aux besoins, à la particularité de notre connaissance. Notre recherche pourra donc porter sur le développement de l'utilisation et l'adaptation de ces techniques à l'extraction d'une expertise.

La connaissance extraite doit constituer ce que l'on peut nommer une documentation d'expertise, dont il serait judicieux de préciser la forme (tableaux, enregistrements, fiches, etc.). Un travail à ce sujet semble ainsi pertinent.

La modélisation des connaissances nous conduit à travailler sur le fond et la forme des modèles envisagés, leur degré de précision, leur succession et leurs imbrications éventuelles, la sémiologie associée s'ils se présentent sous forme graphique. Il semble donc particulièrement intéressant d'utiliser la connaissance et la pratique de la modélisation dans différentes disciplines afin de mettre en place des modèles conceptuels rigoureux, qui permettent de représenter les objets d'une expertise et les raisonnements qui s'y attachent.

Le travail de formalisation des connaissances consiste en une maîtrise des formalismes de représentation de la connaissance proposés par l'intelligence artificielle, afin d'en faire le meilleur usage possible pour la représentation de nos connaissances. Une réflexion sur les limites entre modèle conceptuel et modèle formalisé, sur l'influence de la technique sur la pensée, doit être menée.

Il convient enfin de réfléchir lors de la phase de validation du prototype réalisé aux méthodes et techniques à employer. Cette partie de la recherche est capitale puisqu'elle conditionne sa propre crédibilité à travers la confiance que l'on peut accorder à l'outil mis au point, et par conséquent, son opérationnalité potentielle.

Le développement d'un système expert apporte beaucoup sur le plan de la connaissance et de son organisation. Seule, une connaissance poussée permet en effet de faire un modèle qui ne soit pas squelettique. Au-delà du modèle conceptuel, la construction du modèle formalisé, du fait des impératifs de rigueur liés à l'utilisation des formalismes de représentation de la connaissance, met en évidence les déficiences du domaine et amène à acquérir de plus en plus de savoir. Ce balancement entre savoir et organisation du savoir par enrichissement réciproque est une excellente méthode de progression dans le travail scientifique. Mettre au point un système expert oblige ainsi à structurer un savoir complexe et peu organisé, à construire des modèles de plus en plus poussés. L'acquisition de la connaissance, qui passe par des phases d'extraction, de modélisation et de formalisation, est certainement la partie du travail la plus difficile mais aussi la plus enrichissante pour le géographe, qui non seulement engrange un savoir nouveau, mais est amené à mettre au point et suivre une méthodologie rigoureuse.

Ce type de travail permet donc d'allier recherche théorique et recherche appliquée. En effet, la réflexion menée sur l'appréhension de l'expertise, les méthodes d'acquisition et de modélisation de la connaissance peuvent permettre à terme la réalisation d'outils opérationnels d'aide à la décision intégrables au monde de l'entreprise.