



Le livre de connaissances électronique

Mathias Chaillot, Jean-Louis Ermine

► To cite this version:

Mathias Chaillot, Jean-Louis Ermine. Le livre de connaissances électronique. Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série Document Numérique, Lavoisier, 1997, 1 (1), pp.75-98. <hal-00998819>

HAL Id: hal-00998819

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00998819>

Submitted on 2 Jun 2014

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.

Le livre de connaissances électronique

Mathias Chaillot, Jean-Louis Ermine

Document Numérique, Vol. 1, n° 1/1997, pp. 75-98 (Hermès ed.)

Le livre de connaissances électronique

Mathias Chaillot, Jean-Louis Ermine

*Commissariat à l'Énergie Atomique
DIST/SMTI
Groupe Gestion des Connaissances
Centre d'Études de Saclay
91191 Gif sur Yvette CEDEX*

*Mathias.Chaillot@cea.fr
jlermine@tabarly.saclay.cea.fr*

RESUME : Cet article présente une démarche pour recueillir, formaliser, organiser et restituer des connaissances sous une forme appelée "livre de connaissances électronique". L'élaboration de ce document se fait par modélisation des connaissances. Elle complète les méthodes basées sur la recherche d'information qui visent à exploiter des connaissances en tirant parti d'un fonds documentaire existant. L'approche proposée suppose que la connaissance dans une organisation est à la fois un système de signes et un système complexe. Le processus de modélisation est donc fondé sur la sémiotique et sur la systémique. La restitution est basée sur le processus sémiotique d'interprétation des modèles de connaissances par le lecteur. L'exploration hypermédia y joue un rôle fondamental, ce qui rend critique le travail de conception hypermédia. Une architecture conceptuelle est proposée pour coupler le livre électronique de connaissances avec un outil de recherche d'information afin de disposer d'un système de "gestion du sens".

ABSTRACT: This article describes a method to collect, formalise, organise and display knowledge in what we call an "electronic knowledge book". The development of such a document is based on knowledge modelling. This is a complementary approach to information retrieval, dedicated to knowledge exploitation by using a document base. The proposed method assumes that knowledge in an organisation is seen as a sign system as well as a complex system. Hence the modelling process is built on a semiotic and systemic base. The comprehension by the reader comes from the semiotic process of model interpretation. Hypermedia browsing is then fundamental, hypermedia design is consequently critical. A conceptual architecture is proposed for coupling the electronic knowledge book with an information retrieval tool, in order to get a system for "meaning management".

MOTS CLES : Gestion des connaissances, hypertexte, modélisation systémique, modélisation cognitive, ingénierie des connaissances, système de connaissances, système d'information

KEY WORDS: Knowledge management, hypertext, systemic modelling, cognitive modelling, knowledge engineering, knowledge system, information system

1. Introduction

Le concept de "livre de connaissances" est une problématique mise actuellement en œuvre au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) dans l'optique du recueil et de la capitalisation de connaissances dans de grands projets technologiques et/ou de R&D. L'objectif d'un tel livre est d'une part, de modéliser les connaissances issues d'un projet et d'autre part, de restituer ces connaissances à différents types de lecteurs, la cible n'étant pas connue précisément a priori. La modélisation consiste à expliciter les connaissances accumulées tout au long du projet (ceci se fait le plus souvent en fin de projet) pour les rendre ultérieurement réexploitables par un tiers. La restitution doit être intelligible, attrayante et complète à un certain niveau, c'est à dire constituer un ensemble auto-porteur. La rédaction de ce type de document technique est largement répandue sous des appellations diverses : "*Livre de connaissances*", "*Code de bonnes pratiques*", "*Mémoire technique*"... et avec des objectifs multiples (capitalisation des connaissances, valorisation des connaissances, assurance qualité, audit de gestion stratégique de l'information...). [Pomian96] dresse un panorama récent des différentes approches.

Nous présentons ici une approche méthodologique pour élaborer une version numérique de ce type de documents à partir du concept de "Système de connaissances". Apparue dans les années 1970, le concept de "Système d'information" a largement contribué aux avancées du génie logiciel, cependant ses limites semblent être atteintes pour aborder certains problèmes actuels. Le fait que le sens de l'information dépend de son contexte explique que la gestion de l'information se révèle insuffisante pour répondre aux demandes complexes dans un environnement changeant. Ce point de vue est conforté par le bilan des efforts considérables investis ces dernières années dans les développements informatiques pour "triturer" l'information afin de lui redonner du sens. Le concept de "Système de connaissances" est donc proposé pour gérer le sens de l'information selon différents objectifs tels que la capitalisation de connaissances, la cohérence dans un fonds documentaire, les instruments d'aide à la conduite...

La rédaction d'un livre de connaissances électronique sur un grand projet constitue indéniablement un projet ambitieux et susceptible d'être controversé. Son positionnement entre le recueil de textes scientifiques et l'ouvrage de vulgarisation est délicat. L'approche par la modélisation des connaissances doit encore montrer sa faisabilité, après de

nombreux échecs ou déceptions de "l'ingénierie des connaissances" issue de l'intelligence artificielle (IA), dont les résultats n'ont certainement pas été à la hauteur ni des objectifs annoncés, ni des coûts constatés. Aussi la tentation d'abandonner les formalismes de modélisation des connaissances pour revenir à une rédaction en texte libre est légitime. L'approche proposée ici n'est pas celle des systèmes à base de connaissances de l'IA qui se préoccupent de la résolution de problèmes. Elle vise à créer un environnement de partage de connaissances capitalisées, un outil de transfert de ces connaissances. Elle est préoccupée surtout par le processus d'interprétation du livre de connaissances par le lecteur et pour cela utilise les aspects dynamiques des documents hypermédia. Nous utilisons le terme hypermédia pour désigner un document numérique qui contient du texte organisé de façon non linéaire (hypertexte), c'est à dire avec des liens de navigation, ainsi que d'autres formats de représentations (schémas, plans, images...). Pour notre objectif qui se situe à mi-chemin entre le livre et le logiciel, nous nous efforçons de distinguer respectivement la rédaction et le développement informatique, le lecteur et l'utilisateur, et enfin l'interprétation et l'utilisation interactive.

La première partie de cet article étudie la problématique du livre de connaissances électronique et précise les différents principes et les choix méthodologiques. Ensuite la méthode MKSM, qui est utilisée pour analyser les systèmes de connaissances, est décrite brièvement. Puis sont présentées la conception et la réalisation du document numérique à partir des modèles de connaissances. La dernière partie propose une extension de cette approche pour passer du livre de connaissances à un instrument plus général de "gestion du sens".

2. Problématique du livre de connaissances électronique

Le livre de connaissances électronique est un cas particulier de document numérique, dont l'élaboration est guidée par la problématique des systèmes de connaissances [Ermine96a]. Le terme "élaboration" est pertinent car il recouvre l'activité informatique de développement d'une application hypermédia tout autant que celle de rédaction d'un document. La démarche proposée est basée sur plusieurs hypothèses qui conditionnent les processus de rédaction et de mise en forme du document. La définition de document retenue ici englobe tout travail humain avec une intention de communication, et enregistré sur un support matériel. Ce support est logiciel dans le cas du document numérique. Un livre de connaissances est donc un instrument de communication et de partage des connaissances liées à un projet.

2.1. Conserver le sens de l'information

La pratique montre qu'en stockant, en conservant, en amassant toute l'information qu'on juge pertinente sur un sujet, et pourvu qu'on ait choisi un système informatique compatible avec les normes en vigueur, on a l'impression d'assurer la conservation des connaissances sur le sujet. Ce sentiment est incompatible, et l'expérience le confirme, avec le fait que le sens de l'information dépend du contexte dans lequel elle a été émise et avec le temps, ce contexte change alors que l'information reste. Ce contexte n'étant pas mémorisé, la collectivité l'oublie et peine à redonner du sens à l'information qu'elle détient.

Ce phénomène d'oubli intervient également pour les informations scientifiques ou plus généralement celles des bases de données. Pour s'en convaincre, il suffit d'évoquer le projet mené par l'IPSN (Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire) en 1990 pour transférer à l'AIEA (Agence Internationale pour l'Énergie Atomique) l'historique de la dosimétrie des personnels du CEA, en vue d'une étude épidémiologique internationale sur les travailleurs du nucléaire. Cet historique de la dosimétrie au CEA couvrait presque cinquante années et pour une seule grandeur numérique, la mesure de la dose d'irradiation des personnels exposés. Ce problème qui paraît simple au premier abord, a en fait nécessité la capitalisation des connaissances du dernier acteur capable de restituer tout l'historique de l'interprétation des doses mesurées. En effet, les modifications techniques des dispositifs de mesure (les dosimètres), les évolutions méthodologiques de l'interprétation, les changements d'unité (gray et rad, sievert et rem), les découvertes en radioprotection et les restructurations successives du CEA rendaient la base incohérente. Il a donc fallu reconstituer un système de signification cohérent et fiable à des fins épidémiologiques ([Leblanc94]). Cet exemple montre qu'une mesure, associée à une variable connue de tous, perd une partie de son sens avec le temps. Ce phénomène d'oubli est encore plus rapide pour les informations associées à des expériences complexes.

Le problème d'oubli du sens de l'information est aujourd'hui plus que jamais au centre des préoccupations avec l'arrêt de certains programmes. Il est probable que les expériences de programmes terminés serviront dans le futur à évaluer de nouvelles hypothèses. La démarche adoptée est donc de mémoriser systématiquement des centaines de grandeurs numériques mesurées avec des technologies différentes sans savoir au préalable dans quel but elles seront exploitées. On comprend donc que le CEA se préoccupe des sciences de l'information pour conserver le sens des informations stockées sur le long terme, en vue de leur exploitation future. C'est l'un des buts principaux des livres de connaissances.

2.2. Une alternative : texte libre ou modélisation

Il est possible d'envisager le livre de connaissances comme recueil de documents en texte libre rédigés par les différents experts concernés par le domaine pris en compte. Dans le cas d'un domaine scientifique, le texte libre comporte des formalismes scientifiques (les équations des modèles mathématiques associées aux modèles physiques) qui sont organisés dans une argumentation présentée en langage naturel. C'est pourquoi nous désignons cette stratégie de rédaction par "l'approche texte libre" bien qu'elle comporte des formalismes scientifiques. C'est la démarche habituelle des publications scientifiques. L'élaboration du document est alors guidée par la rédaction de documents papier dont la mise en forme est ensuite adaptée au support numérique avec les techniques de conception hypermédia.

Par modélisation nous désignons une stratégie de rédaction basée sur l'utilisation combinée de plusieurs formalismes axiomatiques. Un formalisme axiomatique est défini par une grammaire formelle qui peut être syntaxique (cas des règles de production) ou bien graphique (cas du formalisme SADT). Le processus de construction de ces modèles constitue la phase de modélisation des connaissances, les résultats obtenus sont des diagrammes appelés modèles de connaissances. Les documents rédigés en langage naturel peuvent évidemment être intégrés dans cette approche en les positionnant par rapport aux différents modèles (voir section §5). Ce sont deux approches distinctes pour aborder la rédaction d'un livre de connaissances. La stratégie de rédaction en texte libre est classique et intégrée à la "culture scientifique" actuelle, elle a été souvent utilisée avec succès mais dans le cas de projets importants ou complexes, elle atteint ses limites. Nous développons dans les sections suivantes des arguments en faveur de l'approche par modélisation.

2.3. L'approche par texte libre

La rédaction en texte libre d'un chapitre par un expert, un spécialiste, un scientifique, confronte ce dernier à un problème maintes fois rencontré, populairement dénommé "l'angoisse de la page blanche". Comment, devant l'étendue des aspects scientifiques et techniques qu'il maîtrise et qu'il utilise, peut-il trouver un scénario pour présenter une synthèse de ses connaissances qui soit pertinente et auto-porteuse ? Si la rédaction d'une publication scientifique pour une revue spécialisée ou d'un rapport technique pour une phase de projet est une tâche courante, la rédaction d'une contribution à un livre de connaissances est nouvelle. En effet, une publication scientifique est destinée à un public de lecteurs avisés qui ont a priori effectué le même effort d'accumulation de connaissances que l'auteur. C'est pourquoi les tentatives de rédaction de livres de connaissances montrent que pour de nombreux experts laissés seuls face à ce travail, cette situation aboutit à un blocage, exceptés parfois ceux qui pratiquent l'enseignement dans leur activité professionnelle.

Par ailleurs, l'expert n'est pas isolé, car une activité sur un grand projet implique nécessairement plusieurs experts sur plusieurs domaines. Cette diversité des points de vue pose le problème du partage de la rédaction. L'approche courante consiste à découper le livre de connaissances en chapitres et à désigner un responsable pour la rédaction de chaque chapitre. À lui de coordonner les différents experts qui sont impliqués dans sa partie. Cette stratégie de rédaction est éprouvée mais elle n'apporte pas de solution au problème de la page blanche et elle ne garantit pas l'homogénéité de la structure et de la présentation. Dès lors, elle ne facilite pas la vérification de la cohérence des différentes contributions et surtout elle n'apporte pas de solution au problème de la délimitation des connaissances intéressantes par rapport à celles qui sont supposées connues. Le risque est alors grand d'obtenir un ouvrage dont chaque partie n'est accessible que par les spécialistes du sous-domaine concerné. On manque ainsi l'objectif initial de fournir une vision globale sur les connaissances liées au projet et le document fourni est d'une grande hétérogénéité.

2.4. L'approche par modélisation du système de connaissances

Les grands projets abordent aujourd'hui des problèmes complexes qui font intervenir des métiers différents (théoricien, technologue, intégrateur, expérimentateur...) sur différents domaines. Ils sont donc caractérisés par des approches multi points de vue. La restitution en langage naturel des connaissances associées à ce type de projets ne peut être satisfaisante. Soit elle tente de restituer chaque point de vue indépendamment des autres, soit elle n'est pas capable de séparer les points de vue, et restitue donc la connaissance dans une confusion néfaste. L'approche par l'analyse et la modélisation des connaissances s'inscrit dans une perspective théorique selon laquelle les connaissances ne nous sont pas données comme objet réel à analyser pour l'expliquer mais qu'elles constituent des phénomènes modélisables selon la finalité de notre projet, le livre de connaissances. Par exemple, la méthode d'analyse des systèmes de connaissances MKSM ([Ermine96a], [Ermine96b]) considère que les connaissances détenues par une organisation constituent un système, au sens de la théorie du système général ([Le Moigne90]) d'une part, et au sens de la sémiotique ([Eco88]) d'autre part. Ces deux hypothèses permettent d'identifier neuf points de vue pour modéliser un système de connaissances. MKSM préconise un formalisme graphique particulier pour chaque point de vue et le résultat d'un projet

MKSM est constitué des neuf modèles associés à ces points de vue. Ces modèles sont étroitement liés, et leur élaboration, si elle se fait séparément, ne peut se faire indépendamment. Des liaisons formelles existent et sont identifiées entre ces modèles. Ces aspects seront développés ultérieurement.

2.5. Organisation du livre de connaissances

L'approche systémique de la modélisation ne cherche pas seulement à analyser les connaissances considérées mais plutôt à les décrire par leurs interactions mutuelles. Ainsi, dans un livre de connaissances, elle aboutit à présenter l'articulation des modèles associés aux différents points de vue retenus pour représenter les connaissances du projet de R&D. L'objectif n'est alors plus d'expliquer les connaissances mais de les rendre intelligibles pour le lecteur. Plus encore, la modélisation des différents points de vue et de leurs interactions permet de maîtriser la complexité du sujet. Cette organisation du livre de connaissances influence fortement le processus de rédaction.

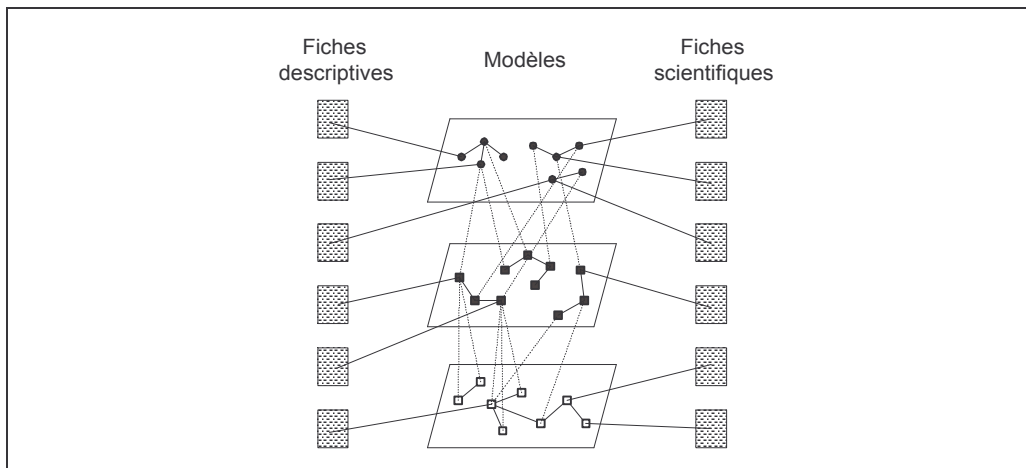


Figure 1 : Organisation du livre de connaissances

Par ailleurs, les modélisations, qui sont des représentations "diagrammatiques", ne sauraient être suffisantes pour transmettre toute la connaissance. L'organisation du document obtenue par la modélisation est donc utilisée comme référentiel commun dans lequel des fiches, (scientifiques, descriptives, etc.) viennent naturellement s'insérer pour affiner et détailler la compréhension des concepts. La position d'un concept dans le référentiel définit la granularité des fiches à rédiger en texte libre. La mise en contexte du concept par rapport aux autres concepts délimite les connaissances qui doivent être explicitées dans la fiche. Ainsi définie par différenciation, la rédaction de cette fiche par l'expert ne provoque pas le blocage de la feuille blanche. Ce référentiel est utilisé pour organiser la rédaction de fiches dans le temps et entre les différents rédacteurs. Leur rédaction peut être abordée selon plusieurs niveaux d'expertise. On dispose alors d'un véritable support pour définir une gestion de projet avec plusieurs niveaux de relecture et de validation qui peuvent s'étaler dans le temps en fonction des disponibilités de chacun.

2.6. Restitution

La problématique de la restitution résulte des choix méthodologiques effectués pour la phase de modélisation des connaissances. En suivant une démarche systémique, on renonce à présenter des définitions pour les concepts modélisés, on préfère les rendre compréhensibles par leurs interactions. Celles-ci décrivent donc plus des "afin de" que des "à cause de" ([Le Moigne90]). Chaque concept peut ainsi être mis en contexte par ses interactions avec les autres concepts et c'est l'exploitation de ces contextes d'interaction qui va permettre la compréhension globale du livre par le lecteur. On favorise ainsi une compréhension par différenciation plutôt que par définition des concepts. Les fiches associées à un concept sont utilisées pour affiner localement cette compréhension globale.

Si cette approche est séduisante du point de vue systémique, elle pose cependant un problème du point de vue sémiotique. En effet, les modèles ne peuvent être interprétés qu'à partir des principes de modélisation qui ont été appliqués et des syntaxes qui ont été utilisées : ces principes sont par exemple les notions de fonction, d'état, de spécialisation, d'agrégation etc. Ce problème apparaît également dans les modélisations employées dans les méthodes de génie logiciel. Pour interpréter un modèle (d'un système de connaissances ou d'un système informatique) il faut rendre explicite les choix méthodologiques et syntaxiques qui ont guidé la modélisation. Les principes de modélisations retenus ainsi que les syntaxes associées constituent un méta-modèle qui doit être assimilé par le lecteur, donc restitué à

son tour. B. Morand ([Morand96]) évacue le problème théorique d'une imbrication récursive infinie des méta-modèles en retenant l'hypothèse que les éléments d'un méta-modèle sont des connaissances universellement partagées.

Appliqué au livre de connaissances, ce constat impose de choisir des formalismes qui sont appropriables, c'est à dire compréhensibles par les différents intervenants du travail de rédaction et de validation. Il faut de plus restituer le méta-modèle utilisé pour la modélisation des connaissances sous la forme d'un guide de lecture, en s'efforçant de rendre ce méta-modèle lui même appropriable par le lecteur.

2.7. Apport de l'hypermédia

Grâce à l'essor des technologies issue de l'hypertexte ([Conklin87]), il est naturel d'aborder l'approche hypermédia pour exploiter la structure du livre de connaissances, et de plus les préoccupations de la restitution évoquées ci-dessus rejoignent les problématiques actuelles du document hypermédia.

Le document hypermédia s'affranchit de la linéarité inhérente au document papier qui oblige l'auteur à déstructurer l'information et le lecteur à reconstituer plus ou moins fidèlement cette structure. Dans le document hypermédia, il n'y a pas de linéarisation par l'auteur ni de délinéarisation par le lecteur, la structure est conservée et directement restituée pour la lecture ([Ginige95]). Nous verrons plus loin qu'en fait la structure initiale de l'information n'est pas restituée intégralement pour la navigation, mais qu'elle fait l'objet de décisions pédagogiques de conception. L'aboutissement des technologies du document numérique permet de distinguer deux types d'applications hypermédia : les catalogues numériques, qui sont des applications hypermédia qui permettent une exploration interactive du contenu d'une base de données et les livres numériques qui guident le lecteur avec un objectif de compréhension pour l'aider à donner du sens à l'information qui lui est proposée.

2.7.1. Catalogue numérique

Cette approche du document numérique vise à proposer à l'utilisateur d'explorer le contenu d'une base de données. Elle suppose de définir les règles de navigation et de présentation de ce contenu. Le catalogue numérique laisse ainsi toute liberté à l'utilisateur de choisir les cheminements qui l'intéressent pour accéder aux informations qui sont supposées non ambiguës.

Les efforts de recherche portent alors sur la méthode de développement pour ce type d'application afin de proposer des solutions techniquement et économiquement satisfaisantes pour gérer les inévitables mises à jour de la base de données. La méthode de génie logiciel pour l'hypermédia est alors directement inspirée du modèle utilisé pour la persistance : relationnel ([Halasz94], [Isakowitz93]) ou objet ([Schwabe95]). En ce qui concerne les aspects ergonomiques, ce sont les problèmes classiques de la navigation hypermédia qui sont abordés : il y a surcharge cognitive lorsque les liens sont trop nombreux et que l'utilisateur ne sait plus lequel choisir pour progresser ; inversement lorsque les liens manquent, il éprouve des difficultés pour retrouver l'information qui l'intéresse, c'est le syndrome du labyrinthe. Les solutions techniques sont pour l'essentiel basées sur des représentations visuelles du contexte de navigation (structure de l'application, index... [Garzotto95]).

2.7.2. Livre numérique

Pour ce type de document numérique dont l'objectif est de faciliter la compréhension, on parle plutôt de lecteur que d'utilisateur. Celui-ci interprète l'information à laquelle il accède de sa propre initiative en explorant les liens de navigation qui lui sont proposés et la combinatoire des chemins possibles est limitée par l'auteur. À ce titre, l'hypertextualité contribue à aider le lecteur dans sa compréhension du contenu du livre. Pour ce faire, le livre numérique restreint volontairement les liens de navigation par rapport aux relations qui organisent le contenu afin d'imposer au lecteur des cheminements jugés pertinents par le rédacteur.

Outre la restitution du contexte de navigation, il est nécessaire de se préoccuper du contexte de compréhension. Plusieurs éléments de solutions sont proposés ([Thüring95]), ils concernent en particulier la représentation visuelle de la sémantique des liens de navigation, ainsi que la réduction de la fragmentation des informations présentées. L'objectif de cette restitution est d'aider le lecteur à dépasser le niveau local de la compréhension de ce qui lui est présenté à l'écran pour atteindre un niveau global de compréhension. Ces préoccupations sont essentielles dans le cas du livre de connaissances électronique dont l'organisation vise justement à rendre intelligible la globalité des connaissances issues d'un projet.

L'exploration hypermédia du contenu se révèle donc puissante pour restituer, en contenu et en contexte, le référentiel construit pendant la phase de modélisation. Mais elle apporte plus en mettant en œuvre des mécanismes de navigation

par inférence qui créent dynamiquement du sens par inférence à partir des liens existants, comme nous le montrerons dans la partie §4.

3. Modélisation du système de connaissances

3.1. Cadre général

La DIST (Direction de l'Information Scientifique et Technique) développe une approche méthodologique, appelée MKSM, pour aborder les problèmes de gestion des connaissances, à l'intérieur et à l'extérieur du CEA. Elle le fait en se plaçant dans le cadre défini par le manuel qualité du CEA qui indique que les unités ont la charge de gérer elles mêmes leurs connaissances. La méthode proposée s'inscrit donc dans une démarche de conseil et tente de satisfaire aux trois exigences suivantes : être suffisamment sophistiquée pour couvrir une large classe de problèmes, être efficace pour produire rapidement des résultats pertinents et être suffisamment simple pour que les unités du CEA puissent se l'approprier.

L'objectif de l'approche MKSM est de promouvoir l'analyse du problème en amont de la gestion des connaissances pour, ensuite seulement envisager les solutions possibles, contrairement à la pratique courante qui consiste à raisonner directement en termes de solutions et d'outils. On observe la même dérive en informatique, où bien souvent le choix ou le développement du logiciel précède l'analyse du problème, écueil que tentent d'éviter les méthodes de génie logiciel. La première solution, naturellement et directement envisageable, qui est étudiée ici, est la réalisation d'un livre de connaissances électronique.

Le postulat de base de MKSM est que l'information, contenue par exemple dans les documents ou les bases de données, constitue la partie visible de la connaissance qui admet également deux autres composantes : le contexte et le sens de cette information. Gérer les connaissances, c'est donc gérer, outre l'information, le contexte et le sens qui lui correspondent. L'approche retenue consiste à modéliser qualitativement ces trois différents points de vue de la connaissance. Les formalismes préconisés pour modéliser le contexte sont basés sur la systémique, ceux proposés pour modéliser le sens sont basés sur le génie cognitif. MKSM s'appuie sur des technologies de l'information pour traiter le point de vue de l'information afin d'obtenir une solution opérationnelle selon les objectifs du projet de gestion des connaissances. L'objectif que nous développons ici est la conception et la réalisation d'un livre de connaissances, comme outil de partage et de transfert. Pour plus de détails on se référera à [Ermine96a] et [Ermine96b].

3.2. Conserver le contexte en modélisant le domaine

La première étape de la méthode MKSM consiste à conserver le contexte en modélisant le domaine, c'est à dire les phénomènes naturels ou artificiels qui sont à la base des connaissances considérées dans le projet de gestion des connaissances. Ces phénomènes sont plus ou moins expliqués par les sciences physiques, chimiques etc. et font donc l'objet d'un enseignement dans ces disciplines. Cependant, le métier auquel on s'intéresse dans le cadre d'un projet de gestion des connaissances, aborde un phénomène naturel selon une vision qui lui est propre : le flux de neutrons produit par la fission provoquée n'est certainement pas considéré de la même manière pour la conception des coeurs de réacteurs, pour les études de criticité, pour la dosimétrie des personnels ou pour l'expérimentation physique. Dès lors les connaissances associées à ce phénomène ne font plus l'objet d'un enseignement académique et la modélisation qualitative du domaine de la neutronique pour l'une ou l'autre des activités précédentes échappe aux traités de neutronique qui font référence.

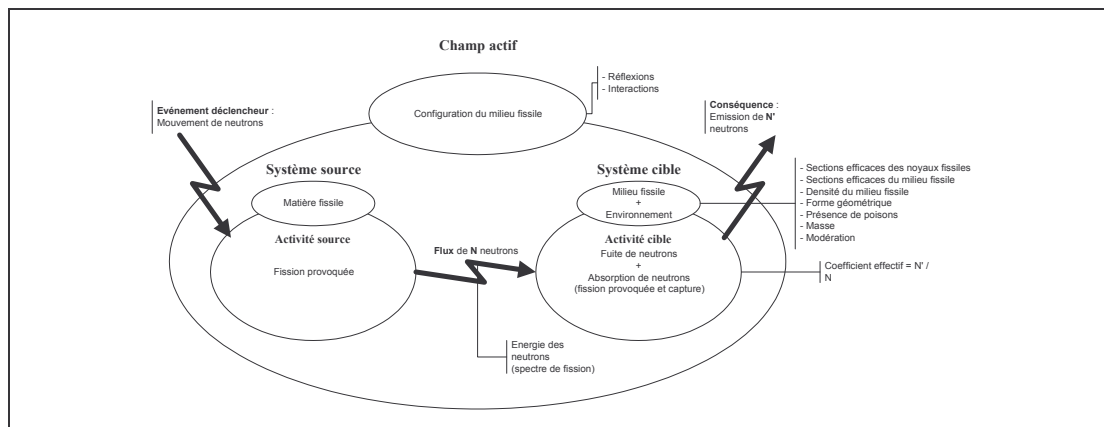


Figure 2 : Exemple de processus : fission spontanée pour les études de criticité (modèle SCFC)

Le formalisme proposé pour cette modélisation du domaine est celui des processus SCFC (Source, Cible, Flux, Champ) qui décrit le phénomène considéré à partir d'un flux qui s'écoule depuis un système source vers un système cible, sous l'influence d'un champ actif extérieur (Figure 2). On peut, si besoin distinguer les processus de base qui sont intéressants, les processus parasites qui doivent être inhibés ou maîtrisés parce qu'ils sont pénalisants. Puis on construit un ou plusieurs scénarios de processus qui décrivent les interactions de déclenchement ou d'inhibition entre ces différents processus.

3.3. Conserver le contexte en modélisant l'activité

La deuxième étape consiste à conserver le contexte en modélisant l'activité, c'est à dire le ou les métiers auxquels on s'intéresse dans le cadre du projet de gestion des connaissances. La dénomination d'une activité, comme le soudage, ne suffit pas à décrire la réalité qui lui correspond. La soudure n'est pas considérée de la même manière dans le cadre de la conception mécanique, de la métallurgie ou du contrôle. Le modèle d'activité vise donc à expliciter qui fait quoi et sur quels objets dans le cadre considéré. Le formalisme proposé pour cette modélisation de l'activité est celui de l'analyse fonctionnelle (proche de SADT). Il permet de décomposer hiérarchiquement les fonctions, d'identifier les flux de matière, d'information ou d'énergie échangés, les acteurs et les dispositifs.

3.4. Conserver le sens en modélisant les concepts

La troisième étape consiste à conserver le sens en modélisant les concepts, c'est à dire la structure statique des notions abstraites qui sont impliquées dans le métier. Ainsi, la géométrie d'une enceinte est abondamment évoquée dans les documents sans préciser qu'on désigne par ce terme la forme de base, la forme supérieure, l'épaisseur des parois, le matériau etc. Le formalisme proposé est proche de celui des réseaux sémantiques utilisés en génie cognitif. En structurant un concept par l'identification de ses parties, de ses spécialisations et des valeurs associées à ses caractéristiques, on explicite le sens donné à l'intitulé d'une notion abstraite.

3.5. Conserver le sens en modélisant les tâches

La quatrième étape consiste à conserver le sens en modélisant les tâches, c'est à dire l'enchaînement dynamique des opérations effectuées pour traiter un aspect particulier du métier considéré : ce sont les stratégies abstraites pour résoudre un problème, les actions manuelles ou automatisées pour réaliser une opération etc. Le formalisme proposé est proche de celui des tâches cognitives utilisées en génie cognitif. En décrivant la décomposition d'une tâche en sous-tâches, les séquences de tâches, les alternatives etc. on explicite le sens donné à la dénomination de la tâche racine de l'arbre de tâches ainsi construit.

3.6. Conserver le contexte en modélisant l'historique des solutions

La cinquième étape consiste à conserver le contexte en modélisant l'historique des solutions dites "procédé" et des solutions technologiques associées. Elles peuvent avoir été envisagées, étudiées, abandonnées, ou retenues pour le procédé. Cet historique est utilisé en ingénierie sous des appellations différentes : arbre des voies technologiques en

conception, argumentaire logique après la conception etc. Il est intéressant de conserver le fait qu'une solution envisagée n'a pas été retenue parce que les sous-traitants habituels ne disposaient pas à ce moment de la technologie correspondante, alors qu'elle sera peut être largement répandue dans quinze ans. Le formalisme proposé est celui d'un arbre dont les noeuds sont les solutions et dont les arcs explicitent les causalités qui les relient entre elles. L'objectif de cette modélisation est d'expliciter les avantages et les inconvénients qui ont été associés à chaque solution.

3.7. Un référentiel pour rendre intelligible

Les différentes étapes décrites brièvement ci-dessus sont basées sur des formalismes graphiques, dont la syntaxe est aussi simple que possible pour pouvoir être la plus largement acceptée. Chaque étape doit être adaptée à la spécificité du projet : la modélisation des connaissances pour une activité de service n'abordera pas le domaine puisqu'il n'y a pas de phénomènes physiques en jeu.

Les résultats obtenus à l'issue de ces étapes de modélisation constituent un ensemble fortement structuré de diagrammes : modèle du domaine, modèle d'activité, modèle des concepts, modèles des tâches et modèle de l'historique des solutions. Un élément d'un diagramme peut être relié à d'autres diagrammes, par exemple pour identifier quels sont les processus qu'une activité tend à inhiber et quels sont ceux qu'elle déclenche intempestivement. On dispose ainsi d'un référentiel composé de diagrammes, qui rend intelligible le métier considéré. Ce type de démarche évite de définir les notions utilisées dans le métier et donc contourne la difficulté attachée à la constitution d'un glossaire. Au contraire, face à la complexité du sujet, elle privilégie une description des notions par différenciation des unes par rapports aux autres. Ce référentiel fournit donc une vision globale et structurée du métier considéré et permet de rendre intelligible l'information contenue dans les documents. C'est ce référentiel qui constitue l'organisation de base du livre de connaissances.

4. Élaboration du livre de connaissances électronique

Le résultat de la phase d'analyse des connaissances se présente sous la forme d'un ensemble de modèles qui rassemblent chacun une formalisation graphique, des fiches descriptives, des fiches scientifiques ou techniques et des fiches documentaires. Nous étudions dans cette partie comment ces différents éléments qui constituent des informations fortement structurées sont utilisés pour la conception d'une application hypermédia.

4.1. Problématique de la conception hypermédia

La conception hypermédia ("authoring" en anglais [Ginige95]) peut être guidée selon trois approches, celle des langages de programmation, celle de la définition d'écrans et enfin celle qui est centrée sur l'information. Cette dernière est actuellement largement prédominante dans les travaux de recherche pour aborder la problématique de la maintenance des applications hypermédia. En effet, la maintenance des liens de navigation lorsque le contenu est fortement évolutif constitue un défi dont les aspects économiques sont importants, et l'absence de solution satisfaisante contribue certainement à la faible pérennité de nombreux serveurs WWW. De manière générale, les différents auteurs ([Boone92], [Garzotto95]) conviennent que, en dépit de l'essor spectaculaire des applications hypermédia, les réponses théoriques et méthodologiques aux problèmes de conception sont encore insatisfaisantes. Trois dimensions sont identifiées sous des appellations variées pour caractériser les applications hypermédia ([Halasz94], [Grosky94]) :

- Le contenu est constitué des informations destinées à être présentées dans l'application. Il prend la forme de textes, de graphiques, d'images ou de vidéo. Le niveau élémentaire de ce contenu correspond aux entités qui sont organisées selon une structure préexistante à l'application.
- Le réseau de navigation est un graphe cyclique ou acyclique dont les noeuds sont les entités du contenu et dont les arcs sont les liens de navigation.
- La présentation décrit comment le contenu et les fonctions de l'application sont montrées à l'utilisateur.

4.2. Organisation du contenu du livre de connaissances

L'information disponible est constituée des résultats de la phase de modélisation des connaissances. Cette phase étant spécifique à chaque projet, les formalismes utilisés sont susceptibles d'être adaptés. Pour aborder la conception hypermédia, il est donc nécessaire de considérer ces résultats à un niveau générique. Cette information est constituée de plusieurs modèles (ensemble cohérent d'expressions dans un formalisme axiomatique), chaque modèle comporte un ou plusieurs graphes dont les noeuds sont les entités prises en compte dans le modèle (ce sont les processus pour le

domaine, les fonctions pour l'activité, les tâches pour l'expertise dynamique, les concepts pour l'expertise statique etc.) et dont les arcs sont les relations qui existent entre ces entités. Deux entités de modèles distincts peuvent être en interaction (un processus est déclenché ou inhibé par une ou plusieurs fonctions, une fonction est réalisée par une ou plusieurs tâches etc.). À chaque entité sont potentiellement associés différents points de vue : fiche descriptive, fiche scientifique, fiche bibliographique etc.

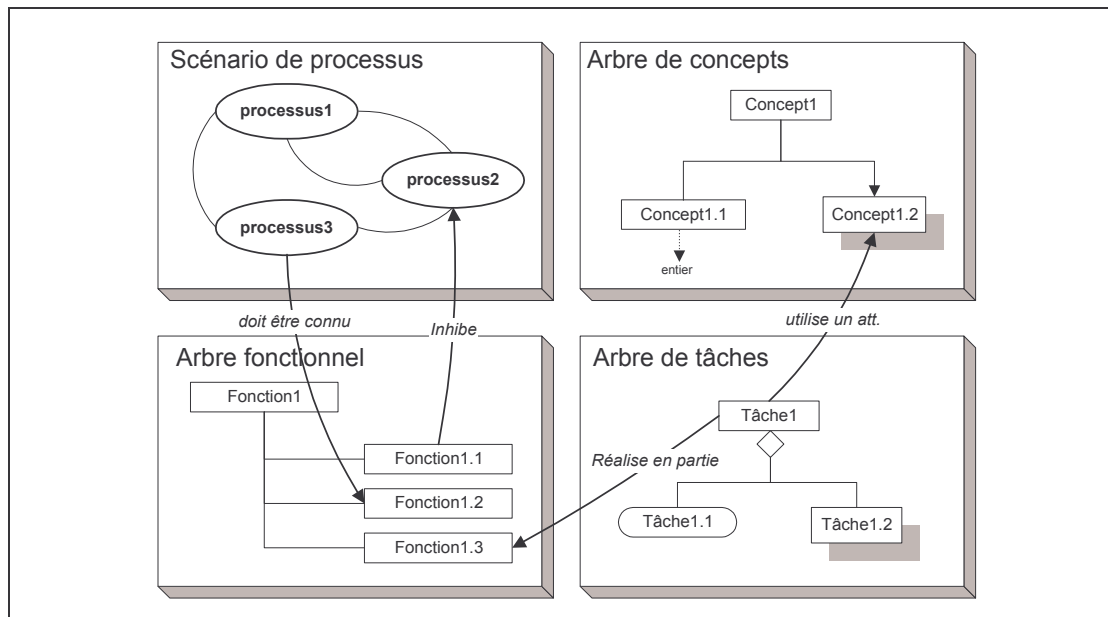


Figure 3 : Vue partielle du contenu de l'application hypermédia

La description du contenu de l'application est abordée en utilisant les formalismes usuels de la modélisation des données. Il s'agit principalement du modèle entité-association (méthode RMM [Isakowitz95]) et du modèle objet OMT (méthode OOADM [Schwabe95]) selon qu'on envisage l'utilisation d'un SGBD relationnel ou orienté-objet. Nous utilisons le modèle objet OMT et le SGBD Poet pour la persistance des modèles MKSM.

4.3. Navigation

L'objectif de la navigation est de proposer des chemins possibles au lecteur pour qu'il puisse explorer le contenu du livre afin de maîtriser la complexité des interactions entre les différents points de vue.

4.3.1. Exploration guidée par la structure du contenu

L'exploration guidée par la structure du contenu est classique dans les applications hypermédia, c'est l'approche du catalogue numérique. Appliquée au livre de connaissances, elle consiste à naviguer à l'intérieur de chaque modèle pour explorer séparément le modèle du domaine, l'analyse de fonctionnement, l'analyse fonctionnelle de dimensionnement, les tâches expertes, les concepts... Pour offrir cette découverte de chaque point de vue, on propose au lecteur les graphes qui constituent les index des entités (scénarios des processus, arbres fonctionnels, arbres de tâches, arbres de concepts etc.). Dans chacun de ces graphes le lecteur peut sélectionner une entité pour l'explorer plus finement à partir des points de vue associés à cette entité (fiche descriptive, fiche scientifique, fiche bibliographique etc.).

4.3.2. Exploration avec inférence

L'exploration avec inférence des interactions entre les modèles peut être illustrée sur un cas concret, le livre de connaissances réalisé sur la conduite des centrales nucléaires en mode dégradé ([Millerat96]). La modélisation du domaine aboutit à un ensemble de 29 processus pour décrire les phénomènes physiques pris en compte dans le fonctionnement en mode dégradé d'une centrale nucléaire. Les interactions d'inhibition et de déclenchement entre les processus constituent le scénario des processus. L'analyse fonctionnelle de l'activité de conduite est faite sous l'angle de la sûreté. On distingue trois grandes fonctions qui sont décomposées en 12 schémas d'analyse fonctionnelle. Les fonctions élémentaires interagissent avec les processus. L'opérateur agit pour inhiber ou maîtriser un phénomène physique gênant (par exemple l'élévation de la température en un point de l'installation), mais cette action corrective a

pour conséquence (directe ou indirecte via les relations entre les processus), d'activer d'autres phénomènes physiques (par exemple une élévation de la pression). Par cet exemple on imagine aisément la complexité de la conduite. La navigation avec inférence permet au lecteur de visualiser tous les processus activés par une fonction particulière, puis de visualiser les fonctions qui à leur tour inhibent chacun de ces processus et ainsi de suite. Le lecteur ici visé est l'opérateur de conduite qui se forme pour comprendre la portée des opérations de conduite.

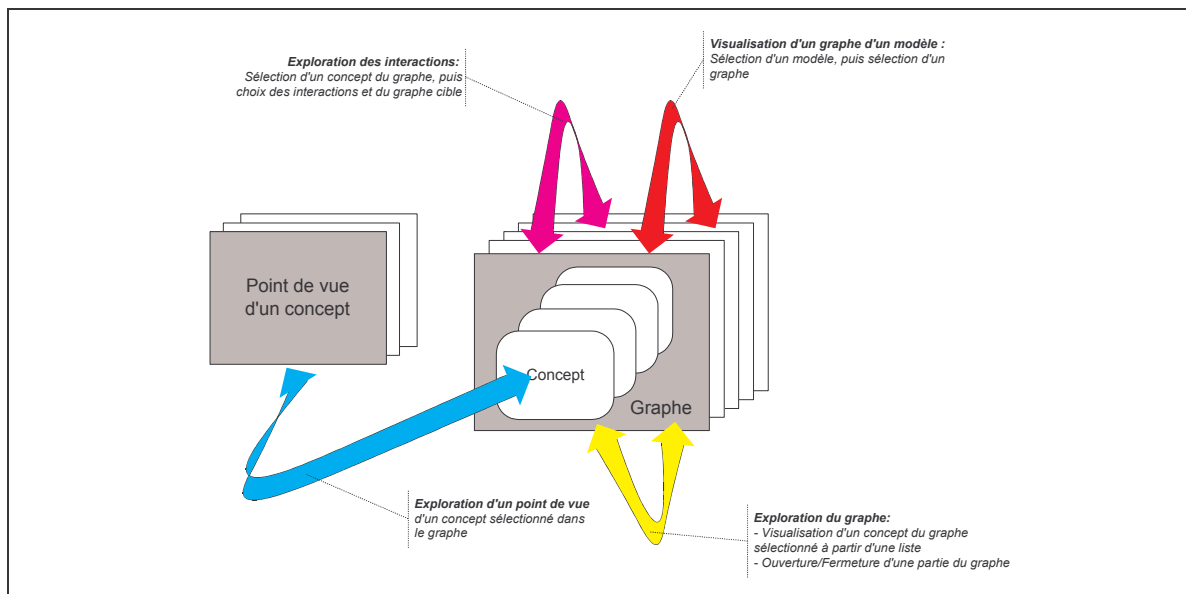


Figure 4 : Les dimensions de navigation dans l'application hypermédia

Cet exemple ne relève plus du catalogue numérique mais de l'exploration des interactions entre les différentes entités, elle exploite les aspects dynamiques de l'approche hypermédia et dépasse les possibilités du document papier, même au prix d'une lecture fastidieuse. Il s'agit en effet de permettre au lecteur de visualiser toutes les interactions d'une entité qu'il a sélectionnées avec les entités des autres modèles. Il s'agit bien d'inférence dans la mesure où on produit du sens par composition du sens de plusieurs expressions axiomatiques (les relations qui décrivent les interactions entre les entités).

La figure 4 illustre les différents axes de navigation hypermédia. Les points de vue d'un concept sont par exemple les fiches scientifiques et descriptives qui lui sont associées. Dans le cas de la conduite des centrales nucléaires en mode dégradé, il est intéressant d'observer le lecteur qui interprète les informations fournies par le livre de connaissances électronique : très rapidement il explore (avec passion semble-t-il !) un cheminement dont l'intérêt échappe totalement aux développeurs de l'application. Il y a bien co-production de sens.

4.4. Réalisations

Plusieurs solutions techniques ont été évaluées pour aborder la réalisation du livre de connaissances électronique.

Le développement avec le langage auteur Toolbook a permis de valider la faisabilité technique. Il s'agit d'un langage auteur basé sur la définition des écrans mais qui offre des possibilités de programmation intéressantes pour développer la navigation avec inférence. Le travail de programmation est cependant trop coûteux en temps et ne permet pas facilement de valider le résultat. De plus, la génération automatique de l'application à partir d'un modèle générique ne peut pas être envisagée, tout au plus peut-on aborder une mise à jour automatique à partir des modifications des données sans évolution de leur organisation.

L'environnement Acrobat constitue une autre approche toute différente, puisqu'il permet de produire une version numérique de la même manière qu'une version papier. À partir de la conversion des sources au format Acrobat, on peut définir manuellement des liens de navigation. On dispose ainsi très rapidement d'un livre numérique à partir des sources de la version papier. Cependant, la définition manuelle des liens de navigation ne permet pas d'envisager une mise à jour automatique, même si une interface de programmation est par ailleurs disponible, elle ne semble pas permettre la navigation avec inférence.

Une approche similaire est actuellement en cours en utilisant le logiciel FrameMaker qui est à la fois un outil de composition et un outil de navigation. Il permet en particulier de soigner la restitution.

Nous explorons actuellement une toute autre approche en développant en C++ avec le Grapher d'Ilog Views un moteur hypermédia abstrait dédié aux modèles MKSM. Cette approche est coûteuse en développements initiaux, mais elle permet d'envisager des évolutions intéressantes. Elle fournit un moteur de navigation hypermédia capable d'interpréter le format des modèles MKSM à partir d'un méta-modèle et de gérer les entités stockées dans une base de données.

4.5. Système de gestion du sens

Cette section décrit le principe général de couplage du livre de connaissances électronique avec un logiciel de recherche d'information en charge du fonds documentaire associé au projet. Cette approche pour instrumenter la gestion des connaissances vise à passer du système de gestion de l'information au système de gestion du sens.

4.5.1. Motivations

L'objectif est de combiner l'exploration hypermédia des modèles MKSM avec la recherche d'information. Les modèles MKSM constituent alors des "menus intelligents" pour accéder aux documents, et inversement, ceux-ci restituent l'information disponible sur les concepts modélisés. La combinaison des deux permet de confronter une représentation a priori des connaissances sur le projet avec celles obtenues par recherche associative dans les documents, connaissances dont la plupart sont largement antérieures à la modélisation.

En ce qui concerne l'état de l'art en recherche d'information, les modèles des connaissances (du domaine seulement) constituent actuellement un important thème de recherche identifié sous la désignation d'ontologies du domaine ([Wang95]). L'objectif visé est de dépasser les limites de la recherche à partir de termes dans les grands corpus documentaires pour guider l'utilisateur en lui fournissant les connaissances pertinentes ([Blair90], [Marchioni95]).

Cette proposition constitue donc une direction commune aux deux disciplines pour instrumenter la gestion du sens en combinant la modélisation des connaissances avec la recherche d'information.

4.5.2. Position théorique par rapport à MKSM

Le couplage du livre de connaissances électronique avec un logiciel de recherche d'information constitue un artefact qui permet d'instrumenter les trois points de vue identifiés par MKSM dans un système de connaissances (figure 5). Cet artefact constitue un système qu'on pourrait appeler une "base de connaissances généralisée" pour le distinguer de l'appellation usitée par l'IA. Il regroupe une base de modèles constitué par l'application de MKSM, une base documentaire constituée par une application GED, et un ensemble de liens qui permettent la navigation hypermédia, tant dans les modèles (livre électronique) que dans les documents (si l'application GED en est pourvue). Une application de type GED est le résultat d'un projet d'ingénierie documentaire qui met en place des traitements informatiques (aspect fonctionnel) sur une base documentaire plus ou moins formatée et structurée (aspect structurel). Elle fournit une matérialisation du point de vue de l'information dans MKSM. Il en serait de même d'ailleurs d'une application de type Base de Données qui met en place des traitements sur des données informationnelles. Les modèles MKSM, mis à disposition du lecteur dans le livre électronique, fournissent un référentiel qui permet à ce dernier de se positionner, par rapport à la masse de documents, d'informations, de textes etc. qui lui sont proposés. Ces modèles permettent donc à l'utilisateur de se référer à un contexte de connaissances dans son utilisation du système. Ils constituent en cela même une matérialisation du point de vue du contexte dans MKSM. La navigation hypermédia dans les modèles MKSM, fournie par le livre de connaissances, ainsi qu'éventuellement dans la base documentaire, permet à l'utilisateur de cheminer selon ses propres schémas cognitifs pour chercher du sens dans le système qu'il explore. L'ensemble des liens hypertextuels matérialisent donc l'aspect sémantique du système qui est le troisième point de vue de MKSM.

L'intégration décrite ci-dessus pose le problème de la confrontation des modèles de connaissances avec le contenu des documents dont l'origine est très souvent antérieure. Nous avons décrit précédemment le processus d'interprétation des modèles MKSM dans le livre de connaissances électronique, interprétation guidée par le graphe de navigation hypermédia. Le lecteur qui explore les interactions associées à un concept particulier par la modélisation MKSM se construit une interprétation (notée I_1) de ce concept.

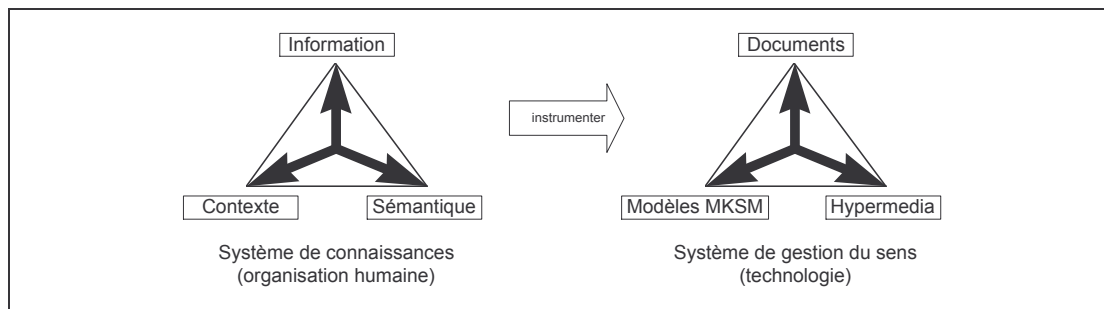


Figure 5 : Du système de connaissances au système de gestion du sens

L'interrogation du fonds documentaire par des techniques de recherche d'information lui fournit de l'information qui lui permet de se construire une autre interprétation (notée I_2) du même concept. Cette confrontation des sens I_1 et I_2 aboutit inévitablement à des incohérences, ne serait ce que du fait des évolutions qui sont intervenues pendant le déroulement du projet et qui ont laissé des traces dans les documents par rapport à l'état courant des solutions retenues. La mise en évidence de ces incohérences est intéressante, elle restitue une partie de la vie du projet et surtout elle permet d'identifier l'information contenue dans le fonds documentaire qui n'est plus pertinente par rapport à l'état actuel des connaissances. De plus, les modèles de connaissances sont l'aboutissement d'une démarche collective qui autorise la restitution de certains événements (les échecs, les oublis...) qui n'apparaissent pas dans les documents. On aborde ainsi le problème de l'information indisponible.

4.5.3. Architecture conceptuelle du logiciel

Nous utilisons le modèle d'architecture conceptuelle proposé dans [Agosti96] pour décrire l'organisation des composants du système proposé (figure 6). Les modèles MKSM sont intégrés dans le moteur hypermédia abstrait présenté dans la partie précédente. À chaque concept de la modélisation est associée une fiche terminologique, composée d'un ou plusieurs termes selon l'effort qu'on accepte de consacrer au travail d'ingénierie linguistique ou bien constituée de la fiche descriptive, ou d'un autre type de fiche, du schéma correspondant. Le fonds documentaire est indexé (index A) par le logiciel de recherche d'information, de même que l'ensemble des fiches terminologiques (index B). On crée ainsi deux bases documentaires différentes exploitables par le même logiciel de recherche d'information. L'implémentation de ces deux bases est plus ou moins simple selon que le logiciel utilisé gère ou non la recherche multi-base séparée (opposée à la recherche multi-base intégrée qui fusionne de facto les documents de plusieurs bases).

4.5.4. Mise en oeuvre

Les étapes de mise en oeuvre sont illustrées par les flèches numérotées sur la figure 6 :

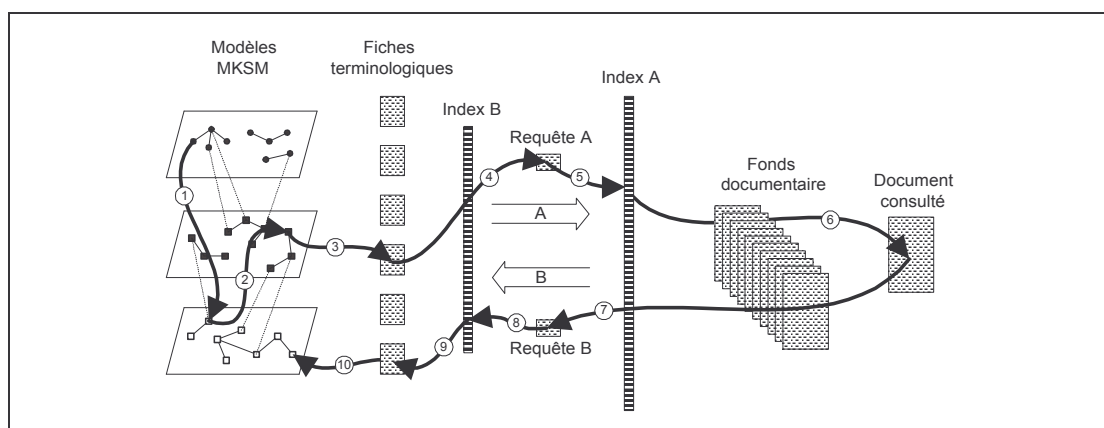


Figure 6 : Architecture conceptuelle du système de gestion du sens

(1) - (2) illustrent l'exploration hypermédia des modèles MKSM, c'est à dire la lecture du livre de connaissances électronique telle qu'elle a été présentée ci-dessus. À partir d'un concept sélectionné, l'utilisateur décide de rechercher les documents qui concernent ce concept.

(3) - (4) : La construction de la requête documentaire (requête A) est faite à partir de la fiche terminologique associée au concept sélectionné. Cette requête peut être générée automatiquement à partir des termes associés au concept puis affinée en proposant à l'utilisateur de la compléter selon les préoccupations de sa recherche (structure, fonctionnement, comportement du concept).

(5) - (6) : Le logiciel de recherche d'information analyse cette requête et la positionne par rapport à l'index (index A) du fonds documentaire pour identifier les documents pertinents pour cette requête. L'utilisateur sélectionne parmi ces documents celui ou ceux qu'il souhaite consulter. Il peut également étudier le contenu du fonds documentaire en soumettant successivement plusieurs requêtes documentaires.

(7) : Lorsque l'utilisateur identifie à l'intérieur d'un document une expression qu'il souhaite interpréter dans les modèles MKSM, il construit une nouvelle requête documentaire (requête B) à partir de cette expression.

(8) - (9) - (10) : Le logiciel de recherche d'information analyse la requête et la positionne par rapport à l'index des fiches terminologiques (index B) pour identifier les fiches terminologiques pertinentes pour cette requête. L'utilisateur sélectionne parmi ces fiches celle qui lui semble la plus pertinente par rapport à ses préoccupations. La sélection de cette fiche terminologique positionne l'utilisateur sur le noeud qui lui correspond dans les modèles MKSM. Dès lors l'expression initialement identifiée dans un document devient intelligible et peut servir de point de départ à une nouvelle exploration du livre de connaissances.

4.5.5. Vers un centre de ressources

La réalisation de ce type d'application informatique soulève des difficultés évidentes du point de vue ergonomique pour aider l'utilisateur à maîtriser les possibilités qui sont mises à sa disposition. L'effort de développement informatique sous-jacent justifie une utilisation collective du résultat au travers d'un environnement réseau. Plus encore, la mise en œuvre sur un serveur WWW constitue actuellement la solution technique la plus prometteuse pour séparer la gestion de ces informations de leurs interfaces de présentation.

L'architecture conceptuelle décrite ci-dessus présente l'avantage important de séparer la gestion des modèles MKSM de la gestion du fonds documentaire. On peut donc procéder de manière incrémentale pour aboutir progressivement à une version satisfaisante de la modélisation des connaissances sans affecter la pérennité du fonds documentaire. La gestion électronique de documents scientifiques et techniques positionnés dans un référentiel de modèles de connaissances constitue à notre avis une approche intéressante pour élaborer un centre de ressources. Il s'agit d'une préoccupation importante soit pour exploiter les connaissances associées à un gros projet soit pour partager les savoirs et savoir-faire entre différents partenaires.

5. Conclusion

Nous avons étudié certains aspects de la rédaction d'un livre de connaissances électronique selon une approche de modélisation par opposition à une rédaction en texte libre. On construit un référentiel structuré qui restitue les différents points de vue de la complexité du sujet traité. Ce référentiel permet de positionner les documents existant et de définir une gestion de projet précise pour la rédaction de nouveaux documents. Cette solution pour conserver les connaissances est différente de la solution plus classique qui consiste à organiser le fonds documentaire avec un outil de recherche d'information. Ces deux approches sont complémentaires. Le fonds documentaire est bien exploité par l'outil de GED mais ne restitue pas de manière structurée les connaissances des experts (à supposer qu'elles soient présentes dans les documents). Inversement, le référentiel des modèles MKSM permet de construire avec créativité une nouvelle modélisation des connaissances, mais l'obtention de ce référentiel est plus délicate que celle d'une base documentaire. C'est donc le couplage de ces deux approches qui constitue une direction de recherche intéressante pour instrumenter la gestion du sens dans une organisation.

Références

- [Agosti96] M. Agosti, F. Crestani, M. Melucci. Design and implementation of a tool for the automatic construction of hypertexts for information retrieval. *Information Processing & Management*, Vol 32, N°4, 1996, pp. 459-476.
- [Boone92] J. Boone. *A survey of data models for hypermedia*. University of North Carolina, Report NC 27599-3175, 1992.
- [Blair90] D. Blair. *Language and representation in information retrieval*. Elsevier, 1990.
- [Conklin87] J. Conklin. *Hypertext : an introduction and survey*. *Computer*, Vol 20, N° 9, 1987, pp. 17-41.
- [Eco88] U. Eco. *Le signe*. Livre de poche, Essais, 1988.
- [Ermine96a] J.-L. Ermine. *Les systèmes de connaissances*. Hermès, 1996.

- [Ermine96b] J.-L. Ermine, M. Chaillot, P. Bignon, B. Charreton, D. Malavieille. *MKSM, méthode pour la gestion des connaissances*. Ingénierie des Systèmes d'Information, AFCET-Hermès, Vol 4, N° 4, 1996, pp. 541-575.
- [Garzotto95] F. Garzotto, L. Mainetti, P. Paolini. *Hypermedia design, analysis and evaluation issues*. Comm. of the ACM, Vol 38, N° 8, 1995, pp. 74-86.
- [Ginige95] A. Ginige, D. B. Lowe, J. Robertson. *Hypermedia Authoring*. IEEE Multimedia, Vol 2, N° 4, 1995, pp. 24-35.
- [Grosky94] W. I. Grosky. *Multimedia Information Systems*. IEEE Multimedia, Vol 1, N° 1, 1994, pp. 12-24.
- [Halasz94] F. Halasz, M. Schwartz. *The Dexter hypertext reference model*. Comm. of the ACM, Vol 37, N° 2, 1994, pp. 30-39.
- [Isakowitz95] A. Isakowitz. *RMM : A methodology for structured hypermedia design*. Comm. of the ACM, Vol 38, N° 8, 1995, pp. 34-44.
- [Leblanc94] B. Leblanc, H. Dagorn, D. Bard, J.-L. Ermine. *Knowledge Management in Human Radioprotection*. International Symposium on Management of Industrial and Corporate Knowledge, Compiègne, 26-27 Octobre 1994, pp. 211-220.
- [Le Moigne90] J.-L. Le Moigne. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, 1990.
- [Marchioni95] G. Marchioni. *Information seeking in electronic environments*. Cambridge University Press, 1995.
- [Millerat96] P. Millerat, J.-L. Ermine, M. Chaillot. *Knowledge Management for Modelling Nuclear Power Plants Control in Incidental States*. Computational Engineering in Systems Applications, IMACS, Lille (France), 1996, pp. 982-987.
- [Morand96] B. Morand. *From Data, Process and Behavior Perspectives to Representation as a Semiotic System for Information Systems Modeling*. CESA'96 IMACS Conference, Lille, 1996, pp. 590-595.
- [Pomian96] J. Pomian. *Mémoire d'entreprise, techniques et outils pour la gestion du savoir*. Éditions Sapiientia, 1996.
- [Schwabe95] D. Schwabe, G. Rossi. *Building Hypermedia Applications as Navigational Views of Information Models*. 28th Hawaiï International Conference on System Sciences, Hawaiï, Jan 1995.
- [Thüring95] M. Thüring, J. Hannemann, J. Haake. *Hypermedia and Cognition : Designing for Comprehension*. Comm. of the ACM, Vol 38, N°8, 1995, pp. 57-66.
- [Wang95] H. Wang, C. Wang. *Ontologies for universal information systems*. Journal of Information Science, Vol 21, N°3, 1995, pp. 232-239.