Intégration des systèmes d'informations techniques pour l'exploitation des ouvrages

Yacine Rezgui

▶ **To cite this version:**

Yacine Rezgui. Intégration des systèmes d'informations techniques pour l'exploitation des ouvrages. Interface homme-machine [cs.HC]. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1994. Français. NNT : . tel-00523175

HAL Id: tel-00523175
https://pastel.hal.science/tel-00523175

Submitted on 4 Oct 2010

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.

NS 17 857 (4)

X

THESE

de Doctorat Sciences et Techniques du Bâtiment

Soutenue le 29 Septembre 1994

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

par

Yacine REZGUI

Sujet de la thèse

Intégration des Systèmes d'Informations Techniques pour l'Exploitation des Ouvrages

Membres du jury :

M. Albert DUPAGNE	Président du jury
M. Niklaus KOHLER	Rapporteur
M. Jean-Claude MANGIN	Rapporteur
M. Bertrand DELCAMBRE	Directeur de thèse
M. Christian DAUSSY	Examinateur
M. Bertrand NEVEU	Examinateur
M. Patrice POYET	Examinateur

E.N.P.C.
INV00270

32

A ma mère,
et à tous ceux qui l'aiment.

Remerciements

Je remercie Jaques Rilling, Directeur scientifique du CSTB, ainsi que Christian Daussy, Directeur général d'OTH-SI, pour avoir initié cette thèse.

Je remercie Bertrand Delcambre, Chef d'établissement du CSTB Sophia-Antipolis, de m'avoir accueilli au CSTB et accepté de diriger cette thèse.

Je remercie Patrice Poyet, Chef de la division Intégration Logicielle pour la Construction, pour les orientations apportées à mes travaux de recherche.

Anne-Marie Dubois et Philippe Debras m'ont toujours soutenu dans les moments difficiles d'une thèse. Ils se sont, depuis le début, intéressés à mon travail : je souhaite à ce titre les remercier vivement des nombreuses discussions enrichissantes et fructueuses que nous avons eues ensemble.

Je remercie :

Monsieur Albert Dupagne, Professeur à l'Université de Liège, Directeur du Laboratoire d'Études Méthodologiques en Architecture,

Monsieur Niklaus Kohler, Professeur à l'Université de Karlsrhue,

Monsieur Jean-Claude Mangin, Professeur à l'Université de Chambéry, Directeur de l'ESIGEC, Directeur du LGCH,

Monsieur Bertrand Neveu, Directeur de Recherche à l'INRIA,

pour l'attention qu'ils ont porté à ce travail.

Je tiens à remercier vivement tous les éléments d'OTH-SI : Pierre Lalaurie, Jean-pierre Desbioiles, Jean Herman, Samuel Malivoir, Christiane Duval, avec une pensée particulière à Patrick Le Ber qui fut, depuis le début, complice de mes travaux de thèse.

Je remercie également les éléments de la division ILC, avec une pensée particulière à Sylvie qui m'a toujours aidé à résoudre mes problèmes administratifs ou autres, ainsi qu'à Alain qui en plus de ses conseils m'a initié au goût de la création et de l'improvisation musicale.

Durant ces longues années de thèse, des amitiés se sont confirmées et de nouvelles sont apparues, chacune aussi importante que les autres. Cette page, et peut être même plusieurs, ne suffiraient pas à remercier tous ceux qui m'ont aidé, qui m'ont fait rire ou simplement qui m'ont souri. Ils sauront se reconnaître ici : je n'ai pas besoin de les nommer pour leur dire toute mon affection.

Liste des Abréviations

AIC	Architecture, Ingénierie et Bâtiment
AMT	Assistance Marché Travaux
ANSI	American National Standards Institute
APD	Avant Projet Détaillé
B-rep	Boundary representation
BTP	Bâtiment et Travaux Publics
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
CFAO	Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
CSG	Constructive Solid Geometry
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
DCE	Dossiers de Consultation des Entreprises
DOCCIME	Système logiciel pour l'intégration de l'ingénierie documentaire dans le processus de construction
Docset	DOCumentary handling Software Environment Tools
DTD	Document Type Definition
DXF	Drawing Interchange File Format of Autocad
EDI	Échange de Données Informatisées
ESPRIT	European Strategic Programme for Research and Development of Information
GARM	General AEC Reference Model
GTC	Gestion Technique Centralisée
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditionning
IDEF0	ICAM Function Definition Method
IDEF1X	ICAM Information Definition Method
IGES	Initial Graphics Exchange Standard
IMPPACT	Integrated Modelling of Products and Processes using Advanced Computer Technologies, ESPRIT II project 2165
IRMA	Information Reference Model for AEC
ISO	International Standard Organization
MOB	Modèles Objets Bâtiment
MAPB	Modèles Appliqués de Projet de Bâtiment
MRPB	Modèle de Référence du Projet de Bâtiment
NIAM	Nijssen's Information Analysis Method
ODA	Office Document Architecture
OTH	Omnium Technique Holding
PEO	Plans d'Exécution des Ouvrages
PERT	Program Evaluation Review Technique
PCA	Plan Construction et Architecture
REEF	Recueil des Éléments utiles à l'Élaboration des projets de bâtiment en France

RIA	Ressources Intégrées Appliquées
RIG	Ressources Intégrées Génériques
SGML	Standard Generalized Markup Language
SDAI	Standard Data Access Interface
SQL	Standard Query Language
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
SGBDOO	Système de Gestion de Base de Données Orienté Objet
SGBDR	Système de Gestion de Base de Données Relationnelles
TCE	Tous Corps d'État
XPDI	eXpert Product Data Interchange

Sommaire

1. Introduction 1
1.1. Le contexte 1
1.2. Le processus de production d'un bâtiment 3
1.3. Pièces écrites produites durant le cycle de vie d'un projet 6
1.4. L'informatisation du bâtiment 10
1.5. Problématique et identification du besoin 12
1.6. Positionnement de la présente thèse 14
1.8. Structure de la thèse 15

2. L'état de l'art 17
2.1. Introduction 17
2.2. Approche systémique 18
2.3. Choix d'une méthode 19
2.3.1. Le modèle relationnel 20
2.3.2. Le modèle sémantique 21
2.3.3. Le modèle orienté objet 23
2.3.4. Synthèse 24
2.4. La modélisation produit 25
2.4.1. Introduction 25
2.4.2. La norme IGES - SET 25
2.4.3. Le projet STEP 26
2.4.4. Quelques projets internationaux 31
2.5. La modélisation projet 37
2.6. Synthèse et recommandations conceptuelles 42

3. Le modèle de données 45
3.1. Introduction 45
3.2. Concepts clefs et modélisation 46
3.3. Formalisme de modélisation 48
3.4. Modèle de processus 50
3.5. Modèle de Référence Projet Bâtiment 52
3.5.1. Le site 54
3.5.2. L'organisation de masse 56
3.5.2.1. Le point de vue architectural 57
3.5.2.2. Le point de vue structurel (système constructif) 59
3.5.2.3. Le point de vue constructeur-concepteur (ouvrages) 60
3.5.2.4. Le point de vue technique tous corps d'état 63
3.5.2.5. Les relations entre les divers systèmes 66
3.5.2.6. Les ouvrages et espaces extérieurs 67
3.5.3. L'organisation administrative et technico-economique 67
3.6. Les ressources d'information 75
3.6.1. La géométrie 75
3.6.2. Les matériaux de base-matériaux de construction 78
3.6.3. Les propriétés 78
3.6.4. Les Procédés 79
3.6.5. Les documents 80
3.7. Le Modèle Appliqué Projet du Bâtiment 81
3.8. Le Modèle Type de Vue Projet 82
3.9. Conclusion 84

4. Le modèle documentaire 85
4.1. Le contexte 85
4.2. Le concept d'hypertexte et d'hypermédia 86
4.3. La structure d'un document 87

4.4. L'état de l'art relatif à la préparation et à l'édition des documents 90
4.4.1. Les formateurs 90
4.4.2. Les éditeurs structurés 92
4.5. Méthodologie générale appliquée au documentaire 93
4.6 Le cycle de vie d'un document 95
4.7. Le Modèle Documentaire de Référence 96
4.7.1. La genèse d'un document 97
4.7.2. Le modèle de contenu d'un document 98
4.8. Le Modèle Documentaire Appliqué CCTP 100
4.9. La DTD CCTP 106
4.10. La production des schémas physiques 110
4.11. Le chargement des schémas physiques 113
4.11.1. Balisage SGML des documents 113
4.11.2. Conversion de ces documents au format d'objets XPDI 116
4.11.3. Conversion des objets XPDI 116

5. Élaboration d'un CCTP projet à partir du CCTP de référence 117
5.1. Présentation de l'approche 117
5.2. Indexation des concepts du modèle de données du bâtiment par les items documentaires du CCTP de référence 119
5.3. Mise en place des liens internes au document 121
5.4. Les choix multiples et le renseignement des variables 124
5.5. Validation du document 125

6. Généralisation de l'approche 126
6.1. Recensement des besoins de chaque groupe d'utilisateurs impliqués dans la démarche STEP 126
6.2. La mise en place des échanges 129
6.2.1. Échange au travers de fichiers neutres ISO 129
6.2.2. Échange par requêtes standardisées dans un "Repository" (Base de données) 131
6.3. Exemples de plate-forme d'implémentation 132
6.4. Fonctionnalités attendues d'un environnement logiciel documentaire 134
6.4.1. Capacité de gestion du modèle de données 135
6.4.2. Assistance à l'élaboration des modèles appliqués documentaires 135
6.4.3. Dérivation des DTDs à partir du modèle de contenu documentaire 136
6.4.4. Outils d'aide à la structuration et au balisage des documents 137
6.4.5. Outils d'aide à la mise en place de la base de connaissance 137
6.4.6. Fonctionnalités de consultation hypertexte 138
6.5. Scénarios de travail dans une logique modèle de données 139
6.6. Conclusion 143

7. Conclusion 144

8. Perspectives 150

Bibliographie 153
Annexe A : le modèle d'activité 164
Annexe B : la version EXPRESS du corps du MPRB 170
Annexe C : le fichier d'instances ISO 201
Annexe D : le fichier prédicats du lot Gros-Oeuvre 204
Annexe E : le fichier de relations du lot Gros-oeuvre 213
Annexe F : le fichier de variables du lot Gros-oeuvre 220
Annexe G : présentation de l'outil DOCSET 233

Résumé

La gestion de l'information technique et administrative produite durant le cycle de vie d'un projet de construction est envisageable via une description structurée des données.

Cette description destinée à l'utilisateur mais aussi à l'ordinateur peut s'exprimer selon un langage (tel EXPRESS) qui devrait permettre l'inter-opérabilité des systèmes informatiques qui la mettent en oeuvre. Ces derniers manipulent ainsi une structure unique et non ambigue de données, assurant de la sorte l'intégrité et la cohérence de l'information produite et manipulée. La description de cette structure est communément appelée "Modèle de Données".

Le document est le support favori de description d'un projet d'ingénierie. Il constitue la base conceptuelle et réglementaire de tout processus industriel. L'analyse des documents produits durant le cycle de vie d'un projet révèle l'importance de leur cadre descriptif, législatif et juridique, comme en témoigne l'exemple du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP).

Le CCTP est un des documents essentiels issu des études détaillées d'un projet. Il se distingue notamment par son volume, et par la pertinence de son contenu : il définit les conditions particulières d'exécution des ouvrages et complète leur description faite au travers des plans techniques.

La consultation des entrepreneurs impose la répartition des corps d'état en lots de travaux. Les conséquences essentielles d'une telle démarche concernent la coordination de l'exécution des ouvrages et les responsabilités postérieures à leur achèvement. Tous ces détails et notamment tous ceux portant sur les limites de prestations entre lots doivent être judicieusement traités par le lot en question.

Ainsi, le souci actuel des professionnels du bâtiment est de pouvoir produire au moment utile et opportun pour un prescripteur donné, un descriptif de qualité, compatible avec ceux précédemment approuvés, et fidèle à la description réelle du projet, fournie par un modèle de données du bâtiment.

Cette thèse se propose de démontrer la possibilité de génération de pièces écrites via un modèle de données supportant la description formelle, physique et performancielle d'un projet de construction.

Il s'agit de proposer une structure logique de document, à partir de laquelle est dérivée la définition type du CCTP de référence (DTD CCTP) en langage SGML. Les éléments de la DTD sont ensuite instanciés afin de produire la version balisée du CCTP. Une telle mise en oeuvre permet entre autres la génération du sommaire, des listes de références ainsi que des liens hypertexte internes et externes au document.

Nous proposons par la suite un modèle d'association permettant l'indexation des concepts du modèle de données du bâtiment par des items documentaires du CCTP balisé. C'est au travers des instances de ce modèle qu'est produit le CCTP projet, moyennant tous les contrôles de cohérences internes et externes au document.

Cette approche assure une qualité maximale des pièces descriptives d'un projet et contribue à la diminution des risques d'erreurs liés au processus complexe de conception / réalisation / maintenance d'une opération de construction. En guise de conclusion, nous proposons une généralisation de cette approche à tout type de document "projet".

Mots clefs :

modèle de données, modèle de document, édition structurée, SGML, CCTP, STEP, intégration, échange de données.

Abstract

The handling and management of a construction project information through its life cycle require to impose order and structure in the data description.

The latter is intended for both project actor and computer use. It is therefore expressed in an appropriate language whose neutral aspect enables the inter-operability and the sharing of computer-based information within an open software infrastructure. This approach improves the communication, relevance and effectiveness of the information flow between the actors. This building structure description is commonly called a "data model".

The document is the traditional support of an enginering project description. It constitutes the conceptual and the regulation basis for any enginering process. The deep analysis of the documents produced within a project life cycle emphasises the importance and the relevance of their legal and specification aspects as indicated by the full specification document "CCTP".

The CCTP is one of the essential documents issued from the detailed design stage. It distinguishes by the volume and the relevancy of its content : it defines the particular conditions for the execution of the works and thus completes their description made through the technical drawings.

The consultation of the contractors imposes the decomposition of the construction tasks into work packages. The main consequences of such approach concerns the management and the coordination of the works realization in conjonction with the other work packages. All these details should be rigorously handled.

Thus, the participant main worry is to be able to produce at the right moment a detailed full specification compatible with the ones previously generated and reflecting the real description of the construction project, provided by a building data model.

This thesis demonstrates the feasibility of the generation of project documents via a data model supporting the physical, formal and performative description of a construction project. It consists of proposing a document logical structure, which is used to derive the Document Type Definition (DTD) of the CCTP according to the SGML language. The DTD elements are instanciated in order to produce a marked version of the CCTP. This approach enables the generation of the contents, the references list and the hypertext links.

Moreover, we propose an association model through which building data model concepts are indexed to the documentary items of the marked CCTP. The project applied CCTP is then produced thanks to the instances of the association model in consideration of which the internal and external coherency of the CCTP is achieved .

This approach insures a high quality of the full specifications documents of a project and contributes to diminish the mistakes and errors due to the complexity of the design / construction / maintenance process. We finaly propose a generalisation of this approach to any project document.

Key words :

data model, document model, structure-oriented editors, SGML, STEP, full specification document, integration, data exchange.

1. Introduction

Cette thèse se fixe pour cadre la problématique du documentaire dans le contexte du cycle de vie d'un projet de construction. Elle prend largement appui sur les travaux de normalisation de la norme STEP - ISO 10303. Elle propose une démarche pragmatique permettant la génération du document CCTP relatif à une opération de construction à partir d'une structure de données exhaustive, cohérente et non ambiguë. Ce premier chapitre décrit sommairement les aspects inhérents au monde complexe du bâtiment et fixe les lignes directrices de la présente thèse.

1.1. Le contexte

Avec l'avènement de la révolution industrielle, le monde de la construction a connu une totale mutation. La science du bâti évoluait de façon empirique, elle relevait souvent d'un maître-constructeur qui avait la fonction d'architecte et qui travaillait en étroite collaboration avec un nombre restreint d'artisans [Vries, Zutphen, et al. 1992]. Ces derniers étaient responsables de la qualité de leurs travaux et avaient une idée claire de la construction dont ils avaient la charge. Le besoin de communication était donc réduit à son strict minimum.

La révolution industrielle favorisa dans un premier temps l'innovation au détriment du standard. La conséquence directe fut d'abord la séparation nette entre métier de conception et métier de réalisation qui devenait de plus en plus complexe et qui souffrait notamment de l'absence d'une main-d'oeuvre qualifiée.

L'innovation permit l'introduction de nouvelles technologies, donc de nouveaux métiers. Le rôle de l'architecte fut redéfini, l'ingénieur fit alors son apparition. La conception d'un bâtiment devint dès lors le fruit de la collaboration étroite d'équipes pluridisciplinaires.

Tous ces changements et développements ont vite mis en évidence de nombreux problèmes complexes dans la gestion d'un projet de construction. Cette complexité s'explique en partie par :

- une demande croissante de diversification et d'originalité dans la conception des oeuvres architecturales ;

- l'évolution des moyens de production due à l'introduction régulière de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques ;

- la fragmentation des métiers du bâtiment qui se traduit par l'accroissement du nombre d'intervenants dans un projet de construction.

Ces intervenants se regroupent en corps de métier. Si cet état de fait améliore la qualité conceptuelle des ouvrages, il favorise malheureusement la disparité et la distribution de l'information et rend ainsi les données fugitives.

Lors de la conduite d'un projet, les premières orientations techniques et conceptuelles sont prises très en amont, dès les toutes premières phases de conception. Souvent les choix et options fondamentales ayant conduit à l'élaboration du projet restent du domaine de l'expérience individuelle ou collective et relèvent de la mémoire humaine [Fisher 1989].

Durant le cycle de vie d'un projet, un volume important d'information, formalisé sous forme graphique est échangé et utilisé [Poyet et al. 1993]. Le principal support de cette information est actuellement le papier. La retranscription puis l'utilisation de cette base de connaissance sous forme électronique a posée divers problèmes d'ordre pratique du fait notamment de la distribution (répartition) et de l'hétérogénéité des systèmes informatiques existants [Reed 1988].

Ainsi le secteur du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP) a pris conscience durant les années 80 de l'enjeu et de la nécessité d'une utilisation rationnelle et efficace de l'informatique dans la conduite d'un projet de construction [Eastman 1978]. De nombreuses organisations nationales et internationales se donnent pour mission la gestion de l'information produite et manipulée durant le cycle de vie d'un projet, ainsi que l'amélioration de la communication entre partenaires, tout en se gardant de ne pas altérer ou déstabiliser le marché de l'emploi dans ce secteur. Certains chercheurs ont

alors introduit le concept de Construction Assistée par Ordinateur [Wright 1988] par analogie à la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur).

Cette tendance a poussé les professionnels de la construction à redéfinir et à adopter une vision plus générique et plus large du projet de construction. Le bâtiment est ainsi assimilé à un produit industriel dont le cycle de vie est le siège de diverses activités assurées par divers intervenants [Bennett 1985].

La définition du produit bâtiment nécessite une description structurée de l'ensemble des données nécessaires aux divers intervenants au processus de production. Cette description doit supporter les points de vue des différents acteurs le plus souvent regroupés par discipline/corps de métier. Destinée à l'utilisateur mais aussi à l'ordinateur elle servira entre autre de support à l'implémentation d'applications diverses, dont **les outils de génération automatique de documents techniques** relatifs à un projet de construction. Les technologies informatiques au service du bâtiment favorisent l'amélioration de la productivité tout en garantissant une qualité optimale des constructions [Dupagne 1991].

1.2. Le processus de production d'un bâtiment

La conduite d'une opération de construction s'inscrit dans un cadre général, celui de l'industrie du bâtiment. Elle correspond à un processus industriel organisé en phases conventionnelles regroupant les activités de conception, réalisation et maintenance [Rezgui 1993]. Ce phasage ne rend pas compte du mécanisme intellectuel de conception [Quintrand 1985], il sert plutôt de référentiel chronologique et organisationnel dans le processus de conception et de réalisation d'un bâtiment.

Le projet de construction naît d'une idée, et d'un besoin qui se traduit par la définition d'exigences au travers d'un programme formulé par un maître d'ouvrage (personne physique ou morale). **De la pertinence du programme dépendra la qualité des choix et options fondamentales prises par la maîtrise d'oeuvre** [Bonhomme 1990]. L'architecte, principal utilisateur du programme est de plus en plus impliqué dans la formulation de ce document. Il apporte ainsi son assistance et son expertise à ce que l'on désigne plus généralement par la maîtrise d'ouvrage.
Le maître d'ouvrage est l'initiateur du processus, il est au centre de toute une organisation administrative, technique et économique animée par ses divers

intervenants (architectes, ingénieurs, économistes, contrôleurs techniques, entrepreneurs, etc.). Il est conseillé et assisté par des spécialistes avec lesquels il passe divers contrats (étude, suivi / contrôle, pilotage, réalisation).

La phase **Programmation** consiste en la synthèse et la mise en forme de l'ensemble des données issues des divers études de faisabilité (reconnaissance des conditions naturelles, faisabilité technico-économique, etc.), ainsi que la description fonctionnelle du projet en terme de locaux et d'activités. Cette phase relève du domaine du maître d'ouvrage qui en assume la responsabilité. Il est libre de passer un ou plusieurs contrats pour la réalisation des tâches nécessaires à l'établissement du programme de l'opération.
Dans le cas d'une consultation performancielle, la maître d'ouvrage confie à un maître d'oeuvre une mission précise qui comporte notamment la traduction de son programme sous forme d'un avant-projet performanciel. Ce type de consultation permet de mobiliser les compétences, l'intelligence, le savoir faire et l'imagination des principaux intervenants [Lugez et al. 1987].

C'est durant la phase **Esquisse** qu'est développé le projet architectural. L'architecte apporte des éléments de réponse au programme du maître d'ouvrage dans les domaines techniques, architecturaux et fonctionnels. L'architecte apporte une première estimation de son projet. Il est à noter que c'est durant cette phase que sont organisés les concours d'architecture. À ce propos, le maître d'oeuvre se voit confier une mission précise, pouvant aller jusqu'à l'établissement du projet d'exécution, ou alors n'englober que l'avant projet sommaire ou détaillé. L'approbation de l'esquisse par le maître d'ouvrage constitue un préalable à la suite des études de conception.

La phase **Avant Projet Sommaire** (APS) consiste en une présentation globale (plans d'assainissement, notices descriptives, ...), réaliste (pré-dimensionnement de la structure) et plus détaillée de l'esquisse. Le dossier APS accompagne la demande de permis de construire. Les études ultérieures sont subordonnées à l'attribution du permis de construire par les autorités locales.

L'**Avant Projet Détaillé** (APD) est essentiellement une phase de communication durant laquelle le projet architectural est suffisamment détaillé pour permettre l'établissement des études tous corps d'état (TCE). Un volume important d'informations est échangé entre le maître d'oeuvre et ses collaborateurs (ingénieurs, bureaux d'études) représentant les divers corps de métier du bâtiment.

C'est durant la phase **Projet** composée des Spécifications Techniques Détaillées (STD) et des Plans d'Exécution des Ouvrages (PEO) que sont élaborés les documents nécessaires à la réalisation du projet. Ces documents regroupés en Dossiers de Consultation des Entreprises (DCE), permettent à ces dernières de soumissionner en ayant une bonne appréciation des prestations associées aux lots de travaux à réaliser.

Au terme des études détaillées et à l'issue de la phase **Assistance Marché Travaux**, le maître d'ouvrage après examen du rapport de dépouillement des offres établit des contrats avec les entreprises retenues pour la réalisation du projet.

Autour des lots de travaux, en phase **Réalisation**, gravite toute une organisation planifiée et mise en oeuvre par ordonnancement et pilotage. L'architecte peut y avoir une mission de coordination et de contrôle. Cette phase commence par l'acquisition des matériels et matériaux nécessaires à l'installation de chantier. Les anglo-saxons la désigne par le terme de "Procurement". La phase réalisation d'un projet est sujette à de nombreux imprévus, tel les travaux modificatifs, que le maître d'oeuvre, le cas échéant, se doit de gérer.

Une fois réceptionné et livré au maître d'ouvrage, le bâtiment rentre en phase d'**Exploitation**. On parle alors de **Maintenance** du bâtiment.

À la fin de son cycle de vie, le bâtiment est détruit pour laisser place à un autre projet. Cette phase de démolition commence à intéresser la maîtrise d'ouvrage, qui sous des pressions d'ordre écologique commence à se poser le problème de la pollution induite par la démolition des ouvrages ainsi que le problème du recyclage des matériaux en résultant.

1.3. Pièces écrites produites durant le cycle de vie d'un projet

Les intervenants associés au processus de production d'un bâtiment produisent en permanence de l'information technique et administrative. Cette information est consignée sous forme de documents dits "projet" qui de la sorte lui confèrent un caractère officiel, contractuel et légal [Debras, Rezgui, et al. 1993]. Les documents ainsi produits sont de type textuel ou graphique. Nous présentons dans ce qui suit les principales pièces écrites produites durant les phases de conception / réalisation d'un projet de construction (Fig S1.1.).

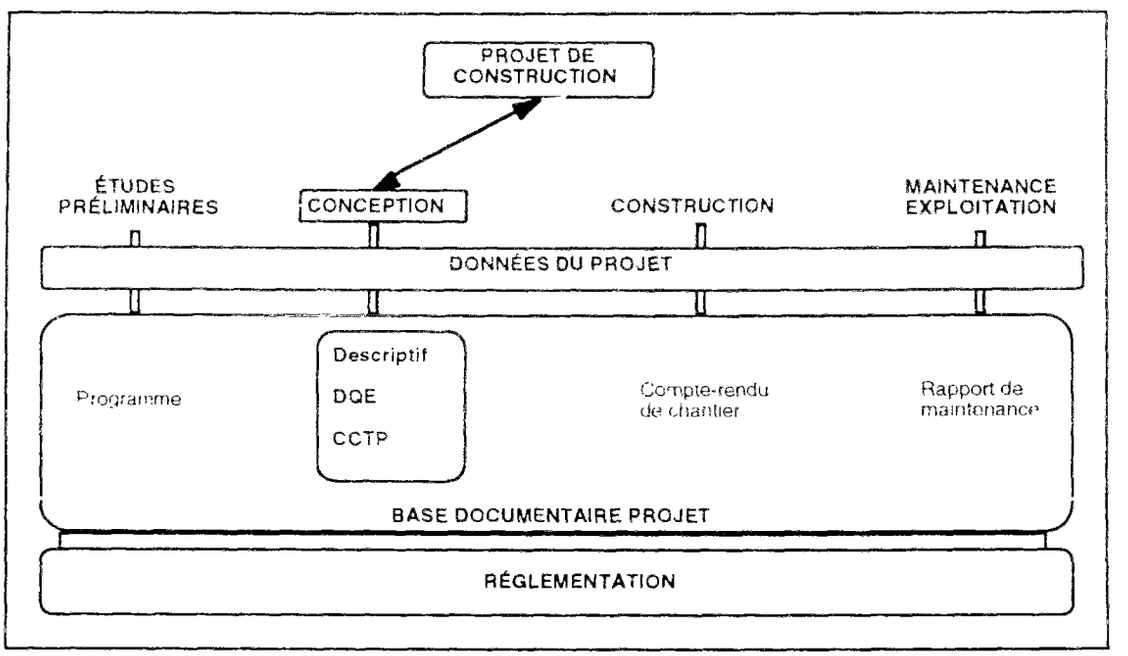


Fig S1.1. Les principaux documents produits durant le cycle de vie d'un projet. On note le caractère statique de la documentation réglementaire prise dans le contexte du projet de construction, ainsi que l'aspect dynamique de la base documentaire projet qui reflète en quelque sorte le niveau de détail de l'information produite et manipulée.

Études préliminaires

Les études préliminaires d'un projet comportent les études de faisabilité ainsi que l'évaluation des besoins, contraintes et exigences nécessaires à l'établissement du programme de l'opération. Les pièces écrites produites durant cette phase sont :

Documents techniques :

- le programme de l'opération ;
- les annexes techniques (rapport géotechnique, rapport climatique, etc...) ;

- le calendrier prévisionnel général des études et des travaux.

Documents administratifs :

- le dossier de financement éventuel ;
- le contrat de maîtrise d'ouvrage ou d'études pour l'exécution d'une ou plusieurs des tâches ci-après :
  - la recherche des données in-situ ;
  - l'analyse des conditions de tous ordres ;
  - les études de localisation ;
  - l'établissement du programme ;
  - la faisabilité technico-économique.
- le dossier de consultation de la maîtrise d'oeuvre.

Esquisse

A l'issue de cette phase le maître d'ouvrage passe le marché d'études avec l'équipe de maîtrise d'oeuvre retenue. Les principales pièces écrites produites sont :

Documents techniques :

- la notice comparative, justificative et descriptive du choix de la solution d'ensemble ;
- la notice estimative des travaux ;

Documents administratifs :

- le contrat de maîtrise d'oeuvre ;

Avant projet sommaire

C'est durant cette phase qu'est établi le dossier de demande de permis de construire. Les documents produits sont :

Documents techniques :

- la notice comparative, justificative et descriptive sur le choix de parti dans les domaines fonctionnel, architectural et technique ;
- la notice sommaire estimative des travaux ;
- la notice d'hygiène et de sécurité ;

Documents administratifs :

- le dossier de demande de permis de construire ;
- le permis de démolir (éventuellement).

Avant projet détaillé

L'avant projet détaillé définit les partis architectural et technique, et fixe les hypothèses de calcul et de dimensionnement. Les documents techniques essentiels produits durant cette phase sont :

- le devis descriptif ;
- les prescriptions techniques complémentaires ;
- le devis estimatif.

Projet

Le projet comporte les spécifications techniques détaillées (STD) et les plans d'exécution des ouvrages (PEO). Les documents techniques produits durant cette phase sont :

- le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) ;
- le devis quantitatif estimatif ;
- le programme prévisionnel général des travaux ;
- la notices de calcul tous corps d'état (TCE).

Marchés de travaux

C'est durant la phase Marchés de Travaux que les diverses entreprises concurrentes rédigent leurs offres sur la base du Dossier de Consultation des entreprises (DCE). Ce dernier comporte les pièces écrites ci-après :

Documents administratifs

- le règlement particulier d'appel d'offre ;
- le modèle d'acte d'engagement ;
- le cahier des clauses administratives particulières (CCAP).

Pièces économiques :

- le cadre de décomposition DQE (Dossier Quantitatif Estimatif);
- le devis quantitatif.

Documents techniques :

- les études géotechniques ;
- la notice concernant l'hygiène et la sécurité ;
- le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) ;
- le programme général prévisionnel des travaux.

Assistance marchés travaux

C'est durant cette phase que le maître d'ouvrage sélectionne les entreprises de réalisation sur la base du rapport de dépouillement des offres établi par la maîtrise d'oeuvre.

Documents techniques :

- le rapport de dépouillement des offres ;
- les documents conditionnant la réalisation.

Documents administratifs :

- les marchés d'entreprises ;

Exécution des travaux

Cette phase est principalement conçernée par des documents administratifs.

Documents administratifs :

- les comptes rendus de chantier ;
- les ordres de services et procès verbaux de constatation ;
- le calendrier de fournitures des documents ;
- les attachements, décomptes, situations.

Documents techniques :

- les plans des ouvrages exécutés.

Réception des ouvrages

- rapport final du contrôleur technique ;
- contrats d'entretien et d'exploitation.

1.4. L'informatisation du bâtiment

<<L'hécatombe eut lieu au début du XVème siècle, et ce fut le triomphe de la perspective. Les architectes cessèrent de s'occuper d'architecture et se bornèrent à la dessiner [...] la révolution technologique coincide avec la révolution linguistique [...] l'ordinateur permet de simuler la réalité architecturale non pas d'une manière statique comme la perspective, mais sous les aspects visuels et comportementaux.>> [Zevi 1973].

Du fait de la croissance de la demande et de la complexité des projets de construction, la période après guerre a posé aux professionnels du bâtiment divers problèmes quelque peu liés au besoin d'amélioration de la productivité. Les équipes de maîtrise d'oeuvre ont très vite eu recours à l'outil informatique, à des fins d'assistance et d'optimisation de leurs missions et de leurs tâches souvent laborieuses et redondantes.

Ces outils d'aide à la conception et au diagnostic couvrent l'ensemble des domaines de la profession. Cependant, mise à part leur **capacité à résoudre ponctuellement les problèmes**, ils montrent souvent des **insuffisances d'intégration** quand il s'agit de considérer la **réalité dynamique du projet vu dans sa globalité**. Ils relèvent très souvent de la compétence et du point de vue d'un acteur précis dans une phase précise du cycle de vie d'un projet. Les chercheurs scandinaves utilisent souvent le concept **"d'ilots d'automatisation"** - par analogie à la morphologie géologique de leurs pays - pour décrire la distribution des logiciels informatiques dans le secteur du bâtiment [Björk 1994].

Les divers intervenants se sont en premier lieu équipés d'outils de bureautique dédiés à la rédaction de pièces écrites, gestion des devis, et d'édition des bilans. Les documents en résultant ont un **statut précaire** du fait de la **fragmentation de l'information technique**. Ils sont le plus souvent échangés par voie postale et sont ainsi soumis aux aléas des postes et télécommunications.

On retrouve en phase programmation un certain nombre d'outils de collecte et de traitement des données. Ces outils permettent de mieux appréhender le site dans les domaines géologique (pente, écoulement des eaux, évaluation de la portance du sol), énergétique (ensoleillement, étude des masques, orientation et rapport plein-vide d'une construction), urbanistique (simulation d'insertion urbaine), etc.

En phase conception, l'architecte utilise des outils de Conception et de Dessin Assisté par Ordinateur (CAO-DAO). Ces derniers ont principalement une fonction de représentation du projet à des fins de communication. Ils véhiculent très peu de sémantique bâtiment et sont le plus souvent dépourvus de toute capacité de raisonnement [Eastman 1989]. Ils garantissent cependant une représentation géométrique à peu près correcte du projet architectural sous une forme bidimensionnelle et tridimensionnelle [Quintrand 1985]. Ces possibilités de visualisation diverses du projet ont largement contribué à l'amélioration du dialogue entre concepteur et maître d'ouvrage et ont permis le développement d'une véritable industrie de l'image (image de synthèse, animation vidéo).

En phase APD, on retrouve une variété de logiciels de calcul et de dimensionnement dans les différents corps d'état (Structure, HVAC, Acoustique, etc.). Ces logiciels, très performants, simulent le comportement dynamique des systèmes étudiés. Ils prennent appui sur des **méthodes de pointe** tel le calcul par **éléments finis**. Ils nécessitent cependant une saisie manuelle, des données nécessaires au calcul.

En phase AMT (Assistance Marché Travaux), le maître d'ouvrage dispose d'outils d'aide à l'étude comparative et à l'évaluation des offres des entreprises.

Le pilotage du chantier en phase réalisation fait appel aux outils informatiques de gestion de chantier [Rezgui 1991]. Ces derniers implémentent des méthodes existantes telle PERT (Program Evaluation Review Technique). **Ils permettent d'optimiser l'ordonnancement des tâches ainsi que leur temps d'exécution** [Froese 1992]. Ils permettent également de réagir face aux aléas inévitables d'un chantier (travaux modificatifs, panne d'un matériel, ou autres).

En phase exploitation, de nombreux maîtres d'ouvrages font appel à des gestionnaires de patrimoine. Ces derniers utilisent des logiciels variés d'aide à la maintenance. On parle ainsi de **Maintenance Assistée par Ordinateur** (MAO).

1.5. Problématique et identification du besoin

Les divers intervenants dans la conception d'un projet de construction ont chacun leur **propre image et représentation** du bâtiment. Cette représentation est fonction d'une part de la **culture architecturale et technique** de l'intervenant et d'autre part de son **point de vue** généralement dicté par son corps de métier. Au fur et à mesure de l'avancement des études, cette image mentale est formalisée puis échangée sur un support papier. Or, les problèmes précédemment évoqués liés à cette approche amènent à considérer davantage le rôle de l'informatique (Fig S1.2).

<<L'accroissement de la productivité passe par l'amélioration de la communication intelligente entre les acteurs de la construction. Les EDT (Échanges de Données Techniques) sont un thème stratégique pour l'industrie et particulièrement pour les entreprises. Ce processus d'intégration est au coeur de la démarche qualité et vise à l'amélioration tant en termes de productivité et de délai que de qualité et de caractéristiques du produit final.>> [MOB 1992].

Le système actuel de représentation du bâtiment fondé sur les pièces écrites et graphiques **rend les données éphémères et pénalise la transmission de l'information**. Un document projet en phase conception n'est souvent que le **reflet ponctuel** à un instant donné d'une **réalité dynamique** du projet de construction en **constante évolution**. La multiplication des versions d'un même document, ajoutée à une mauvaise gestion, favorise la disparité et la redondance des données et s'avère être une source non négligeable d'erreurs [Björk 1994]. De plus, très souvent les modifications apportées au projet en cours de conception, ne se répercutent pas en temps utile sur l'ensemble des corps d'état.

La conduite d'un projet pourrait se réaliser de façon logique via un **modèle de données** fédérateur partagé par l'ensemble des corps d'état au travers de leurs applicatifs. L'utilisateur aura ainsi accès à **une même information garantissant de la sorte son intégrité**. Le modèle de données permet également de garder une mémoire informatique des options et choix pris tout le long du processus de production d'un bâtiment.

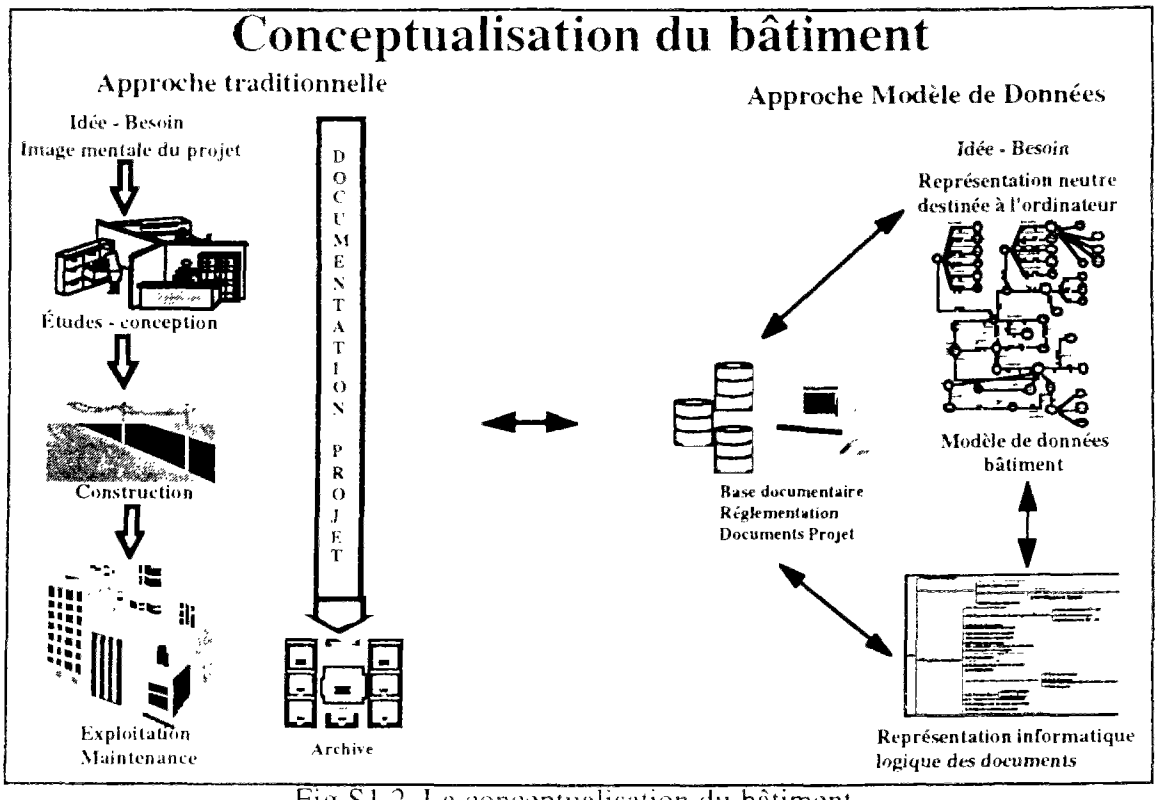


Fig S1.2. La conceptualisation du bâtiment.

Dans une approche traditionnelle, chaque intervenant selon son corps de métier et sa culture bâtiment a une image propre du projet de construction. L'informatique permet de mettre à la disposition de ces intervenants une description commune du projet adaptée à leurs besoins et à leurs points de vues.

Un modèle de données est ainsi un moyen de décrire et de structurer l'information de sorte qu'elle puisse être interprétée puis utilisée par tout intervenant au travers des applications qu'il utilise. Cette description destinée à l'utilisateur mais aussi à l'ordinateur s'exprime selon une certaine syntaxe. Un certain nombre d'expériences (COMBINE [Dubois et al. 1992], CIMSTEEL [Cutting-Decelle et al. 1994], ATLAS [Bohms et al. 1994]) ont démontré la faisabilité ainsi que l'intérêt d'une telle démarche.

Aussi, le souci actuel des professionnels du bâtiment est de pouvoir produire au moment utile et opportun pour un prescripteur donné, des documents de qualité, compatibles avec ceux précédemment approuvés, et fidèles à la description du projet, fournie par le modèle de données du bâtiment.

1.6. Positionnement de la présente thèse

Dans ce qui précède, nous avons essayé de présenter les principaux problèmes rencontrés durant le cycle de vie d'un bâtiment. Ces problèmes sont d'une façon générale liés à une déficience de l'information technique due à la multiplication des tâches et des intervenants dans un projet de construction.

Nous avons axé notre réflexion dans le cadre de cette thèse sur la problématique de la cohérence et de l'intégrité de l'information technique véhiculée par les documents projets durant le cycle de vie d'un bâtiment. Cela nous ramène à répondre à deux questions clefs :

- comment proposer une approche pragmatique permettant la génération de documents projet à partir de la description formelle et explicite d'un bâtiment ?
- comment fournir un accès facile et structuré à l'information utile aux divers intervenants d'un projet ?

Concernant le premier point, nous proposons de :

- développer un Modèle de Référence du Bâtiment ;
- développer un Modèle de Référence Documentaire, et de le spécialiser en un Modèle Documentaire Appliqué à un type de document (le CCTP);
- proposer un modèle d'association permettant d'indexer les concepts du Modèle de Référence du Bâtiment aux items documentaires d'un type de document ;
- mettre en oeuvre les mécanismes permettant le passage d'un document de référence vers un document appliqué projet.

Le modèle de référence (Bâtiment ou Documentaire) consiste en une représentation des liens et relations entretenus par les objets caractéristiques du système que constitue le monde réel [Flavin 1981].

En ce qui concerne le deuxième point, nous nous intéressons dans le cadre de cette thèse à l'information textuelle en général, consignée sur un support papier : le document. Il convient alors de distinguer les informations réglementaires (Documents Techniques Unifiés, Avis techniques, etc.) des informations projet (CCTP, cadre DQE, etc.). L'accès à l'information est envisagé depuis tout document projet vers tout

document réglementaire ou projet. Pour ce faire, la mise en place des liens inter-document s'impose.

La consultation sera mise en oeuvre moyennant une navigation hypertexte depuis tout document vers la base documentaire projet d'une part et le corpus technico-réglementaire d'autre part.

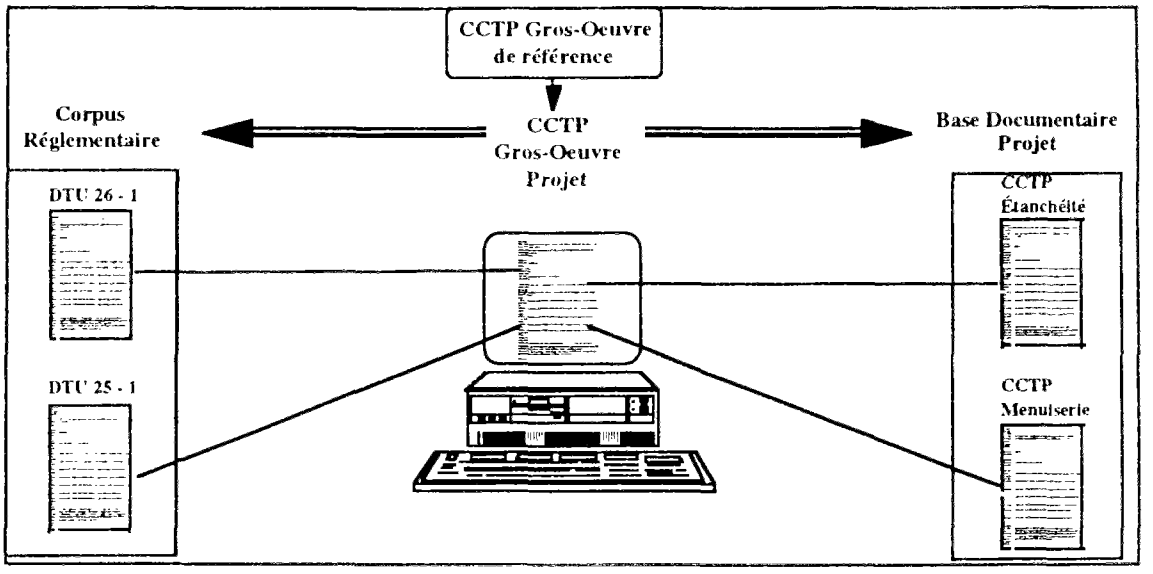


Fig S1.3. Consultation hypertexte depuis un document projet vers la la documentation technique et réglementaire.

1.8. Structure de la thèse

La structure de la présente thèse s'insère dans la logique des réponses aux questions clefs soulevées en 1.7.

Le chapitre 2 décrit l'état de l'art avec la présentation de la norme STEP, ainsi que les principaux projets internationaux ayant pour cadre la modélisation du bâtiment. Cette présentation a trait en premier lieu aux projets ayant pour cadre la Modélisation Produit (Product Modelling), puis intègre les aspects de processus et d'activités pour décrire plus globalement la Modélisation Projet "Project Modelling". Les choix de principes retenus pour cette thèse sont au final présentés en guise de conclusion à ce chapitre.

Le chapitre 3 décrit notre proposition de Modèle de Référence Projet du Bâtiment supportant l'information nécessaire à la génération des documents projet. Ce modèle de

référence s'inscrit dans les perspectives de la définition d'un cadre pour les protocoles d'application au sein de la norme STEP. Il intègre les ressources génériques de la norme, spécialisées pour les besoins du domaine. Le modèle de référence projet du bâtiment est ensuite spécialisé partiellement en un modèle appliqué orienté habitation.

Le chapitre 4 comporte une rapide description de l'état de l'art dans l'édition documentaire. Le Modèle de Référence Documentaire ainsi que le Modèle Documentaire Appliqué CCTP sont ensuite présentés. Nous proposons par la suite une description du modèle de contenu CCTP, à partir duquel est dérivée la Définition Type de Document (DTD) correspondante.

Le chapitre 5 présente la technique d'indexation du modèle de référence projet du bâtiment par le modèle documentaire appliqué CCTP. Le passage du CCTP de référence au CCTP projet est également décrit.

Le chapitre 6 présente d'une façon pragmatique les moyens permettant une telle mise en oeuvre ainsi que l'impact sur les principaux corps de métier.

Le chapitre 7 comporte la conclusion générale de cette thèse ainsi qu'une ouverture sur les recherches futures.

2. L'état de l'art

The essential property of a method is that, when applied to the right problem and used by the right people, the method will, with a high degree of probability and a predictable amount of ressources, lead to a solution of the problem [Bri 1990].

> *De nombreux travaux tant au niveau national (MOB, GSD2, ...) et international (GARM, CIMSTEEL, COMBINE, ATLAS, ...) se sont fixés pour cadre le problème complexe de la modélisation des données ayant trait au bâtiment. Certains de ces projets se limitent à l'aspect Produit , d'autres intègrent le concept de cycle de vie et considèrent le Produit plus généralement dans un cadre de processus prenant compte de la sorte des diverses activités à la base du cycle de vie du Bâtiment. Nous proposons dans ce qui suit une synthèse des principaux projets de modèles de données qui ont influencé en partie nos choix conceptuels.*

2.1. Introduction

Ce chapitre dresse l'état de l'art et apporte des éléments de réponse à un certain nombre de questions ayant trait à la modélisation conceptuelle :

1 - comment appréhender le monde vaste et complexe du bâtiment de façon à faciliter sa description ?

2 - quelle est la méthode de description des données actuellement la mieux adaptée ?

3 - quel peut être l'apport des projets nationaux et internationaux en cours ?

À la question 1, conformément aux travaux actuels menés dans le cadre de projets internationaux, nous nous proposons d'adopter une approche systémique dans la modélisation du bâtiment. Une description de cette approche est présentée dans ce chapitre.

À la question 2, nous présentons un bref historique ainsi qu'une description des principales méthodes existantes. Nous mettrons notamment l'accent sur les méthodes retenues dans le cadre de la norme STEP.

La question 3 fera l'objet de la conclusion de ce chapitre.

2.2. Approche systémique

Le Bâtiment est un domaine très **vaste** dont l'appréhension et la description, à première vue, pose problème. Il est fondamentalement constitué **d'objets complexes** (parois, fondations, toiture, ...) qui **interagissent et entretiennent des relations variées**. Les objets ainsi identifiés peuvent être décrits de diverses manières selon le point de vue adopté et le degré de détail attendu. Ils composent souvent d'autres objets et peuvent eux-mêmes, à leur tour, être décomposés.

La définition du **système** que décrit [Le Moigne 1977] semble convenir au caractère complexe et évolutif du bâtiment. [Le Gauffre 1988] et [Turner 1990] nous proposent une représentation du bâtiment basée sur une **approche systémique**.

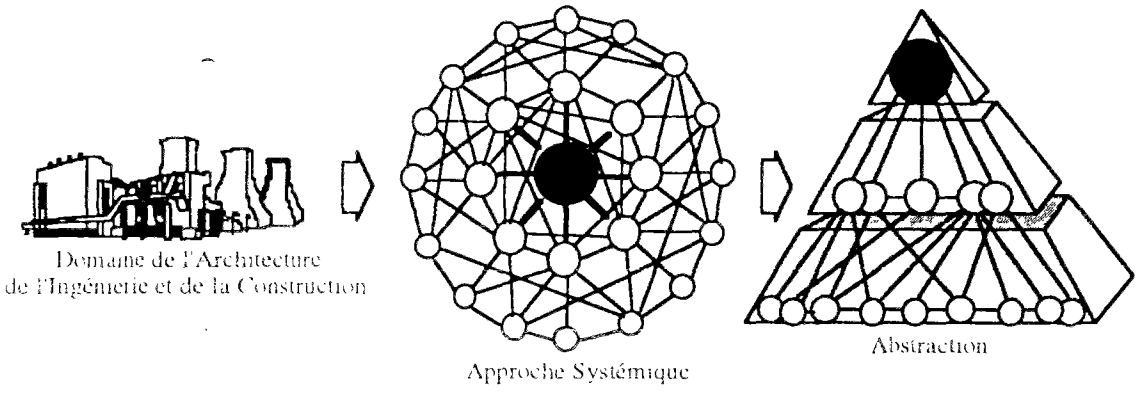


Fig S2.1. L'approche systémique

L'approche est décrite comme le moyen mis en oeuvre pour traiter un problème. L'approche systémique prend appui sur la notion de système et permet d'imposer **de l'ordre et de la structure dans la description du domaine**. Ce dernier est ainsi assimilé à un système dont l'approche facilite l'appréhension de la complexité. **Le système consiste en un ensemble de concepts génériques qui entretiennent des relations diverses pour former un tout cohérent.** Tout système finement défini interagit avec son environnement.

La complexité du domaine nécessite parfois **une décomposition du système en un ensemble de sous-systèmes.** Une telle approche suppose **une maîtrise parfaite des propriétés et de l'essence même du système que la décomposition ne doit en aucun cas altérer.** [Kronlof et al. 1993] notent l'importance de la structure sur le système: *<<la structure joue un rôle important dans notre capacité à comprendre le système. Nous devons comprendre la structure du système avant d'essayer de l'appréhender dans*

sa globalité>>. La structure d'un système peut s'inscrire dans une **hiérarchie**, s'exprimer sous forme de **réseau** ou encore être présentée sous forme de **matrice**. Cependant comme le précisent [Kronlof 1993] tous les systèmes ne peuvent être parfaitement et finement décrits dans les types de structures ainsi proposés.

Une approche systémique efficace se doit donc de considérer le domaine dans son plus haut **niveau d'abstraction** et de décrire les liens entretenus par les sous-systèmes ainsi identifiés de façon à refléter fidèlement le domaine étudié. Nous retenons cette approche pour la description du projet de construction proposé dans le chapitre 3.

2.3. Choix d'une méthode

La méthode permet de décrire le domaine. Le langage d'expression de la méthode permet de formaliser cette description de façon neutre et exploitable par un ordinateur. **La puissance d'une méthode de modélisation se mesure par sa capacité à décrire la sémantique du domaine**. Cette sémantique passe par la prise en compte des diverses **contraintes** appliquées aux concepts étudiés. De nombreuses méthodes se fondent sur le modèle **entité-association** telles Merise [Tabourier 1986], NIAM (Nijssen's Information Analysis Method) [Nijssen, Halpin 1989], IDEF1X [Appleton 1985], EXPRESS-G [ISO/TC184 1992a]. Ces formalismes diffèrent dans leur approche et leur capacité à modéliser les contraintes.

L'objectif de la modélisation conceptuelle est de décrire de façon complète et non ambiguë le domaine étudié. Il s'agit de décrire les relations entretenues par les éléments pertinents et représentatifs du domaine de la manière la plus proche de la vision de l'utilisateur.

La structuration de l'information ayant trait au domaine se fonde sur **l'abstraction et l'agrégation.** L'abstraction définit la relation entre deux données de sorte que la première élimine certaines informations de la deuxième. L'agrégation définit la relation entre deux données de sorte que la première rajoute de l'information à la seconde.

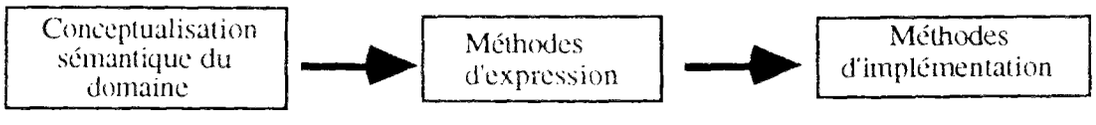
Tout modèle conceptuel se développe autour d'un **concept racine** qui désigne le plus souvent **l'objet physique autour duquel s'articule le domaine**. L'objet appartient plus généralement à une famille ou à une classe d'objets qui définit leurs caractéristiques communes. Les objets sont groupés de façon à former une **agrégation**. Cette dernière décrit un des aspects du domaine étudié. Les objets sont décrits par leurs **propriétés**

terminales ou **attributs** lesquels sont typés. Le type identifie le domaine de la valeur lors de sa création (entier, booléen, liste, etc.). Certains attributs peuvent être déduits de l'évaluation d'une fonction ayant pour paramètres d'autres attributs issus d'autres objets de l'univers du discours.

La relation désigne l'opération de groupement de deux ou plusieurs objets. Elle est formalisée à l'aide d'un verbe ou d'une phrase. Elle peut être décrite de façon unidirectionnelle ou bidirectionnelle. **L'expression de la sémantique se fait au travers des contraintes appliquées à la relation**. Les contraintes sont nécessaires à la génération du schéma physique du domaine, e.g. toute chambre a au moins une fenêtre, ou toute construction a forcément des fondations. La relation la plus utilisée dans la modélisation conceptuelle est celle qui a trait à la **généralisation**. Elle exprime qu'un objet est la définition partielle d'un autre objet en procédant par abstraction. **La spécialisation est la relation opposée à la généralisation**. Une paroi peut être spécialisée en un mur, et le plancher généralisé en une paroi.

La modélisation intègre la **notion de vue.** La vue est l'image qu'un utilisateur particulier a du domaine, ou l'ensemble des données nécessaire à l'usage d'un domaine particulier ou d'une application. Les vues sont généralement dérivées du modèle conceptuel, d'où l'intérêt d'une bonne structuration de ce dernier.

L'expression de la sémantique du domaine en un langage d'implémentation compréhensible par l'ordinateur passe par une projection de cette sémantique dans un langage ou une méthode orienté informatique comme l'illustre la figure ci-dessous.



Les méthodes d'expression connues utilisent trois types de modèles : le modèle relationnel, le modèle sémantique et le modèle objet.

2.3.1. Le modèle relationnel

Il a été inventé par E.F. Codd. Il se fonde sur une **structuration ensembliste** des données. Toute l'information de la base de données est représentée explicitement par des valeurs dans des **tables qui symbolisent des relations**. A ces dernières est appliqué

un ensemble d'opérateurs permettant la gestion des données : saisie, recherche et mise à jour des données. Ces opérateurs permettent notamment la constitution de sous ensembles de relations en procédant par **projection, restriction ou jointure et division**. Ils comprennent également des opérateurs classiques de la théorie des ensembles : **produit cartésien, union, intersection, différence**.

La cohérence de la base de données est assurée au travers de contraintes d'intégrité structurelles inhérentes au modèle relationnel : **l'unicité de clé** qui spécifie qu'un ou plusieurs attributs constituent la clé unique d'une relation, et la **contrainte de référence** qui garantit que la valeur d'un enregistrement d'une relation est présente dans une autre relation.

Le modèle relationnel conduit à la définition d'un langage de requête de haut niveau au dessus de l'algèbre relationnelle : **le standard SQL** (Standard Query Language). Le principal avantage du modèle relationnel est la nette séparation entre l'aspect logique des données et l'aspect physique. Les limites majeures du modèle relationnel actuel concernent le support d'objets complexes et dynamiques [Valduriez 1989], [Gardarin 1989], la gestion des connaissances, et la gestion des données réparties.

2.3.2. Le modèle sémantique

Les modèles de données sémantiques ont été développés pour offrir un plus haut niveau d'abstraction dans la représentation des données et des relations qui les lient entre elles.

Les modèles sémantiques ont trois qualités principales [Lebastard 1993] :

- ils augmentent la **séparation entre niveau conceptuel et niveau physique** ;
- ils permettent de diminuer la **surcharge sémantique** des différents types de relations (tout type de relation peut y avoir une représentation distincte, ce qui n'est pas le cas du modèle relationnel) ;
- ils fournissent des **outils d'abstraction** efficaces pour la manipulation des schémas (niveau de détail, modularité, mécanisme de dérivation).

Un des modèles sémantiques les plus connus est le modèle Entité-Association.

Le modèle entité-association [Chen 1976] est un des premiers modèles sémantiques. Il considère le domaine comme constitué d'entités décrites au travers des relations qu'elles

entretiennent entre elles. L'attribut est la propriété terminale de l'entité. Il représente l'information élémentaire rattachée à l'objet. Le modèle entité-association intègre des contraintes sur le réseau d'entités couvrant le domaine. Un certain nombre de formalismes de modélisation utilisent ce modèle parmi lesquels on peut citer IDEF1X, EXPRESS-G, NIAM.

IDEF1X est mis en oeuvre sous une forme graphique et met en jeu le concept d'entité, l'attribut, et la relation d'association dont le rôle unidirectionnel est interprété selon le sens de la référence. IDEF1X impose à l'attribut d'être monoévalué. Dans le cas contraire une nouvelle entité est créée. L'unicité s'exprime au travers d'une clef qui représente une occurrence unique d'un ensemble de valeur par les attributs du concept auquel s'applique l'unicité. Concernant la cardinalité IDEF1X supporte des cardinalités du type 0:1, 0:N et 1:N, N étant un nombre entier non limité. L'expression de cardinalités du type N:M nécessite l'utilisation de concepts intermédiaires.

EXPRESS [ISO/TC184 1992a] est un langage d'expression formelle. Son correspondant graphique est EXPRESS-G. Il a été conçu et développé comme **langage d'expression et d'échange des modèles** dans le projet STEP. EXPRESS s'avère être un langage approprié à l'expression de la sémantique. Ses aptitudes à décrire les contraintes de cardinalité, d'unicité, de totalité ainsi que sa capacité de modélisation de fonctions et de procédures lui confèrent une place de choix et amènent les éditeurs de logiciels à prévoir des sorties vers ce formalisme. Dans les années à venir, NIAM devrait vraisemblablement laisser place à EXPRESS-G conçu pour être le **langage graphique naturel** d'EXPRESS.

NIAM [Nijssen, Halpin 1989] est le formalisme qui se rapproche vraisemblablement le plus du langage naturel. Il est du type entité-association, il se distingue par sa **capacité de modélisation des contraintes sous une forme graphique**. NIAM distingue l'entité (NOLOT) de ses propriétés terminales (LOTs). L'association NOLOT - NOLOT est appelé IDEA tandis que l'association NOLOT - LOT est désigné par BRIDGE. NIAM est actuellement la méthode la plus utilisée dans la modélisation bâtiment en France et à l'étranger. Les diagrammes NIAM et EXPRESS-G ci-dessous traduisent les faits suivants :

- le mur et le plancher sont des types de paroi ;
- la paroi est composée d'une ou plusieurs couche-paroi ;
- chaque couche-paroi a une position dans le mur et comporte une épaisseur.

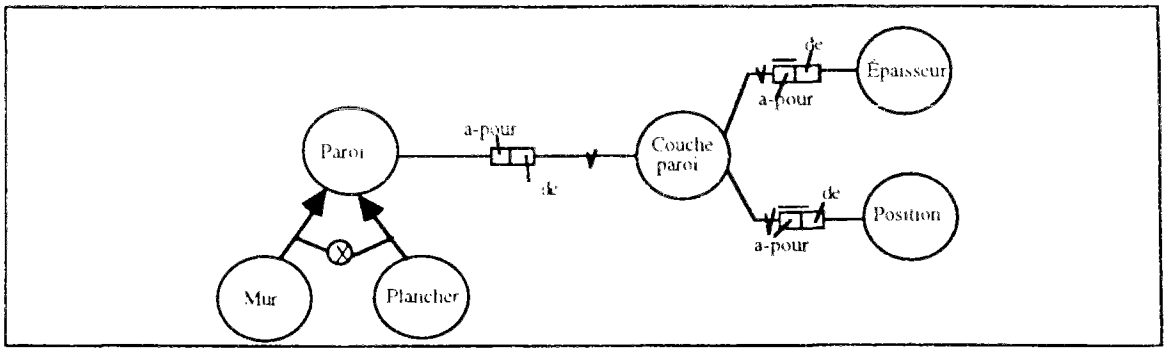


Fig S2.2. Diagramme NIAM représentant les faits décrits ci-dessus.

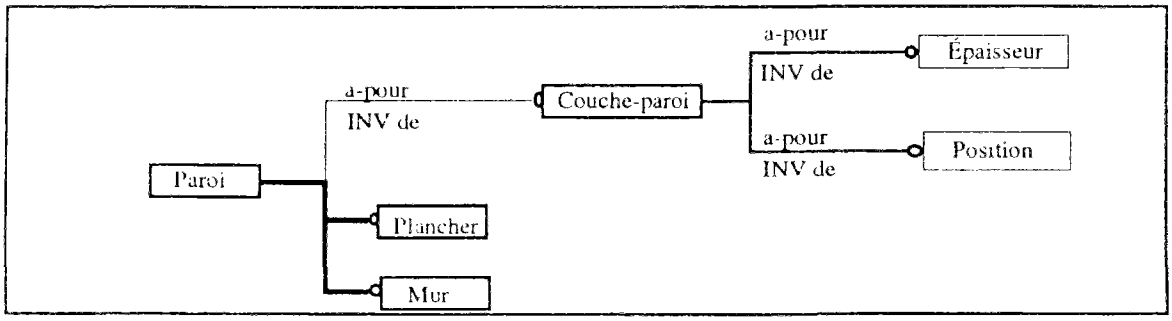


Fig S2.3. Diagramme EXPRESS-G représentant les faits décrits ci-dessus.

2.3.3. Le modèle orienté objet

Ce modèle a fait l'objet de nombreuses publications [AFCET 1993], [Coad, Yourdon, 1991], [Booch 1991]. Il est largement influencé par les langages de programmation orientés objet [Meyer 1988]. Il vise à doter les formalismes de modélisation de capacités de description des **aspects dynamiques** et **comportementaux** des données [Lebastard 1993]. Le modèle objet gère des **structures complexes** et permet d'associer des méthodes aux objets ainsi définis. La modularité et la réutilisabilité deviennent ainsi effectives.

Le langage EXPRESS de la norme STEP offre d'une façon **statique** certains avantages du modèle orienté objet (héritage, niveau d'abstraction). La gestion de la dynamique des objets n'est pour le moment pas traité par EXPRESS. Il semblerait cependant que certains travaux visent à étendre et à doter ce langage de **capacités d'encapsulation de fonctions et de méthodes.**

2.3.4. Synthèse

Le modèle relationnel présente des insuffisances, notamment dans la représentation de la sémantique et des contraintes associées, des objets complexes. Il prend appui sur la représentation physique des objets sous une forme tabulaire. Le modèle sémantique se rapproche davantage de l'univers du discours. Il libère le concepteur de tout souci d'implémentation en marquant une nette séparation entre l'aspect logique et physique. Il ne permet cependant pas la modularité et la réutilisabilité de constructions de données. Le modèle orienté objet permet de décrire des classes d'objet qui encapsulent les aspects structuraux et comportementaux des données.

Pour la description des modèles de données, nous avons retenu le formalisme NIAM, pour ses capacités graphiques. Il est de plus très largement utilisé dans les projets de recherches actuels. Nous utilisons EXPRESS pour la description et traduction des modèles, à partir de NIAM, sous une forme interprétable par la machine. Le schéma EXPRESS ci-dessous est issu des schémas NIAM et EXPRESS-G des figures S2.1 et S2.2.

```
SCHEMA paroi ;

TYPE  Epaisseur = STRING
END_TYPE; -- Epaisseur

TYPE  position = STRING ;
END_TYPE; -- position

ENTITY couche_paroi ;
 a_pour_Epaisseur : Epaisseur ;
 a_pour_position  position ;
 de  paroi ;
END_ENTITY ; -- couche_paroi

ENTITY mur
SUBTYPE OF (paroi) ;
END_ENTITY ; -- mur

ENTITY paroi
SUPERTYPE OF (ONEOF(plancher,mur));
a_pour  SET OF couche_paroi ;
END_ENTITY ; -- paroi

ENTITY plancher
SUBTYPE OF (paroi) ;
END_ENTITY ; -- plancher

END_SCHEMA ;
```

2.4. La modélisation produit

2.4.1. Introduction

Dans le secteur de la construction Le 'Product Modelling' (Modélisation Produit) consiste en la description de l'ensemble des données ayant trait aux produits issus du processus de conception / réalisation / maintenance d'un projet de construction. Le projet STEP de la norme ISO [ISO TC 184 SC4 1993] vient à la suite de nombreuses expériences de projets nationaux tels IGES [NBS 1986], SET (France), VDA-FS ET VDA-IS (Allemagne), ainsi que des formats propriétaires tels que DXF [Autodesk 1992] et DWG [Intergraph 1988]. Le projet STEP [ISO/TC184 1993a] est né du besoin unanimement exprimé par les industriels, au travers de leurs instances nationales, de disposer d'une norme unique permettant la représentation et l'échange des informations et données techniques relatives à un produit industriel durant son cycle de vie. Nous présentons dans ce qui suit les normes IGES et STEP ainsi que les principaux projets qui ont pour cadre la modélisation du bâtiment.

2.4.2. La norme IGES - SET

Le projet américain IGES (Initial Graphics Exchange Specification) a été initialement développé par le NBS (National Bureau of Standards) conjointement avec Boeing Airplane Company et la General Electric Corporation. Il a été publié par le NBS en janvier 80 et a fait l'objet d'une révision et extension conformément à la norme ANSI (American National Standard Institute), avant d'être adopté comme norme nationale américaine. La norme IGES a servi de support au développement de la norme française SET.

Le format IGES concerne exclusivement les **échanges graphiques** entre systèmes dédiés à la CAO-DAO. Il ne véhicule aucune sémantique autre que géométrique. Il consiste en un ensemble d'entités et d'attributs permettant de décrire de façon simple et non-ambiguë la géométrie d'un produit [NBS 1986]. Ces entités sont de type géométrique (Solide, Surface, Courbe définies dans un repère tridimensionnel). Elles permettent également d'exprimer des propriétés portant sur l'associativité, l'agrégation et autres.

Dans le secteur de la construction, de nombreux efforts ont permis, de façon marginale, d'introduire de la sémantique dans l'IGES. **Ces efforts, du fait même des limitations**

d'IGES, se sont avérés inopportuns au regard de l'étendue et de la complexité du domaine de la construction.

2.4.3. Le projet STEP

Le projet STEP (STandard for the Exchange of Product model) est né d'un besoin général de disposer d'une norme internationale permettant l'accès et l'utilisation structurée, complète et non-ambiguë de l'information nécessaire à la représentation électronique, ainsi qu'à l'échange de Produit sous un format neutre directement interprétable par des environnements logiciels avancés. **Le projet STEP s'intéresse à l'ensemble du cycle de vie du Produit**. Contrairement à IGES, il supporte la description d'entités non-géométriques telles les spécifications de tolérance, les propriétés des matériaux, les spécifications sur les finitions de surface, etc. Le modèle géométrique de STEP prend appui sur les méthodes de représentation par limite (B-rep) et la CSG (Constructive Solid Geometry).

STEP est structuré en "Parties" publiées séparément (la version initiale en comporte 12). Elles portent sur les méthodes de description, les ressources intégrées, les protocoles d'application, les suites de tests abstraits, les méthodes d'implémentation, les tests de conformité, etc. Ces parties sont regroupées et classées par séries.

Série-10

Partie 1 : Principes fondamentaux

Cette "partie" présente les domaines d'application ainsi que l'étendue de la norme [ISO/TC184 1993a] qui porte sur :

- la représentation de l'information décrivant le Produit ;
- l'échange électronique de cette information.

Elle décrit également les principes de base qui permettent une représentation rationnelle et un échange efficace de l'information supportant la description du produit.

La "Partie 1" comporte notamment :

- la structure de la norme ;
- la définition des termes employés ;

- un rappel des méthodes de modélisation ;
- une introduction sur les ressources intégrées ;
- une introduction sur les protocoles d'application ;
- une introduction sur les tests de conformité, etc.

Série-20

Partie 21 : Méthodes de description

Cette "partie" décrit le langage utilisé par STEP pour la description de l'information, en l'occurrence EXPRESS [ISO/TC184 1992a]. C'est un langage basé sur la définition d'éléments permettant une représentation non ambiguë des données, des contraintes qui leur sont appliquées, ainsi que des actions appliqués à ces éléments (sous forme de procédures et de fonctions).

Partie 22 : Méthodes d'implémentation

Cette "Partie" décrit la syntaxe de la structure d'échange de données du produit. Elle spécifie notamment le "mapping" du langage EXPRESS vers le format Neutre ISO. On y retrouve également les spécifications relatives au SDAI (Standard Data Access Interface) [ISO/TC184 1993b].

Série-30

Partie 31 : Méthodologie des tests de conformité

Cette "Partie" spécifie l'approche méthodologique pour la mise en oeuvre d'un test de conformité relatif à une implémentation.

Série-40

Partie 41 : Ressources génériques intégrées : description d'un produit

Les ressources génériques portent sur :

- ressources génériques de description d'un produit ;
- ressources génériques relatives à la gestion ;
- support ressources.

Partie 42 : Ressources génériques intégrées : géométrie et représentation topologique

Cette "partie" propose des constructions de modèles permettant une représentation explicite de la géométrie et de la topologie d'un produit [ISO/TC184 1993C].

Partie 43 : Ressources génériques intégrées : structures de représentation

Cette "partie" spécifie les ressources génériques intégrées permettant d'associer des éléments de représentation à des contextes distincts.

Part 44 : Ressources génériques intégrées : structures de configuration de produits.

Cette partie spécifie les ressources nécessaires à la gestion de la structure et de la configuration d'un produit durant son cycle de vie. Elle spécifie également les liens de dépendances entre les composants et les assemblages du produit.

Part 46 : Ressources génériques intégrées : représentation visuelle.

Cette partie décrit les ressources génériques nécessaires à la représentation graphique d'un modèle de produit de sorte que l'image de ce dernier puisse être échangée et interprétée par l'utilisateur cible.

Série-100

Part 101 : Ressources d'applications intégrées : dessin

Cette partie décrit des constructions de ressources nécessaires à la représentation graphique des informations ayant trait au produit [ISO/TC184 1993d].

Série-200

Part 201 : Protocoles d'application : dessin explicite.

Cette partie décrit les ressources intégrées permettant la description explicite des produits dessinés de façon à assurer leur intégrité géométrique lors de l'échange [ISO/TC184 1992b].

Part 203 : Protocoles d'application : configuration contrôlée des conceptions tridimensionnelles de composants et d'assemblages mécaniques.

Les Protocoles d'Application

Les protocoles d'application visent à **interfacer les applications informatiques aux données** concernant un domaine précis de l'univers du discours. Le domaine identifie les besoins d'informations ainsi que la vision d'un ensemble d'utilisateurs au travers de leur corps de métier. Le diagramme ci-dessous fixe le cadre du protocole d'application.

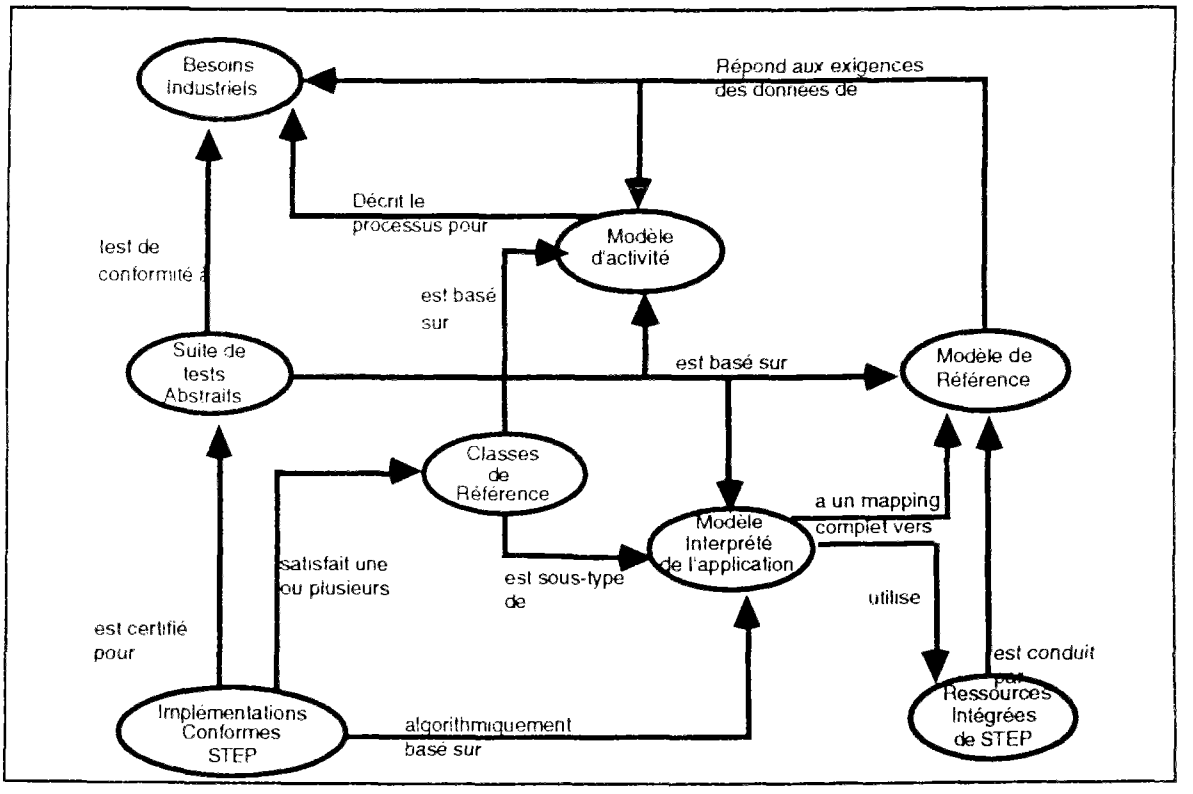


Fig S2.4. Cadre d'un protocole d'application.

- les *Besoins Industriels* définissent les besoins spécifiques à l'industrie pris en charge et gérés par le Protocole d'Application.
- le *Modèle d'Activité* est le modèle de processus de l'application industrielle gérée par le Protocole d'Application. Généralement développé en IDEF0 [Appleton 1982], il constitue un guide de développement et de validation du Modèle de Référence.
- le *Modèle de Référence* utilise le vocabulaire de l'application étudiée et décrit les données, les contraintes ainsi que les relations entretenues par les concepts nécessaires à la définition du Protocole d'Application. Le formalisme utilisé est par exemple NIAM, IDEF1-X ou EXPRESS-G.

- le *Modèle Interprété de l'Application* est un modèle exprimé en EXPRESS dérivé du modèle de référence par utilisation des ressources intégrées de STEP selon un procédé appelé interprétation. Le modèle interprété doit être sémantiquement conforme au modèle de référence. S'il y a lieu, les ressources intégrées peuvent être spécialisées pour les besoins du modèle de référence. La définition du Modèle Interprété de l'Application à partir des ressources intégrées de STEP établit les bases d'une intégration et d'une inter-opérabilité entre les Protocoles d'Application.

- les *Classes de Référence* constituent des sous-ensembles du Modèle Interprété de l'Application.

- les *Suites de Tests Abstraits* permettent de standardiser la mise en place de l'échange.

Les protocoles d'application doivent être conçus pour les besoins directs des industriels. Ils doivent être structurés de façon à permettre une **inter-opérabilité entre les secteurs de l'AIC** (Architecture, Ingénierie et Construction). Pour ce faire, les protocoles d'applications doivent partager les mêmes ressources génériques fournies par la norme STEP. Ces ressources génériques sont ensuite spécialisées et adaptées aux besoins de chaque secteur comme l'indique la figure ci-dessous.

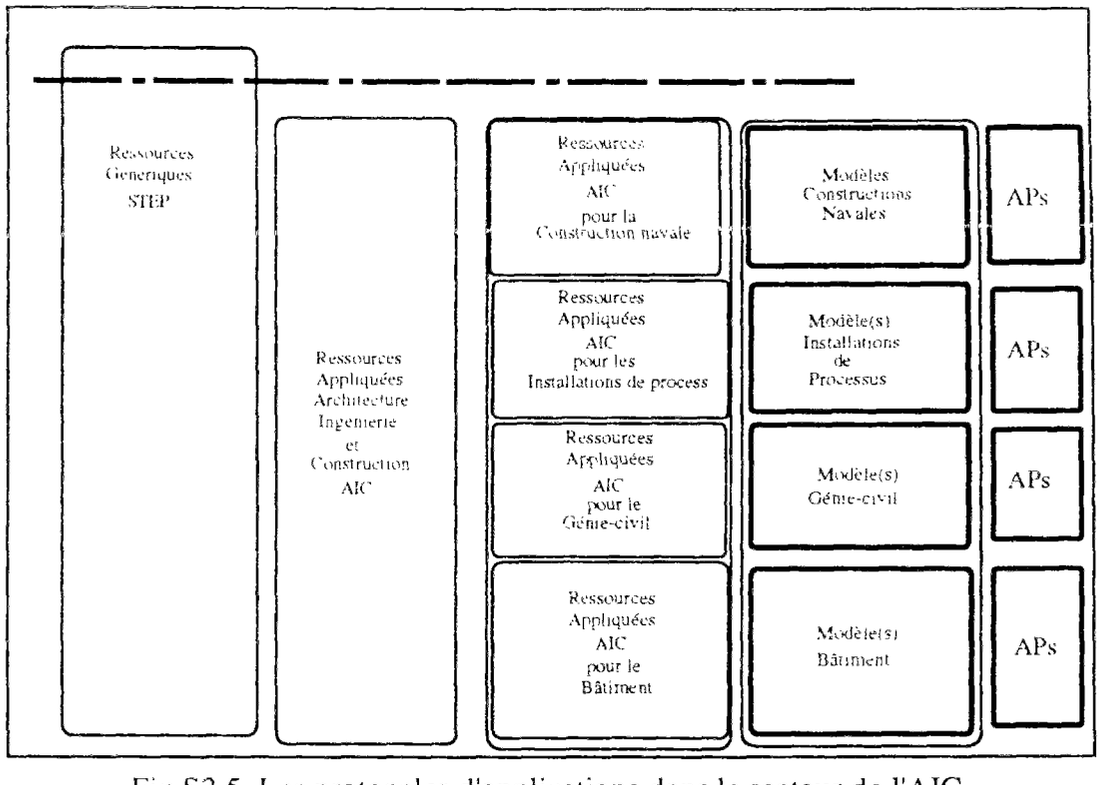


Fig S2.5. Les protocoles d'applications dans le secteur de l'AIC.

De nombreux travaux et discussions ayant pour cadre l'APPP (Application Protocol Planning Project), sont actuellement en cours pour le bâtiment [Kuiper 1994], [Rezgui 1994], [Gielingh 1993], [Bohms 1993] et les autres secteurs de l'industrie. Le projet MARITIME propose des protocoles d'application pour la construction navale [Koch, Bruijn, 1993]. Le concept de **Brick** que propose ce projet a suscité l'intéret de nombreux chercheurs [Wix, Junge, et al. 1993].

2.4.4. Quelques projets internationaux

Le modèle systémique bâtiment (Turner)

L'approche systémique de Turner s'avère adaptée à la réalité du bâtiment. Elle identifie un certain nombre de systèmes au sein du bâtiment classés en "**systèmes à flux**" et en "**systèmes associatifs**". Le système à flux désigne tout système véhiculant un médium (fluide, air, électricité, personnes, ...). Les systèmes ne rentrant pas dans cette catégorie sont dits associatifs. Le "projet de bâtiment" est le concept racine du modèle. Turner identifie en premier lieu deux systèmes principaux qui interagissent : le site et le bâtiment.

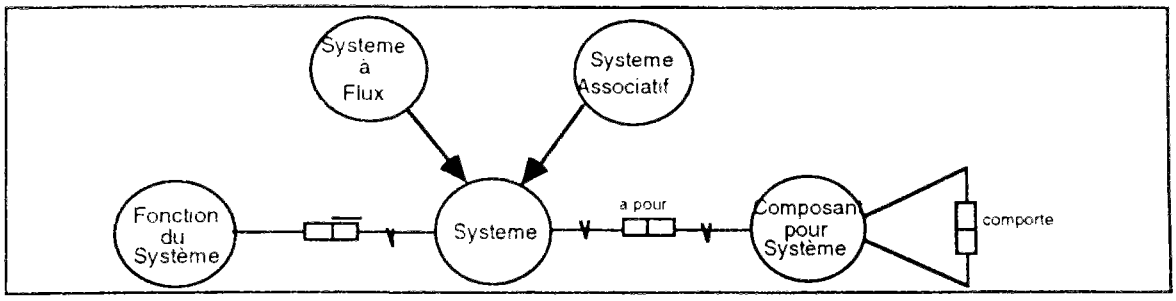


Fig S2.6. Le modèle systémique bâtiment [Turner 1990a]

Turner décrit le système comme constitué de composants ayant une fonction précise. Chaque composant peut de même être décomposé en d'autres composants. Les systèmes ayant trait à l'aspect spatial [Turner 1990b] ainsi qu'aux éléments du bâtiments [Turner 1990c] sont davantage développés. Le modèle que propose Turner présente l'avantage de décrire le bâtiment de façon rigoureuse grâce à l'approche systémique. Il présente cependant des insuffisances au niveau de la description des interrelations entre composants de systèmes distincts. **Ce modèle semble toute fois bien adapté aux besoins de la classification.**

Le projet GARM (General AEC Reference Model)

Le projet GARM est un **modèle de référence** conçu pour le secteur de l'AIC (Architecture Ingénierie et Construction). Il s'inscrit dans la logique STEP. Il offre un niveau de **concepts génériques permettant une communication entre diverses applications AIC** [Gielingh 1990]. Il se positionne sur le second niveau de l'axe Généralisation / Spécialisation de la figure ci-dessous (Fig S2.6.).

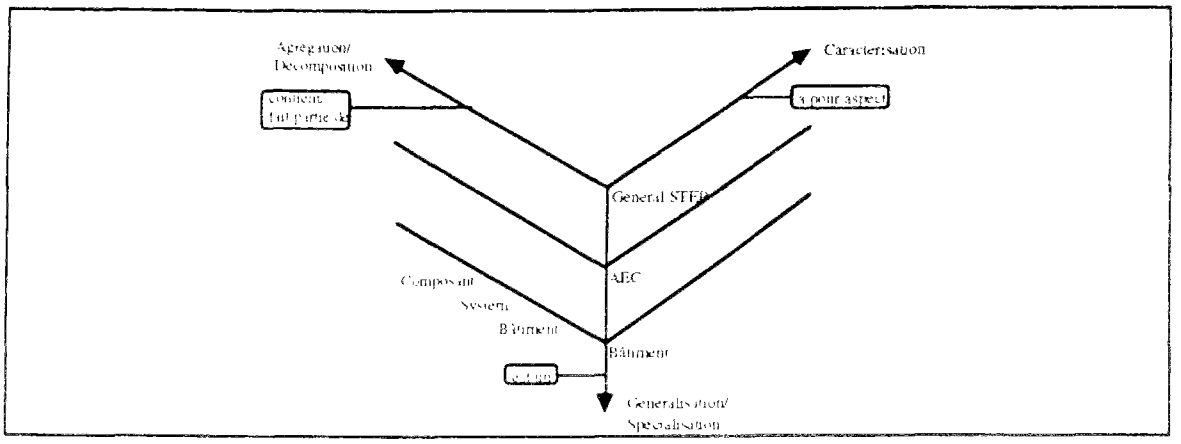


Fig S2.7. Les trois abstractions de la norme STEP identifiant le contexte de la modélisation Produit .

GARM prend appui sur un concept générique qualifiant le produit ou le sous-produit (issu de la décomposition du produit) : le **PDU** (Product Definition Unit). Le PDU est défini par des caractéristiques portant sur certains aspects du produit tels la résistance, le prix, l'aspect acoustique, l'aspect thermique et autres. GARM considère trois types de caractéristiques conformément au cycle de vie d'un projet : les caractéristiques mesurées (disponibles dès la réalisation physique du projet), les caractéristiques exigées (nécessaire à la conception du projet) et les caractéristiques attendues (résultant des diverses analyses et simulations). Tous les aspects liés au site et nécessaires à la définition du bâtiment sont développés au sein du concept "**Agent**" conformément à la liste fournie par l'ISO 6241.

La spécialisation dans le modèle GARM se fait par le sous-typage des concepts PDU selon une approche qui s'apparente aux techniques de classification. Ainsi, les quatre secteurs de l'AIC identifiés par STEP sont pris en compte : le Bâtiment, les Installations industriels, la Construction Navale, les Travaux Publics. Au sein de chaque

secteur, la description est faite selon une approche systémique basée sur un critère fonctionnel.

La décomposition dans le projet GARM n'est pas prédéfinie. Le PDU représente un système, un sous-système, un composant, etc. L'utilisateur prend en charge la décomposition ainsi que la description des liens entretenus entre les PDUs. Les exigences d'un PDU sont développées dans le concept d'unité fonctionnelle, tandis que les solutions à ces exigences sont exprimées au sein du concept de solution technique, lequel est défini par ses caractéristiques.

L'approche GARM permet dans des cas complexes d'utiliser la stratégie "divide-and-conquer" qui consiste à décomposer une solution technique en un ensemble d'unités fonctionnelles dont les solutions techniques respectives contribuent à la définition de la solution technique initiale (Fig S2.7).

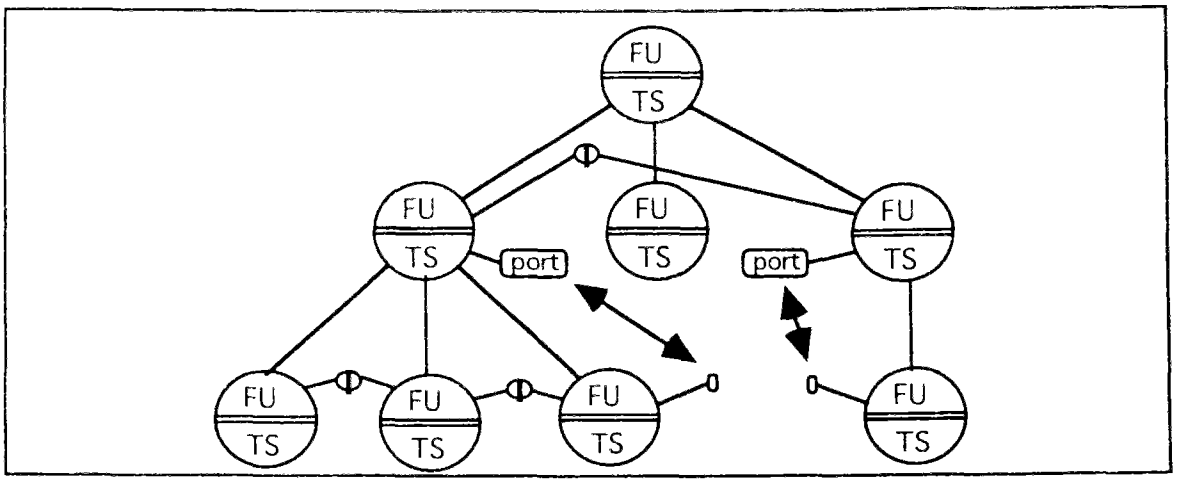


Fig S2.8. Le principe de décomposition des unités fonctionnelles [Gielingh 1988].

La modélisation du domaine se fait au travers de la description du réseau de relations entre les unités fonctionnelles relevant d'une même solution technique. Cependant les UF n'appartenant pas à une même solution technique sont modélisées à un niveau plus générique. C'est ainsi que toute solution technique possède un ou plusieurs ports permettant la description des liens entretenus par des UFs n'ayant pas la même solution technique. Les ports en question sont respectivement décrits au sein de leur propre solution technique par une UF ayant un connecteur libre.

Le model GARM a été initialement conçu de sorte à pouvoir être directement instancié pour un produit donné. **Cependant les spécificités inhérentes à de nombreux projets**

ont très vite mis en évidence le besoin de modèles intermédiaires orientés "projet type" [Waard 1992] (établissements scolaires, hôpitaux, bâtiments administratifs, ...). Au delà de ces considérations GARM a permis la mise en oeuvre d'une **approche modulaire et récursive** dans la description d'un composant du produit [Gielingh 1990]. Cette approche a été utilisée dans le cadre de nombreux modèles tel le Road Model Kernel [Willems 1990].

Le modèle RATAS

Le modèle conceptuel RATAS décrit le projet de construction en terme d'objets, d'attributs rattachés à ces objets et de relations [Björk, 1989]. La description d'un objet du bâtiment se fait au travers de la description des relations entretenues par un réseau d'objets. Deux types de relations sont utilisées dans le projet RATAS :

- la relation "est partie de" : elle sert à décrire la structuration de l'objet en terme d'appartenance à un autre objet. Cette relation s'applique d'une façon générale d'un niveau à l'autre;
- la relation "est connecté à" : elle sert à décrire les liens entretenus entre les objets généralement au sein d'un même niveau.

Le projet RATAS comporte cinq niveaux de modélisation :

- le niveau bâtiment : il est décrit par un objet représentant le bâtiment ou le projet de construction ;

- le niveau système : il comporte la description des principaux systèmes à la base du projet de construction, tels la structure portante, le réseau électrique, le réseau des locaux, etc ;

- le niveau sous-systèmes : les systèmes identifiés précédemment sont décomposés en sous -systèmes selon un critère fonctionnel ou autre ;

- le niveau composant : décrit les composants génériques du sous-système ainsi que les données nécessaires à la descriptions des liens entre composants ;

- le niveau détail : ce niveau décrit les ouvrages élémentaires à la base des composants.

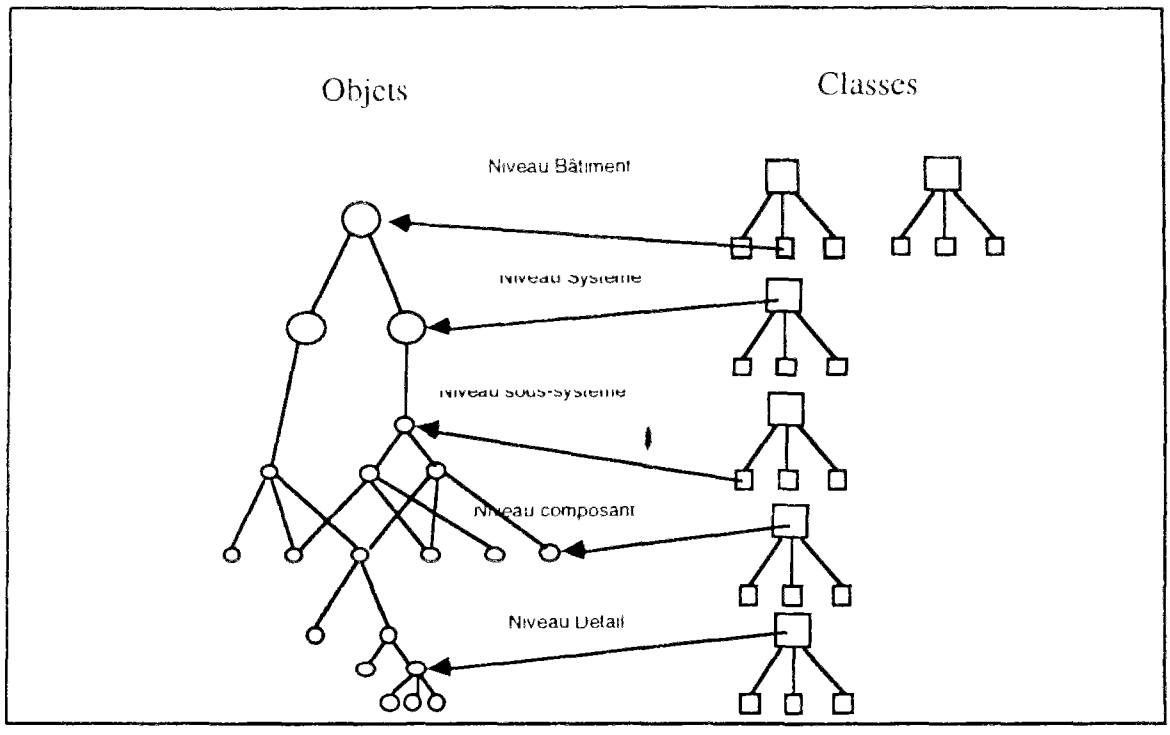


Fig S2.9. les divers niveaux du modèle RATAS
[Björk, 1988]

Le modèle Combine

Le projet COMBINE-1 (1989 - 1992) [Dubois et al. 1992] peut être considéré comme la première initiative dans le secteur de la construction démontrant la réelle utilité des techniques STEP pour l'échange de données entre outils hétérogènes.

Dans ce projet, le CSTB avait la responsabilité de deux tâches :

- La définition conceptuelle du modèle de données IDM (Integrated Data Model), support de l'information échangée entre les applications informatiques ;
- L'implémentation de ce modèle de données pour en permettre l'échange en technologie STEP.

La modélisation conceptuelle a été réalisée en NIAM à partir de l'outil COMSET de la plate-forme XPDI [Poyet et al. 1994]. Une implémentation objet a été dérivée dans le langage XP-OOL puis les échanges STEP ont été réalisés par l'intermédiaire du module STEPSET de XPDI.

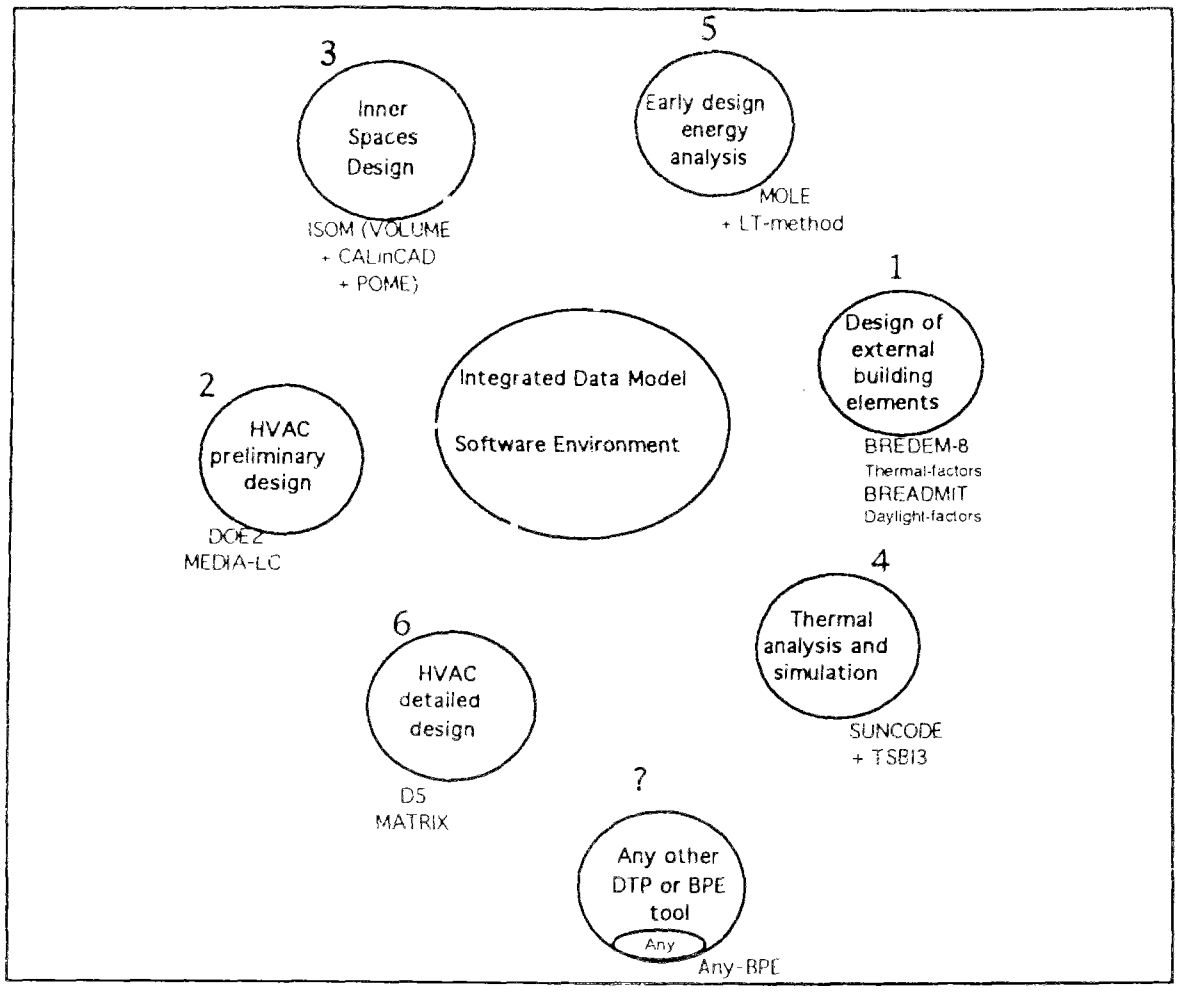


Fig S2.10. L'architecture globale du projet COMBINE.

Le projet COMBINE-2 (1993 - 1995) a pour but l'extension et la généralisation de l'IDM (IDM+) puis l'implémentation du SDAI de STEP par l'intermédiaire d'un binding C++ et de la base de données objet ObjectStore. Le CSTB a un rôle d'expert dans ce projet pour la modélisation conceptuelle de l'IDM+ et pour l'implémentation d'une connexion entre des documents réglementaires et ce modèle.

2.5. La modélisation projet (project modelling)

La norme STEP s'articule autour du concept de produit. Une partie importante de l'information ayant trait au produit est exprimée au travers des concepts liés à la gestion administrative, économique et temporelle d'un projet. Tout produit industriel est le résultat **d'activités** prenant appui sur des **ressources** diverses. De nombreuses actions internationales se sont intéressées à **l'extension du "modèle de produit" vers le "modèle de projet"**. Parmi ces actions, on peut citer les projets IMPPACT et IRMA.

Le modèle de référence IMPPACT

Ce modèle a été développé pour le secteur de l'industrie mécanique [Gielingh et al. 1993]. Il part du principe que **les activités de production sont séquentielles au sein d'un processus de production organisé en phases.** Chaque phase de production détermine **l'état du produit** en cours de production.

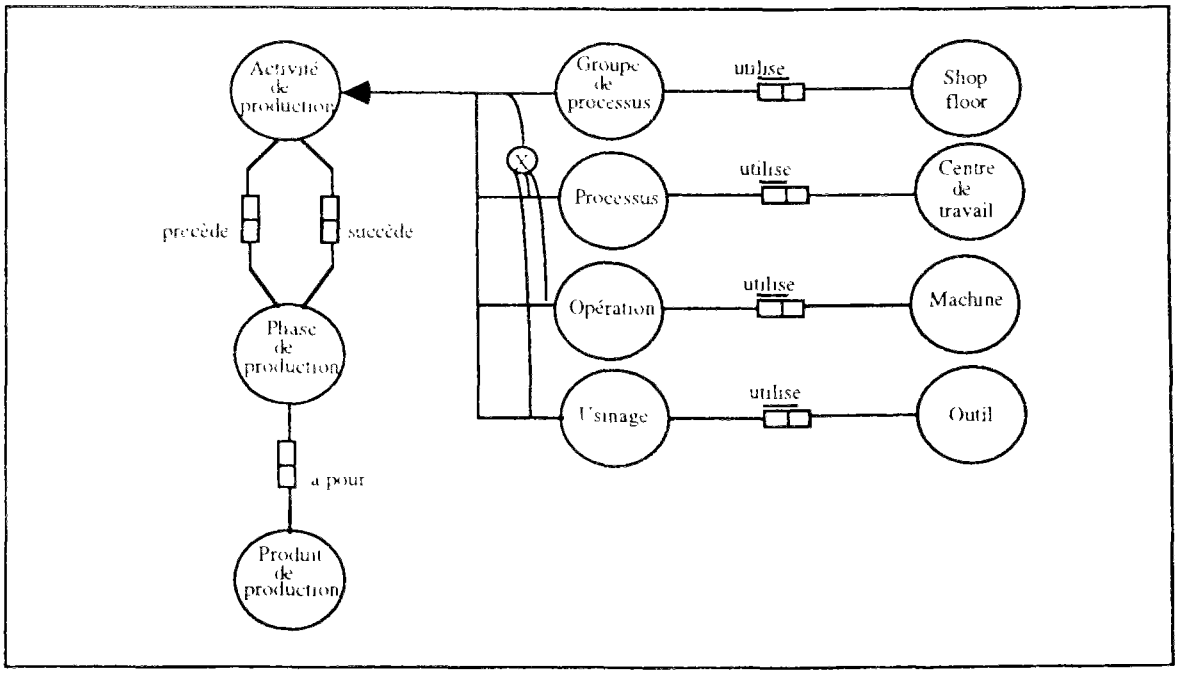


Fig S2.11. Le modèle de référence IMPPACT [Gielingh, Suhm, 1993]

L'activité de production est le concept générique désignant : un **usinage** (déplacement élémentaire d'une machine), une **opération** (activité réalisée par une machine), un **processus** (activité réalisée au sein d'une station de travail) et un **groupe de processus**. Bien que conçu pour l'industrie mécanique, ce modèle présente des aspects pouvant

intéresser la phase construction d'un projet bâtiment. Le modèle produit du modèle de référence IMPPACT s'apparente au modèle GARM.

Le Modèle d'Approche Unifiée (Unified Approach Model)

Ce modèle décrit de façon générique toute activité à la base du processus de production d'un bâtiment [Björk 1992]. L'activité est réalisée par un agent (personne physique ou morale), utilise des ressources (humaines ou matérielles) et produit des résultats.

Le modèle d'approche unifiée distingue les **ressources durables** (équipements ayant une fonction précise) des **ressources consommables** (matériaux, biens, etc.) ainsi que les **ressources humaines** représentées par un service ou un département d'une entreprise offrant des prestations précises. le modèle d'approche unifiée gère l'aspect économique d'une activité en rattachant un prix à l'utilisation d'une ressource.

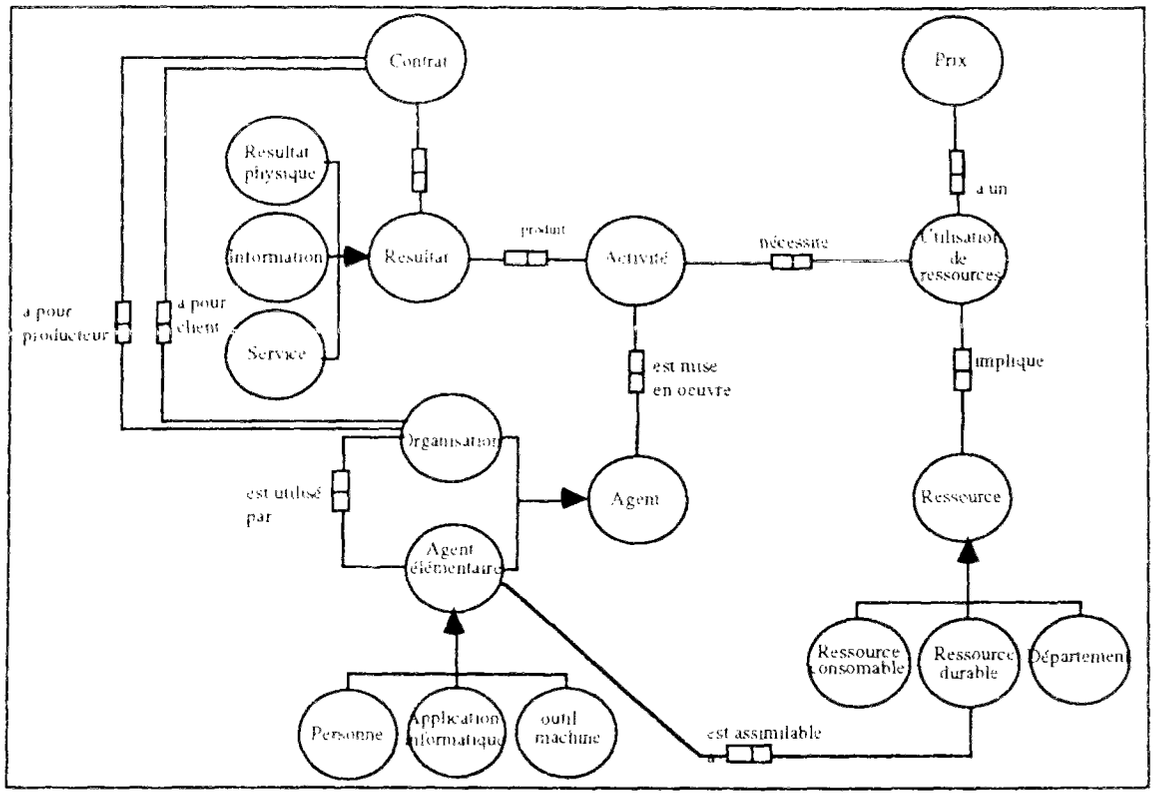


Fig S2.12. Le modèle d'approche unifiée [Björk 1992]

Le Modèle Objet de Construction Général (Gencom)

Ce model a été développé à l'université de Stanford [Froese 1992] en vue de faciliter l'intégration des logiciels de gestion de projet par l'utilisation de modèles standard de projets de construction.

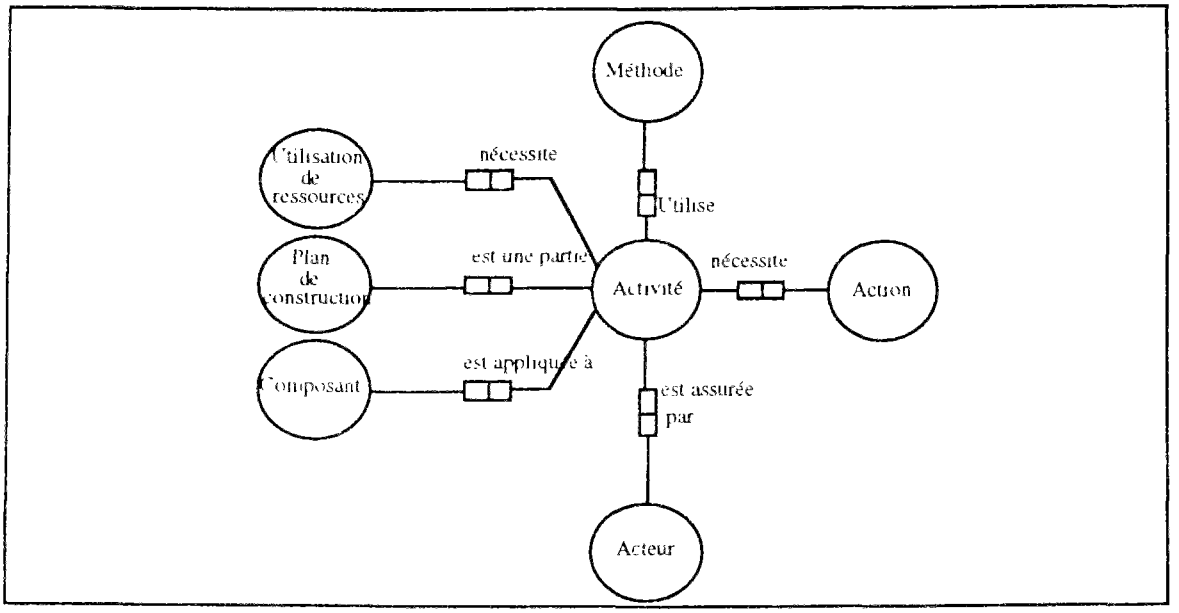


Fig S2.13. Le modèle objet de construction général

Le modèle Gencom considère l'activité en phase réalisation du projet. L'activité est assurée par un intervenant. Elle est mise en oeuvre au travers d'une action, d'une méthode et d'un ensemble de ressources.

Le modèle d'information de référence (IRMA)

Le projet IRMA est la synthèse d'une réflexion internationale sur les concepts de produit, d'activité, de ressources et d'acteurs du cycle de vie d'un projet. Le succès de ce projet s'explique en partie par le nombre important de participants et d'avis échangés au travers de la messagerie électronique e-mail [Froese, Cooper, et al. 1993].

Dans une version plus actuelle [Luiten, Froese et al. 1993] le concept de contrat est défini comme objet du projet au même titre que le produit, l'activité ou la ressource. Le contrat fixe le niveau de qualité et de performance entre le demandeur de service et le producteur du service.

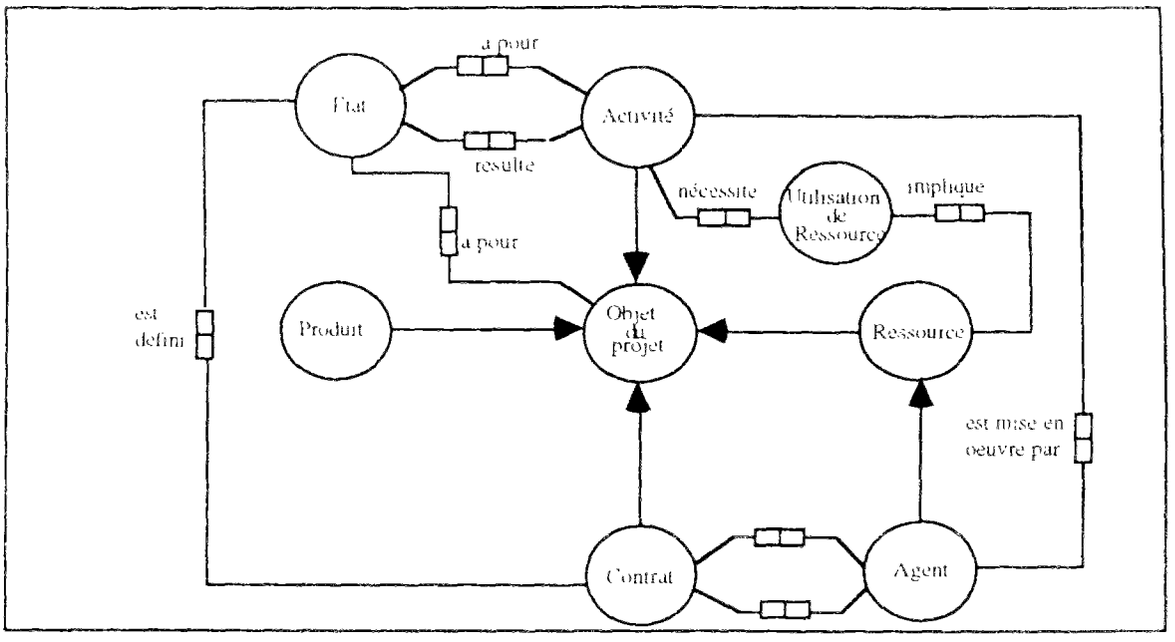


Fig S2.14. Le modèle IRMA

Le modèle ATLAS

Le but du projet ATLAS [ATLAS 1992] est de définir un **cadre méthodologique** et des outils adaptés afin de permettre le partage et l'échange de l'information répartie et hétérogène dans le processus d'ingénierie à grande échelle. Des modèles de données dans les domaines de la construction et du Process Plant doivent être définis puis implémentés dans le FrameWork SIFRAME [Siemens Nixdorf 1992]. SIFRAME est une plate-forme gérant l'ingénierie concurrente dans laquelle seront implémentés les notions de :

- processeurs STEP (échanges en format ISO) ;
- SDAI (échanges des données à partir d'ordres SDAI entre les outils) ;
- stockage Objet ;
- gestion de la concurrence d'accès.

Le modèle ATLAS s'intègre dans la logique STEP. Il présente une architecture à 3 niveaux : un niveau comportant des **ressources génériques conformes STEP**, un niveau au sein duquel est décrit le **modèle de référence à grande échelle**, un troisième niveau où le modèle de référence est **spécialisé** pour les besoins **d'un modèle de bâtiment et d'un modèle d'installation de processus** (Fig S2.14).

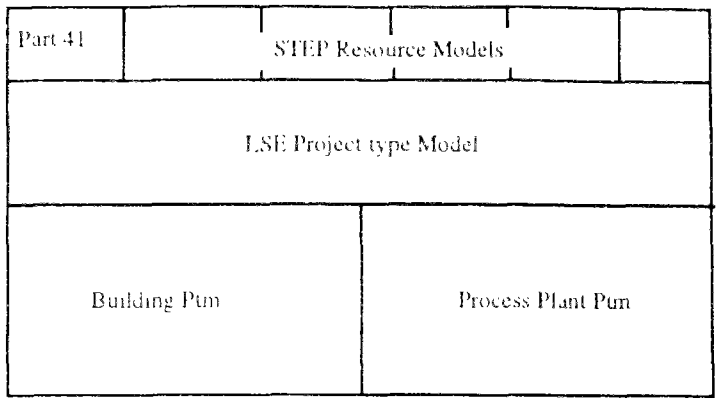


Fig S2.15. L'architecture ATLAS.

Le CSTB participe à la définition des outils STEP supportant l'intégration d'outils à Base de connaissances. La plate-forme XPDI est utilisée pour la modélisation, la génération des fichiers EXPRESS et ISO NF, et l'intégration des Bases de Connaissances.

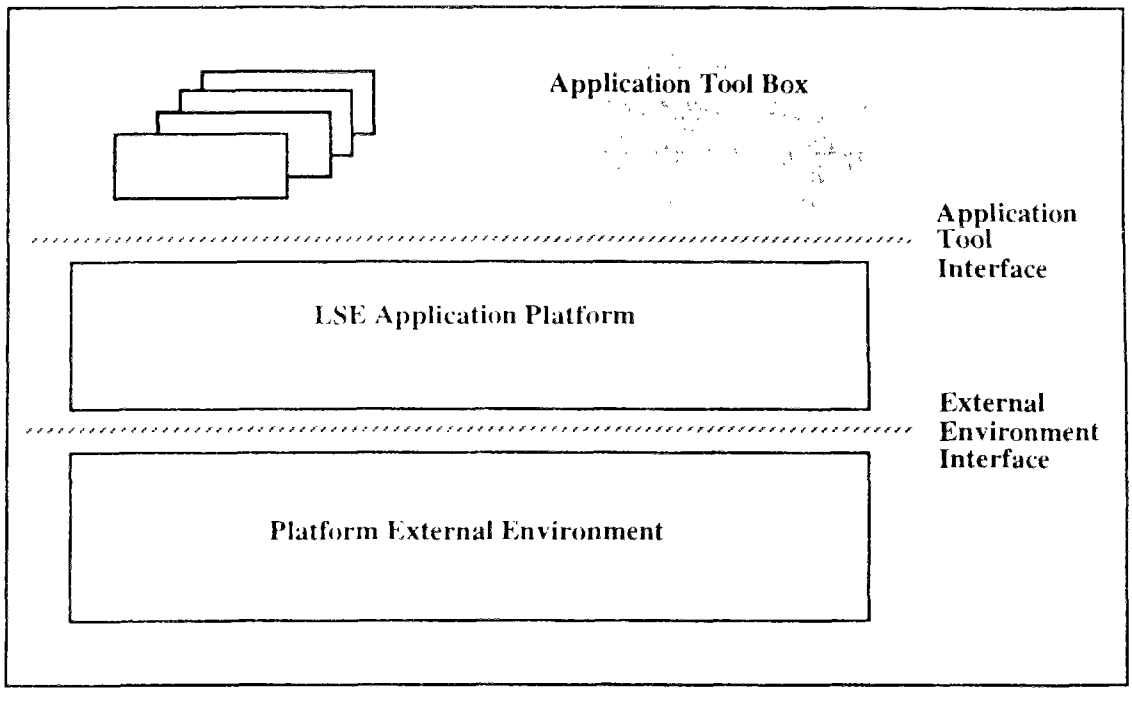


Fig S2.16. Le contexte du projet ATLAS.

2.6. Synthèse et recommandations conceptuelles

L'expérience acquise au travers des projets de recherche présentés dans ce chapitre, nous interpelle sur les principes fondamentaux que tout modèle de données se doit de respecter. À l'heure actuelle de nombreux modèles ont été développés. Souvent, ces modèles se focalisent sur un aspect ou un point de vue particulier du domaine, en liaison directe avec les besoins de l'utilisateur. Ils souffrent malheureusement d'un **manque d'intégration.** Cependant, l'apport de certains travaux est appréciable :

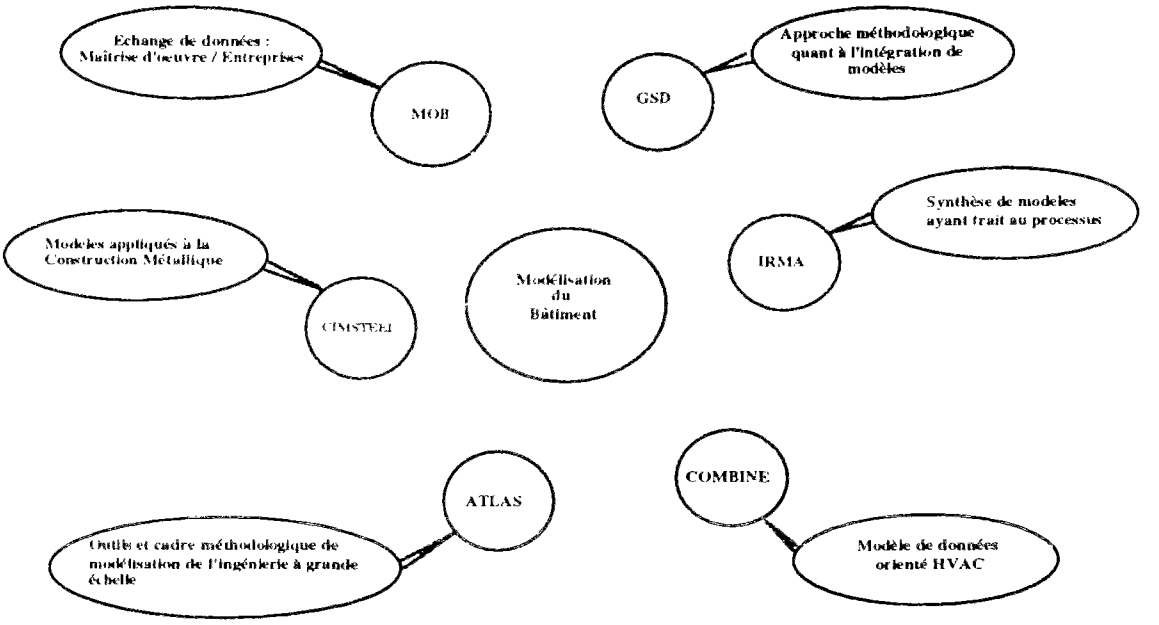


Fig S2.17. L'apport des travaux existants

- le projet MOB nous propose un modèle de données spécialisé dans l'échange de données techniques entre maîtrise d'oeuvre et entreprises, tout au long du cycle de vie d'un projet,
- les projets GSD1 et GSD2 nous proposent une synthèse de modèles conceptuels développés par plusieurs équipes. Nous retiendrons notamment l'approche méthodologique proposée par l'équipe GSD quant au problème de l'intégration de modèles,
- le projet COMBINE orienté HVAC, peut être considéré comme la première initiative dans le secteur de la construction démontrant la réelle utilité des techniques STEP pour l'échange de données entre outils hétérogènes,
- le projet ATLAS s'intéresse à l'ingénierie à grande échelle. Il propose des modèles et définit un **cadre méthodologique** et des outils adaptés afin de permettre le partage et l'échange de l'information répartie et hétérogène dans le processus d'ingénierie à grande échelle.

Le principe fondamental dans tout travail de modélisation est l'abstraction, mise en oeuvre au travers de mécanismes tels la **spécialisation / généralisation** ou la **décomposition / agrégation** [Brodie, Mylopoulos et al. 1986]. L'abstraction doit être utilisée dans un cadre méthodologique bien défini. La **neutralité de représentation** est également un aspect important dans la conception d'un modèle. Ce dernier ne doit en aucun cas être guidé par des soucis d'implémentation.

1. le cadre méthodologique

- il s'agit de bien identifier le domaine et ses recouvrements dans le contexte global de l'univers du discours : les développements doivent être hiérarchisés conformément aux principes de la norme STEP;
- il convient d'utiliser autant que possible les ressources génériques, lesquelles doivent si nécessaire être spécialisées pour les besoins du domaine, et ce afin de permettre un échange intersectoriel et interdisciplinaire fig S2.4 ;
- il est conseillé de structurer le domaine en adoptant une approche systémique, laquelle s'avère la mieux adaptée au jour d'aujourd'hui (cf. pg 2.2) ;
- enfin il convient de bien identifier les principaux systèmes décrivant le domaine et de bien s'accorder sur la portée sémantique des concepts utilisés..

2. l'abstraction

L'abstraction consiste à décrire les aspects essentiels d'un objet en occultant tous les détails d'une importance relative. La spécialisation est un des mécanismes utilisés pour l'expression de l'abstraction. Les langages NIAM et EXPRESS l'expriment au travers du sous-typage ("subtype" et "supertype" pour EXPRESS). La spécialisation est étroitement liée à la discrimination ainsi qu'à la relation d'orthogonalité [Gielingh, Suhm, 1993]. La discrimination est basée sur un aspect précis appelé dimension. Ainsi dans l'univers des mammifères, le chien et le chat se distinguent par l'aboiement du premier et le miaulement du deuxième. Le son est le critère utilisé pour distinguer le chien du chat. Le son constitue une dimension dans la cas considéré [Gielingh, Suhm, 1993]. L'orthogonalité intervient dans une modélisation multi-critères où les sous ensembles sont disjoints. Ce type de relation permet une description plus précise du domaine.

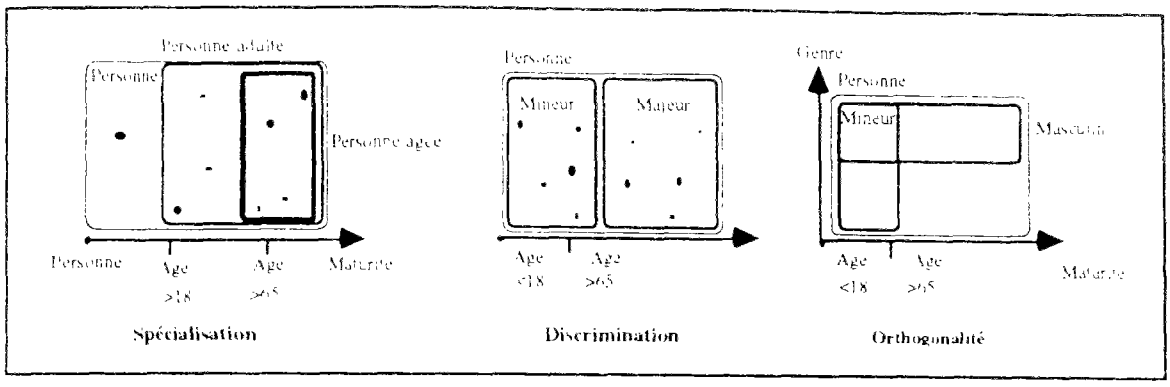


Fig S2.18. Les trois principes de modélisation.

La modélisation du bâtiment fera, sans aucun doute, appel à l'ensemble de ces aspects. Il convient dès lors de les appliquer d'une façon rigoureuse et adaptée à l'expression de la sémantique désirée.

3. Le modèle de données

Ce chapitre présente les lignes directrices , l'architecture et les principaux concepts du modèle de données du bâtiment développé dans le cadre de cette thèse. Une version en langage EXPRESS plus détaillée du modèle est fournie en annexe B.

3.1. Introduction

Le modèle de données du bâtiment présenté dans ce chapitre relève d'une **vision neutre et globale** du projet de construction. Il constitue un **modèle pivot** au travers duquel les divers acteurs d'un projet communiquent et échangent de l'information. Le **modèle de vue** par acteur et discipline constitue **l'interface** entre l'utilisateur et le modèle pivot du bâtiment. Il intègre le jargon utilisé par la profession et ne conserve que les concepts pertinents du modèle de données pivot. Les informations manipulées par l'ensemble des applications sont ainsi fédérées par un modèle unique assurant de la sorte l'intégrité des données.

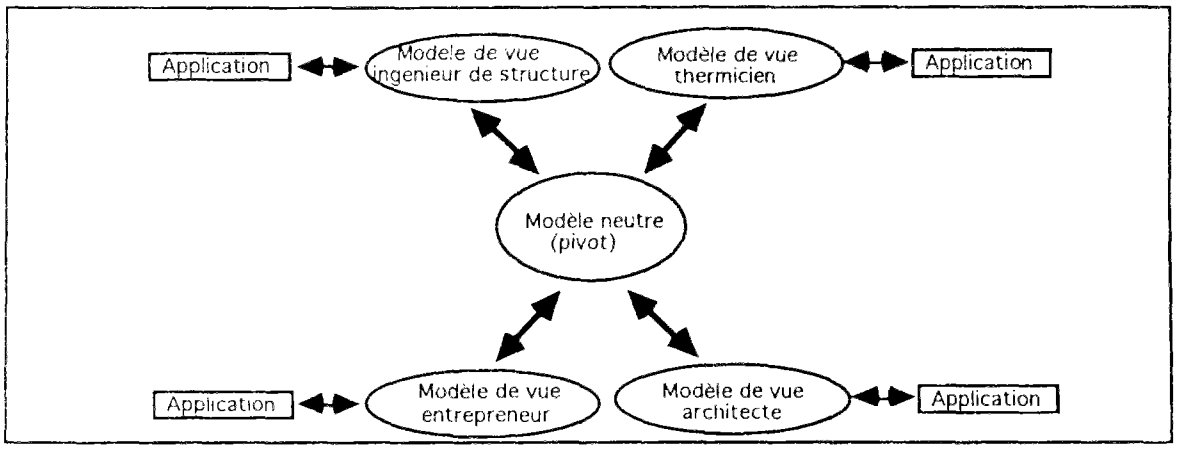


Fig S3.1. Le modèle neutre du bâtiment

Le modèle neutre pivot est appelé **Modèle de Référence du Projet de Bâtiment** (MRPB). Il sert de base à la dérivation des **Modèles Appliqués de Projet de Bâtiment** (MAPB), associés aux différents types de projets : écoles, administrations, logements, etc. C'est dans ce seul sens que le terme "Référence" est utilisé, de sorte à expliquer que le MAPB est dérivé du MRPB par un **mécanisme de spécialisation et des relations d'héritage** : la description d'un projet d'école se fait par la **spécialisation des concepts génériques** du Modèle Référence Bâtiment ainsi que par l'**héritage des propriétés et**

caractéristiques de ces concepts définis à un **haut niveau de généricité. Le mécanisme de spécialisation passe par le rajout des concepts nécessaires à la complétude du Modèle Appliqué Projet Bâtiment.**

La communication interdisciplinaire et intersectorielle est un des principaux objectifs de la norme STEP. Le Modèle Référence Projet Bâtiment doit permettre un échange d'informations entre les divers secteurs de l'industrie, en particulier celui de l'AIC (Architecture, Ingénierie et Construction) : les études de conception d'un complexe industriel requière les compétences de spécialistes issus de secteurs variés (ingénieurs en charpente métallique, architectes, ingénieurs en processus industriel, etc.). Une telle communication n'est possible qu'au travers de l'utilisation efficace des ressources génériques et appliquées prévues par la norme.

Les **RIG (Ressources Intégrées Génériques)** sont décrites par les parties 41, 42, 43, 44, 45 de la norme STEP. Les **RIA (Ressources Intégrées Appliquées)** sont une spécialisation des concepts RIG pour les besoins du secteur de la construction et de l'ingénierie bâtiment (Fig S3.2).

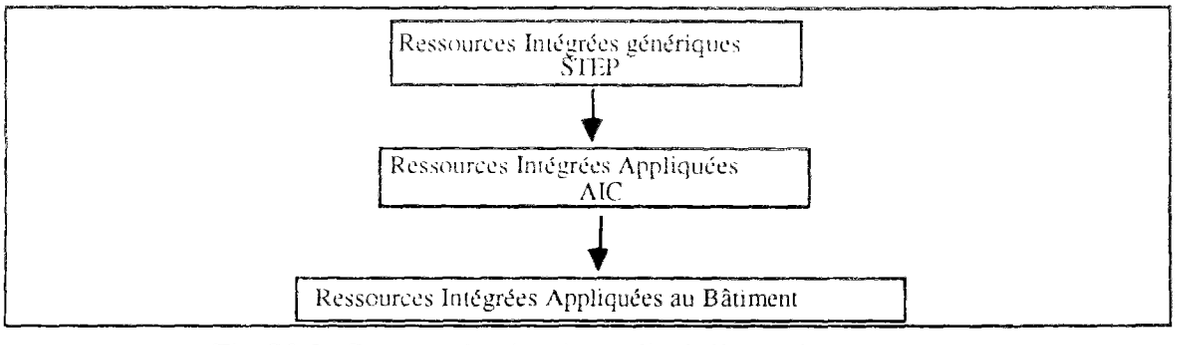


Fig S3.2. Communication inter-discipline et inter-secteur

Il est important également de noter la différence entre Modèle de Projet, et Modèle de Produit. Le premier intègre les divers aspects liés aux **activités** mises en oeuvre durant le processus de production d'un bâtiment, alors que le second se focalise essentiellement sur les **aspects physiques, formels et performanciels** du produit bâtiment.

3.2. Concepts clefs et modélisation

Divers concepts ressortent des chapitres précédents, parmi lesquels on peut citer : Projet de construction, Site, Bâtiment, Phase, Activité, Intervenant, Fonction, Responsabilité, Ouvrage, etc. Ces concepts qualifient le produit bâtiment dans son

acception la plus large. Certains ont trait à l'aspect fonctionnel tels la phase du cycle de vie d'un projet, l'activité et d'autres à l'aspect conceptuel tels le site et l'ouvrage.

Les concepts génériques qui décrivent la genèse du projet doivent par conséquent être définis au niveau du Modèle Référence Projet Bâtiment. Ce dernier regroupe le Modèle de Processus Bâtiment ainsi que le Modèle de Référence Produit Bâtiment (figure S3.3). Le Modèle Appliqué Produit est une spécialisation du Modèle de Référence Produit pour un type précis de projet (e.g. hôpital, bureaux, école, etc).

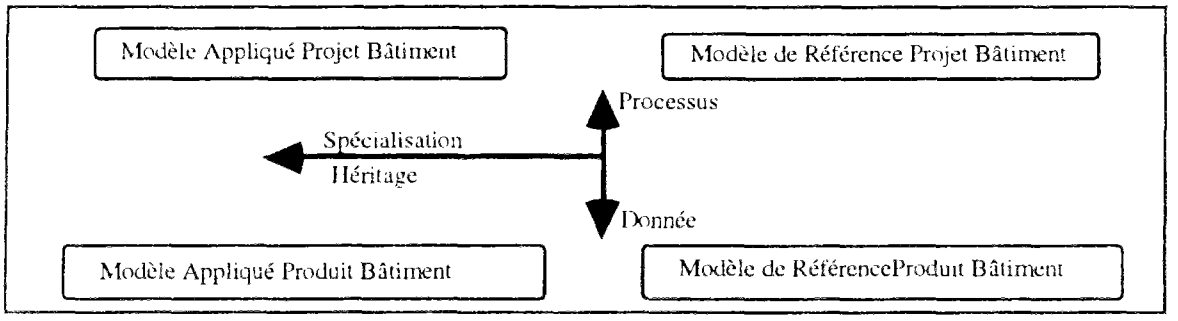
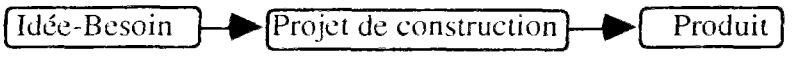


Fig S3.3. Le Modèle de Référence Projet Bâtiment

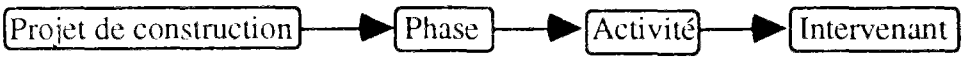
Il nous a semblé donc pertinent de présenter en premier lieu le modèle de référence du projet de construction.

Le Modèle de Référence Projet décrit les liens entretenus par un nombre utile, nécessaire et suffisant de concepts génériques ayant trait au produit bâtiment ainsi qu'à son processus de production.

Un maître d'ouvrage partant d'une idée et d'un besoin initie un projet de construction qui se concrétise par un produit (école, hôpital, bâtiment administratif, etc.).



Le projet de construction est régulé via des phases conventionnelles connues de tous. Ces dernières sont le siège d'activités de natures diverses assurées par des intervenants.



On distingue quatre phases génériques :

- phase d'études préliminaires, dont le document programme est l'aboutissement ;

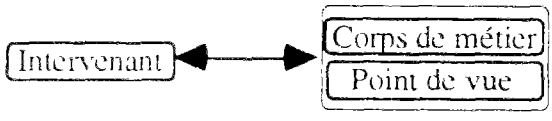
- phase de conception, qui correspond à la formulation architecturale et technique du projet. C'est au terme de la phase de conception que sont attribués les marchés de travaux et réalisation ;

- phase de réalisation, qui se termine par la réception du projet ;

- phase de maintenance, au terme de laquelle le projet est détruit pour laisser place à une nouvelle opération de construction.

Chacune de ces phases génériques se décompose en sous phases.

L'intervenant est rattaché à un corps de métier qui lui confère une vision particulière du produit.



Les phases influent de façon directe sur l'état du produit.

3.3. Formalisme de modélisation

La modélisation conceptuelle se fait au travers d'un langage ou formalisme. Notre choix a porté sur NIAM (Nijssen Information Analysis Method). Sa présentation graphique simple offre l'avantage d'une bonne lisibilité. Il constitue un bon support de communication. NIAM repose sur une théorie ensembliste du type entité-association. Il sert de base à plusieurs types d'implémentation dont la genèse de modèles orientés objets. Le diagramme ci-dessous exprime l'articulation des principaux concepts génériques du Modèle Référence Projet sous le formalisme NIAM. **Pour un souci de lisibilité, nous avons délibérément choisi une forme simplifiée de NIAM dans la présentation des modèles.** La version complète est jointe en annexe en format EXPRESS.

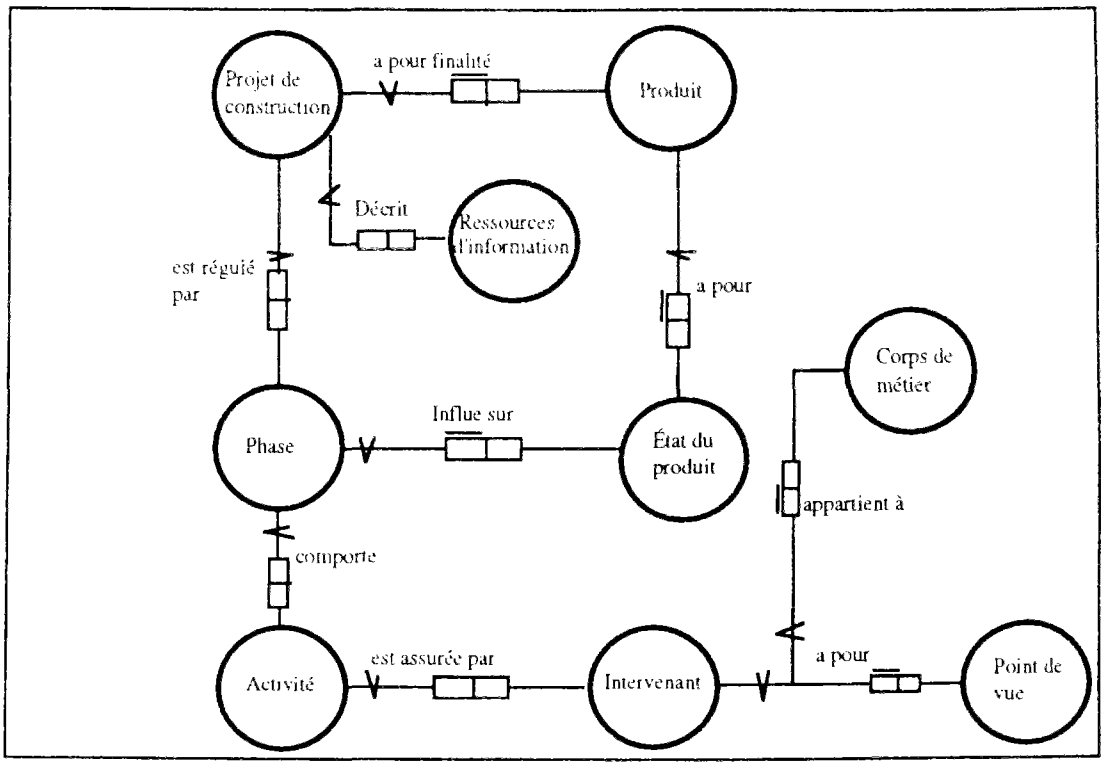


Fig S3.4. Les concepts clefs du MRPB.

Le projet de construction est parfois organisé en "tranches", faisant l'objet chacune d'un sous-projet. Le produit final résulte de l'association des produits unitaires issus des sous-projets.

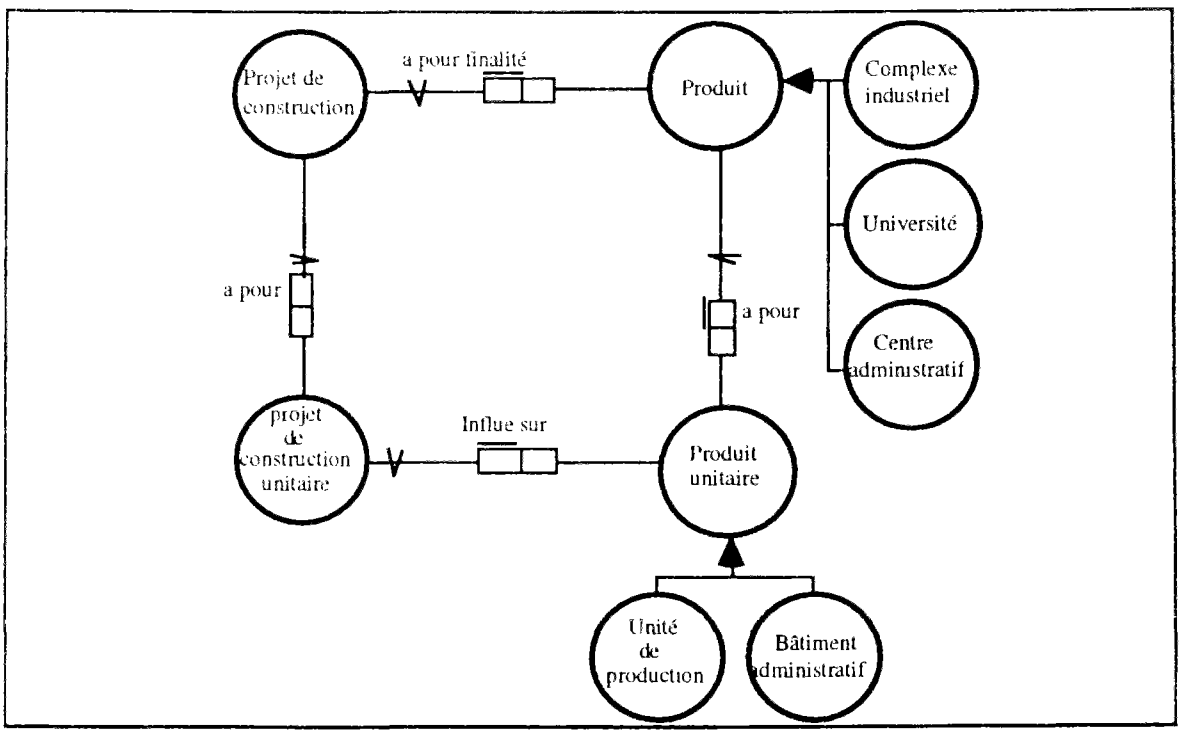


Fig S3.5. Le projet de construction.

3.4. Modèle de processus

Le modèle fonctionnel s'avère être un élément important dans l'analyse et l'amélioration du rendement et de la productivité dans les processus industriels. Le passage de l'état de matière à celui de produit passe par des mécanismes souvent complexes mis en oeuvre par des moyens humains et matériels.

Le modèle fonctionnel permet de mieux **identifier le contexte des données** tout en contribuant à une **interprétation sémantique correcte** de ces dernières. Il est ainsi possible de décrire le cycle de vie d'un bâtiment comme une suite de processus [Kohler 1991]. Il s'agit dès lors :

- de recenser les différentes activités supportant les phases d'un projet ;

- de proposer une représentation sémantique au travers des divers flux qu'elles alimentent et génèrent ;

- de les décomposer en une hiérarchie d'activités de différents niveaux.

Une telle représentation se fait au travers d'un formalisme. La figure 3.6 présente le diagramme racine du modèle fonctionnel. Chaque boite (activité) représente une étape conventionnelle d'un projet. Sous le formalisme IDEF0 issu de la méthode SADT [Marca 1987] l'activité est alimentée par des données en entrée qui après transformation génèrent des données en sortie.

Les contrôles assurent la cohérence de la transformation, le tout se faisant grâce à un mécanisme. Une telle méthode appliquée à l'ensemble des activités d'un projet de construction contribue a une meilleure connaissance et analyse du processus de production d'un bâtiment.

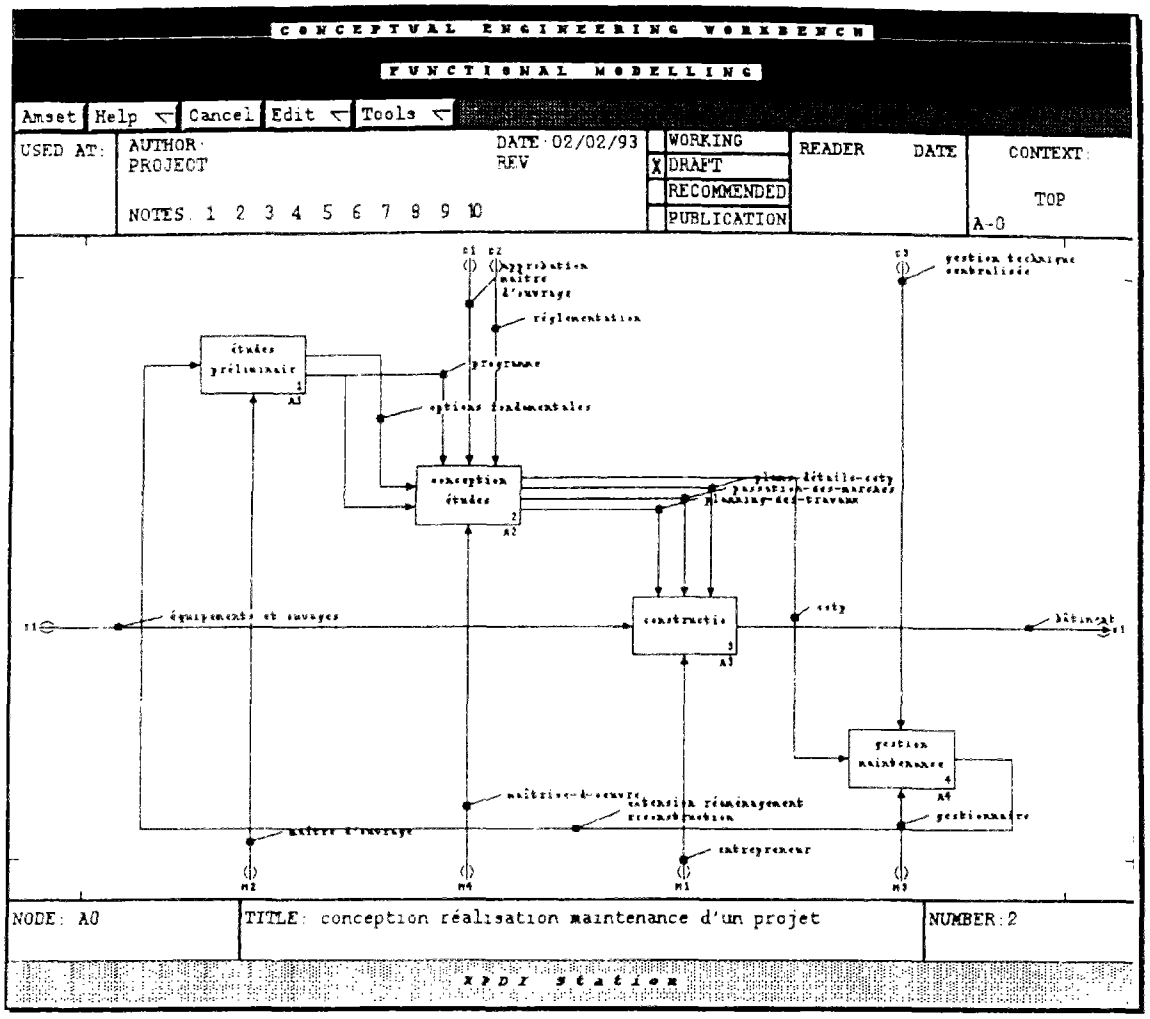


Fig S3.6. Processus de production d'un projet de construction.

Il ressort du modèle fonctionnel une dualité activité-intervenant dont on note une spécialisation à chaque niveau hiérarchique. Les quatre classes génériques d'activité sont :

- activité de conception-étude
- activité de contrôle-approbation
- activité de réalisation
- activité de gestion-maintenance

Le modèle fonctionnel ainsi décrit sous le formalisme IDEF0 est en grande partie retranscrit sous forme de concepts (concept d'activité, concept de ressource) dans le Modèle de Référence Projet.

3.5. Modèle de Référence Projet Bâtiment

Le Modèle de Référence Projet est structuré en plusieurs **niveaux d'abstraction**. Il s'agit de mener un travail très fin de modélisation des divers entités génériques composant le système bâtiment et de décrire les relations qu'elles entretiennent entre elles. Ce travail sera guidé par une approche descendante (Top-Down) prenant appui sur la notion de **point de vue** [Rezgui 1993] (Fig 3.7).

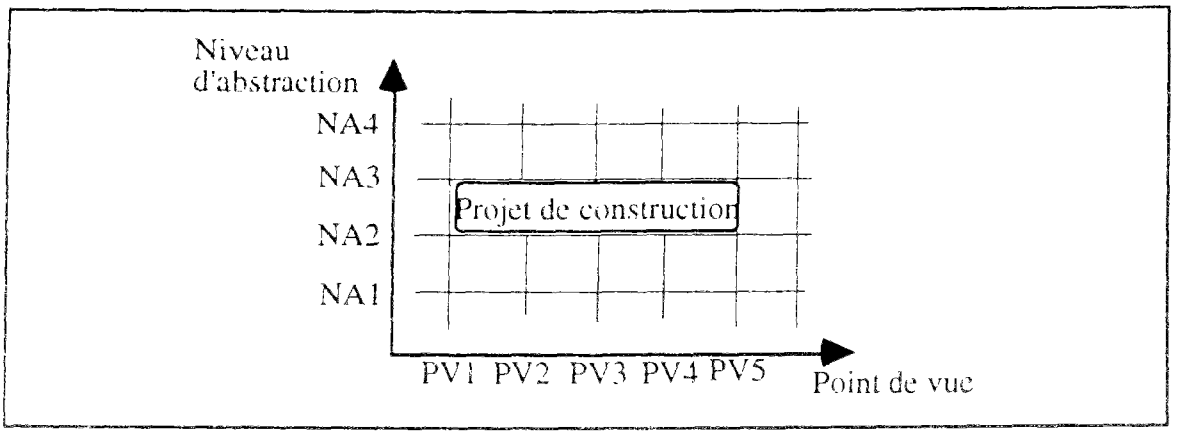


Fig S3.7. Approche générale de modélisation.

Le projet de construction résulte du passage d'un état initial représenté par le site vierge, vers un état final de produit et ce via un mécanisme complexe de transformation, orchestré par le maître d'ouvrage.

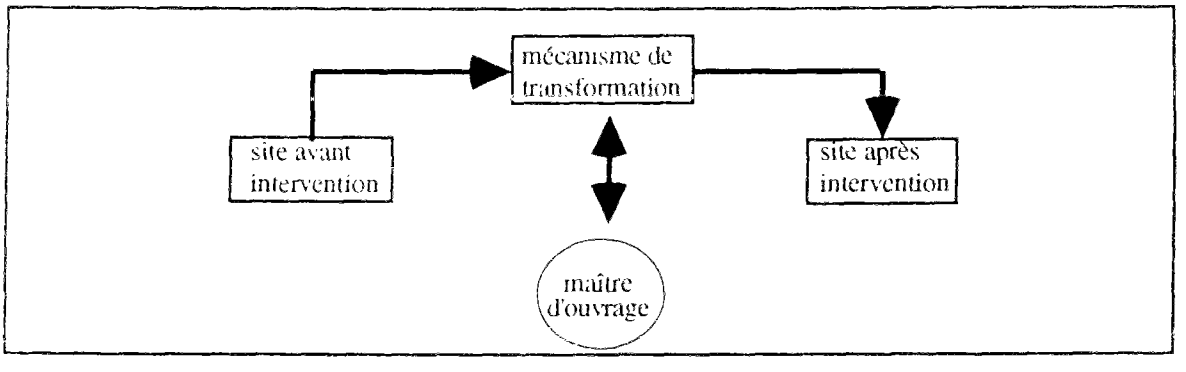


Fig S3.8. Présentation synthétique du processus de production d'un bâtiment.

Le maître d'ouvrage est l'initiateur du mécanisme de transformation. Autour de lui gravite toute une organisation administrative, technique et juridique animée par des intervenants (concepteurs, bureaux d'études, assureurs, contrôleurs, constructeurs, etc.).

Ces intervenants fournissent des prestations précises, souvent complémentaires. **Leurs interaction ajoutée à une mauvaise répartition des missions peut entraîner soit des insuffisances, soit des confusions de responsabilité**. D'où la nécessité d'une gestion rigoureuse du mécanisme de transformation d'un projet.

La figure 5 indique que les ramifications principales du modèle de données s'appuient sur les trois états de fait cités ci-dessus qui se traduisent par les trois assertions suivantes:

- tout projet de construction a un site,
- tout projet de construction a une organisation de masse,
- tout projet de construction a une organisation administrative et technico-économique.

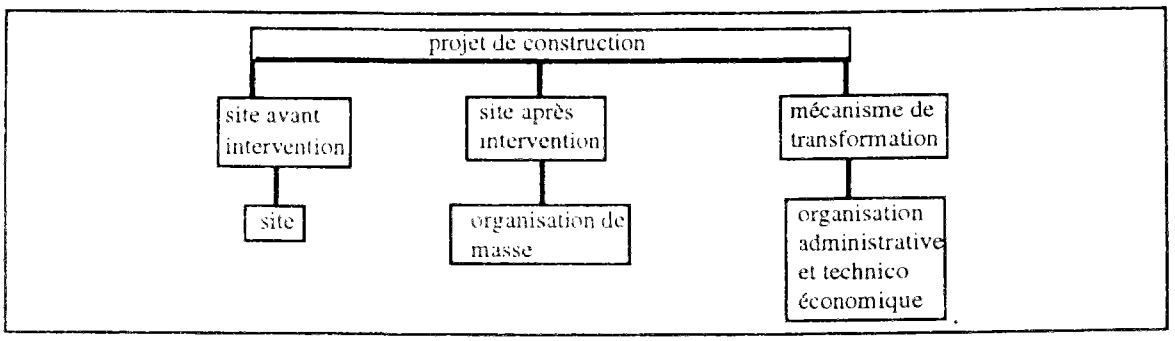


Fig S3.9. Les trois principales ramifications du modèle de données.

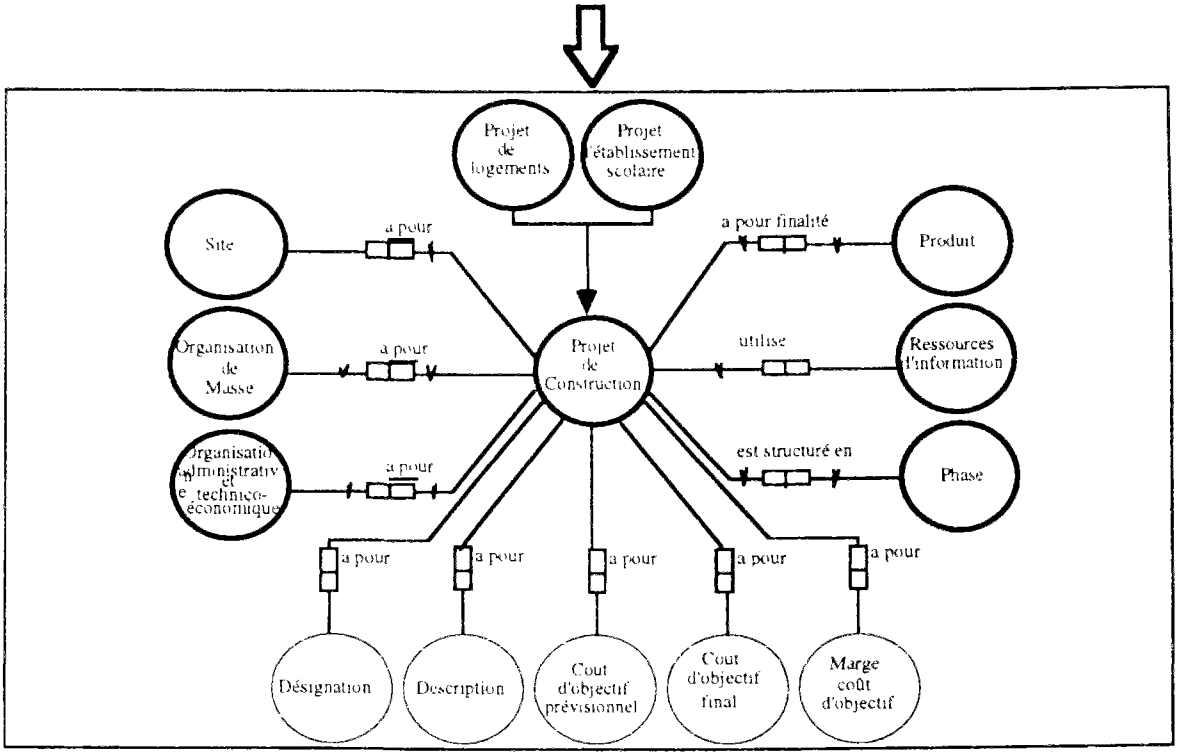


Fig S3.10. Le projet de construction.

Le modèle de données présente à chaque instant une **photographie de l'état global** du projet de construction [Rezgui, Poyet 1993].

L'organisation administrative et technico-économique porte sur les concepts d'activités. L'organisation de masse décrit l'aspect produit du projet de construction. Le site comporte toutes les données issues des études préliminaires.

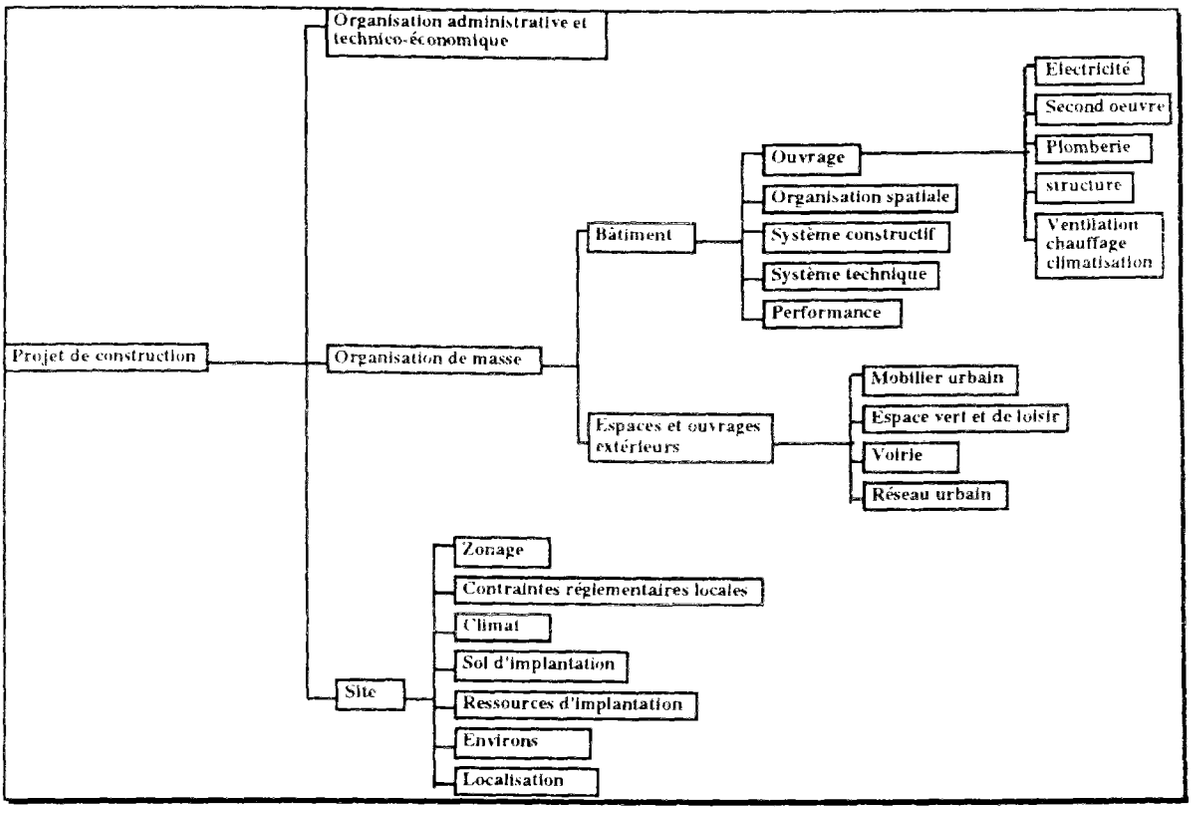


Fig 53.11. L'architecture du modèle de données.

3.5.1. Le site

Le site avant intervention est principalement décrit par son climat et par l'assiette d'implantation du projet de construction. Il est régi par un code d'urbanisme et fait l'objet de perspectives d'investissement qui influent sur sa valeur foncière. Il est la propriété des collectivités locales ou d'un particulier représentant une personne physique ou morale. Le modèle de données doit offrir un accès facile et structuré à toutes les données ou hypothèses de conception relevant du site.

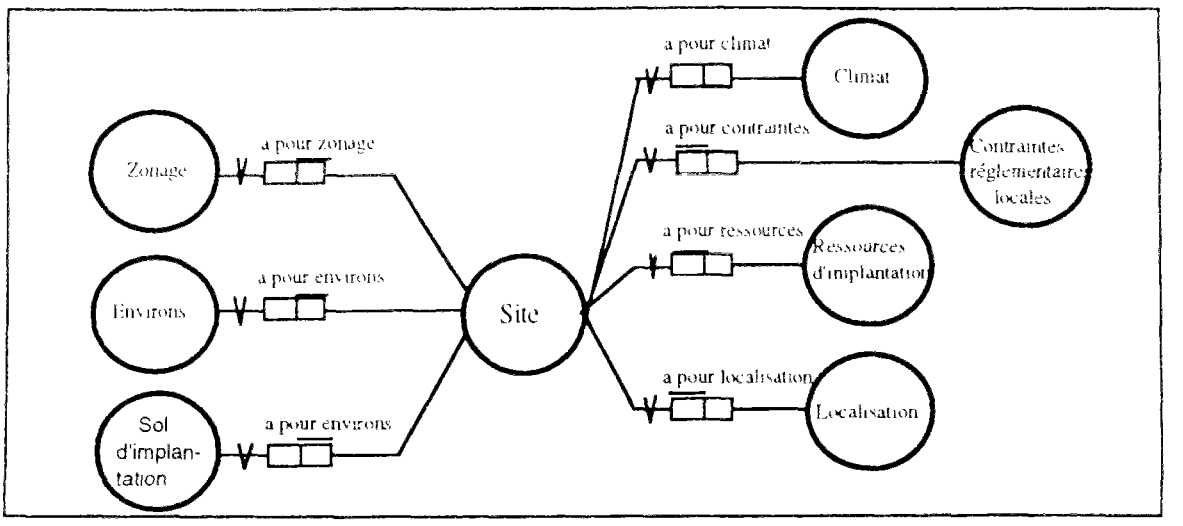


Fig S3.12. Le site

Le site est décrit par son climat, sa localisation, son sol d'implantation, ses ressources d'implantation, ses environs, son zonage ainsi que ses contraintes réglementaires. Le concept de "Sol d'implantation" permet de décrire les aspects liés à la prospection géotechnique tels la structure géologique du terrain, la position et résultat des sondages géotechnique, la poussée des terres et le taux de travail du sol, l'éventuelle présence d'une nappe phréatique, etc. Ce concept permet également de décrire la position des ouvrages existants sur le site (réservoir, chateau d'eau, etc.).

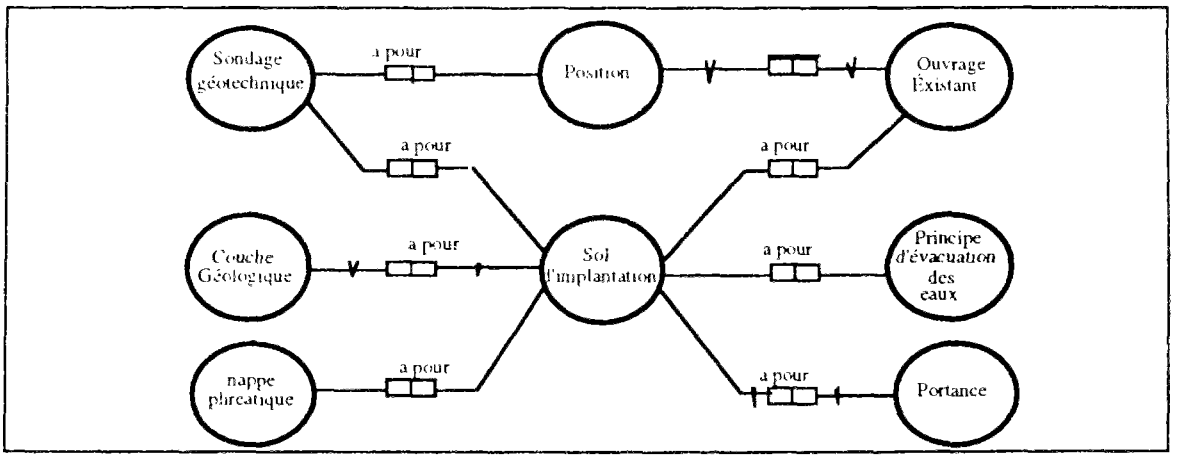


Fig S3.13. Le sol d'implantation

Les contraintes réglementaires locales sont de type urbanistique (coefficient d'occupation du sol, prospect), administratif (autorisation des autorités locales, permis de démolir, etc.), financier (divers coût liés au site) et juridique. Le concept de "localisation" permet de décrire l'adresse ainsi que la localisation géographique du site (longitude, latitude, altitude). Le zonage définit les divers classement liés au climat (neige-vent), au risque de séisme et autres.

Les éléments environnants du site agissent de façon directe (ombrage d'un immeuble, effet de vent particulier liés à la distribution des immeubles, etc.) ou indirecte (caractère du cadre bâtit, proximité d'un type de commerce, etc.).

Les ressources d'implantation définissent les disponibilités en électricité, en eau, en télécommunication ainsi que l'accessibilité au terrain (par voie routière, ferroviaire, aérienne ou maritime). Elles permettent au maître d'ouvrage et au maître d'oeuvre de mieux évaluer la faisabilité du projet de construction.

Le système site peut servir à la mise en place d'une base de connaissance bâtiment basée sur les données climatiques et géotechniques du site. Cette base de connaissance serait enrichie par les expériences acquises lors des divers projets traités.

3.5.2. L'organisation de masse

L'organisation de masse décrit les éléments structurants du projet (bâtiments, ouvrages, espaces extérieurs) selon une approche descendante guidée par la notion de point de vue. Elle offre de la sorte un accès structuré aux divers intervenants via leur corps de métier. Les divers concepts développés au niveau de chaque arborescence entretiennent des relations verticales au travers des différents niveaux de généricité, et horizontales via des concepts relevant de domaines et de points de vue complémentaires.

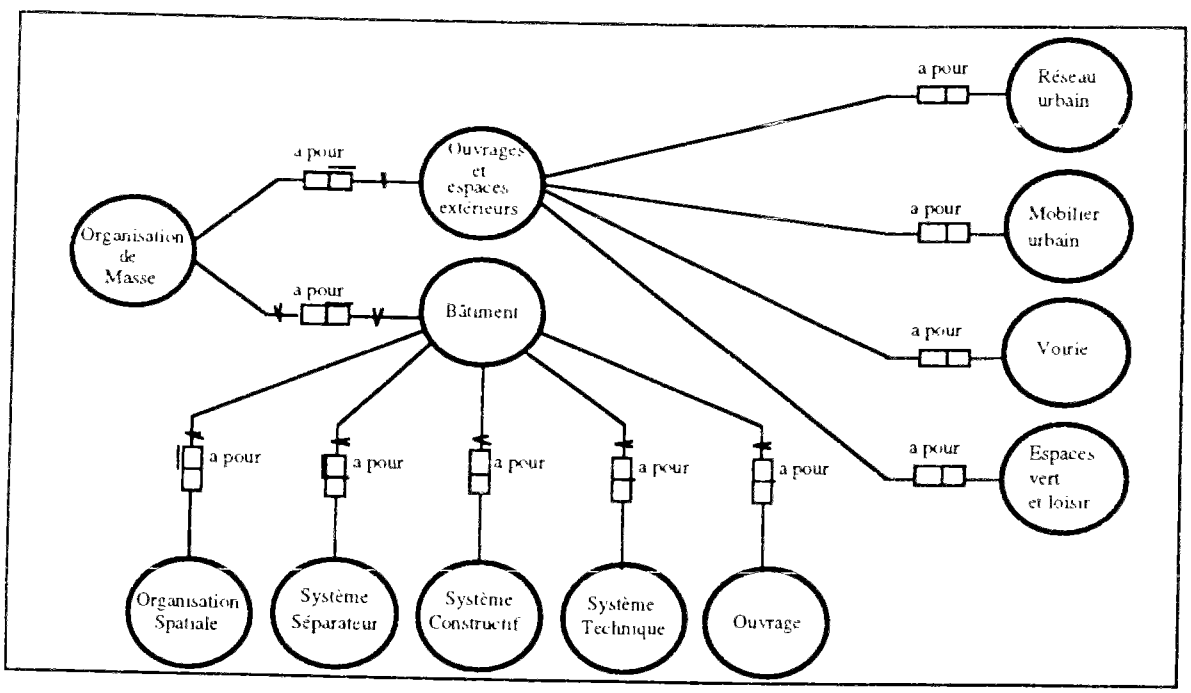


Fig S3.14. L'organisation de masse

3.5.2.1. Le point de vue architectural

L'architecture d'un projet est notamment décrite par sa distribution fonctionnelle et spatiale. On distingue le contenant (système séparateur) du contenu (espace).

a1. organisation spatiale

Le projet est vu sous un aspect physique (local, niveau) et technico-fonctionnel (zone). La description physique est commune à tous les intervenants tandis que la description des zones est fonction du point de vue de l'intervenant. Cette partie du modèle fédère toutes les déclarations de zones du projet.

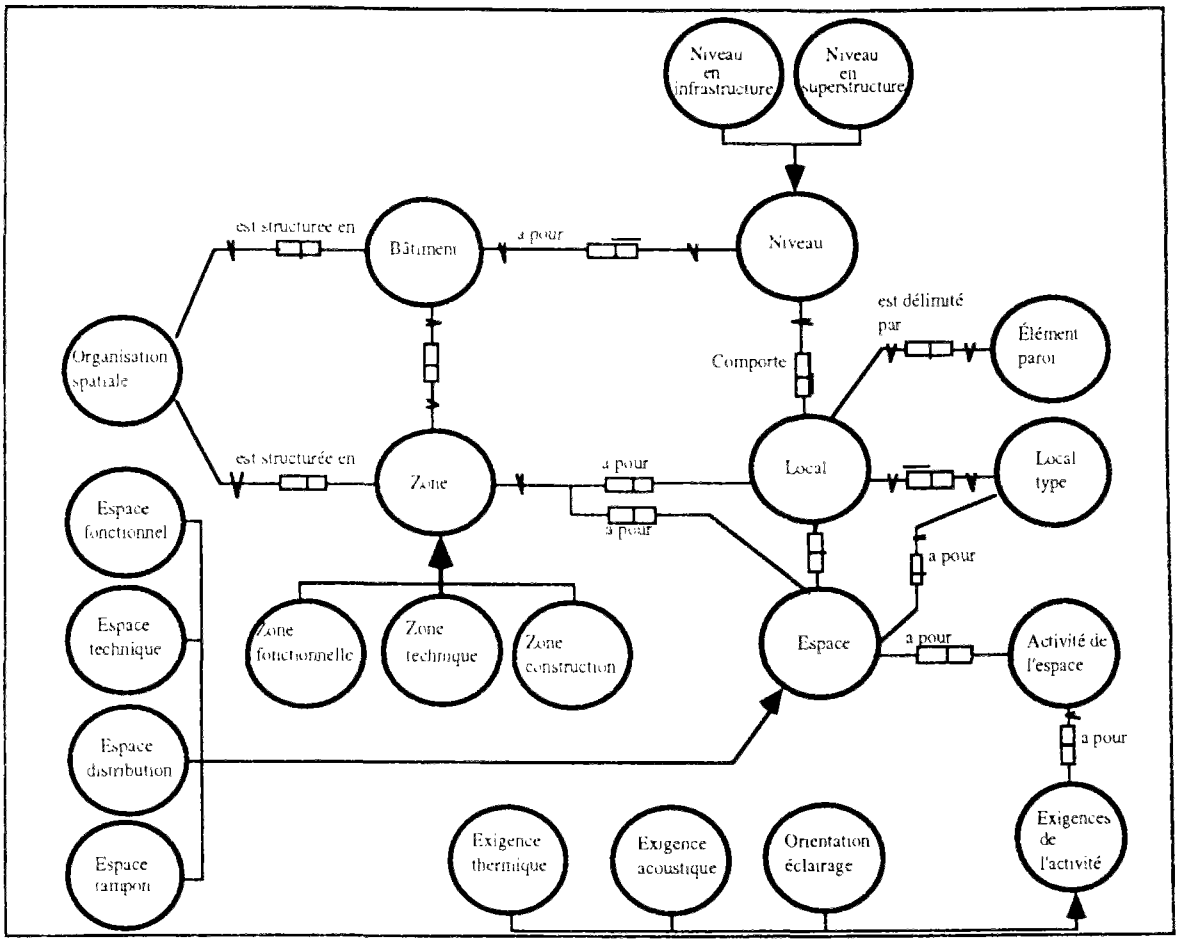


Fig S3.15. L'organisation spatiale.

Le local délimite un espace. L'espace est décrit par son activité et par ses diverses exigences. La zone est définie comme un assemblage de locaux ou d'espaces. Chaque local fait référence à un local type. Le local type est défini par ses caractéristiques physiques (thermique, acoustique, etc.) et fonctionnelles.

a2. système séparateur

Le système séparateur constitue le contenant des espaces d'un bâtiment. Il est soit en infrastructure (dans quel cas il interagit alors avec le sol), où en superstructure (il est alors en relation avec l'environnement extérieur au bâtiment).

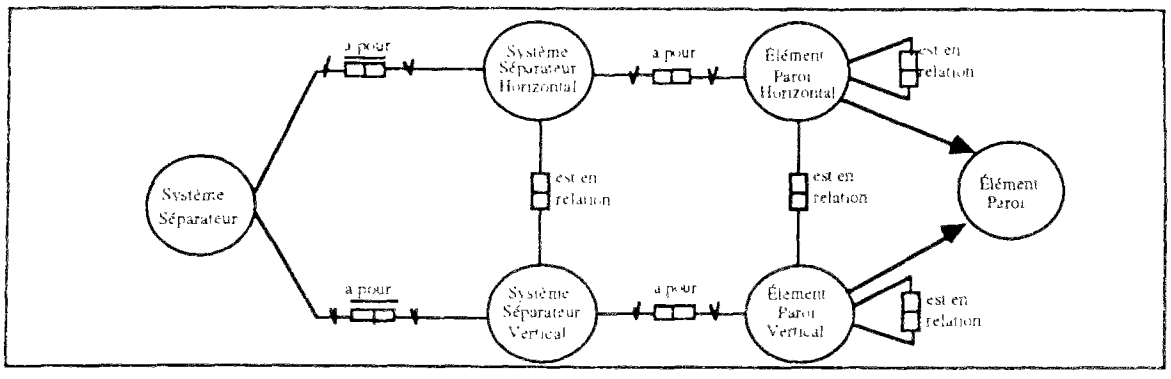


Fig S3.16. Le système séparateur.

Le système séparateur se décompose en un système séparateur horizontal et un système séparateur vertical. Il est important de bien décrire la relation entre ces deux systèmes.

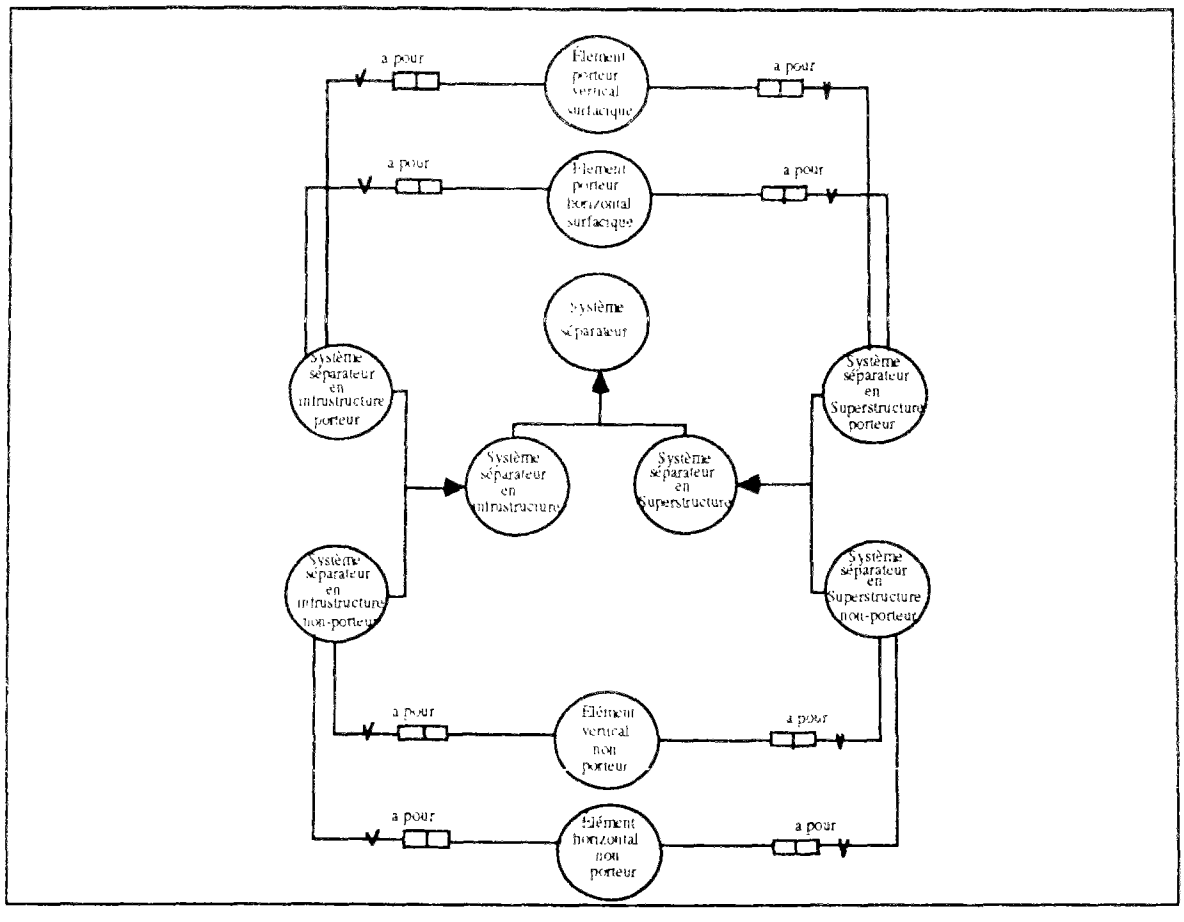


Fig S3.17. Structure du système séparateur.

Le système séparateur intègre les éléments porteurs tels le voile et la dalle, ou non porteurs tels le faux-plafond ou le faux-plancher.

3.5.2.2. Le point de vue structurel (système constructif)

La structure d'un bâtiment se compose d'une superstructure et d'une infrastructure qui se distingue par son système de fondation.

La superstructure est elle-même composée d'unités de superstructure constituées d'éléments porteurs. Les unités de superstructure et d'infrastructure sont connectées au travers de joints de nature diverse (joint sismique, joint de dilatation, joint de rupture).

Les éléments porteurs sont du type porteurs verticaux, porteurs horizontaux ou jouent un rôle de contreventement.

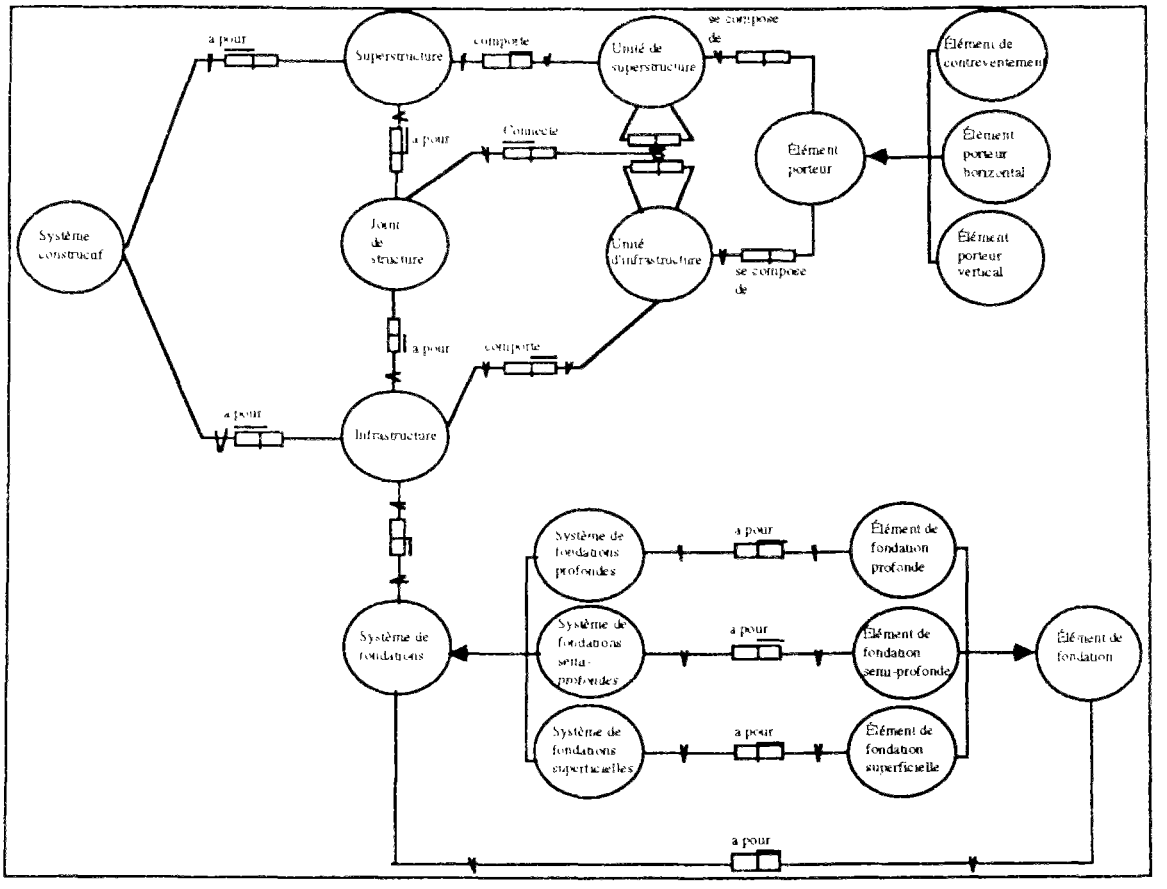


Fig S3.18. Le système constructif.

L'élément porteur a pour modèle la 'barre', la 'plaque' ou la 'coque' selon que sa configuration est linéaire, surfacique (plane ou courbe). L'élément porteur est évalué au travers de points caractéristiques tel le noeud. Ce dernier est décrit par le concept de

'Ressources d'Informations' (cf. chapitre 3.6). Ce mode de représentation est nécessaire pour les calculs de résistance des matériaux ainsi que pour la simulation du comportement des structures et ce notamment dans les calculs aux éléments finis. Les éléments porteurs sont liés par des éléments de jonction e.g. la cornière en construction métallique. L'élément de jonction peut être ponctuel, linéaire ou surfacique.

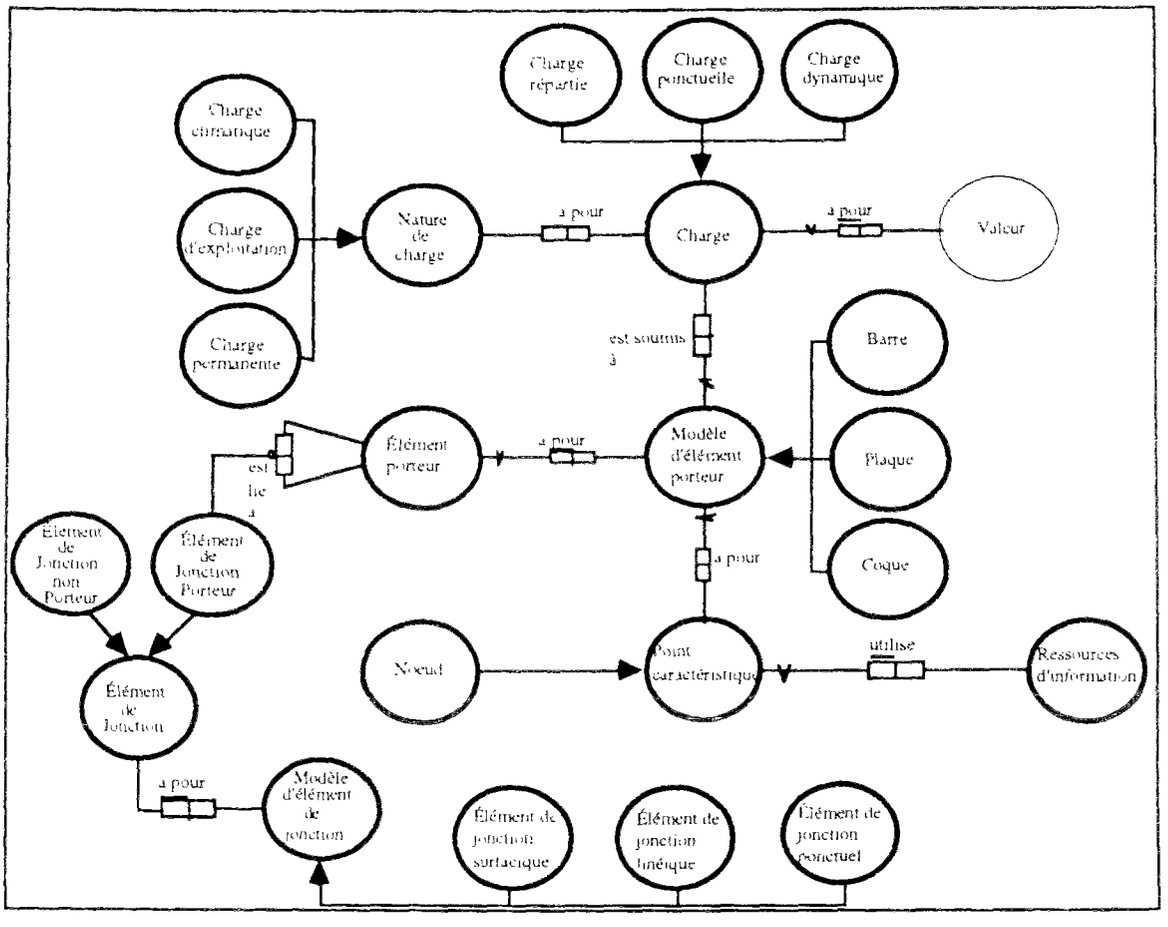


Fig S3.19. Les éléments porteurs.

3.5.2.3. Le point de vue constructeur-concepteur (ouvrages)

Fondamentalement, un système peut être décrit comme constitué d'un ensemble d'élément-composants ayant un rôle précis et pertinent. Ces élément-composants sont assemblés et connectés de sorte à former un ensemble cohérent appelé réseau.

L'ouvrage est le concept générique qui qualifie l'élément-composant. Il intègre divers aspects tels : le matériau, la propriété, la performance, la mise en oeuvre, etc. Il est décrit de façon générique de manière à convenir à tous les élément-composants possibles (tous systèmes confondus). Il intègre l'ensemble du cycle de vie du composant [Bindslev, 1993].

Les ouvrages sont organisés dans le modèle de données par corps de métier (technique, second-oeuvre et structure). Au sein de chaque corps de métier les ouvrages sont groupés et classés en familles d'ouvrages (e.g. famille de portes, famille de fenêtres). Les ouvrages sont caractérisés par leur comportement au sein d'un ensemble (système) ainsi que par leurs caractéristiques intrinsèques.

Les nombreuses ressources servant à qualifier l'ouvrage n'apparaissent pas dans l'architecture du modèle et sont développées séparément. L'ouvrage type est la référence d'un ouvrage. En fait, l'ouvrage est un ouvrage type localisé dans le projet. Cette approche permet de définir de façon unique, les caractéristiques d'un même élément. L'ouvrage est souvent rattaché à une paroi (gaine, canalisation, radiateur, etc.) qui délimite un ou plusieurs locaux. L'ouvrage est également défini au sein d'un système technique (point de vue "système technique"). Il est composé d'ouvrages élémentaires.

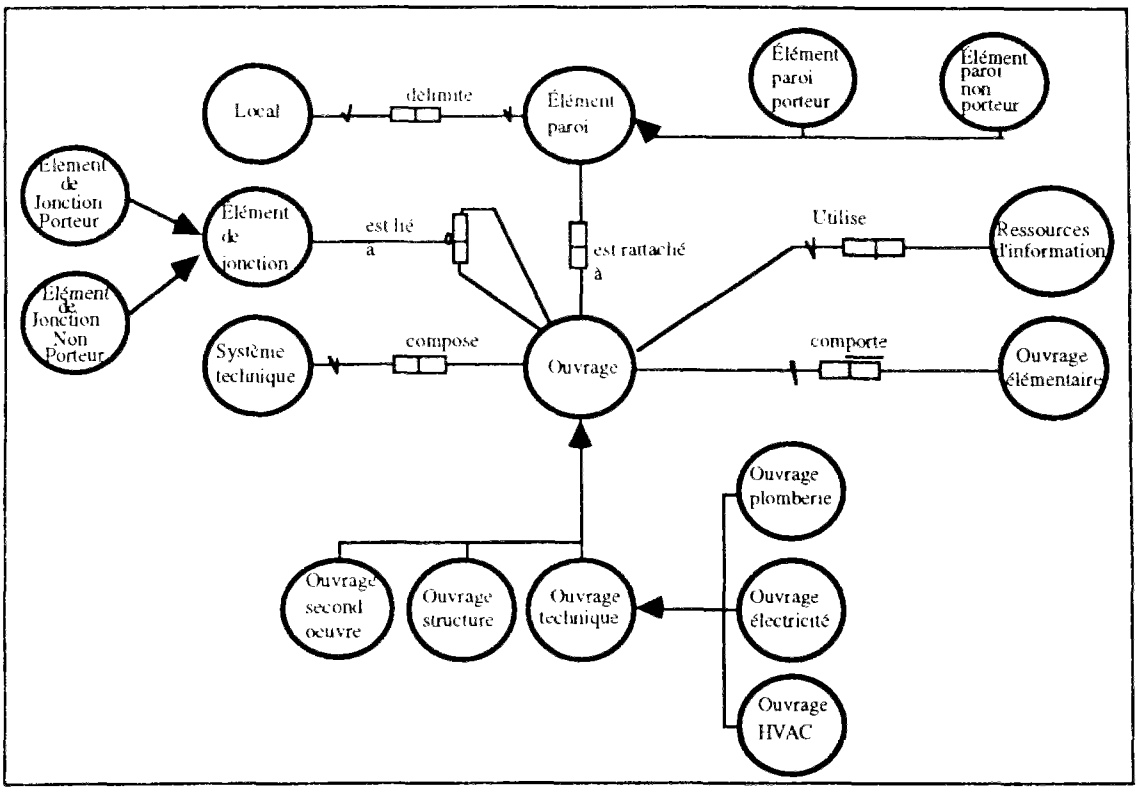


Fig S3.20. Le concept d'ouvrage.

L'ouvrage de second-oeuvre intéresse en premier lieu l'architecte. Il regroupe les parois, les menuiseries ainsi que les ouvrages de circulation verticale. La paroi est composée de couches définies par leur épaisseur ainsi que par leur position respective.
Elle comporte deux faces principales définies par leur orientation et elles mêmes composées de facettes.

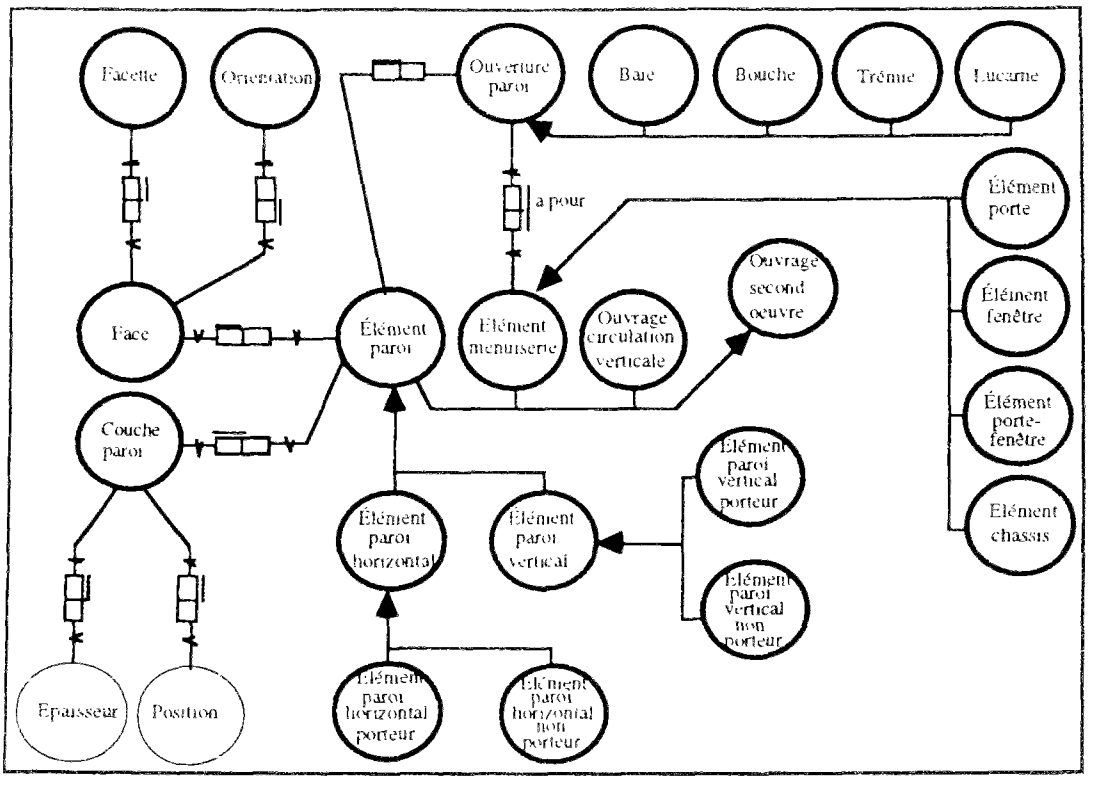


Fig S3.21. Le concept d'élément paroi.

La paroi peut comporter des ouvertures. L'ouverture est comblée par un élément de menuiserie pouvant être fixe ou composé d'ouvrants.

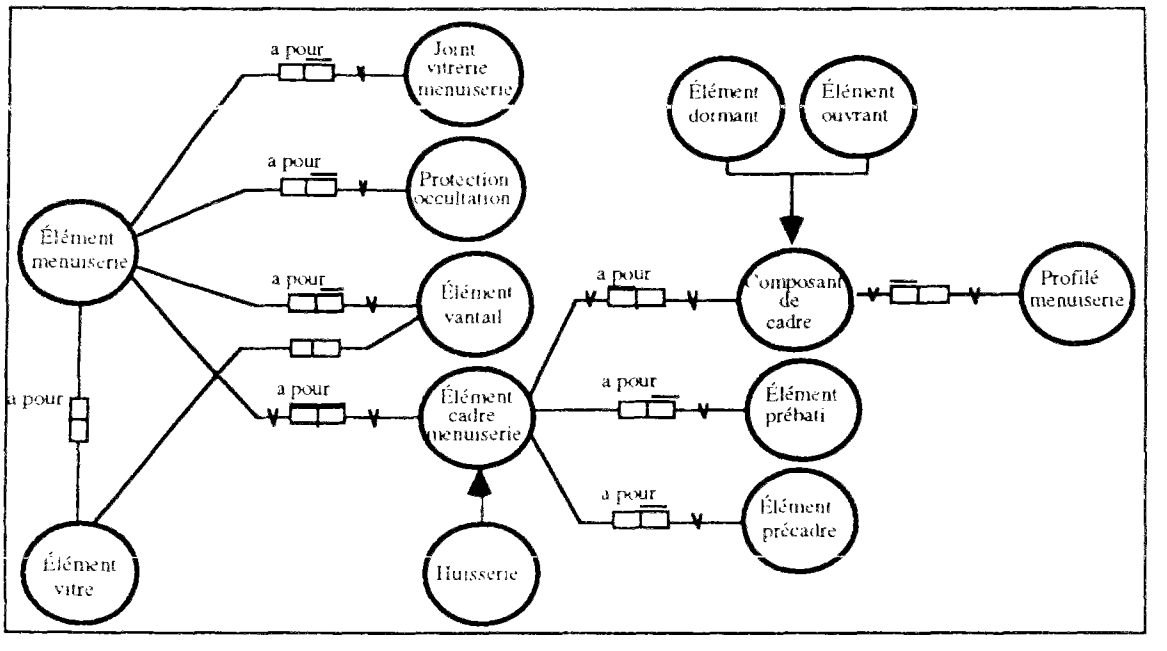


Fig S3.22. L'élément de menuiserie.

L'ouvrage type est l'élément générique non localisé auquel s'apparente l'ouvrage. L'ouvrage type est lui même fourni par un fabricant. Il est décrit par son modèle et sa marque commerciale. Il est alors réalisé par un ou plusieurs composants.

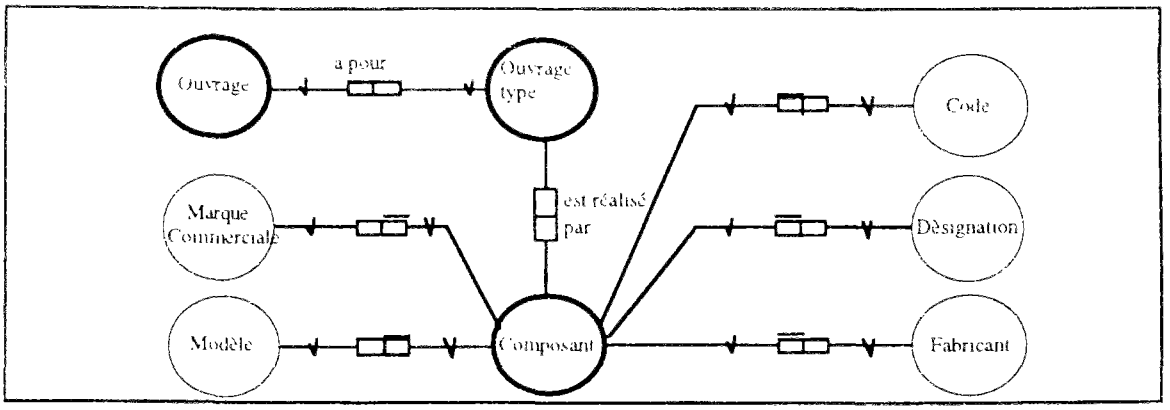


Fig S3.23. Le concept de composant.

3.5.2.4. Le point de vue technique tous corps d'état

Les ouvrages sont groupés en ensembles fonctionnels pour former des systèmes techniques. Le point de vue constructeur-concepteur propose une classification des ouvrages selon leur nature tandis que le point de vue système technique utilise ses ouvrages pour décrire des ensembles techniques et fonctionnels. Les systèmes techniques présentent des similitudes comme l'indique la figure ci-après.

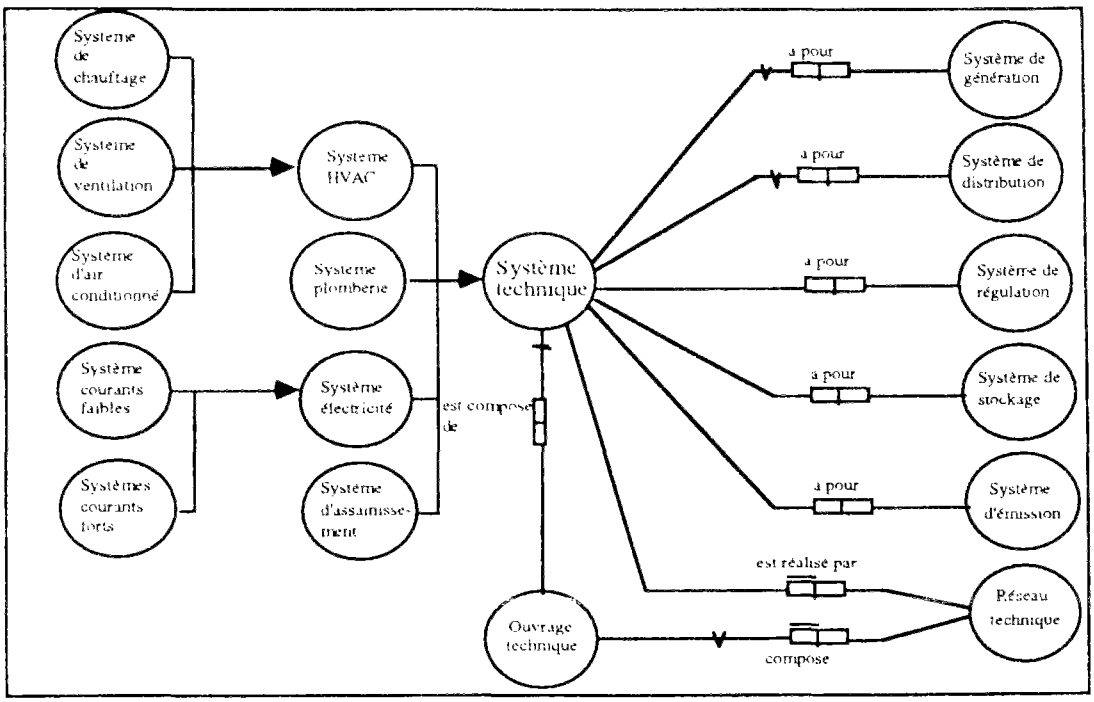


Fig S3.24. Le système technique.

Les systèmes techniques sont évalués via leurs performances. Ces dernières servent de support à la maintenance ainsi qu'à la gestion technique centralisée du bâtiment. Le système de régulation d'une façon générale comporte trois ouvrages de base [Dubois, Rezgui, et al. 1993]:

- le capteur : son rôle est de mesurer des paramètres tels le débit, la température de l'eau, la température de l'air, etc ;
- le mécanisme de loi de commande : qui évalue selon le contexte les consignes portant sur l'action à exécuter. En régulation manuelle, cette action est évaluée par l'agent de maintenance ;
- l'actuator execute l'action décidée par la loi de commande.

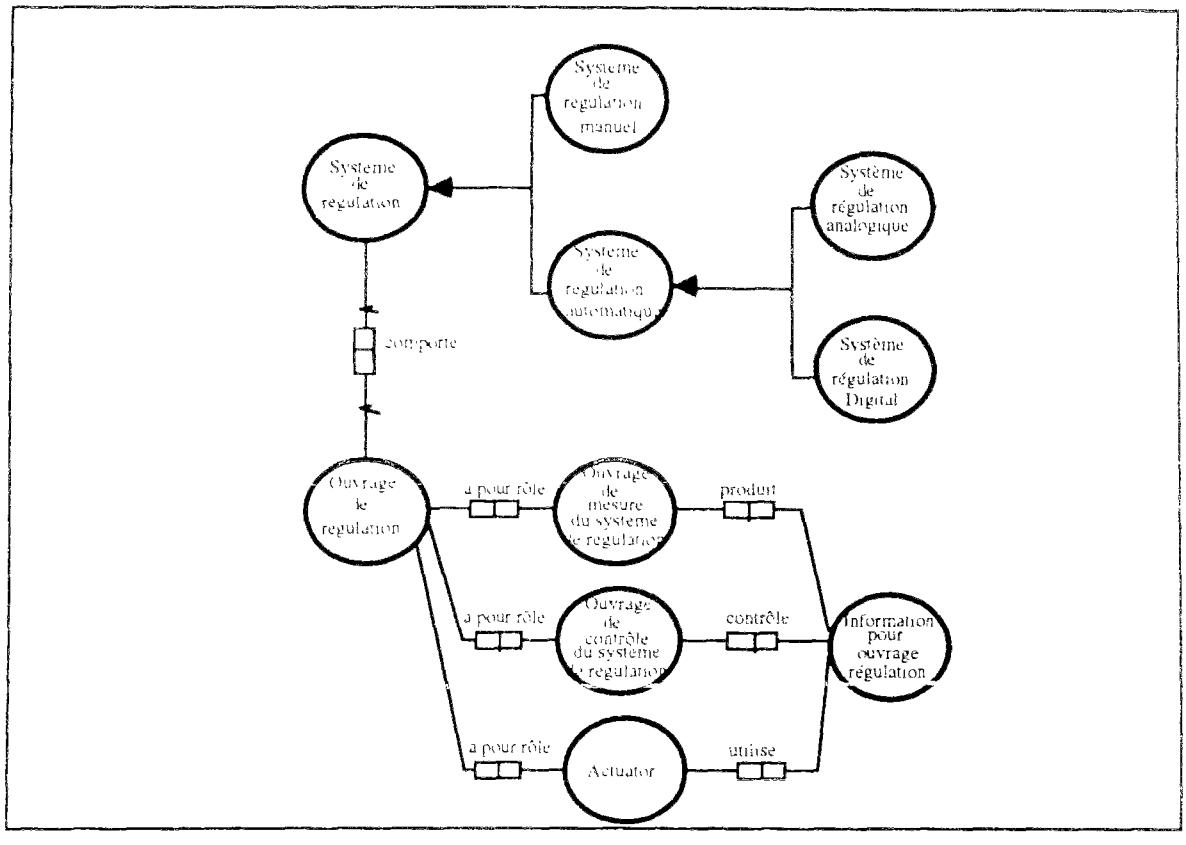


Fig S3.25. Le système de régulation

Le système de régulation comporte des ouvrages de régulation. Il est mis en oeuvre de façon manuelle ou automatique. La régulation automatique est du type analogique ou digitale. L'ouvrage de régulation peut avoir un rôle de mesure, de contrôle ou d'actuator de sorte qu'il produise, contrôle ou utilise l'information utile. L'ouvrage technique a une fonction et position précise au sein du réseau technique. Les ouvrages techniques sont interconnectés au travers de leurs ports. Le joint d'ouvrage technique est un type d'ouvrage de jonction. Selon la nature du réseau, il est soit du type aéraulique ou du type hydraulique.

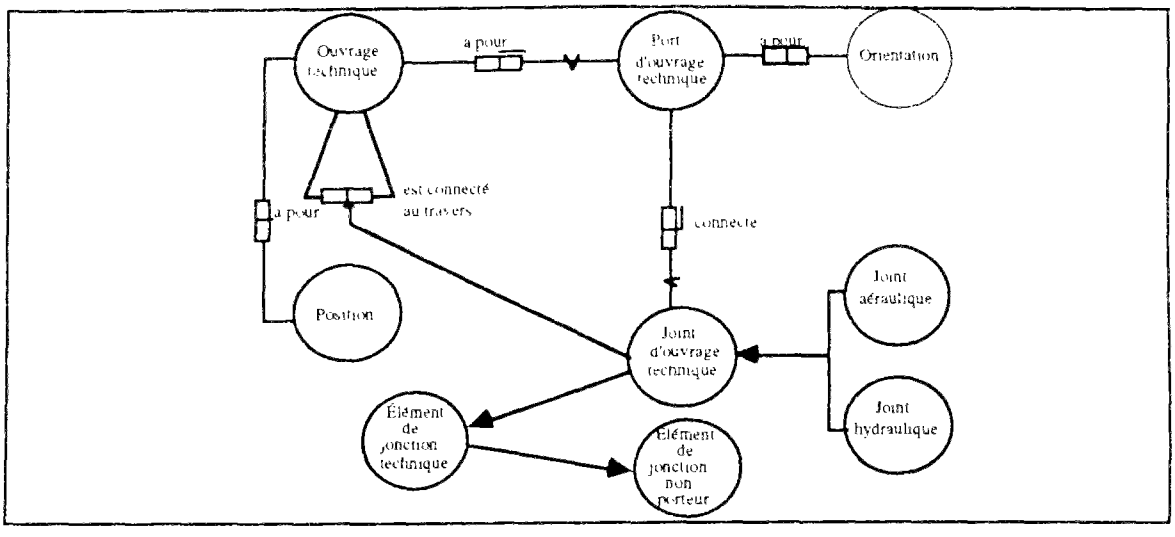


Fig S3.26. L'ouvrage technique

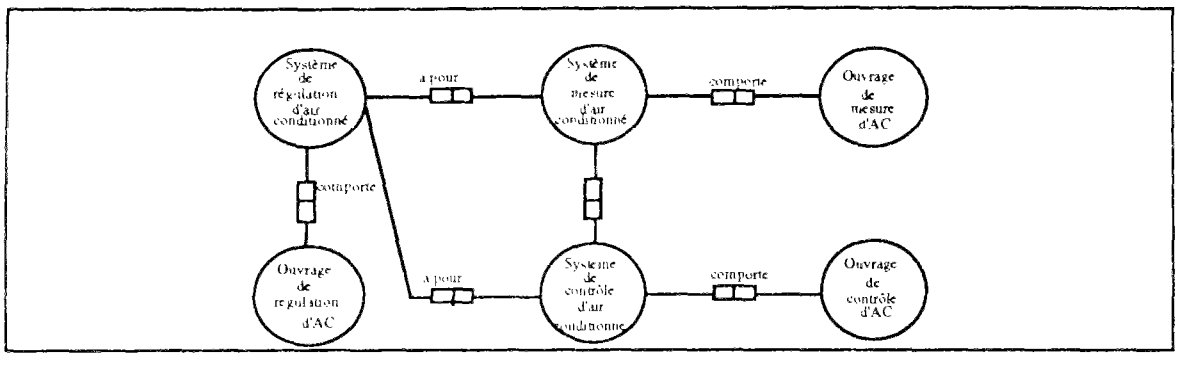


Fig S3.27. Le système de régulation d'air conditionné

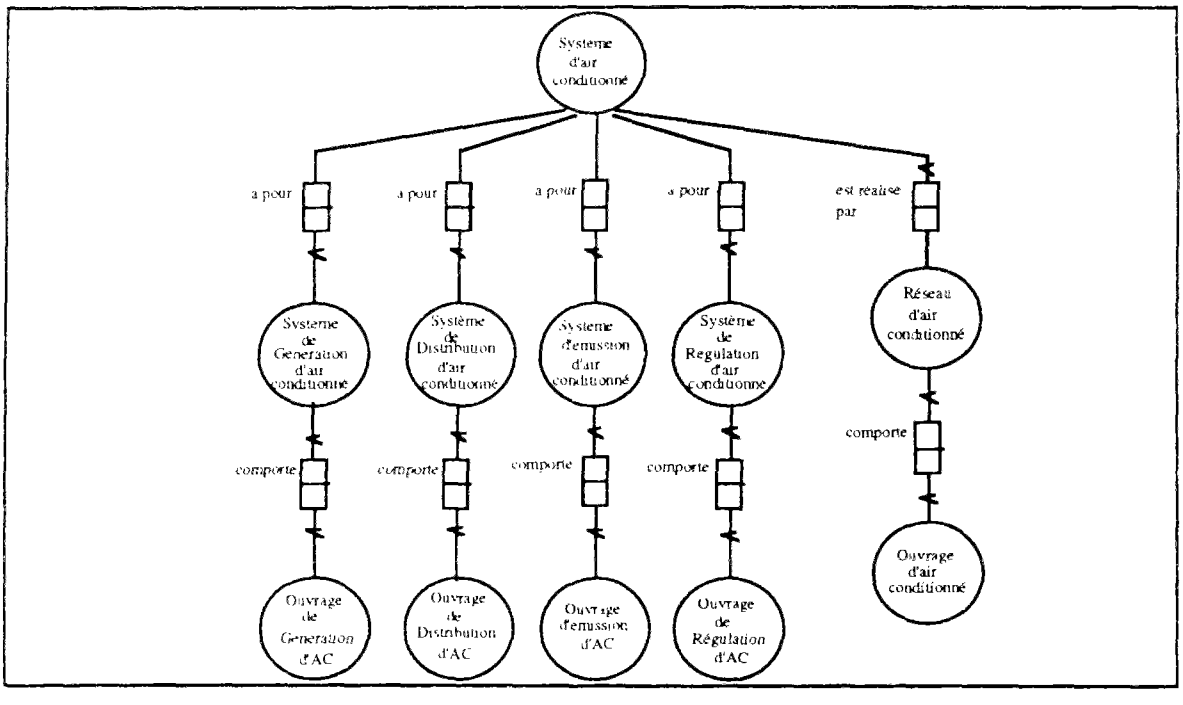


Fig S3.28. Le système d'air conditionné

3.5.2.5. Les relations entre les divers systèmes

L'approche systémique permet de structurer le bâtiment en un ensemble de systèmes. Ces systèmes interagissent du fait de la complémentarité de leur fonction. Le système séparateur est le contenant des espaces. Il délimite l'organisation spatiale Il est traversé par certains composants des systèmes techniques (HVAC, plomberie, etc.). L'organisation spatiale du bâtiment abrite les ouvrages des divers systèmes techniques. L'ouvrage est l'élément de composition des systèmes constructif, séparateur et technique.

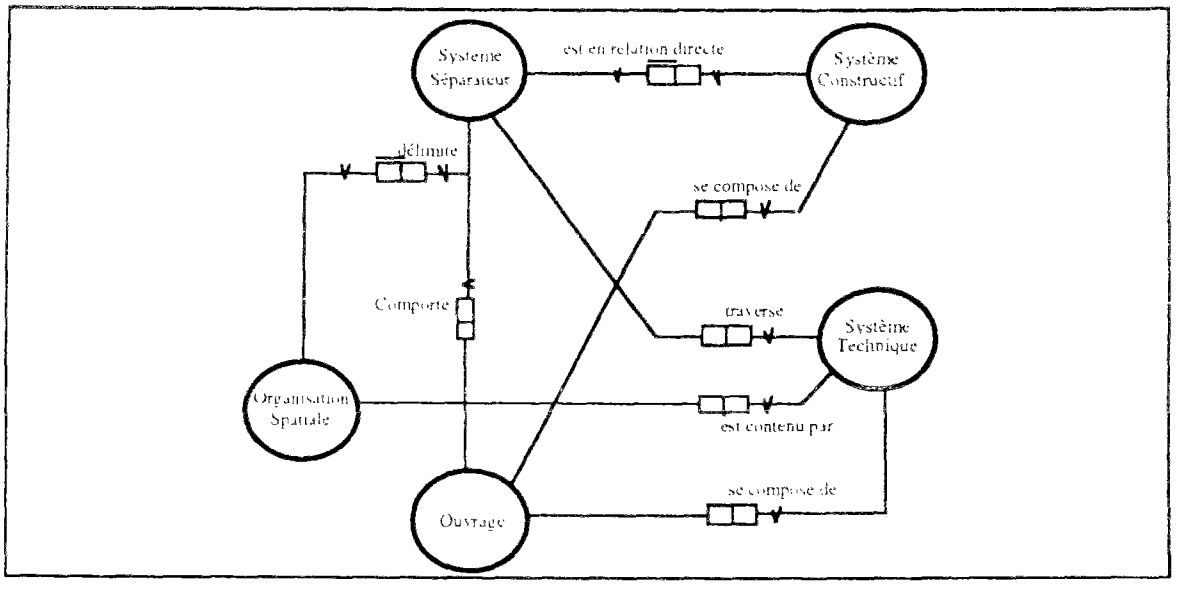


Fig S3.29. Les relations inter-systèmes.

Les interactions entre systèmes peuvent être analysés au niveau de l'ouvrage. En fait les systèmes décrits plus haut interagissent au travers de leurs composants. Ainsi une dalle en béton armé peut faire partie du système séparateur et être assimilé à une paroi, laquelle est traversée par une canalisation d'évacuation d'eau pluviale du système plomberie sanitaire.

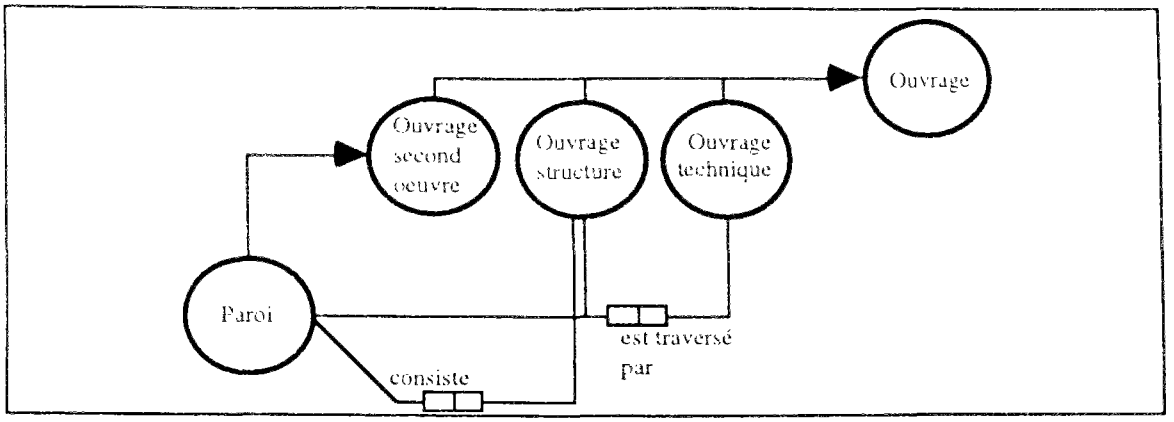


Fig S3.30. Les relations inter-ouvrages.

3.5.2.6. Les ouvrages et espaces extérieurs

Le concept d'ouvrages et espaces extérieurs désigne les espaces extérieurs (aires de jeux, parking, espaces vert, etc.), les objets physiques (mobilier urbain) et les ensembles fonctionnels extérieurs inclus dans le projet et complémentaires aux bâtiments, tels les réseaux techniques .

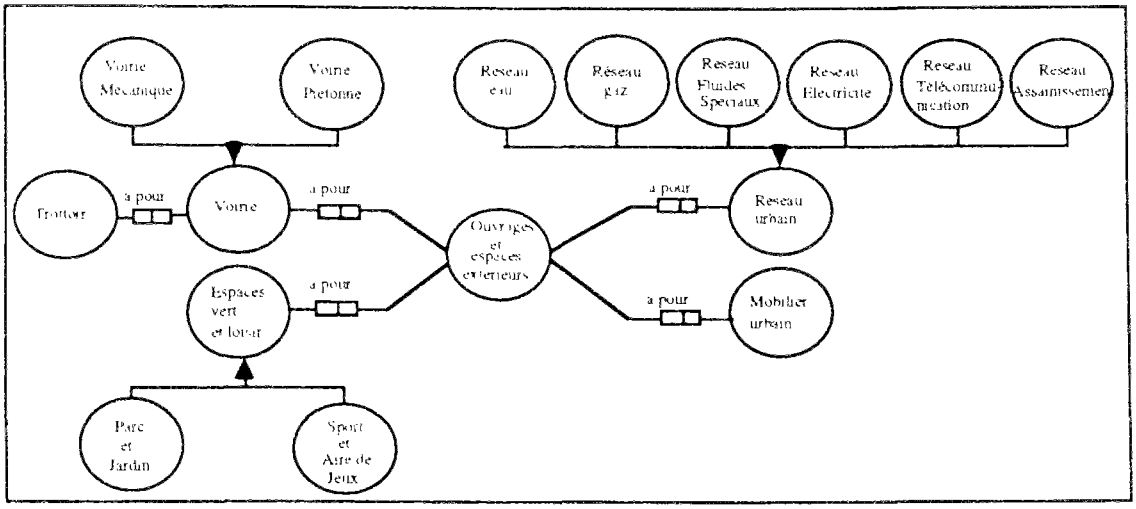


Fig S3.31. Les espaces et ouvrages extérieurs.

3.5.3. L'organisation administrative et technico-economique

L'organisation administrative et technico-economique intègre toutes les données et informations ayant trait à la gestion et conduite d'un projet de construction. Elle est le siège de diverses activités organisées en phases.

Le processus de production d'un bâtiment est ainsi structuré en phases. On distingue quatre phases génériques : une phase d'études préliminaires à l'issue de laquelle le maître d'ouvrage spécifie le programme de l'opération, une phase d'étude-conception qui se termine par la passation des marchés de travaux, une phase de réalisation à l'issue de laquelle le bâtiment est réceptionné et livré au maître d'ouvrage et une phase d'exploitation-maintenance qui s'achève avec la démolition du bâtiment.

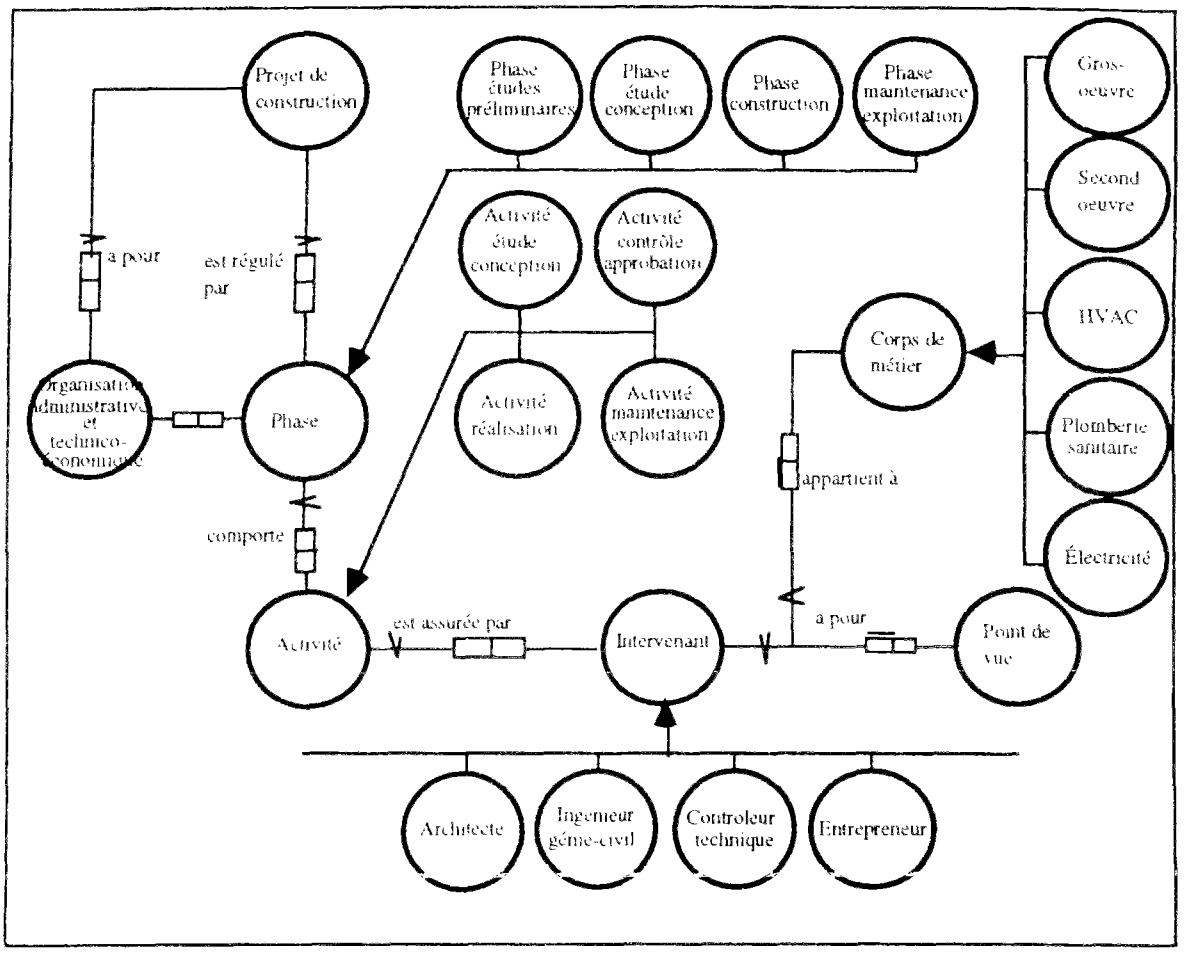


Fig S3.32. L'organisation administrative et technico-économique.

L'état de l'activité influe sur l'état du produit issu de projet de construction. Elle se caractérise par son état initial fourni par l'état du produit (en cours de réalisation) au démarrage de l'activité et par son état final qui réactualise l'état du produit.

L'activité est mise en oeuvre au travers d'un mécanisme. Ce dernier peut être financier (gestion du coût), humain (équipes pluridisciplinaires) ou matériel (logiciel). Le mécanisme utilise des ressources d'informations tel les documents.

L'activité est également soumise à un contrôle qui comme pour le mécanisme est soit financier, humain ou matériel.

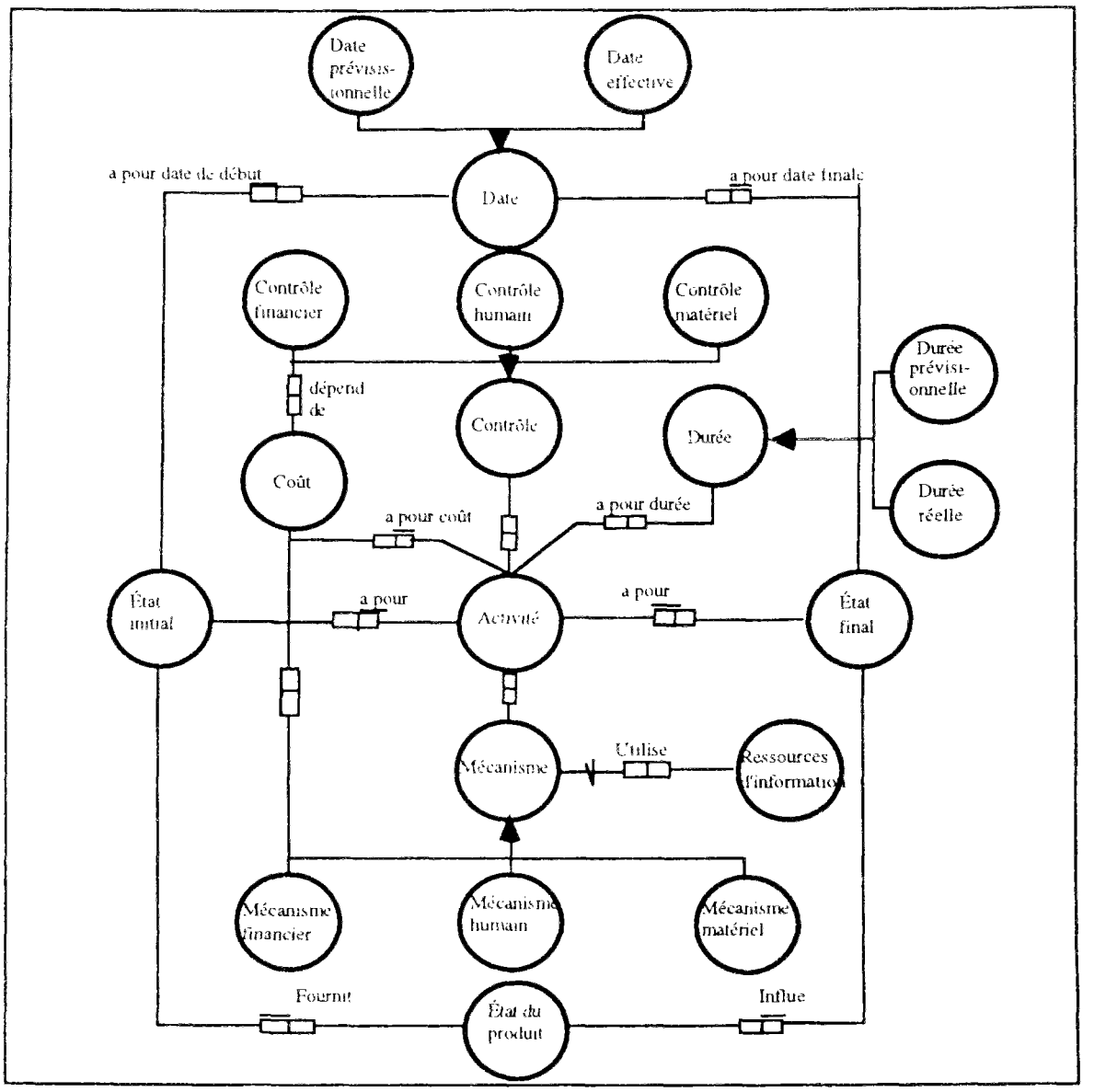


Fig S3.33. Le concept d'activité.

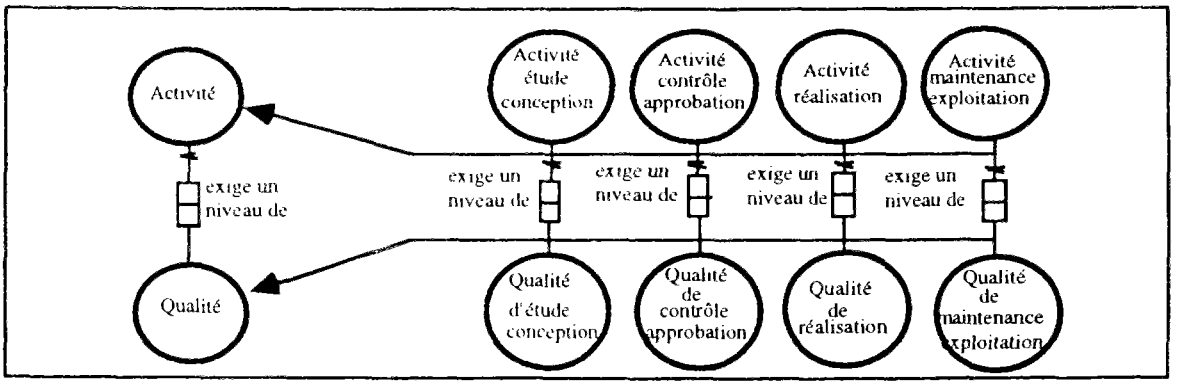


Fig S3.34. Le concept de qualité.

L'annuaire des intervenants

Le concept générique d'intervenant permet de retrouver les coordonnées de tous les acteurs du projet (nom, adresse, téléphone, fax, personnes à contacter, fonction, etc). L'intervenant est affilié à un corps de métier qui lui confère un point de vue précis du projet.

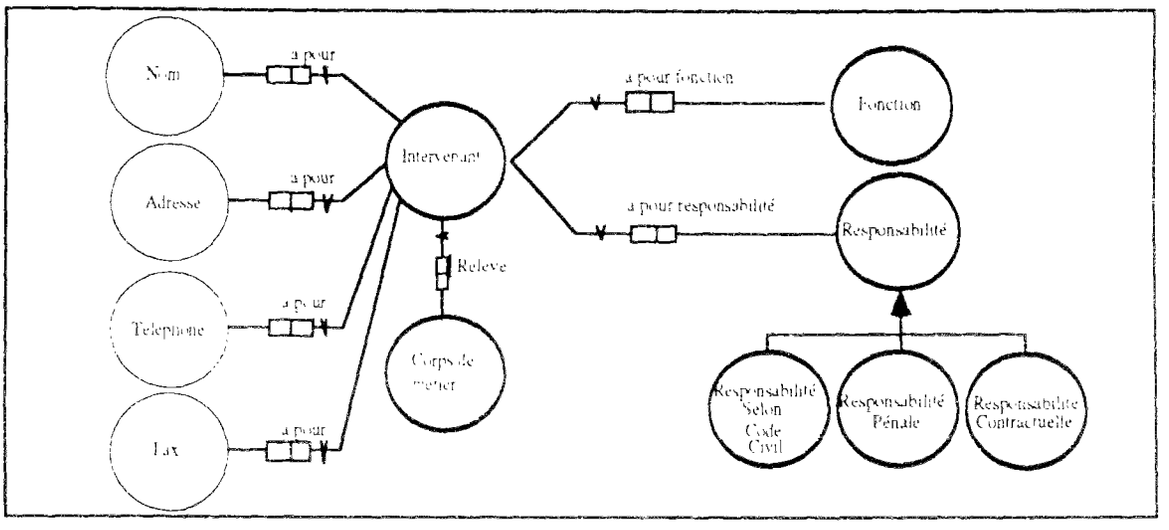


Fig S3.35. L'intervenant.

Marchés-Entreprises

On retrouve la liste des marchés signés au terme de la phase AMT (Assistance Marchés Travaux) avec leurs détails (lot, montant, date de signature, etc...) ainsi que les sous-traitants et co-traitants éventuels.

L'activité fait l'objet d'un marché qui se concrétise par la signature d'un contrat. Le marché a un prix qui peut être défini comme ferme, révisable ou ajustable selon des indices fournis par des éléments ayant trait au coût de la main d'oeuvre et de la marchandise.

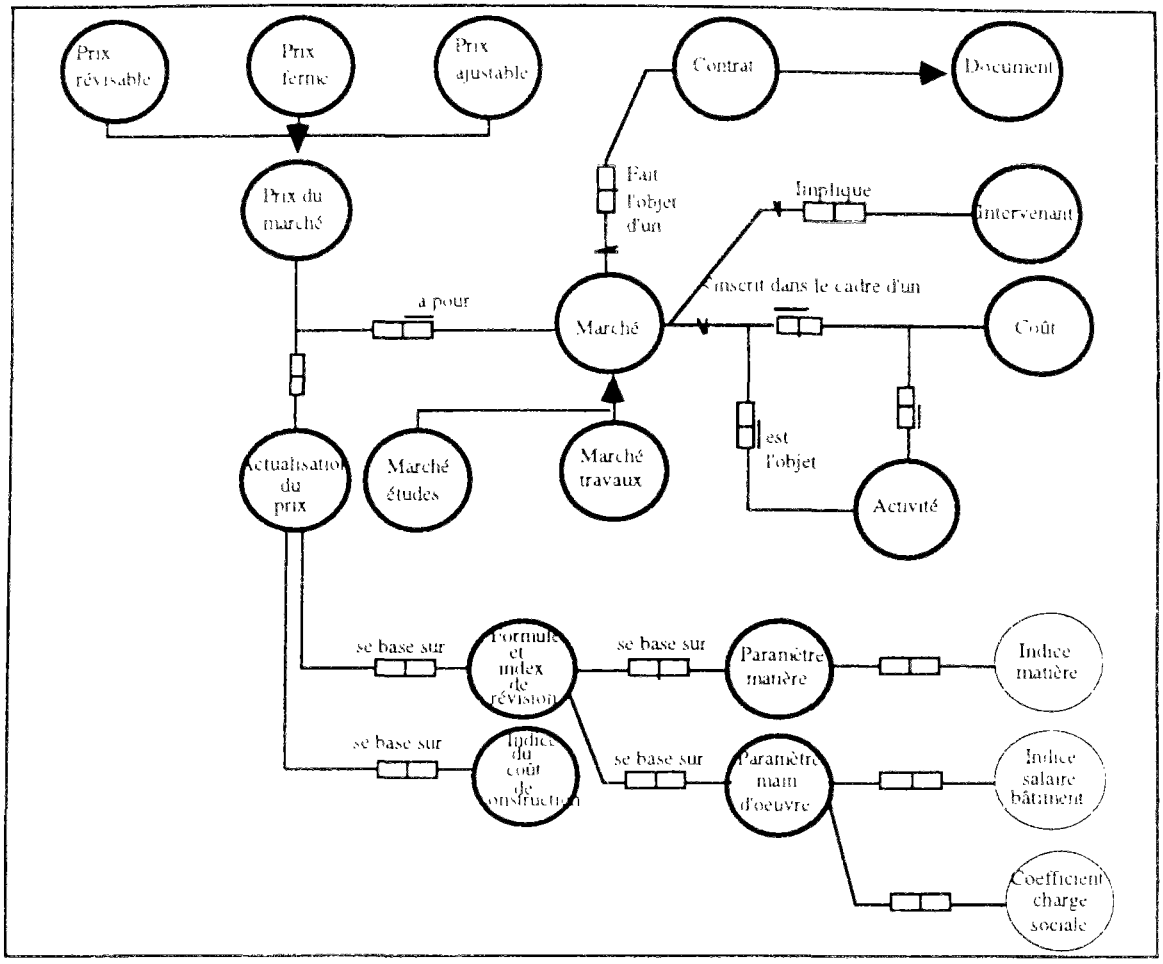


Fig S3.36. Le concept de marché.

Interfaces entre lots

La gestion des interfaces entre les lots de travaux d'un projet de construction, s'inscrit plus généralement dans la problématique de gestion de la qualité dans le processus de conception / réalisation / maintenance d'un bâtiment [Lefevbvre 1991]. Il s'agit de proposer un accès facile et structuré aux interfaces entre corps d'état via le modèle de données. On entend par interface, les divers interactions (au sein d'un local ou d'un ouvrage) résultant des interventions simultanées ou alternées entre lots.

La gestion des interfaces a pour objectif :

- de permettre aux entreprises de mieux évaluer les prestations qu'elles doivent et qui leur sont dues, de connaître leur nombre et leur nature avec précision ;

- de connaître les caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un interface ainsi que le lot fournisseur et le lot utilisateur

- d'imposer le respect des tolérances d'exécution définies par les règles de l'art ou mentionnées par les documents techniques.

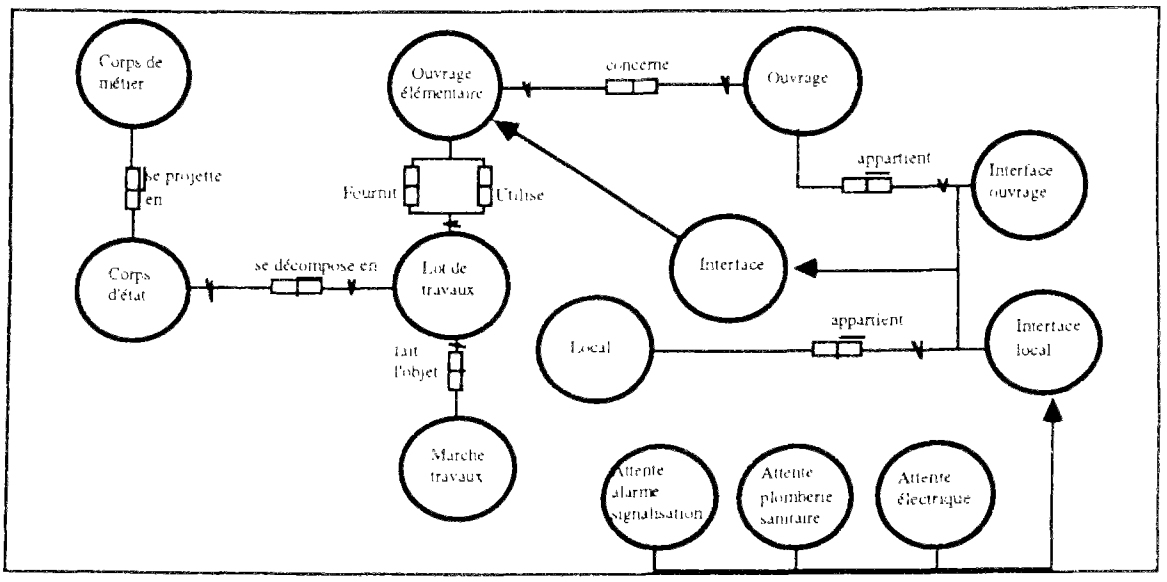


Fig S3.37. Le concept de d'interface.

Un lot de travaux comporte des prestations qui concernent directement des ouvrages précis. La prestation est fournie et utilisée, soit par un même lot ou par deux lots distincts.

On appelle interface toute prestation utilisée par un lot x et devant être fournie par un autre lot y.

Selon leur localisation on distingue deux types d'interfaces : l'interface local et l'interface ouvrage. La première est physiquement rattachée à un local (attente électrique, attente plomberie, etc.) tandis que la deuxième concerne plutôt un ouvrage.

L'approche interface a pour but d'éviter les conflits et contentieux divers souvent créateurs de retards et de surcoûts.

Travaux modificatifs

La gestion financière en phase chantier, consiste en la prise en compte des demandes de travaux modificatifs d'ouvrages, suite à une mauvaise exécution ou à une modification de leur conception de base. Le modèle gère toutes les données ayant trait à l'impact technique, financier et administratif sur les travaux modificatifs.

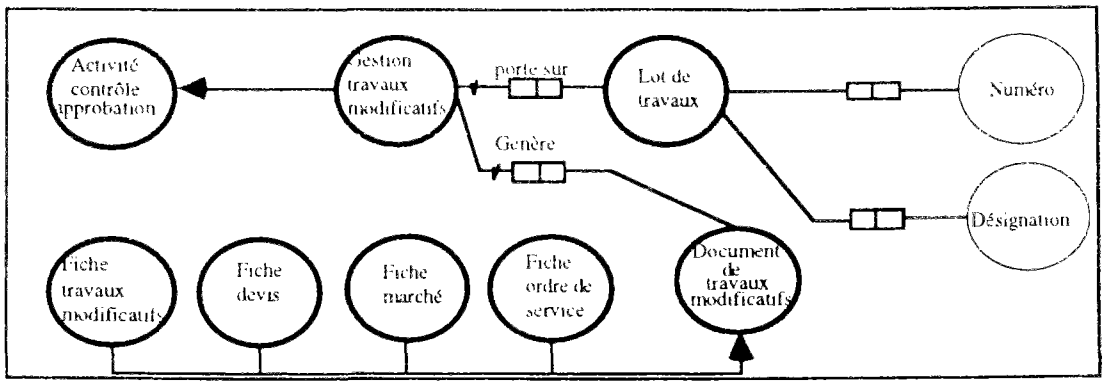


Fig S3.38. Les travaux modificatifs.

Cette gestion porte notamment sur la création et l'émission d'un certain nombre de documents :

- la fiche de travaux modificatifs : elle porte un numéro et contient notamment toutes les informations relatives à la modification en question (objet, description, localisation, demandeur, estimation) ainsi que les lignes d'engagement conséquentes (N° ordre, lot, objet, estimation) ;

- la fiche demande de devis : le demandeur émet une demande de devis relative à une ou plusieurs lignes d'engagement de la fiche modificative à la base de laquelle est rédigée l'offre de l'entreprise ;

- la fiche marché-avenant : l'acceptation de l'offre fait l'objet d'un marché ou d'un avenant;

- la fiche ordre de service.

Le diagramme NIAM ci-après synthétise les principaux concepts du modèle de référence produit.

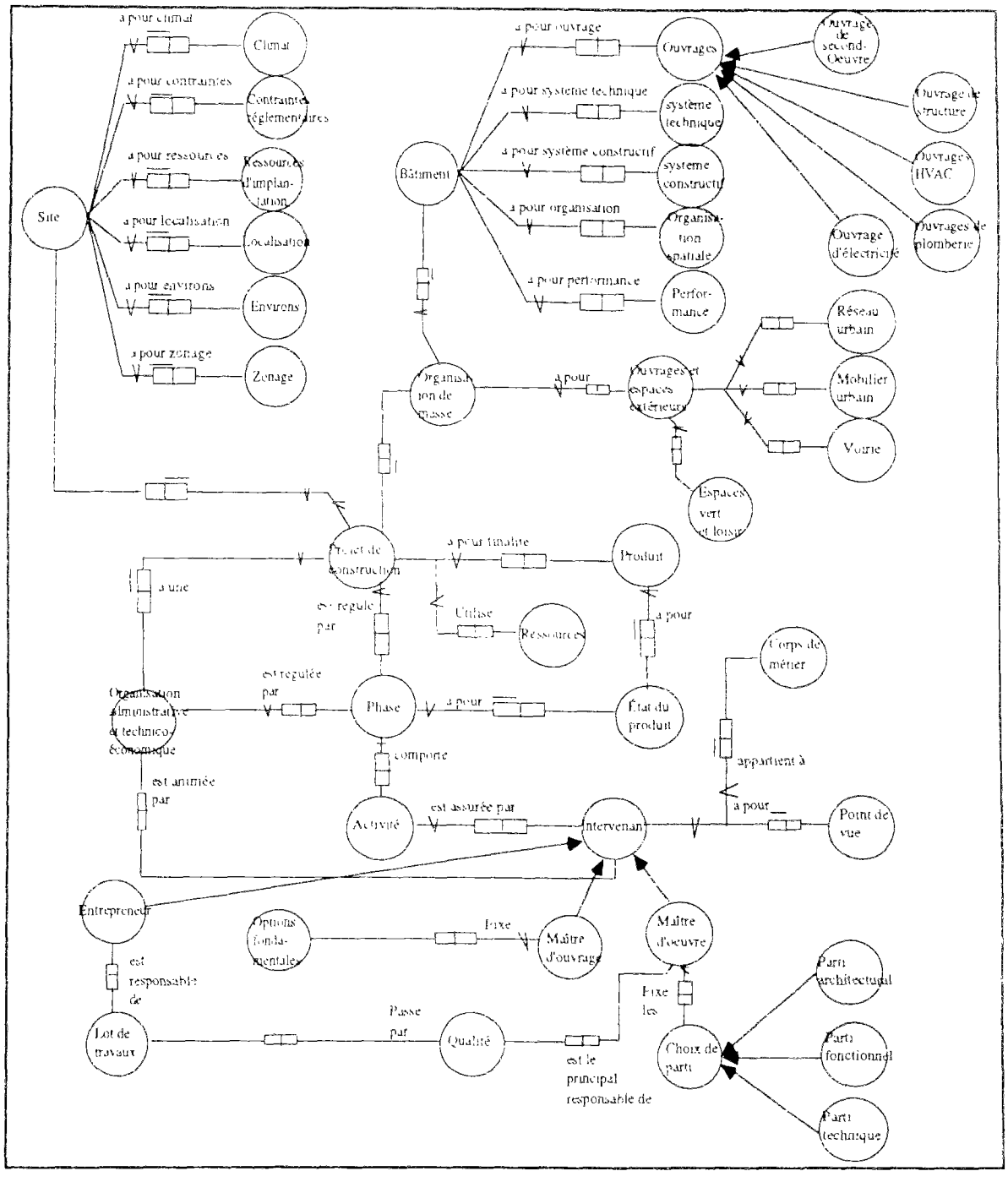


Fig. S3.39. Le Modèle de Référence Projet du Bâtiment.

3.6. Les ressources d'information

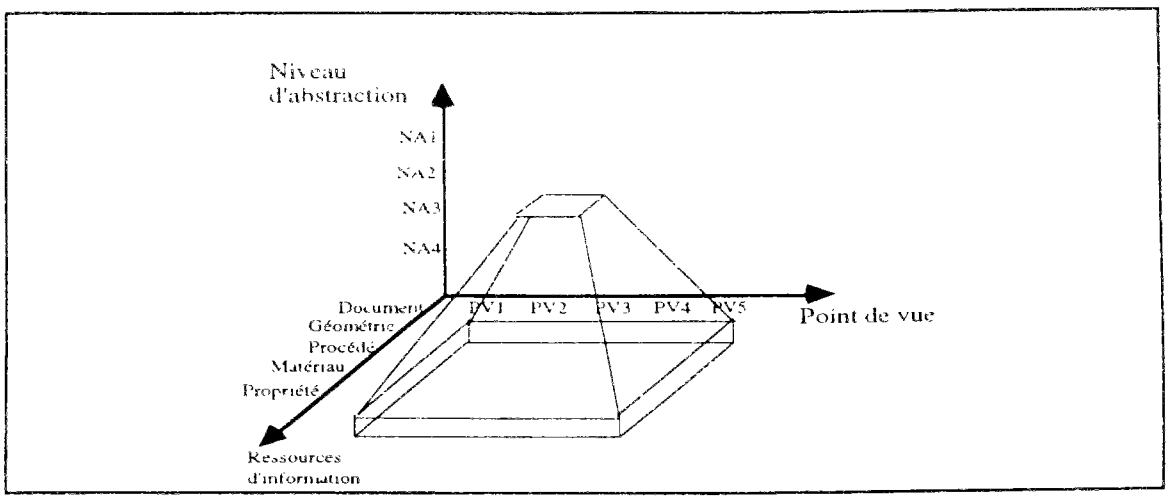


Fig S3.40. Intégration des ressources d'information.

La description physique, qualitative et performancielle des ouvrages d'un projet de construction passe par une définition de caractéristiques et de données que l'on désigne par ressources. Ces dernières sont neutres et indépendantes de la nature et de la spécificité du projet. Les cinq ressources sont :

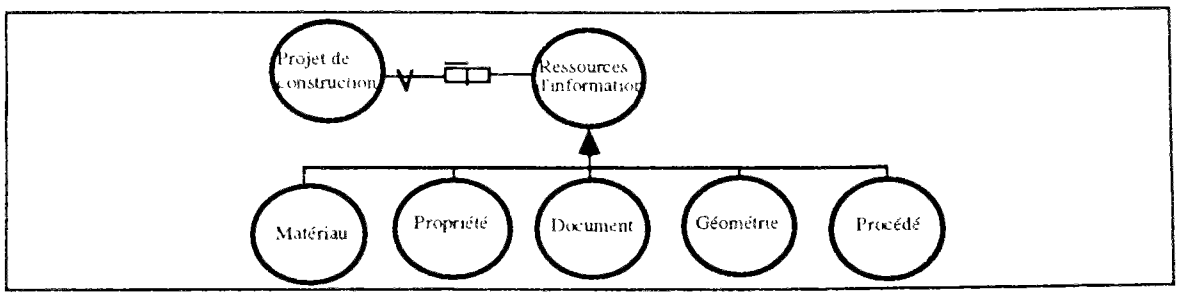


Fig S3.41. Les ressources d'information.

3.6.1. La géométrie

Bien que décrite par la partie 42 de la norme STEP, nous avons retenu les approches CSG (Constructive Solid Geometry) ainsi que la Brep (Boundary Representation) en se fixant comme problématique le contexte bâtiment.

La Boundary Representation considère l'objet comme une union de faces bornées par une frontière. La face est définie comme :

- un sous-ensemble de la frontière de l'objet;
- l'union de toutes les faces d'un objet est égale à la frontière de l'objet;
- chaque face est un sous-ensemble d'un morceau de surface de l'objet;
- une face doit avoir une surface non nulle et ne peut posséder ni côtés pendants, ni points isolés.

La représentation par les frontières a donc pour primitives la face, le coté et le sommet. Elle permet de cerner l'aspect topologique d'un objet. La modélisation obtenue est polyédrique. Elle n'est par conséquent qu'une approximation pour les objets comportant des surfaces courbes. Les deux inconvénients du modèle B-Rep (en particulier par rapport au modèle CSG) viennent de la difficulté à exécuter des opérations ensemblistes et à rechercher des objets contenus dans une région donnée de l'espace. De plus L'intégrité géométrique est satisfaite quand la forme des faces est cohérente avec l'information topologique.

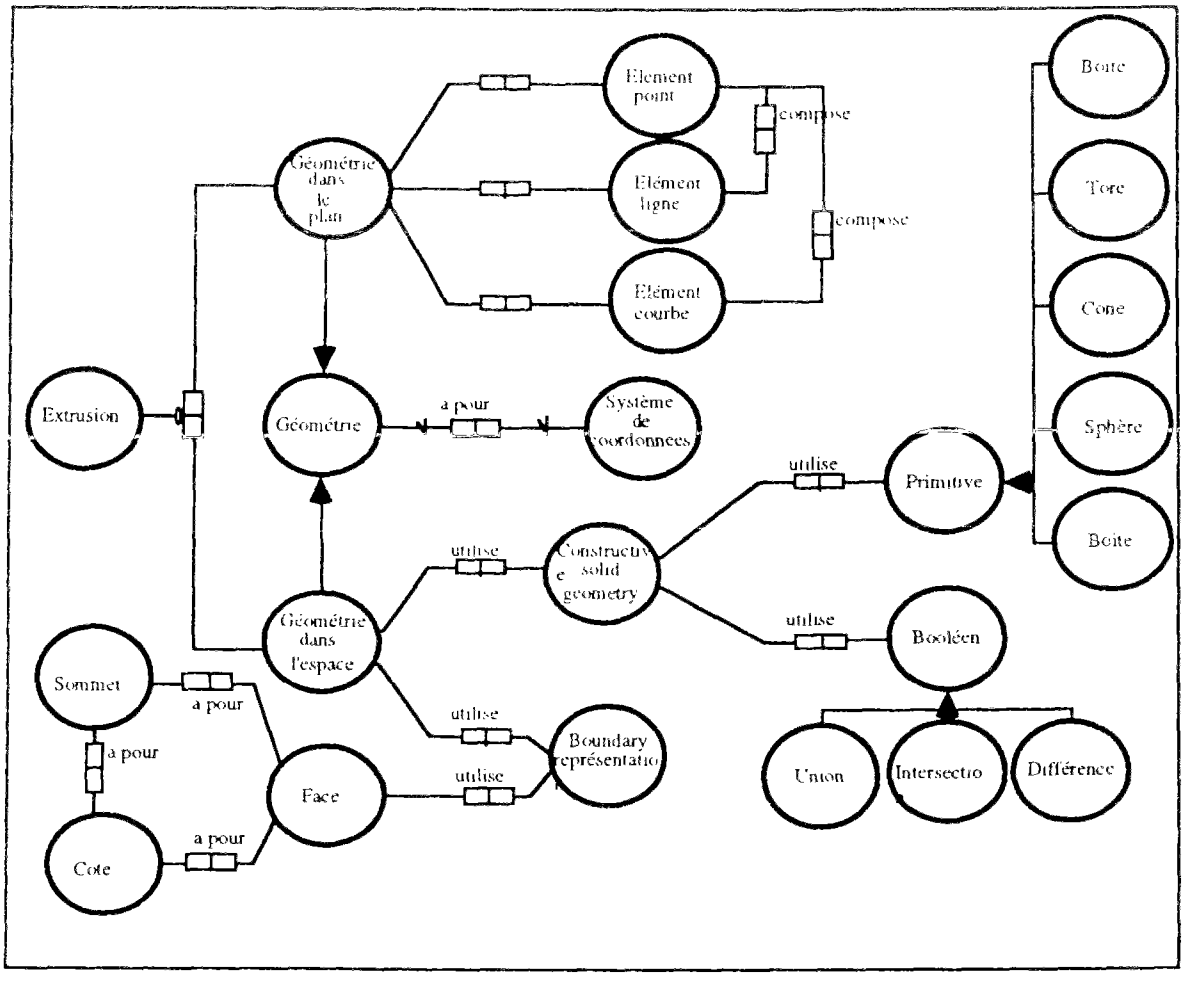


Fig S3.42. La géométrie.

Comme son nom l'indique, le modèle "Constructive Solid Geometry" (CSG) est un modèle constructif, c'est-à-dire qu'en CSG un objet 3D est construit en assemblant, par union, intersection ou différence, des formes élémentaires telles que des sphères, des cylindres ou des parallélépipèdes. Les formes élémentaires peuvent être modifiées en utilisant des transformations géométriques comme la translation, la rotation ou l'homothétie.

Les primitives généralement utilisées en CSG sont, entre autres : le cylindre, le parallélépipède, le cône, la sphère, le tore et le demi-espace. Dans le cas où les primitives sont bornées, les modèles CSG sont appelés "CSG basés sur des primitives bornées" ou "CSG". Dans le cas de primitives non bornées (cas des demi-espaces), les modèles CSG sont appelés "CSG basés sur des demi-espaces".

Chaque représentation CSG peut être décrite comme un arbre où les noeuds non terminaux représentent des opérations (de construction ou de transformation) et les noeuds terminaux des primitives.

Les transformations géométriques (rotation, translation, homothétie) peuvent être utilisées pour modifier les noeuds feuilles auxquels elles sont associées. Chaque objet primitive est décrit par ses paramètres comme sa longueur, sa largeur, sa hauteur ou encore sa position relative. Les objets sont représentés de manière non ambiguë mais non unique. Il peut exister en effet plusieurs décompositions différentes d'un objet à partir du même ensemble de primitives.

CSG et B-Rep sont deux modèles hautement structurés. L'arbre CSG est défini récursivement alors que le modèle B-Rep est une hiérarchie d'abstraction. L'arbre CSG peut être très profond si l'objet représenté est complexe alors que la profondeur de l'arbre B-Rep est constante quelle que soit la complexité de l'objet. Par contre, l'arbre B-Rep peut être très large alors que l'arbre CSG est binaire.

La représentation CSG suffit pour couvrir la plupart des objets présents en CAO. Cependant, elle ne peut pas décrire une large classe de formes libres même avec un grand nombre de primitives. B-Rep peut représenter n'importe quel objet polyédrique, la difficulté résidant dans la définition des faces de l'objet. L'idéal consiste à combiner l'usage de ces deux modèles pour une meilleure définition géométrique de l'objet.

3.6.2. Les matériaux de base-matériaux de construction

Les ouvrages sont conçus et mis en oeuvre à base de matériaux de construction qui eux mêmes sont issus de matériaux de base. Le modèle de référence propose un accès structuré aux matériaux de base selon leur nature (minérale, organique, plastique, métallique et synthétique).

Les matériaux de construction sont quant à eux présentés sous forme de familles de matériaux selon leur usage. Cette approche permet de déclarer à tout moment un nouveau matériau en lui associant les matériaux de base qui le composent.

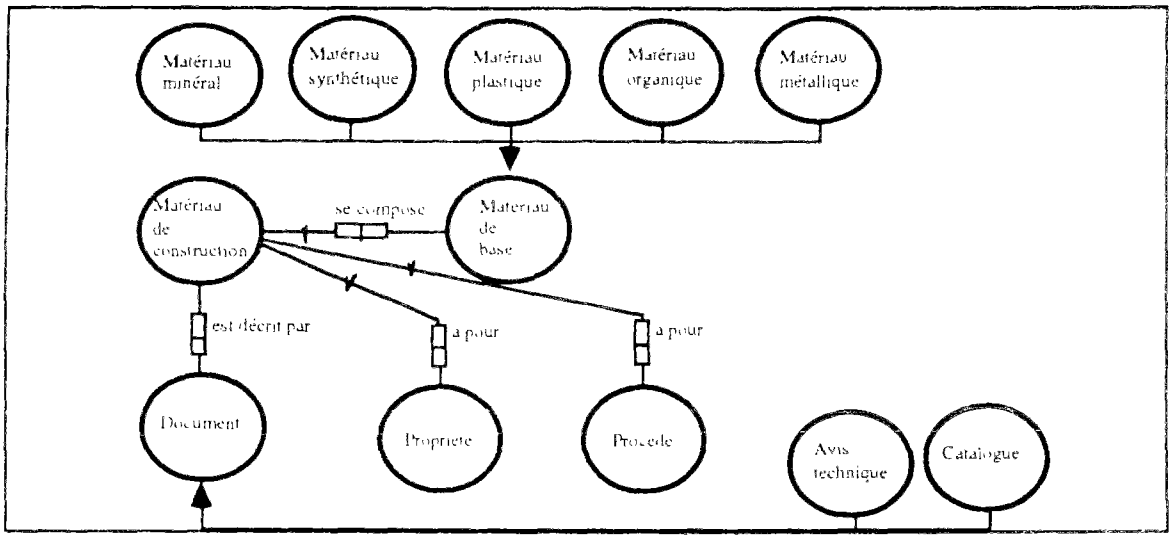


Fig S3.43. Les matériaux de constructions.

3.6.3. Les propriétés

Le but est de pouvoir définir et associer à chaque objet physique ses caractéristiques intrinsèques nécessaires à la simulation ainsi qu'à l'évaluation de son comportement technique et fonctionnel dans un environnement donné. Les propriétés d'un matériau ont trait à l'aspect physique : mécanique (on retrouve notamment les notions de résistance des matériaux), thermique (coefficient de déperdition thermique, résistance et conductivité thermique, etc.), acoustique (indice d'affaiblissement acoustique, etc.) et électrique ou l'on retrouve les données ayant trait à l'éclairagisme de façon générale).

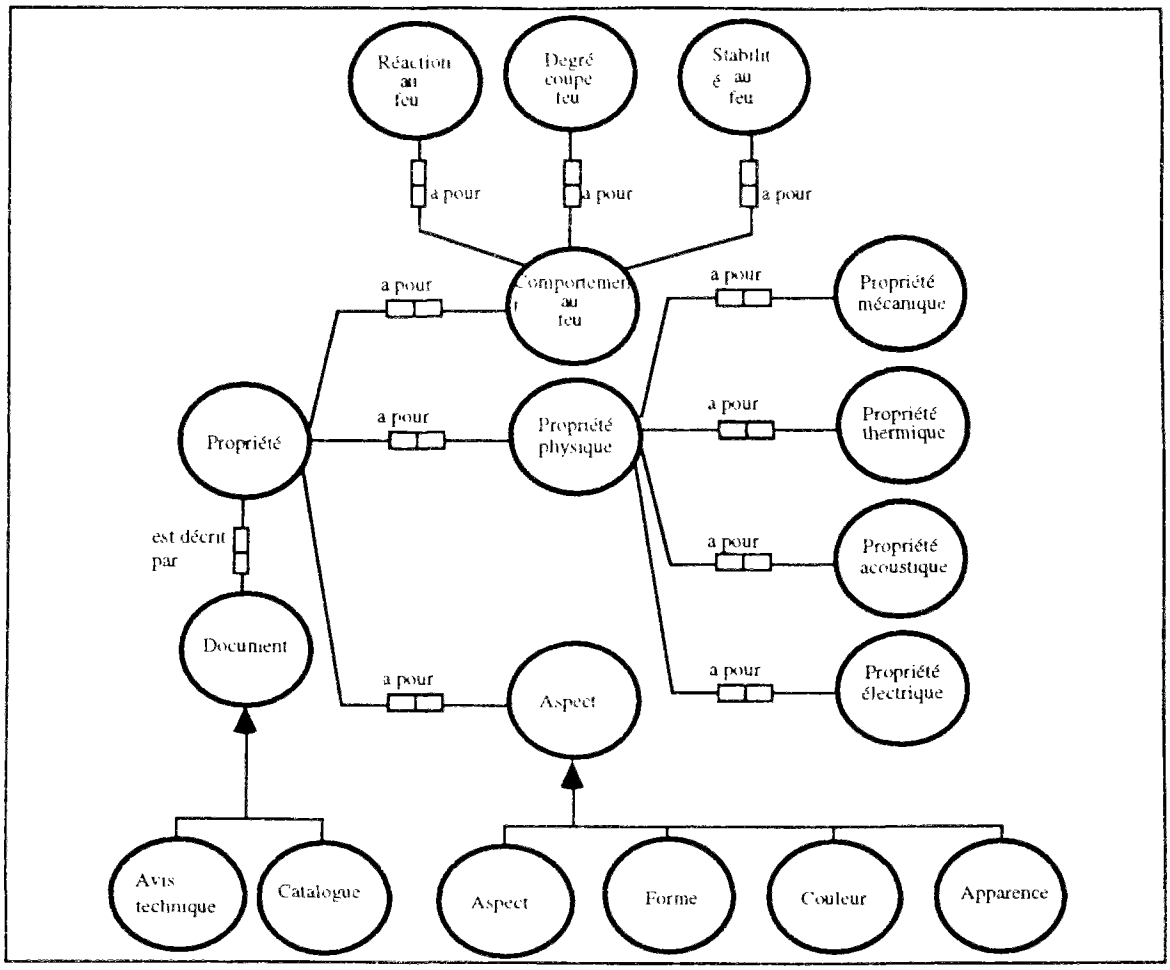


Fig S3.44. Les propriétés.

3.6.4. Les Procédés

Les ouvrages sont mis en oeuvre selon des procédés bien définis. Le but étant de pouvoir rattacher à chaque objet physique son procédé de fabrication ou de mise en oeuvre.

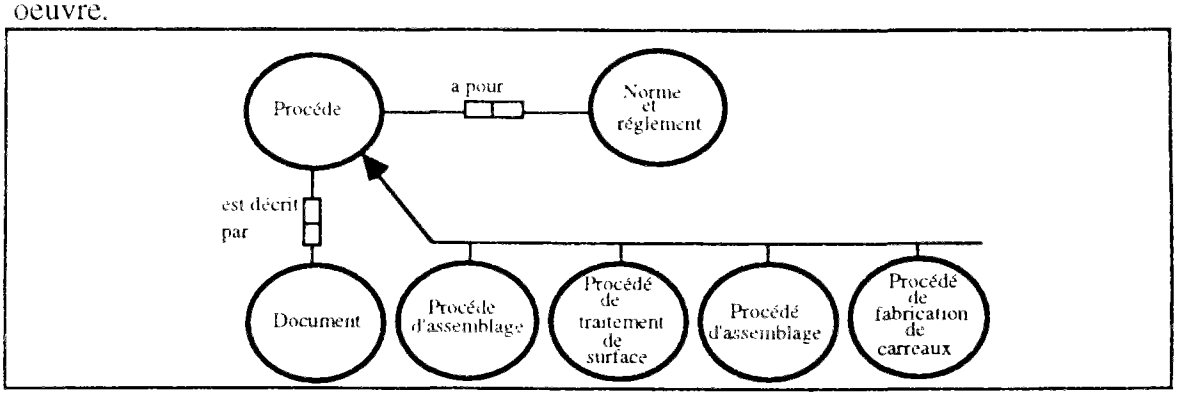


Fig S3.45. Les procédés.

3.6.5. Les documents

Ils constituent la base conceptuelle et réglementaire du processus d'ingénierie. Iis sont classés dans la base documentaire projet. Il s'agit de décrire les liens entretenus par les nombreux concepts documentaires génériques, partagés par l'ensemble des pièces écrites et graphiques composant l'univers documentaire. Le modèle décrivant les ressources documentaires d'un projet permet notamment de retrouver l'historique d'un document. Les modèles conceptuels relatifs au document sont développés dans le chapitre 4.

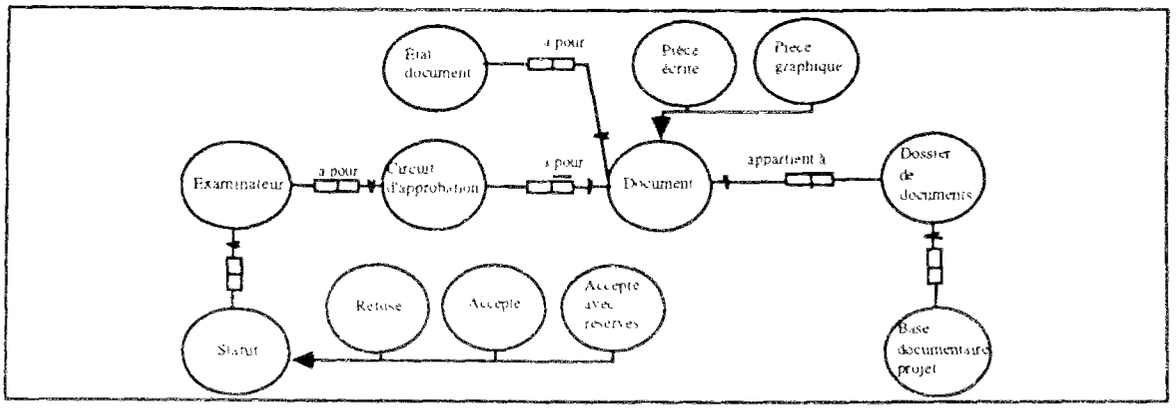


Fig S3.46. Les documents.

3.7. Le Modèle Appliqué Projet du Bâtiment

Le MAPB est une spécialisation du MRPB pour un projet de construction donné. Nous avons axé la réflexion sur l'organisation spatiale d'un bâtiment à usage d'habitation.

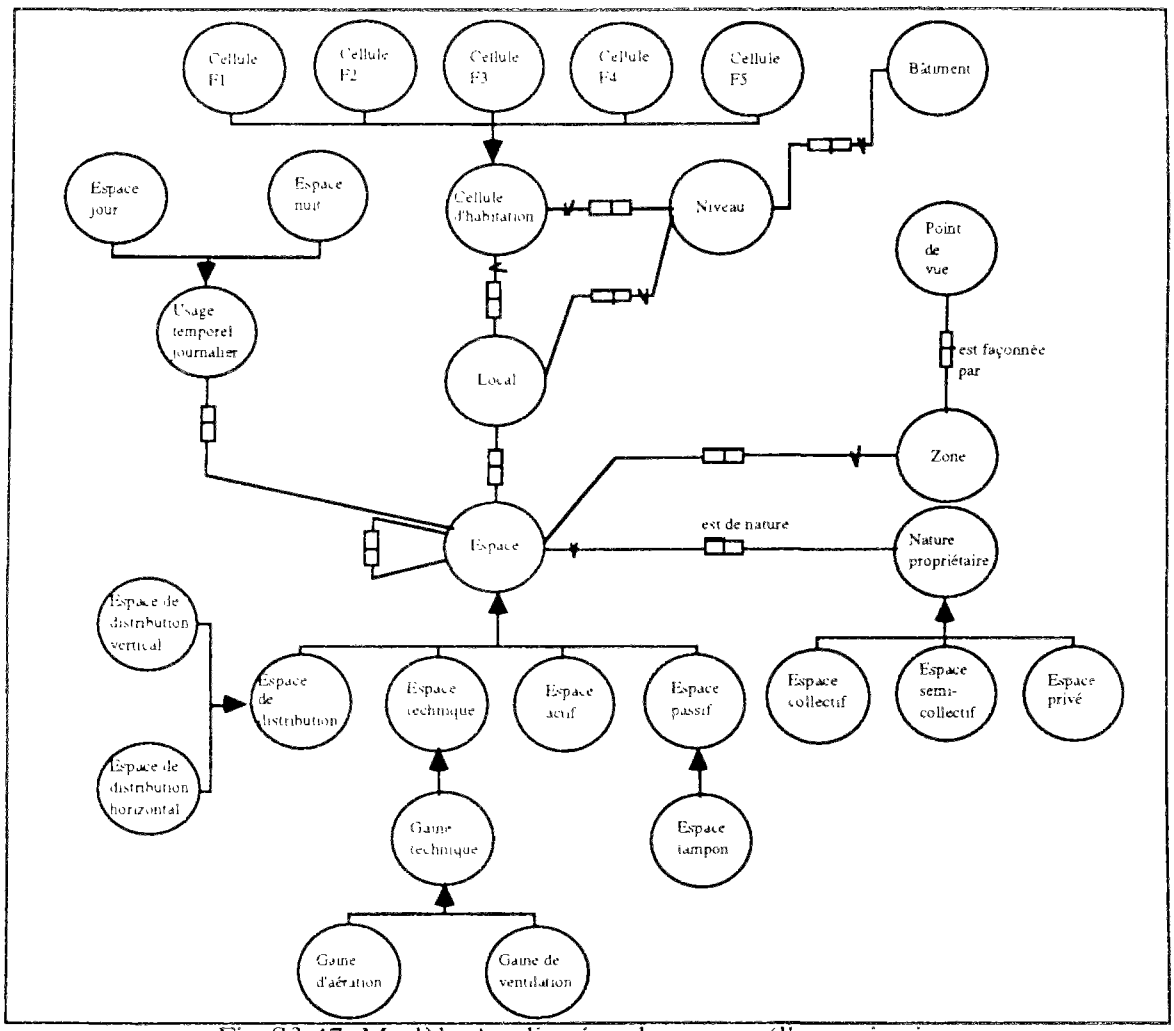


Fig S3.47. Modèle Appliqué au logement (l'organisation spatiale).

On distingue notamment quatre types d'espaces (un espace pouvant être composé d'autres espaces) :

- l'espace de distribution : il désigne tout espace dont la fonction est de relier d'autres espaces. Il est soit vertical ou horizontal. Il est également soit mécanique (ascenseur, monte charge) ou piéton (escalier) ;

- l'espace technique : il abrite un ou plusieurs ouvrages d'un ou plusieurs systèmes techniques. Il est soit accessible (local technique) ou non accessible (gaine technique) ;

- l'espace actif regroupe tous les espaces qui ont une fonction hors technique et hors distribution tels la cuisine, le séjour, le repas, la chambre, etc ;

- l'espace passif : il désigne l'espace tampon.

Le local consiste en l'encapsulation d'un ou plusieurs espaces dans un volume délimité par des parois. Le local communique avec les autres locaux au travers d'ouvertures.

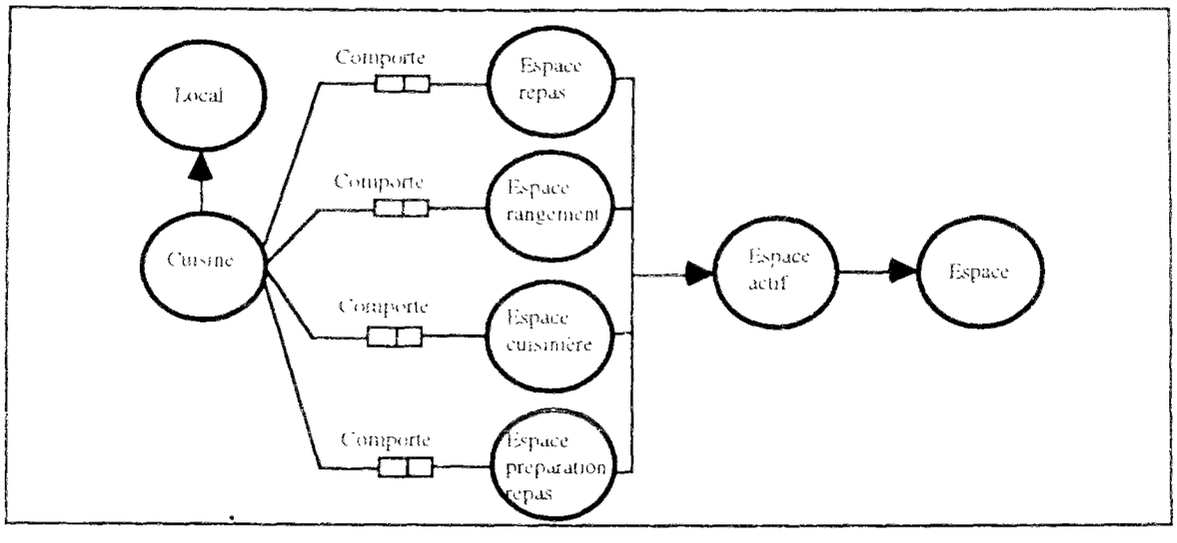


Fig S3.48. Le local cuisine.

3.8. Le Modèle Type de Vue Projet

Les acteurs du cycle de vie d'un projet ont une vision particulière du produit bâtiment. Certaines données peuvent paraître pertinentes aux uns et obsolètes aux autres : l'ingénieur en génie-civil considère une dalle en béton armé au travers de son dosage et de la nature et de la section de son ferraillage, tandis que pour l'architecte, seules importent les dimensions, la composition et la position de l'ouvrage.

D'autre part, certains acteurs utilisent un jargon qui leur est propre. C'est ainsi qu'un concept peut être interprété de façon différente : la longueur du mur d'un local n'aura pas la même valeur selon l'architecte, l'ingénieur de structure ou le thermicien. Il s'agit

donc de proposer des modèles de vues orientés par acteur ou discipline, fédérés par un unique modèle du bâtiment.

À ce sujet, il convient de distinguer le Modèle Type de Vue indexé explicitement au MRPB au Modèle Appliqué de Vue. Ce dernier est dérivé du Modèle Type de Vue par un mécanisme de spécialisation et d'héritage [Neverdeen, Tolman 1991].

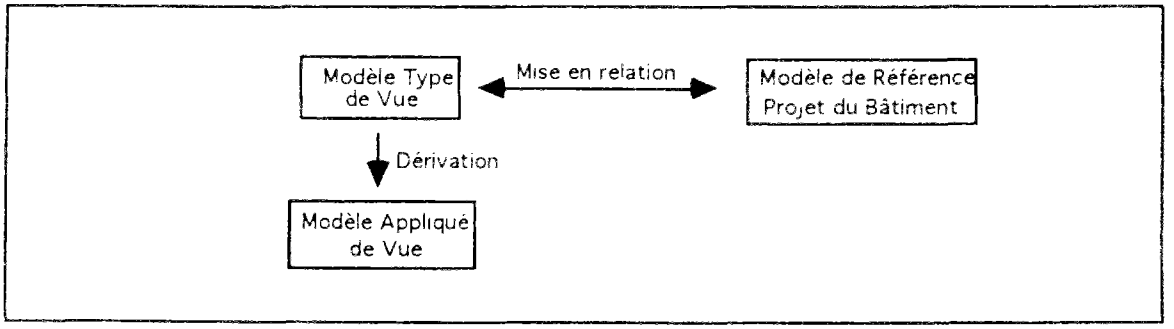


Fig S3.49. Le Modèle Appliqué de Vue.

Un certain nombre de vues sont identifiées (Fig 3.50). Ce nombre n'est pas limitatif. La définition et la mise en place de ces vues rentre dans le cadre des travaux de l'APPP.

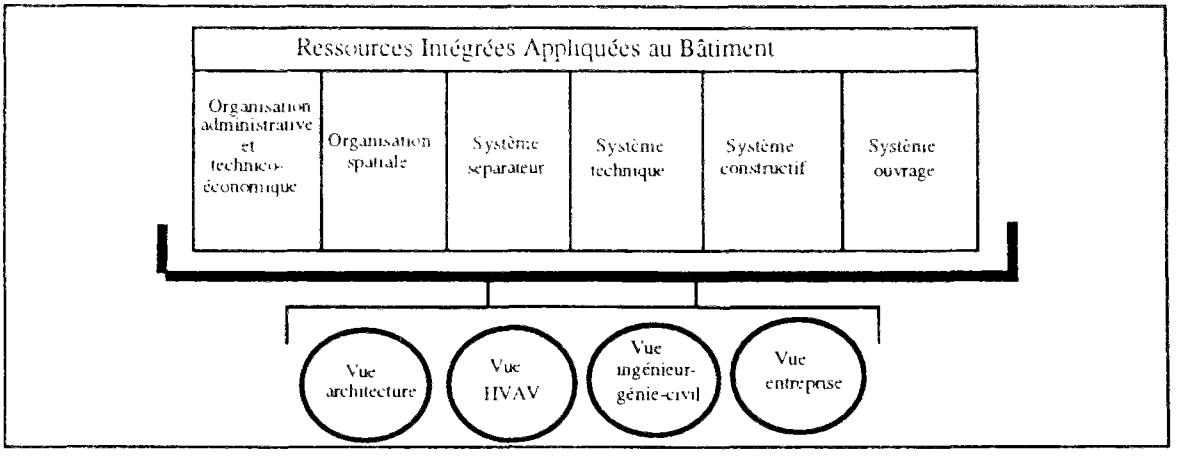


Fig S3.50. Dérivation des Vues.

3.9. Conclusion

Le présent chapitre décrit essentiellement, pour les besoins de la thèse, les principaux concepts à la base des systèmes du Modèle de Référence Projet du Bâtiment. Une version plus détaillée sous le format EXPRESS est présentée en annexe B de ce document. Le MRPB permet de dériver des modèles appliqués par type de projet (MAPB). De nombreux exemples de modèles appliqués existent [Waard 1992], [Nederveen 1991].

Les ressources génériques nécessaire à la description d'un bâtiment ont été développées séparément. Ces ressources constituent en fait, une spécialisation des ressources de STEP pour les besoins du secteur du bâtiment. Nous avons de même indiqué en fin de chapitre, de façon succinte, les principes généraux d'un Modèle Type de Vue. Ces derniers sont actuellement en cours de développement dans divers projets européens tel que ATLAS et COMBINE.

Le MRPB a été utilisé dans le cadre du projet DOCCIME [Debras, Rezgui, et al. 1993] soutenu par le Plan Construction et Architecture. Le caractère général des documents CCTPs, à la base de notre travail de recherche, nous a imposé un cadre similaire pour les données issues d'un modèle du bâtiment. Nous n'avons par conséquent pas eu recours aux Modèles Appliqués MAPB.

4. Le modèle documentaire

Ce chapitre a pour objet de présenter en premier lieu l'état de l'art en matière d'édition électronique des documents et d'introduire la notion de structure de document. On retrouve également une présentation des principales normes permettant la représentation des documents sous différentes formes (logique et physique) ainsi que quelques exemples d'environnements informatiques les mettant en oeuvre. L'architecture et les prncipaux concepts du modèle de contenu et de genèse d'un document sont ensuite présentés. Nous avons axé notre réflexion sur le CCTP type d'une affaire que nous avons spécialisé selon quatre lots de travaux.

4.1. Le contexte

Le projet de construction se distingue par l'étendue de ses domaines et de ses centres d'intérêt. Ces derniers sont couverts par un nombre considérable de documents de nature juridique, technique et réglementaire. Les diverses tâches concourant à la production d'un bâtiment sont soumises à des **délais stricts**, dont le non respect engendre des **conflits d'ordre contractuel et financier.** Dans un tel contexte, la qualité des choix de conception nécessite un accès facile, rapide et structuré à l'information utile.

Le concepteur est souvent appelé à utiliser des ensembles de connaissances souvent **plus vastes, plus complexes et plus spécialisés**, que la mémoire humaine seule ne peut gérer. L'esprit humain dans son mécanisme de conception procède essentiellement par **association au travers des activités de création, rappel et organisation des connaissances** [Bush 1945]. Les informations décrivant un domaine doivent être chaînées d'une façon logique. La numérisation du document a permis la mise en oeuvre d'un certain nombre d'applications permettant la gestion efficace et l'accès structuré à l'information [Dachelet 1990]. Un de ces aspects est connu sous le concept d'hypertexte.

4.2. Le concept d'hypertexte et d'hypermédia

Dès le début des années 60, Englebart propose un système de gestion d'une base de texte non linéaire [Englebart 1963], tandis que Nelson conçoit un système d'indexation et de stockage de documents [Nelson 1967]. C'est d'ailleurs ce dernier qui inventa le mot "**hypertexte**". C'est avec la version Hypercard de Apple que l'hypertexte connait ensuite une utilisation industrielle.

L'application hypertexte offre des fonctionnalités de création, stockage, indexation et consultation de bases documentaires. Un hypertexte est un ensemble d'éléments textuels définis par des liens internes ou externes au document qui les contient. Un hypertexte est un réseau dont le noeud représente l'élément textuel et l'arc le lien. On parle ainsi de navigation dans un réseau hypertexte. Lorsque les éléments textuels peuvent contenir des graphiques, des séquences audio ou vidéo, on parle alors d'hypermédia.

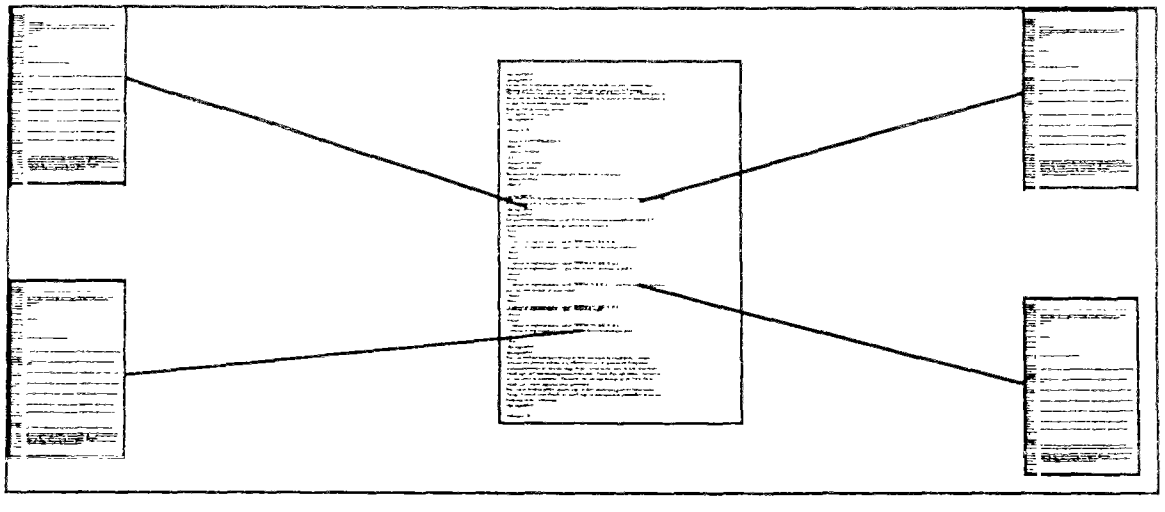


Fig S4.1. Le principe de l'Hypertexte.

Un exemple dans la réglementation du bâtiment : le projet Fartec

Dans le domaine du bâtiment, le projet Fartec [Delcambre 1991] a pour objectif général de préparer la réalisation, à moyen terme, de systèmes informatiques complémentaires et cohérents destinés à faciliter l'accès aux règles techniques : règlements, règles de l'art, normes, avis techniques, certifications, etc. Ces systèmes informatiques utilisent des moyens adéquats de stockage et d'accès à l'information.

La démarche consiste à :

- saisir l'ensemble des documents sous une forme électronique y compris les schémas, tableaux, formules, etc ;
- faire en sorte que la mise en oeuvre de Fartec soit compatible avec les moyens mis à la disposition des professionnels du bâtiment.

L'accès pertinent et efficace aux éléments d'information se fait à l'aide d'un ensemble de clés d'accès aux informations associées aux fichiers primaires. Pour ce faire il a fallu procéder à une indexation généralisée des documents, organisée selon plusieurs niveaux :

- les notions générales décrivant le contexte d'un problème informationnel ont été regroupées au sein de six nomenclatures qui comportent environ 350 items;
- un accès direct aux unités d'information (chapitres, articles, paragraphes, sections, etc.) est rendu possible par une indexation détaillée du contenu de chaque document. L'objectif final est de construire des répertoires structurés de mots en utilisant les connaissances de spécialistes de différentes disciplines : thermique, sécurité incendie, structure, etc.

Le CD-REEF est un produit réalisé à partir de la base Fartec, il consiste en un CR-ROM rassemblant sur un seul disque laser les 14000 pages du REEF [Reef 1994]. La sélection et consultation des documents pertinents vis à vis d'un problème de recherche d'informations utilise les nomenclatures précédemment évoquées. La consultation hypertexte de l'encyclopédie du bâtiment est ainsi rendue possible.

4.3. La structure d'un document

Plusieurs points de vues peuvent être envisagés pour décrire un document [André, Quint, 1990] ; si on se réfère à la chaine traditionnelle de production des ouvrages imprimés on peut considérer la position de l'auteur et celle du typographe, qui sont chacune à une extrémité de la chaine :

- l'auteur s'intéresse d'abord au contenu du document et à son organisation **logique**, son découpage en parties, chapitres ou sections ;
- au contraire, le travail du typographe concerne plutôt la forme graphique, on parle alors de **structure physique**.

La structure logique concerne l'organisation interne du document. Elle décrit son modèle de contenu, et nous permet de comprendre la façon dont sont imbriqués les divers éléments constituant le document.

Normes pour la structuration du document

La multiplication des systèmes de représentation de texte a rendu difficile l'échange de documents sous leur forme électronique. En effet chaque système possède son propre format de représentation, et chaque imprimante son propre jeu de commandes. C'est dans un souci de normalisation qu'un certain nombre de mode de représentation ont été définis sous l'égide d'organismes internationaux tel que l'ISO.

On distingue deux familles de normes pour les documents structurés :

- les normes qui décrivent l'aspect physique du document e.g. ODA (Office Document Architecture). Elles utilisent des documents formatés ;
- les normes qui décrivent la structure logique du document e.g. SGML.

Par ailleurs certains produits tel PostScript sont devenus "de facto" des normes, du fait de leur large utilisation.

L'approche SGML

SGML (Standard General Markup Language) [ISO8879 1986] est issu de GML (Generalized Markup Language) d'IBM [Goldfarb 1981]. SGML a été adopté par l'ISO pour devenir une norme internationale.

SGML est un langage de marquage. Il considère le document comme constitué d'une suite logique d'**éléments génériques** délimités par des **marques** indiquant le début et la fin de l'élément. Les relations entretenues entre les divers éléments génériques constituant le document ainsi que leurs attributs sont préalablement déclarées et décrites dans une **DTD** (*Document Type Définition*). Plusieurs classes de documents peuvent ainsi partager une structure logique commune.
Dans un environnement électronique, la représentation de l'information contenue dans un document SGML est par application du principe de balisage indépendante des systèmes utilisés pour sa saisie ou son traitement. Une telle simplicité dans la représentation du contenu d'un document favorise l'exploitation d'une même saisie par des outils logiciels

ou des applications diverses réalisant par exemple le chargement d'un document SGML dans une base de données (relationnelle ou orientée objet), ou bien la composition du document en vue de définir une représentation physique particulière [Hamon 1994].

L'approche ODA

La norme ODA (Office Document Architecture) [ODA 1986] contrairement à SGML prend en compte la structure physique du document. Dans le langage ODA, la structure logique est représentée sous forme d'une arborescence de noeuds auxquels sont rattachés des attributs. Ces derniers sont définis par la norme elle même et non pas dans une DTD (SGML). Les attributs d'ODA décrivent les relations entre les objets logiques du document.

La norme ODA permet de décrire le document sous un aspect physique. Il est alors constitué d'ensembles de pages correspondant à des chapitres ou divisions. Chaque ensemble de pages est découpé en pages élémentaires, lesquelles s'organisent en cadres et en blocs. Le cadre peut correspondre à une colonne de page, et le bloc à un paragraphe de la colonne.

Tout document traité par le langage ODA a une structure spécifique logique et / ou physique qui sont conformes aux structures génériques du document. Ces structures génériques assurent la cohérence des structures spécifiques et permettent d'assister l'utilisateur dans ses tâches de création et de formatage des documents [André, Quint, 1990].

Une structure générique consiste en un ensemble de définitions de classes d'objets. La définition de la classe comporte la spécification de ses composants possibles et de leur mode d'assemblage. Le composant peut être obligatoire (REQ), facultatif (OPT), ou répétable (REP). L'assemblage des composants se fait en séquence (SEQ), par agrégation (AGG) ou au choix (CHO). La mise en page se fait au travers de *"styles"* associés aux objets logiques. Ils établissent une correspondance entre les objets de la structure logique et les objets de la structure physique.

Les différences entre ODA et SGML concernent le niveau physique en ce sens que SGML prend en compte principalement le niveau logique du document tandis que l'aspect physique est traité au travers d'un langage complémentaire DSSSL (Document Style Semantics and Specification Language). De plus ODA nécessite des éditeurs

structurés spécialement conçus pour la norme, alors que SGML peut être décrit par des outils simples et d'usage courant. Les domaines d'applications diffèrent pour les deux normes. SGML est le plus souvent utilisé dans les domaines de l'édition et de la réglementation technique, alors qu'ODA s'oriente davantage vers les applications de bureautique.

4.4. L'état de l'art relatif à la préparation et à l'édition des documents

Les premiers outils de préparation de documents étaient ceux utilisés pour l'écriture des programmes informatiques. Ils comportaient un nombre limité de commandes élémentaires exprimées en un langage très peu formalisé et de bas niveau. Ce premier système d'édition documentaire est appelé : formateur. Le principe consiste à soumettre au formateur le document préparé sous forme de fichier. Le formateur effectue le traitement nécessaire puis délivre le résultat après un certain délai.

Le langage utilisé par les formateurs a progressé du fait de l'évolution des langages de programmation. Ils ont d'abord été dotés de macro-instructions offrant à l'utilisateur des commandes d'un niveau plus élevé [André, Quint 1990]. Ils ont ensuite évolué conceptuellement vers des éditeurs structurés offrant à l'utilisateur l'assistance nécessaire à une saisie et à une mise à jour cohérente du document.

Dans ce qui suit est présenté plus en détail les deux familles de systèmes que constituent les formateurs et les éditeurs structurés.

4.4.1. Les formateurs

Les formateurs sont des outils très puissants. Ils présentent l'avantage de pouvoir traiter de gros documents. Ils permettent de constituer des indexes et de gérer les renvois.

On peut distinguer deux classes parmi les formateurs récents :

- les formateurs de haut niveau, e.g. Scribe [Reid 1983] : ils travaillent à partir d'une description logique du document. Ils permettent notamment d'obtenir une homogénéité parfaite du texte du fait que la description physique est directement rattachée aux éléments génériques du document, elle est ainsi dissociée du texte saisi.

- les formateurs de bas niveau e.g. Tex [Seroul 1989] : l'aspect physique est déclaré dans la description du document sous forme de commandes. Ces dernières produisent l'effet désiré (saut de ligne, changement de police, etc.). Les formateurs de bas niveau offrent souvent des mécanismes de macro-instruction qui les rapprochent des formateurs de haut niveau. De plus les macro-commandes peuvent être stockées dans des bibliothèques, et permettent ainsi d'étendre leur utilisation à d'autres documents. C'est le cas du système Latex qui offre les fonctions de Scribe en s'appuyant sur Tex.

Scribe

Le projet Scribe prend appui sur le processus de préparation et de production de documents tout le long de la chaîne éditoriale traditionnelle. L'auteur travaille sur l'aspect logique du document tandis que la présentation est prise en charge par l'éditeur.

Le langage de description des documents est un langage déclaratif ou l'utilisateur décrit les éléments génériques à la base de son document. Il ne se réfère à aucune machine ou imprimante particulière. Il consiste à introduire des marques dans le texte du document. les marques de début et de fin de texte délimitent une région. Les régions issues de mêmes marques déterminent un environnement.

La base de données de Scribe contient tous les environnements existants, organisés par type de document. On parle ainsi de l'environnement global d'un document. Ainsi tout utilisateur est libre de créer l'environnement global adapté à son document.

L'aspect physique du texte est rattaché à l'environnement en terme d'attributs qui définissent la police à utiliser, la justification, la marge, etc.

Scribe permet également de gérer la numérotation, les références croisées. Il permet la génération automatique de la table des matières et des indexes [André, Quint, 1990].

Latex

Tex offre un langage très riche et complexe. Il nécessite une bonne connaissance de la typographie et de la programmation. Cependant Tex offre la possibilité de développer des macro-instructions définissant des commandes d'un niveau plus élevé. C'est dans cette perspective que L.Lamport a développé son système Latex [Lamport 1986]. Ce dernier,

très proche de Scribe dont il utilise la simplicité est implanté sur Tex. Il tire donc profit des qualités typographiques du langage Tex.

4.4.2.Les éditeurs structurés

Les éditeurs syntaxiques, à la différence des autres systèmes, connaissent le langage dans lequel est écrit le programme qu'ils traitent. Ils guident ainsi l'utilisateur dans la construction logique de son document en proposant les éléments valides et adéquats dans chaque environnement.

Le système Grif

C'est un système interactif, c'est à dire que l'utilisateur a la possibilité de visualiser, à tout moment, l'aspect physique de son document [Quint, Vatton, 1986]. De plus les modifications se répercutent sur l'image du document. Grif prend appui sur un modèle structuré et générique de document qui sert de base à sa construction physique. Il imprime le document ainsi préparé en utilisant les formateurs cités ci-dessus (Tex, Scribe, etc.).

Author/Editor

C'est un des premiers systèmes disponibles sur Macintosh et sur PC . C'est un système conçu pour l'édition de documents SGML [Maloney, Rubinski, et al. 1988]. IL prend appui sur une structure logique générique (DTD) pour l'édition du document. Il permet de mettre en évidence ou d'occulter les balises SGML du document. De même que la structure peut être affichée dans une fenêtre spécifique, selon le niveau de détail désiré.

Le système Docset de la station XPDI

Docset (DOCumentary handling Software Environment Tools) est un atelier d'ingénierie documentaire développé au CSTB [Debras et al. 1994] qui supporte les documents structurés sous le format SGML en liaison avec le "Product Modeling". Il permet la gestion de large volumes documentaires. L'outil Docset offre un certain nombre de fonctionnalités, notamment pour la gestion de bases documentaires, la conception de modèles documentaires, pour l'édition et la consultation de documents selon le format choisi. Docset offre des moyens interactifs pour l'édition des documents et de leur définition type et ce au travers d'interfaces utilisateur, e.g. l'édition de la structure se fait

grâce au "Docset Tree Editor Panel", l'édition SGML est gérée par le "Docset Document Editor Panel". Docset utilise une représentation orienté objet de la définition type de document SGML. Ceci facilite le contrôle de la cohérence et de l'intégrité des documents vis à vis de leurs modèles. Il permet également une compilation des documents vers des formats variés : Aida Hypertext, Microsoft RTF, etc.

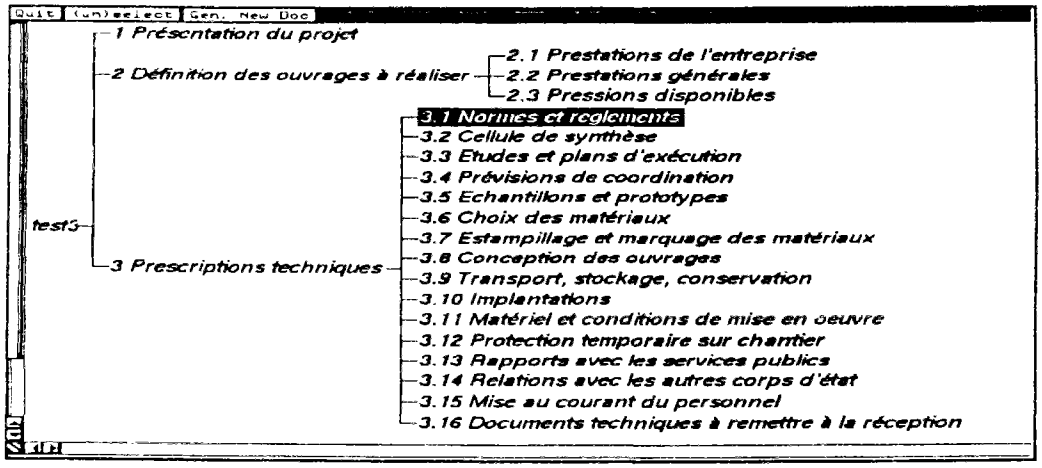


Fig S4.2. Le Système Docset

4.5. Méthodologie générale appliquée au documentaire

En pratique, une manipulation appropriée de l'information commence par une description formelle de celle-ci au travers de l'élaboration de structures de données ou modèles conceptuels associés à cette information. Nous noterons ici que cette tâche de modélisation conceptuelle peut être facilitée par l'utilisation de méthodologies adaptées (NIAM) et par l'utilisation d'outils logiciels implémentant ces méthodologies.

Nous avons dans le paragraphe 1.4. recensé les principales pièces écrites issues du processus de conception / réalisation / maintenance d'un projet de construction. Nous nous intéresserons dans le cadre de cette thèse à un document type représentatif de la problématique énoncée en 1.5 (le document CCTP), et à partir duquel nous proposerons un modèle conceptuel, dérivé d'un modèle documentaire générique partagé par l'ensemble des pièces écrites. Le modèle documentaire consiste à décrire les liens entretenus par les objets génériques à la base d'un document, au travers d'une analyse synthétique de sa structure fine.

Une fois les modèles élaborés, il est nécessaire, en vue de leur instanciation, d'en produire une ou plusieurs représentations physiques selon des formats standards (schéma EXPRESS, Définition de type de document SGML ou modèle relationnel) ou "propriétaires" (schéma de base de données objets O2 [O2 Technology 1993] ou réseau de classes XPDI) (voir Fig S.4.3). L'étape suivante consiste en le chargement des différents modèles physiques avec un ensemble représentatif de documents.

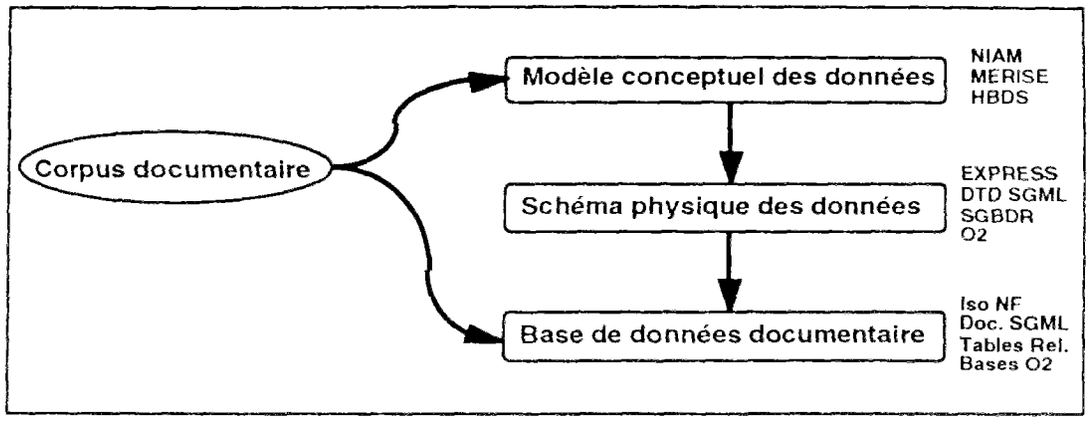


Fig S4.3. Le processus de conception d'une base de données documentaire.

Nos efforts se sont ensuite focalisés vers le problème de l'assistance à la production d'un document projet à partir d'un document de référence. Illustrant notre démarche sur le cas du **CCTP**, nous avons élaboré pour chacun des lots de travaux retenus dans le cadre du projet, à savoir les lots Gros-Oeuvre, Etanchéité, Menuiserie-Extérieures et Plomberie-Sanitaire, un document de référence instance du modèle documentaire CCTP et regroupant l'ensemble des divisions et paragraphes pouvant apparaître dans un CCTP pour un lot de travaux donné indépendamment du projet. Nous avons ensuite élaboré des bases de connaissances permettant d'éliminer pour un projet donné l'ensemble des sections du document de référence sans objet pour ce projet (voir chapitre 5).

Il est important, en phase de création et d'exploitation du document, d'être capable de stocker les diverses *versions* de documents complexes et volumineux, de gérer les *accès concurrents* à leur contenu, leur *restitution en temps réel* vers les éditeurs répartis sur des postes de saisie et leur *stockage persistent* dans des bases de données appropriées. Concernant le stockage persistent des documents, nous nous sommes orientés vers un SGBDOO, en l'occurrence O2 Technology [O2 Technology 1993]. Le problème des *accès concurrents* n'est pas traité dans le cadre de cette thèse et reste cependant posé. Nous présentons dans ce qui suit le cycle de vie ainsi que le contexte conceptuel d'un document.

4.6. Le cycle de vie d'un document

Le document est assimilable à un **produit au sens STEP**. Son cycle de vie passe par quatre phases génériques comme l'indique la figure S4.4 ci-dessous :

- une phase de création, collecte et récupération de l'information, durant laquelle le document passe par plusieurs étapes et résulte du concours de nombreux intervenants (équipe de maîtrise d'oeuvre pour les documents d'architecture);
- une phase d'approbation : le document est soumis au maître d'ouvrage ou aux autorités compétentes pour approbation. Dans le cas d'une approbation avec réserves ou d'un refus le document est modifié puis soumis aux concernés pour une nouvelle approbation;
- une phase d'utilisation : le document est exploité en phase réalisation (chantier, usine) et en phase maintenance; dans une chaine éditoriale traditionnelle, c'est à cette phase qu'intervient le compositeur-omprimeur ;
- une phase d'archivage : le document est stocké sur des supports différents, soit sous une forme électronique (disque dur, bande, CD-ROM, etc.) ou papier dans les archives des principaux intéressés.

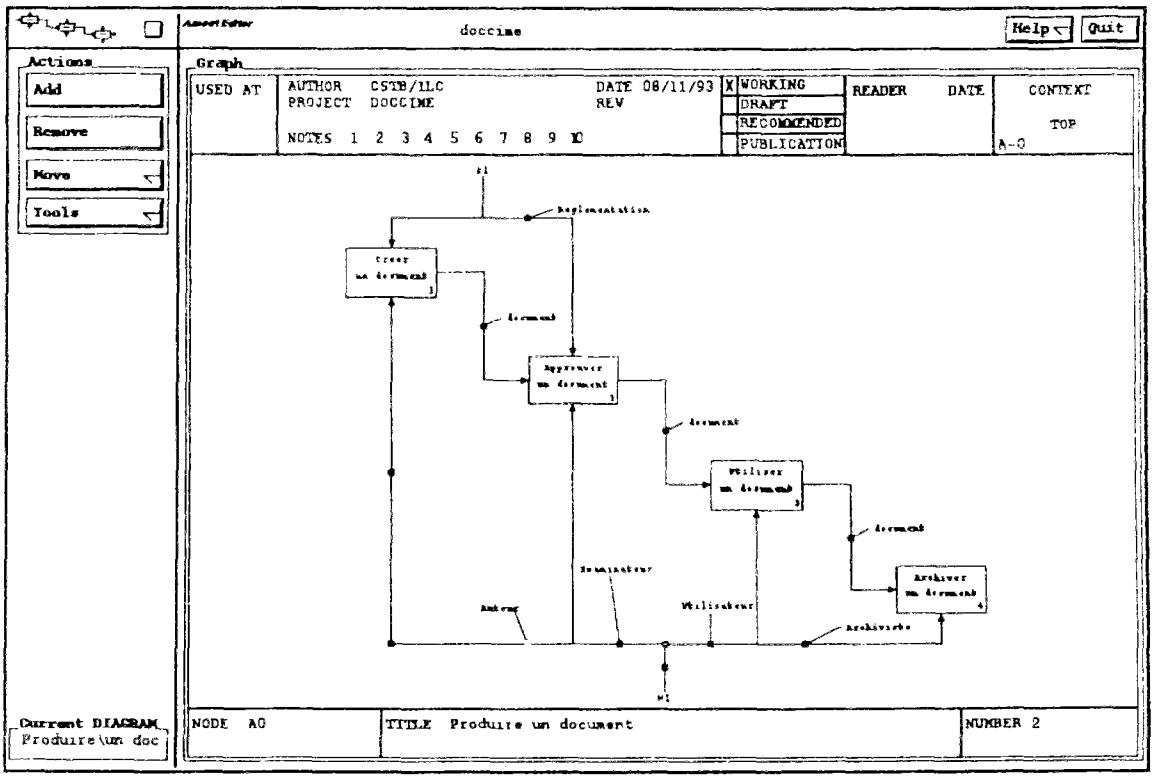


Fig S4.4. - Le cycle de vie d'un document

Le document pris dans le contexte projet est un **objet évolutif**. C'est ainsi que concernant la description du projet, l'architecte rédige une notice descriptive en phase esquisse dans laquelle il développe de façon sommaire les lignes directrices du projet ainsi que ses choix de partis architectural, fonctionnel et technique. La notice descriptive davantage développée en phase APS laisse place au document descriptif et accompagne le dossier de permis de construire. Au terme de l'APD, le document descriptif est détaillé en un ensemble de CCTPs correspondant aux lots de travaux mis en œuvre dans le projet de construction (Fig S4.5).

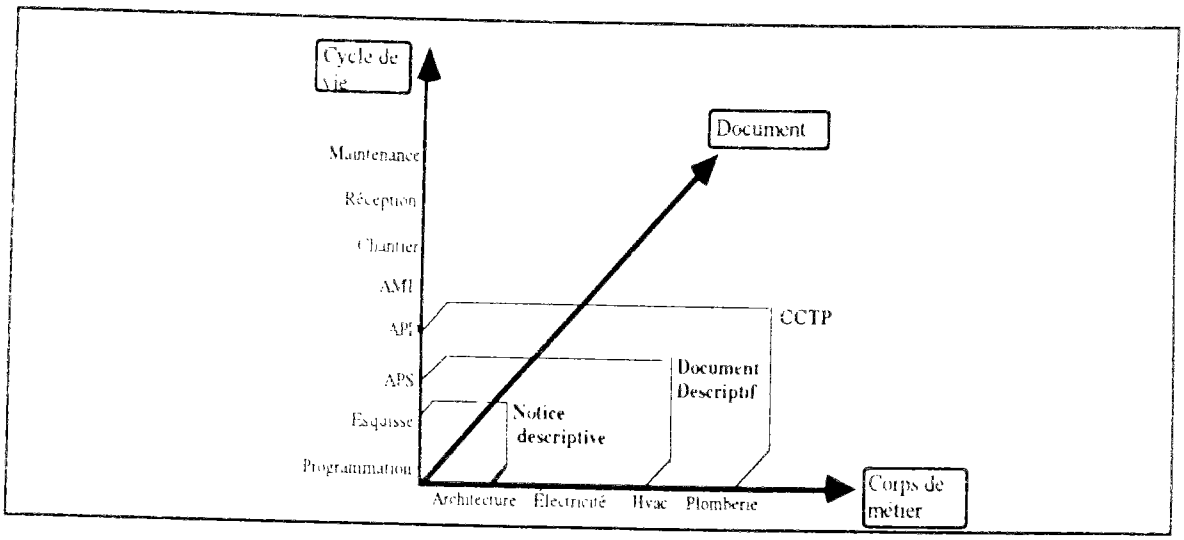


Fig S4.5. L'évolution d'un document

La conceptualisation du document se fait par une description analytique structurée au travers d'un modèle documentaire de référence.

4.7. Le Modèle Documentaire de Référence

Le modèle de référence est une représentation analytique des nombreux concepts documentaires génériques, définis par leurs attributs et partagés par l'ensemble des pièces écrites et graphiques composant l'univers documentaire. Il se spécialise en divers modèles appliqués de documents types tels le programme, le CCTP, etc.

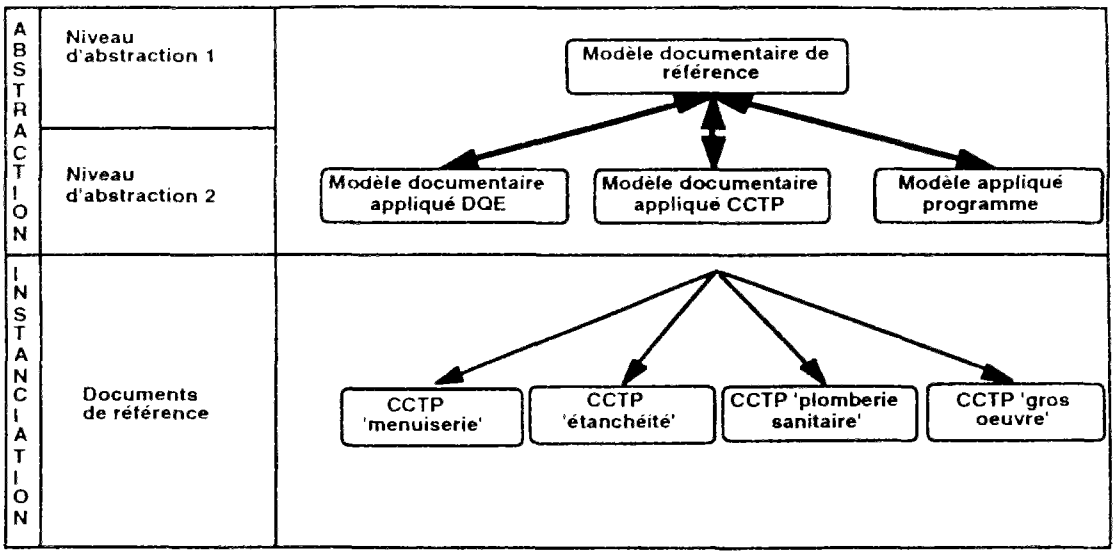


Fig S4.6. Les principaux niveaux d'abstraction du document.

Le modèle de référence documentaire se doit de décrire d'une part la **genèse** d'un document depuis sa création jusqu'à sa version terminale, et d'autre part son **modèle de contenu** (Fig. S4.7).

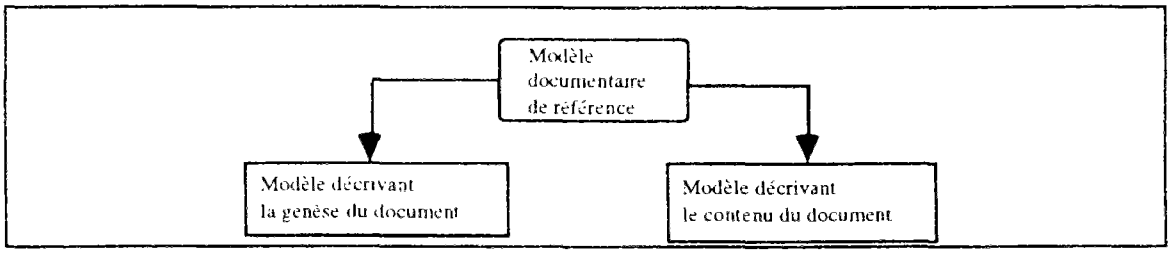


Fig S4.7. La genèse et le contenu d'un document

4.7.1. La genèse d'un document

Un document est un objet transitoire et changeant défini dans une phase précise du cycle des études d'un projet (voir Fig. S4.8). Il est généralement rattaché à un dossier précis de la base documentaire projet, e.g. la notice descriptive en phase APS est rattachée au Dossier de permis de construire, le CCTP est rattaché au dossier de consultation des entreprises. Le dossier de document est plus généralement rattaché à la base documentaire d'un projet, indexé à l'instance du concept racine d'un modèle de données du bâtiment.

Un document a un ou plusieurs auteurs. Il est décrit par des attributs généraux tels son numéro, son indice, sa désignation et sa date de création. Il possède un historique qui permet au travers du concept "État du document" de retrouver entre deux versions

successives, la liste ainsi que l'objet des modifications apportées au document. Il est soumis à divers examinateurs dans des domaines précis pour approbation et ce selon un circuit prédéfini. L'examinateur émet un statut à l'issu duquel le document est soit approuvé, refusé ou approuvé avec réserves.

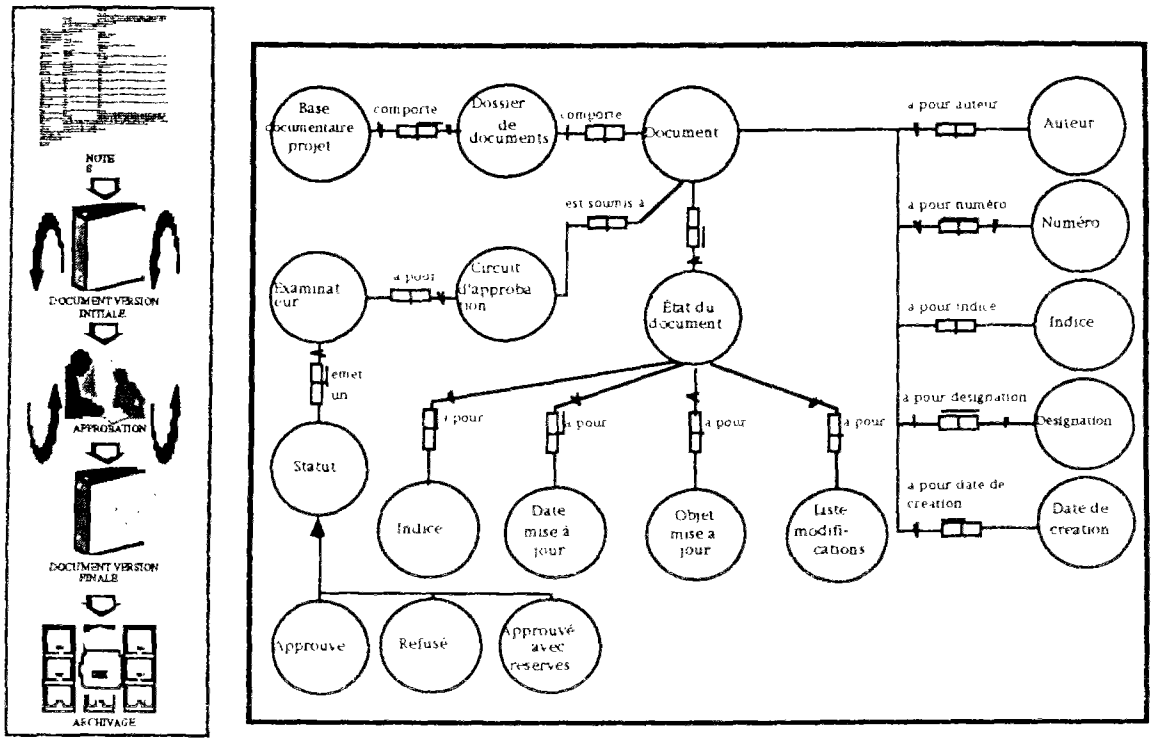


Fig S4.8. La genèse d'un document

4.7.2. Le modèle de contenu d'un document

Un document (pris dans son acception la plus large dans le domaine de l'ingénierie bâtiment) est une retranscription sous une forme graphique ou textuelle d'un univers réglementaire et technique, supportant la description d'un projet de construction. Il revêt deux formes, l'une textuelle (pièce écrite), l'autre graphique (pièce graphique).

Les pièces graphiques dans un environnement logiciel intégré sont du ressort du dessin et de la conception assistée par ordinateur (CAO-DAO). On s'est focalisé dans le cadre de cette thèse au cas complexe de la pièce écrite. Tout document est structuré en une page de garde, un sommaire, un corps et une ou plusieurs annexes. La page de garde comporte des indications relatives au document tels le titre, l'auteur, etc.

Le corps du document consiste en une structure arborescente de divisions définies par leur niveau hiérarchique. Toute division a un titre défini par son numéro ainsi que son libellé. La division comporte une suite d'éléments textuels complexes appelé "paragraphe". Le paragraphe est formé d'une suite de caractères et peut comporter des listes d'items. Le paragraphe et l'item présentent un même modèle de contenu et peuvent comporter :

- des références internes ou externes au document : les références externes ont trait à la réglementation, à des renvois vers un catalogue ou encore vers la base documentaire projet;
- des éléments variables renseignés ultérieurement par l'utilisateur, e.g. section d'une canalisation;
- des éléments flottants (tableaux, figures, formules).

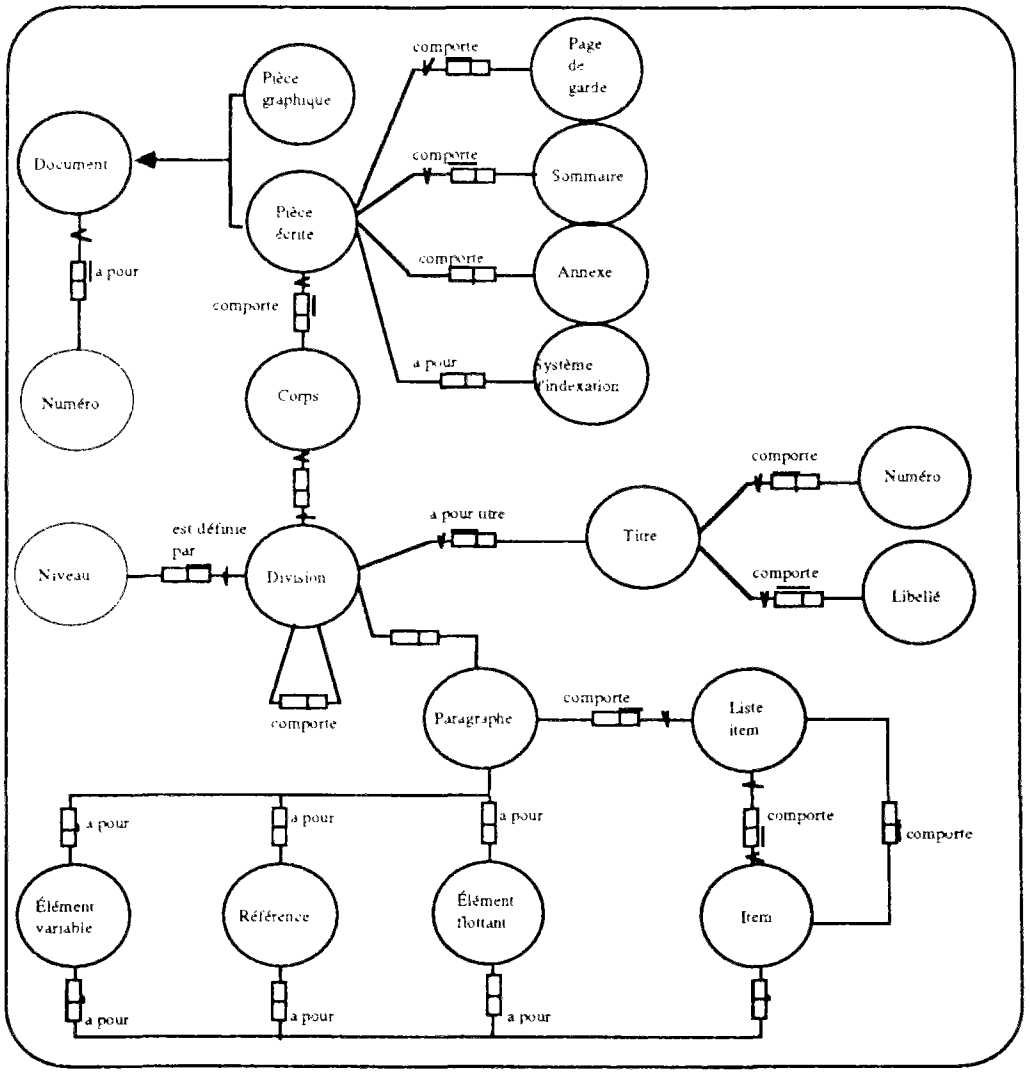


Fig S4.9.Le contenu d'un document

L'existence des divers éléments documentaires cités ci-dessus peut être déterminée par l'évaluation d'un prédicat.

L'expression des prédicats s'appuient sur les quatre tables de vérité. Ce sont des relations du type 1 --> n (1 élément source vers n éléments cibles) comme l'indique la figure S4.10 ci-dessous. Cet aspect est détaillé dans le chapitre 5.

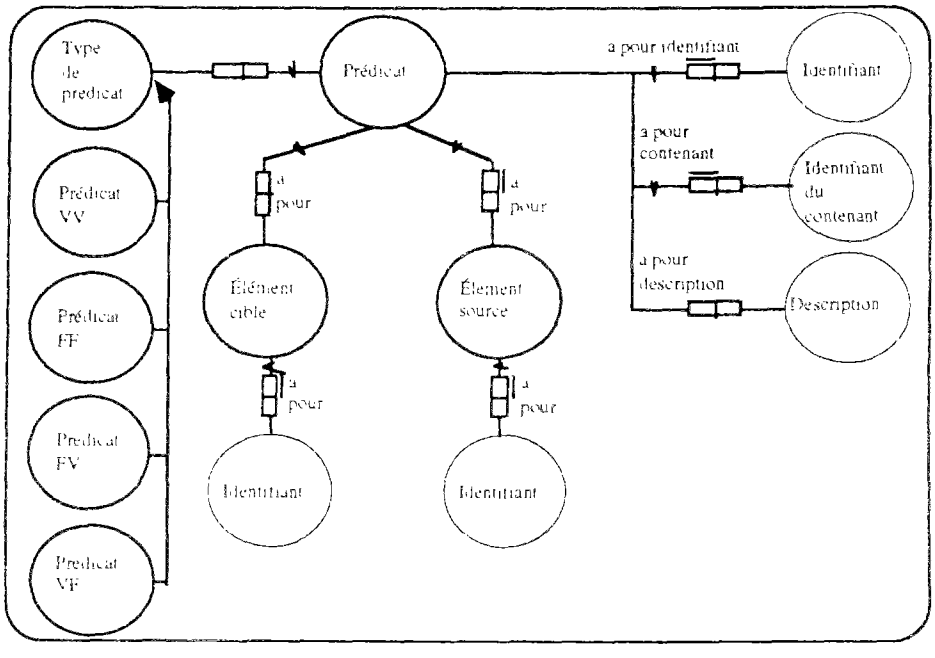


Fig S4.10. Le modèle de prédicat

4.8. Le Modèle Documentaire Appliqué CCTP

Le paragraphe 1.4 témoigne du nombre et de la diversité des pièces écrites produites pendant le cycle de vie d'un projet. Cependant l'un des documents les plus importants et les plus volumineux utilisés dans les opérations de construction est le cahier des clauses techniques particulières (CCTP).

Le CCTP d'une affaire, indépendamment de son type et de sa taille, atteint en moyenne un volume de 2000 pages. Il définit notamment les conditions particulières d'exécution des ouvrages et complète ainsi la description faite au travers des divers plans techniques. Il nous a donc semblé logique d'axer la réflexion dans le cadre de cette thèse sur le cas particulier et pertinent des CCTPs. Le CCTP apporte des réponses précises aux questions des principaux intervenants d'un projet de construction.

- *le maître d'ouvrage* : le document CCTP permet la vérification globale du respect du programme de l'opération ;
- *le contrôleur technique* : l'analyse du CCTP offre la possibilité de fournir préalablement aux travaux un avis sur l'ouvrage ainsi que sur la sécurité des prestations et travaux ;
- *le maître d'oeuvre* : le CCTP permet la vérification du respect du programme et de la conception du projet ;
- *les entreprises* : le CCTP permet la prise de connaissance des prestations et de leurs limites compte tenu des contraintes provenant des autres corps d'état ;
- *le futur utilisateur* : le CCTP procure une base de travail pour l'utilisation et la maintenance de l'ouvrage.

Le Cahier des Clauses Techniques Particulières doit par conséquent tenir compte dans sa structuration de la diversité et du besoin particulier de ses utilisateurs.

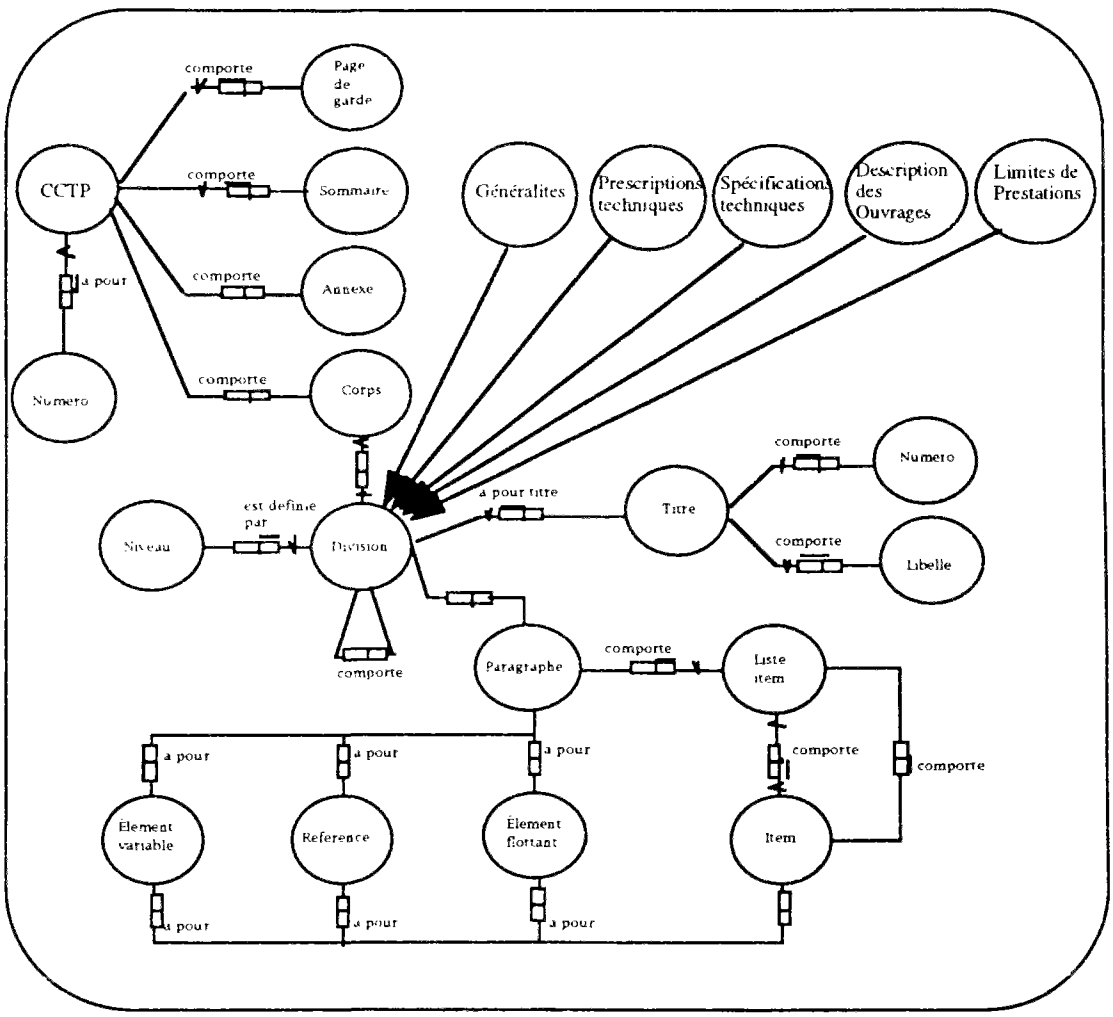


Fig S4.11. Structure d'un CCTP.

L'analyse des documents CCTP issus d'une même entreprise, et relatifs à plusieurs affaires, révèle des **ressemblances tant au niveau de leur structuration que de la nature de leur contenu sémantique**.

Il ressort de cette analyse, indépendamment de la nature du lot de travaux, l'existence d'une **structure commune** aux divers documents CCTP. Cette structure consiste en une organisation de divisions de différents niveaux, dédiés à des fonctions précises.

Cette structure commune s'articule autour de quatre thèmes principaux (Fig S4.11) :

- les généralités communes à tous les lots de travaux ;
- les prescriptions et spécifications techniques ;
- la description des ouvrages à réaliser ;
- les limites de prestations entre corps d'état.

Ces divers thèmes présentent des similitudes d'une affaire à l'autre (textes de référence, méthodes d'essai, mise en oeuvre, etc...) ainsi que des différences portant sur la description formelle et performancielle des ouvrages relevant des caractéristiques inhérentes au projet.

La division "généralités"

Elle consiste en un ensemble de dispositions administratives, contractuelles et techniques concernant les lots d'une affaire. Elle suppose une connaissance globale et précise du projet de construction. En procédant ainsi, la rédaction d'un CCTP peut être considérablement allégée, en ne comportant au principal que les prescriptions propres à chaque lot de travaux.

Les généralités comportent :

- la présentation du projet : cette division consiste en une description sommaire du projet de construction (nature du projet, qualité du maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, bureau de contrôle, localisation, caractéristiques du site, etc.) ;
- la liste et nomenclature des lots : il est attribué un numéro ainsi qu'un code à tous les lots du projet. Cette division comporte également des recommandations générales destinés à l'ensemble des lots ;

- les obligations générales de l'entreprise : il est mis l'accent sur la qualité des travaux, le parfait achèvement des ouvrages, et le fonctionnement des installations techniques;
- la nomenclature des pièces contractuelles : cette division se réfère aux textes et aux indications du Cahier des Clauses Administratives Particulières ;

- le planning: il consiste en la synthèse du contenu du planning des travaux. Celui-ci devant rendre parfaitement compte des détails d'intervention de chaque corps d'état et des inférences de ces différentes interventions sur le chantier ;
- les dispositions et informations complémentaires : cette division traite divers aspects liés à l'exécution des travaux ;
- la vérification des documents : elle porte sur les réactions éventuelles des entreprises vis à vis des documents qui leur sont soumis dans le cadre de leur intervention ;
- les plans et renseignements à fournir et à prendre : elles visent à préciser la portée de la communication inter-entreprise au niveau d'un chantier ;
- les plans d'exécutions : ils ont trait à l'établissement des plans et des détails nécessaires à l'exécution des travaux jusqu'à leur complet achèvement ;
- les plans d'installation et de recollement : les premiers sont nécessaires au chef de chantier. Les seconds permettent de situer les plans dans la globalité du projet.
- la révision des travaux : elle porte sur le contrôle et la révision des ouvrages d'un corps d'état en fin de chantier ;
- le choix du chef de chantier : cette division décrit les conditions et modalités de choix et de changement du chef de chantier ;
- le nettoyage du chantier et enlèvement des gravats : il est mis l'accent sur le nettoyage régulier et général du chantier (généralement à la charge du gros-oeuvre et payé au compte prorata) ;
- l'approvisionnement, pose et protection : cette division fixe les dispositions d'approvisionnement du chantier (gestion des stocks) ;
- le contrôle technique : il est notamment stipulé que tout document doit être soumis pour approbation au maître d'oeuvre et au bureau de contrôle avant tout début de travaux ;
- l'assurance : cette division fait référence aux articles du CCAP qui ont trait à l'assurance du projet de construction dans ces diverses phases ;
- la cellule de synthèse : il est notamment mis l'accent sur les conditions de la synthèse tout corps d'état à l'issue des études de conception ;
- la cellule témoin
- les prestations interdépendantes : elles ont pour but de fixer une règle de répartition des prestations qui s'imbriquent dans les interventions simultanées et alternées entre lots de travaux tels l'implantation, les percements, les réservations, etc. Une bonne définition

des prestations interdépendantes complète la description d'un lot de travaux, et permet ainsi d'éviter les divers conflits d'ordre financier et contractuel entre partenaires, en phase chantier ;

- l'implantation, traçage et trait de niveau : cette division fixe les responsabilités dans le traçage et l'implantation des ouvrages ainsi que l'emplacement du trait de niveau ;
- l'incorporation : cette division fixe les responsabilités lors du réglage et calage par le gros-oeuvre des éléments fournis par les lots de travaux : fourreaux, dormants, cadres, huisserie, taquets, douilles, etc. ;
- les réservations : elles sont généralement implantées par l'entreprise du gros-oeuvre (trous, trémies, passages horizontaux et verticaux, etc.). Cette division précise les prestations dues par chaque entreprise quant à ses réservations ;
- les percements et travaux de reprise
- les calfeutrements et raccords
- la fixation des matériels : elle précise le choix du mode de fixation (par cheville, par scellement, etc.) ainsi que l'entreprise responsable.

La division "prescriptions techniques"

Elle décrit la consistance des travaux du corps d'état concerné. Elle comporte les divers paramètres, hypothèses, normes et règlements ayant servi de base à la conception des ouvrages. Elle fixe également les conditions et modalités d'essai, de réception, de garantie et d'entretien des ouvrages et des installations qui relèvent du corps d'état.

Les paragraphes de la division "prescriptions techniques" comportent relativement très peu d'éléments variables. Ces paragraphes présentent de grandes ressemblances d'une affaire à l'autre. les prescriptions techniques comportent les divisions ci-dessous :

- la consistance des travaux : cette division décrit d'une façon globale les tranches de travaux à exécuter dans le cadre du lot de travaux ;
- les hypothèses et classements : certains lots de travaux nécessitent la connaissance du classement du bâtiment (séisme, neige et vent, établissement recevant du public, etc.) ainsi que d'éventuelles hypothèses qui ont servis de base aux divers calculs techniques
- les normes et règlements : La mise en oeuvre des ouvrages doit généralement être conforme aux normes et règles en vigueur. Cette division liste les règlements qui régissent l'ensemble des ouvrages à la charge du lot de travaux :

- les bases de calcul : il est indiqué la référence de la méthode ou code de calcul utilisé ;
- les matériaux : cette division fixe les prescriptions relatives au choix de la marque de fabrique d'un matériau de construction. Elle spécifie également les conditions de transport et de stockage.
  - le choix des matériaux
  - l'estampillage et le marquage des matériaux
  - le transport, stockage et conservation : cette division précise les conditions de manutention, stockage et conservation des matériaux ;

- les travaux divers ;
- les essais, réception, garantie, entretien.

La division "spécifications techniques"

Elle décrit les procédés de mise en oeuvre particuliers de certains ouvrages ou généraux communs à plusieurs ouvrages, e.g. mise en oeuvre du béton précontraint. Cette division suit généralement la structure de la Description des ouvrages.

La division "Description des ouvrages"

Elle décrit les ouvrages mis en oeuvre dans le projet de construction. les items documentaires de cette division conditionnent l'existence des divisions issus des chapitres précédents qui supportent leur description.

La division "Limites de prestations"

Tous les ouvrages dont la réalisation nécessite le concours d'un autre lot de travaux sont listés dans la présente division e.g. les éléments ci-après sont exclus du lot menuiserie :

- *les tracés généraux incombant normalement au Gros-Oeuvre (trait de niveau, tracés d'implantation, etc.) sauf tracés propres au présent lot,*
- *les structures métalliques principales prévues au lot charpente métallique,*
- *les travaux d'étanchéité relevant normalement des travaux des lots étanchéité, en relation directe avec les ouvrages du présent lot (verrière en toiture par exemple),*
- *les raccordements électriques, (mise à la terre, asservissement à la détection incendie),*

4.9. La DTD CCTP

Dans le domaine documentaire, SGML est un standard proposant un langage de description de modèles de documents ou de Définitions de Types de documents (DTD) qui correspond en fait au modèle de représentation du document.

Une DTD contient les déclarations des différents types d'éléments logiques autorisés, et décrit leurs structures génériques. On parle souvent de structure logique générique concernant un document type, et ce par opposition à la structure logique spécifique qui concerne directement le document associé.

La DTD est partagée par plusieurs classes de document. Elle est obtenue par l'abstraction des éléments logiques et de leurs liens au sein du document. Il est important de noter que l'analyse de la structure fine d'un paragraphe, conduit souvent à définir des éléments logiques particuliers, qui sont davantage liés à l'aspect physique d'un document qu'à son architecture. C'est le cas des éléments logiques exprimant des mises en valeur (mots représentés en gras ou en italique dans un texte) [Hamon 1994].

La DTD SGML associée à la partie Modèle de Contenu du Modèle Documentaire CCTP a été produite manuellement. Il faut noter que la DTD s'applique à une classe de documents. Il est donc important de repérer les documents qui sous des représentations différentes, ont en fait la même structure logique. Nous proposons dans ce qui suit la définition de types de document adapté à tous les CCTPs.

Les unités textuelles

Les unités textuelles permettent la définition d'entités paramètres. Cette déclaration permet lors de l'écriture de la DTD, de regrouper sous une même appellation des noms d'éléments jouant des rôles similaires.

<!ENTITY % élément-flottant "fabricant | modèle | notabene | variable" -- élément flottant -->
<!ENTITY % référence "référence-interne | référence-externe | référence-réglementation | référence-catalogue" -- référence interne au document, référence externe au document, référence vers la réglementation, référence vers le catalogue -->
<!ENTITY % unité-textuelle-flottante "(%élément-flottant;) | (%référence;)" -- unité textuelle flottante -->
<!ENTITY % unité-textuelle-standard "#PCDATA | paragraphe | liste | (%unité-textuelle-flottante;)" -- unité textuelle standard -->
<!ENTITY % unité-textuelle-paragraphe "#PCDATA | liste | (%unité-textuelle-flottante;)" -- unité textuelle paragraphe -->

La structure globale

La structure globale décrit les éléments génériques du document vu sous un angle macroscopique. Chaque élément de la structure logique est déclaré. Cette déclaration s'accompagne de la description du modèle de contenu de l'élément. Le CCTP est l'élément de plus haut niveau de l'arborescence.

```
<!ELEMENT cctp - - (page-de-garde, sommaire, corps, annexe*) -- les différentes parties d'un document
cctp (page de garde, sommaire, corps, annexe) -->
<!ATTLIST cctp id ID #REQUIRED >
<!ELEMENT page-de-garde - - (date, désignation-de-l-opération, désignation-du-document, auteur) -- page
de garde -->
<!ELEMENT sommaire - - (#PCDATA) -- sommaire du document -->
<!ELEMENT corps - - (généralités, prescriptions-techniques, spécifications-techniques, description-des-
ouvrages, limites-de-prestations) -- corps du document -->
<!ELEMENT annexe - - (titre-3, paragraphe*, division-4*) -- annexe -->
<!ATTLIST (page-de-garde | sommaire | corps | annexe) id ID #REQUIRED >
```

La structure de la page de garde

Cette section comporte la description des éléments inclus dans le modèle de contenu de la page de garde. Cette dernière comporte tous les éléments nécessaires à l'identification du document : la date, les auteurs et la désignation de l'opération à laquelle s'applique le CCTP.

```
<!ELEMENT date - - (#PCDATA) -- date d'établissement du document -->
<!ELEMENT désignation-de-l-opération - - (#PCDATA) -- désignation de l'opération -->
<!ELEMENT désignation-du-document - - (#PCDATA) -- désignation du CCTP -->
<!ELEMENT auteur - - (paragraphe+) -- auteurs (bureau d'études) -->
```

La structure du corps et des niveaux de division

Le corps du CCTP est composé de divisions imbriquées. Chaque division comporte un titre suivi d'un ou plusieurs paragraphes et éventuellement zéro, une ou plusieurs divisions. Des éléments spécifiques ont été créés pour les principaux chapitres du CCTP, ceux-ci sont en fait équivalents à des divisions de niveau 1. Ces éléments (généralités, prescriptions techniques, ...) sont structurellement identiques pour tout document CCTP. Les titres des divisions sont hiérarchisés selon le niveau de la division décrite.

```
<!ELEMENT division-2 - - (titre-2, paragraphe*, division-3*) -- division de niveau 2 -->
```

<!ELEMENT division-3 - - (titre-3, paragraphe*, division-4*) -- division de niveau 3 -->
<!ELEMENT division-4 - - (titre-4, paragraphe*, division-5*) -- division de niveau 4 -->
<!ELEMENT division-5 - - (titre-5, paragraphe*, division-6*) -- division de niveau 5 -->
<!ELEMENT division-6 - - (titre-6, paragraphe*) -- division de niveau 6 -->
<!ATTLIST (division-2 | division-3 | division-4 | division-5 | division-6) id ID #REQUIRED >
<!ELEMENT généralités - - (titre-1, présentation-du-projet, liste-des-lots, obligations-de-l-entreprise, nomenclature-des-pièces-contractuelles, planning, informations-complémentaires, contrôle-technique, assurance, cellule-de-synthèse, cellule-témoin, prestations-interdépendantes) -- généralités -- >
<!ELEMENT prescriptions-techniques - - (titre-1, division-2+) -- prescriptions techniques -- >
<!ELEMENT spécifications-techniques - - (titre-1, division-2+) -- spécifications techniques générales -->
<!ELEMENT description-des-ouvrages - - (titre-1, division-2+) -- description des ouvrages -->
<!ELEMENT limites-de-prestations - - (titre-1, division-2+) -- limites de prestations -->

La structure de la division "généralités"

Cette section décrit le modèle de contenu des éléments prédéfinis de niveau 2 de la division généralités. La définition de ces éléments reste valable pour tout CCTP.

<!ELEMENT présentation-du-projet - - (titre-2, paragraphe+) -- présentation du projet -->
<!ELEMENT liste-des-lots - - (titre-2, paragraphe+) -- liste et nomenclature des lots -->
<!ELEMENT obligations-de-l-entreprise - - (titre-2, paragraphe+) -- obligations générales de l'entreprise->
<!ELEMENT nomenclature-des-pièces-contractuelles - - (titre-2, paragraphe+) -- nomenclature des pièces contractuelles -->
<!ELEMENT planning - - (titre-2, paragraphe+) -- planning -->

<!ELEMENT informations-complémentaires - - (titre-2, paragraphe*, vérifications-des-documents, plans, plans-d-exécution, chef-de-chantier, nettoyage-du-chantier,
approvisionnement, révision-des-travaux, voirie) -- informations complémentaires -->
<!ELEMENT contrôle-technique - - (titre-2, paragraphe+) -- contrôle technique -->
<!ELEMENT assurance - - (titre-2, paragraphe+) -- assurance -->
<!ELEMENT cellule-de-synthèse - - (titre-2, paragraphe+) -- cellule de synthèse -->
<!ELEMENT cellule-témoin - (titre-2, paragraphe*, division-3*) -- cellule témoin -->
<!ELEMENT prestations-interdépendantes - - (titre-2, paragraphe*, implantation, incorporations, réservations, percements, calfeutrements, fixation) -- prestations interdépendantes -->

La structure de la division "Informations complémentaires"

Les éléments définis dans cette section sont de niveau 3 et concernent les informations complémentaires de la division 1 "Généralités".

```
<!ELEMENT vérifications-des-documents - - (titre-3, paragraphe+) -- vérifications des documents -->
<!ELEMENT plans - - (titre-3, paragraphe+) -- plans et renseignements à fournir et à prendre -->
<!ELEMENT plans-d-exécution - - (titre-3, paragraphe+) -- plans d'exécution -->
<!ELEMENT chef-de-chantier - - (titre-3, paragraphe+) -- choix du chef de chantier -->
<!ELEMENT nettoyage-du-chantier - - (titre-3, paragraphe+) -- nettoyage du chantier et enlèvement des gravats -->
<!ELEMENT approvisionnement - - (titre-3, paragraphe+) -- approvisionnement pose et protection -->
<!ELEMENT révision-des-travaux - - (titre-3, paragraphe+) -- révision des travaux -->
<!ELEMENT voirie - - (titre-3, paragraphe+) -- voirie -->
```

La structure de la division "Prestations interdépendantes"

Les éléments définis dans cette section sont de niveau 3 et concernent les prestations interdépendantes de la division 1 "Généralités".

```
<!ELEMENT implantation - - (titre-3, paragraphe+) -- implantation, traçage et trait de niveau -->
<!ELEMENT incorporations - - (titre-3, paragraphe+) -- incorporations -->
<!ELEMENT réservations - - (titre-3, paragraphe+, -- réservations -->
<!ELEMENT percements - - (titre-3, paragraphe+) -- percements, travaux de reprise -->
<!ELEMENT calfeutrements - - (titre-3, paragraphe+) -- calfeutrements et raccords -->
<!ELEMENT fixation - - (titre-3, paragraphe+) -- fixation des matériels -->
```

La description des éléments de titre

L'élément titre est obligatoire pour la division mais optionnel pour le paragraphe. Le titre est décrit par un numéro et un libellé.

```
<!ELEMENT (titre-1 | titre-2 | titre-3 | titre-4 | titre-5 | titre-6) - - (numéro-de-titre, libellé-de-titre) -- titre des niveaux de division -->
<!ELEMENT (numéro-de-titre | libellé-de-titre) - - (#PCDATA) -- numéro et libellé du titre -->
```

La description des éléments de texte

Les éléments de texte représentent les éléments constitutifs d'une division. C'est au travers de ces éléments que sont décrits et développés les composants du projet de construction.

```
<!ELEMENT paragraphe - - (&unité-textuelle-paragraphe;)* -- paragraphe -->
<!ATTLIST paragraphe ID CDATA #OPTIONAL>
<!ELEMENT liste - - (item+) -- liste d'items -->
<!ELEMENT item - - (&unité-textuelle-standard;)* -- item de liste -->
<!ATTLIST item id CDATA >
```

La définition des éléments flottants

Les éléments flottants désignent des unités d'informations particulières au sein du document.

```
<!ELEMENT (fabricant | modèle | variable) - - (#PCDATA) -- fabricant, modèle ou marque du produit. variable -->
<!ELEMENT notabene - - (&unité-textuelle-standard;)* -- notabene -->
<!ATTLIST variable id ID #REQUIRED >
```

La définition des références

Les éléments de référence désignent les liens internes et externes au document. C'est à la base de ces éléments qu'est généré le réseau de navigation hypertexte du document.

```
<!ELEMENT (%référence;) - - (#PCDATA) -- référence -->
<!ATTLIST référence-interne refid IDREFS #REQUIRED >
<!ATTLIST (référence-externe | référence-réglementation | référence-catalogue) refid CDATA #REQUIRED>
```

4.10. La production des schémas physiques

L'utilisation de modèles conceptuels au sein d'applications logicielles passe par la traduction de ces modèles dans un format physique utilisable par la plate-forme logicielle de développement de ces applications, ou offrant des possibilités de conversion vers d'autres environnements informatiques. Dans le cas des modèles conceptuels, divers formalismes de représentation, standards ou "propriétaires", existent aujourd'hui. Ainsi EXPRESS est un format standard de représentation de modèles conceptuels dédié au "Product Data Modelling". Dans le domaine documentaire, SGML est également un standard proposant un langage de description de modèles de documents ou Définitions de Types de documents (DTD).

Les Systèmes de Gestion de Bases de Données Relationnelles (SGBDR) représentent une technologie très largement utilisée dans l'industrie pour stocker et accéder à de grands volumes d'informations. Les Systèmes de Gestion de Bases de Données Orientés Objets (SGBDOO) sont également devenus aujourd'hui une réalité technologique et parmi ceux-ci O2 proposé par O2 Technology.

Dans le cadre de cette thèse, les schémas Express, les schémas O2 ainsi que les séquences d'ordres de création de tables relationnelles des différents modèles conceptuels élaborés sont proposés. Nous mentionnerons ici que pour les trois formalismes mentionnés, les représentations correspondantes des modèles sont dérivés de manière automatique à partir de l'outil de modélisation conceptuelle COMSET de la plate-forme de conception intégrée XPDI du CSTB. Lors de cette dérivation, le langage objet du noyau de la plate-forme XPDI joue le rôle d'un format pivot.

1. le format EXPRESS

EXPRESS est un format standard de représentation de modèles conceptuels proposé dans le cadre de la norme STEP. La portion de texte EXPRESS présentée ci-dessous a été générée à partir de l'atelier de modélisation conceptuelle Comset de la plate-forme XPDI. L'élément Corps exprimé sous le langage EXPRESS :

```
ENTITY corps
  id : id ;
  généralités : généralités ;
  prescriptions_techniques : prescriptions_techniques ;
  spécifications_techniques : spécifications_techniques ;
  description_des_ouvrages : description_des_ouvrages ;
  limites_de_prestations : limites_de_prestations ;
END_ENTITY ; -- corps
```

2. le format SGBDR : l'élément Corps exprimé en SQL :

```
create table corps
(
 id_corps  integer  ,
 id  varchar(50)  not null,
 généralités  integer  not null,
 prescriptions_techniques  integer  not null,
 spécifications_techniques  integer  not null,
 description_des_ouvrages  integer  not null,
 limites_de_prestations  integer  not null
);
create unique index corps_id_corps on corps
( id_corps );
```

3. le format O2 : l'élément Corps exprimé en O2 :

```
class Corps
  type tuple (
          id : string,
          généralités : Généralités,
```

```
            prescriptions_techniques : Prescriptions_techniques,
            spécifications_techniques : Spécifications_techniques,
            description_des_ouvrages : Description_des_ouvrages,
            limites_de_prestations : Limites_de_prestations
        )
 method init(
          id : string,
          généralités : Généralites,
            prescriptions_techniques : Prescriptions_techniques,
            spécifications_techniques : Spécifications_techniques,
            description_des_ouvrages : Description_des_ouvrages,
            limites_de_prestations : Limites_de_prestations)
end;
method body init(
            id : string,
            généralités : Généralités,
              prescriptions_techniques : Prescriptions_techniques,
              spécifications_techniques : Spécifications_techniques,
              description_des_ouvrages : Description_des_ouvrages,
              limites_de_prestations : Limites_de_prestations)  in class Corps
           {
            self->id = id;
             self->généralités = généralités;
               self->prescriptions_techniques = prescriptions_techniques;
               self->spécifications_techniques = spécifications_techniques;
              self->description_des_ouvrages = description_des_ouvrages;
               self->limites_de_prestations = limites_de_prestations;
           };
```

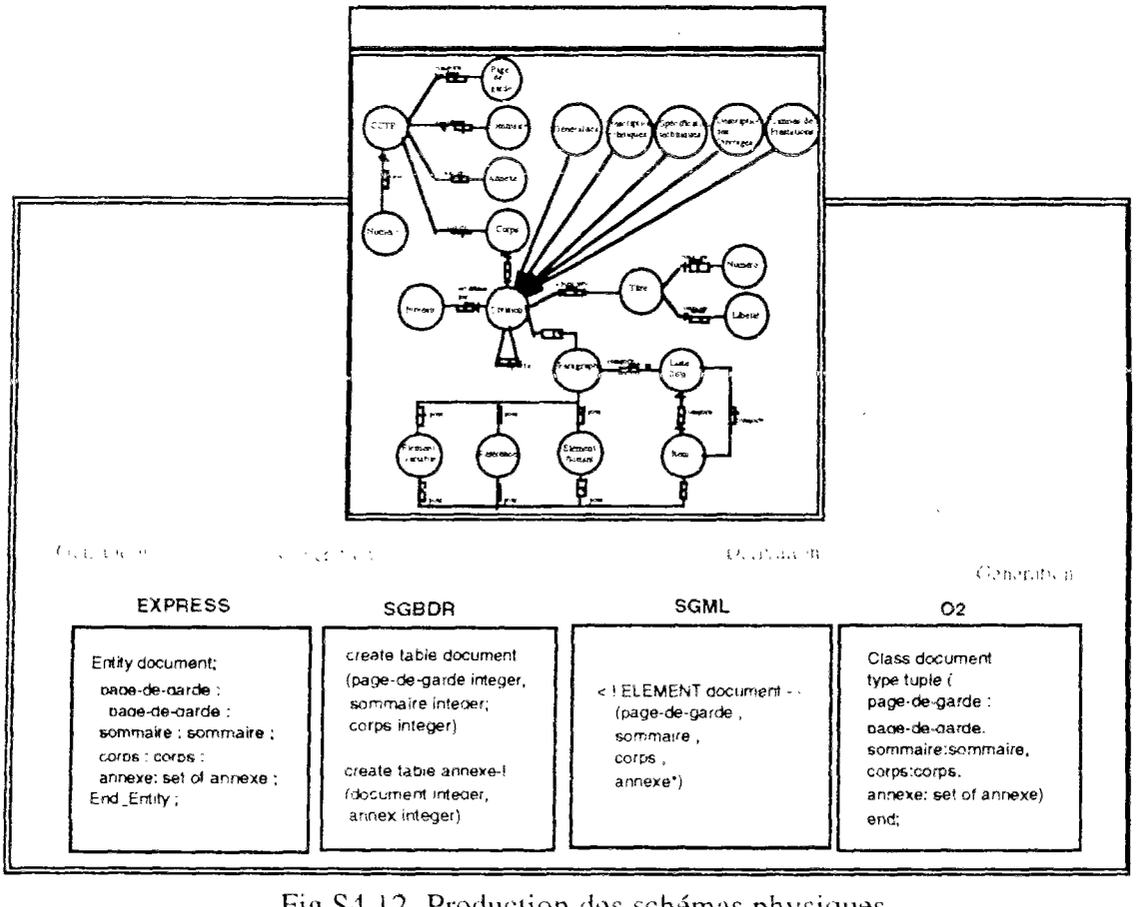


Fig S4.12. Production des schémas physiques.

4.11. Le chargement des schémas physiques

Le chargement des schémas physiques associés au modèle documentaire CCTP de référence a été effectué pour chacun des quatre lots de travaux (Etanchéité, Gros-oeuvre, Menuiseries-extérieures et Plomberie-sanitaire) retenus dans le cadre du projet.

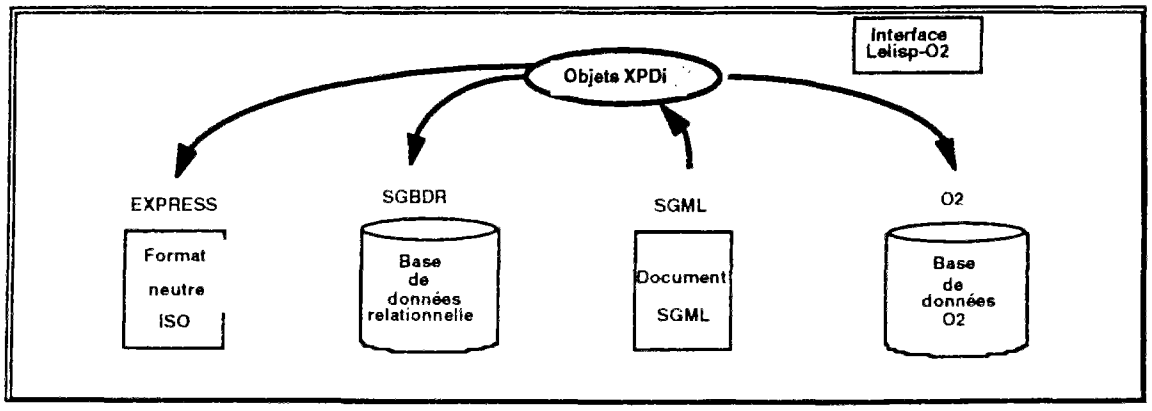


Fig S4.13. Le chargement des schémas physiques

La plate-forme XPDI permettant la conversion des objets XPDI en format neutre ISO et en enregistrements de tables relationnelles, la démarche mise en place consiste à produire consécutivement à partir du corpus documentaire "CCTP types" fourni sous forme de fichiers ascii par l'OTH (voir Fig. S4.13).

4.11.1. Balisage SGML des documents

Après avoir mis en place la structure type d'un CCTP, nous nous sommes intéressés à la restructuration des quatre documents électroniques CCTP issus du groupe Omnium Technique Holding (OTH) et ce afin d'assurer leur compatibilité au Modèle Documentaire Appliqué CCTP. Le choix des lots de travaux n'a pas été arbitraire. Nous avons opté pour les lots présentant le plus d'affinités quant aux ouvrages mis en oeuvre et partagés : le gros-oeuvre, la plomberie, l'étanchéité, et la menuiserie (Fig S4.14).

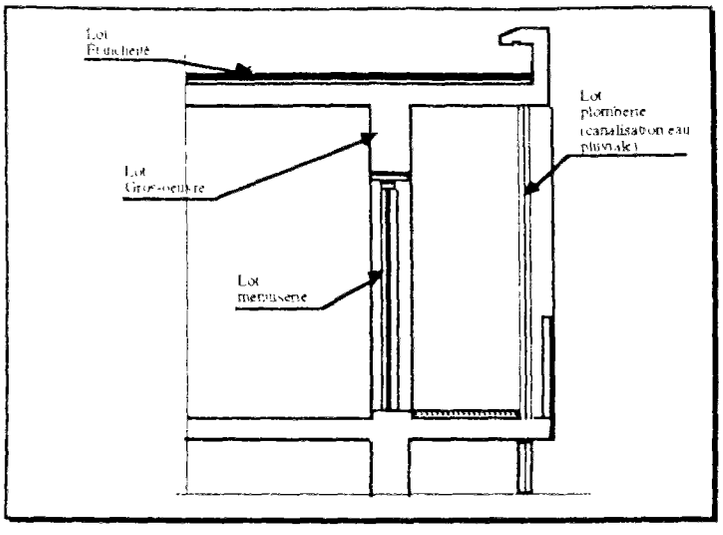


Fig S4.14. Les 4 lots choisis

Nous avons ensuite balisé ces textes selon la norme SGML (ISO 8879) : cette norme constitue le premier maillon d'une chaîne de normes concernant la création, l'échange et le traitement des documents. Nous avons retenu SGML pour ses possibilités de repérage des différentes informations logiques contenues dans les documents (organisation hiérarchique en divisions, renvois internes ou externes au document, etc.).

Le balisage des textes a nécessité deux étapes principales :

- la dérivation de la DTD (Document Type Definition) du document à partir du modèle de contenu ;
- la saisie balisée du document et son contrôle par un parser (contrôleur syntaxique).

En dehors des possibilités de composition de texte, l'intérêt majeur du balisage SGML est de permettre des traitements automatiques sur les données. Parmi ces traitements on peut citer :

- la génération automatique des liens de type hypertexte pour les renvois vers les éléments dits flottants (tableaux, figures, etc.) ou vers d'autres parties textuelles de la base documentaire projet, vers la réglementation, ou un catalogue fabricant ;
- la création automatique de sommaires, de listes de références, etc.

Le nombre d'objets produits par la démarche précédemment décrite varie entre 1500 et 3500 pour chacun des quatre lots de travaux retenus dans le cadre du projet. Devant cet

important volume de matière, nous nous limiterons ici à la présentation, à travers le formalisme SGML, d'une sous-partie du CCTP de référence associé au lot Gros-Oeuvre.

Chaque occurrence d'éléments SGML est constituée de trois partie :

- une balise de début d'élément ;
- le contenu de l'élément ;
- une balise de fin d'élément.

Une balise de début d'élément comprend un caractère '>' suivi du nom de l'élément, une suite de d'affectations d'attributs et se termine par un caractère '>'.

Une balise de fin d'élément comprend les caractères '<' et '/' suivi du nom de l'élément et du caractère '>'.
Le contenu d'un élément est constitué d'une suite d'élément et/ou de texte conformément à ce qui est défini au niveau de la DTD.

Exemple :

```
<CCTP ID="CCTPGO">
<PAGE-DE-GARDE ID="PGGO">
<DATE>
<VARIABLE ID="DATGO">
</VARIABLE>
</DATE>
<DESCRIPTION-DE-L'AFFAIRE>
<VARIABLE ID="DESAFFGO">
</VARIABLE>
</DESCRIPTION-DE-L'AFFAIRE>
<DESCRIPTION-DU-DOCUMENT>
CCTP du lot gros-oeuvre
</DESCRIPTION-DU-DOCUMENT>
<AUTEUR>
<PARAGRAPHE>
<VARIABLE ID="AUGO">
</VARIABLE>
</PARAGRAPHE>
</AUTEUR>
</PAGE-DE-GARDE>
<CORPS ID="CORPG">
<GENERALITES>
<PROJET>
<PARAGRAPHE>
<VARIABLE ID="PROJ1">
</VARIABLE>
</PARAGRAPHE>
</PROJET>

<OBLIGATIONS-DE-L'ENTREPRISE>
```

<PARAGRAPHE>
</OBLIGATIONS-DE-L'ENTREPRISE>
Tous les travaux nécessaires au parfaitement achevement des ouvrages et au parfait fonctionnement des installations doivent être prévus par les entrepreneurs et exécutés conformement aux règles de l'art
</PARAGRAPHE>

</GENERALITES>

< PRESCRIPTIONS TECHNIQUES>

</PRESCRIPTIONS TECHNIQUES>
<SPECIFICATIONS TECHNIQUES>

</SPECIFICATIONS TECHNIQUES>

<DESCRIPTION DES OUVRAGES>

</DESCRIPTION DES OUVRAGES>

<LIMITES DE PRESTATIONS>

</LIMITES DE PRESTATIONS>

</CORPS>
</CCTP>

4.11.2. Conversion de ces documents au format d'objets XPDI

Cette conversion est réalisée grâce au développement d'un convertisseur SGML-XPDI. Le convertisseur prend en entrée un fichier SGML et délivre en sortie sa version Lisp, composée d'objet Lisp représentant les instances des classes associées aux éléments de la DTD SGML. En d'autres termes, cela revient a associer à chaque élément déclaré dans la DTD, une classe d'objet Lisp, et pour chaque élément rencontré dans le document balisé est créé une instance de la classe d'objet Lisp.

4.11.3. Conversion des objets XPDI

Une conversion de ces objets XPDI au format neutre ISO, en enregistrements de tables relationnelles et en base de données orientée objet grâce à une interface logicielle Le-Lisp O2 mise au point par O2 Technology dans le cadre du DOCCIME.

5. Élaboration d'un CCTP projet à partir du CCTP de référence

Ce chapitre présente l'approche ainsi que les diverses étapes permettant la génération du CCTP relatif à un projet de construction à partir du CCTP de référence, au travers des instances du modèle de données du bâtiment. L'accent sera mis notamment sur le modèle d'association permettant d'indexer les concepts du modèle de données du bâtiment aux items documentaires du CCTP supportant leur description.

5. 1. Présentation de l'approche

Le CCTP de référence associé à chacun des lots de travaux regroupe un ensemble d'items documentaires (divisions, paragraphes ...) dont **une sous-partie seulement sera pertinente** pour l'établissement d'un CCTP projet.

En effet, parmi les items documentaires constituant le CCTP de référence, un grand nombre d'entre eux supportent la description d'un ensemble **d'ouvrages et de procédés potentiels relatifs** au lot de travaux concerné. L'existence de ces items documentaires est donc conditionnée par la présence ou l'utilisation au sein du projet des ouvrages ou des procédés qu'ils décrivent.

On notera de plus la présence au sein des CCTPs de référence de **liens internes** au document considéré ou **externes** vers d'autres CCTP de référence ou vers le corpus technico-réglementaire. Par conséquent, lors de la production du CCTP projet, devront être supprimés tous les liens internes et externes pointant vers des items documentaires ayant eux-mêmes été supprimés. Le CCTP de référence contient également des éléments variables (région, site ...) qui devront être renseignés spécifiquement pour un projet donné.

La figure 5.1 illustre les liens entre la structure du CCTP de référence et le Modèle de données du bâtiment supportant la description du projet.

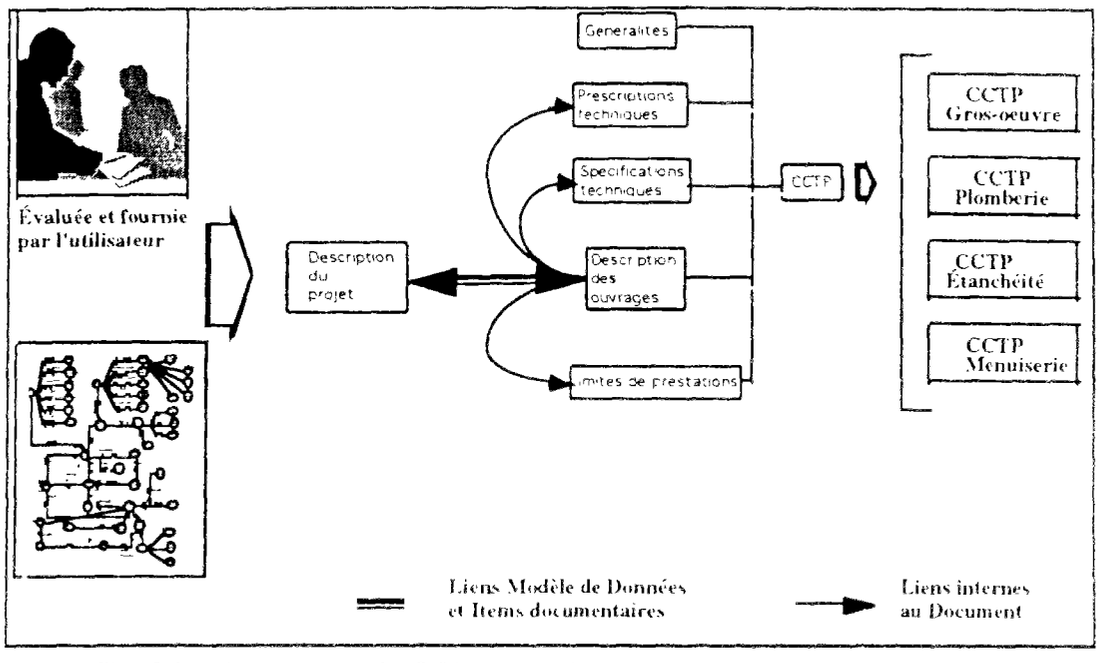


Fig S5.1. Liens entre le CCTP de référence et la description du projet

Nous proposons maintenant la démarche envisagée pour le passage d'un CCTP de référence vers un CCTP projet. Cette démarche part d'un état initial où tous les items documentaires du CCTP de référence sont sélectionnés, s'appuie sur des bases de connaissances (cf. annexe 5) préalablement élaborées pour chacun des lots Gros-Oeuvre, Etanchéité et Plomberie-Sanitaire et Menuiseries-Extérieures, et comprend trois étapes correspondant chacune à un niveau de plus en plus fin d'analyse du document (voir Fig. 5.2.).

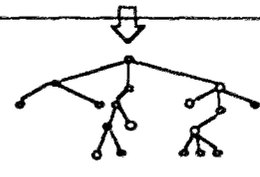
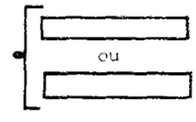
Niveau 1	- Elimination d'ensembles d'elements documentaires basée sur : - mots clefs ; - procedes ; - materiaux ; - etc.	
Niveau 2	- Mise en oeuvre des liens de dépendance entre éléments documentaires.	
Niveau 3	- Renseignement des variables ; - choix multiples.	

Fig S5.2. Élaboration du CCTP projet

5.2. Indexation des concepts du modèle de données du bâtiment par les items documentaires du CCTP de référence

Une description du projet relative au site, à l'utilisation de certains matériaux ou procédés, à la présence de certains types d'ouvrages permet la désélection d'un ensemble d'éléments documentaires associés. On insistera ici sur le fait que certaines divisions documentaires telles les prescriptions techniques ne sont pas directement liées à un ouvrage précis mais nécessitent une évaluation globale des ouvrages du projet. Par exemple, l'absence d'une poutrelle en béton précontraint constitue une condition nécessaire mais pas suffisante pour la suppression de la division décrivant les prescriptions de mise en oeuvre du béton précontraint. Cette suppression n'est possible que si le projet ne comporte aucun ouvrage en béton précontraint. Globalement cette description à l'echelle macroscopique du document porte sur divers aspects du projet comme en témoigne les exemples ci-dessous.

Exemples :

Lot étanchéité
- *le projet comporte un revêtement d'étanchéité en système indépendant :*
- *le projet comporte un revêtement d'étanchéité en système adhérent ;*
- *le projet comporte un revêtement d'étanchéité en système semi-indépendant ;*
- *le procédé de projection de mousse polyuréthanne est utilisé, etc...*

Lot Gros-Oeuvre
- *le terrain de fondation nécessite une consolidation ;*
- *l'infrastructure comporte un système de fondation profonde ;*
- *l'infrastructure comporte un système de fondation semi-profonde ;*
- *l'infrastructure comporte un système de fondation superficielle;*
- *le béton précontraint est mis en oeuvre dans le projet ;*
- *etc ...*

Lot plomberie
- *le projet prend en compte les normes et décrets concernant les handicapés physiques ;*
- *le projet utilise un système de surpression d'eau ;*
- *le projet comporte des espaces verts arrosés de façon automatique ;*
- *etc ...*

Lot menuiserie
- *le projet comporte un système de protection solaire ;*
- *le projet comporte des verres anti-heurts ;*
- *le projet comporte des murs rideaux ;*
- *etc ...*

Cette description peut être formalisée sous forme de questions évaluées directement par l'utilisateur et ce en l'absence d'un modèle de données du bâtiment, ou encore par la mise en place de liens d'association entre les concepts d'un modèle de données du

bâtiment et les éléments d'informations textuels correspondants du CCTP de référence. Cette indexation est mise en oeuvre au travers de l'instanciation d'un modèle d'association.

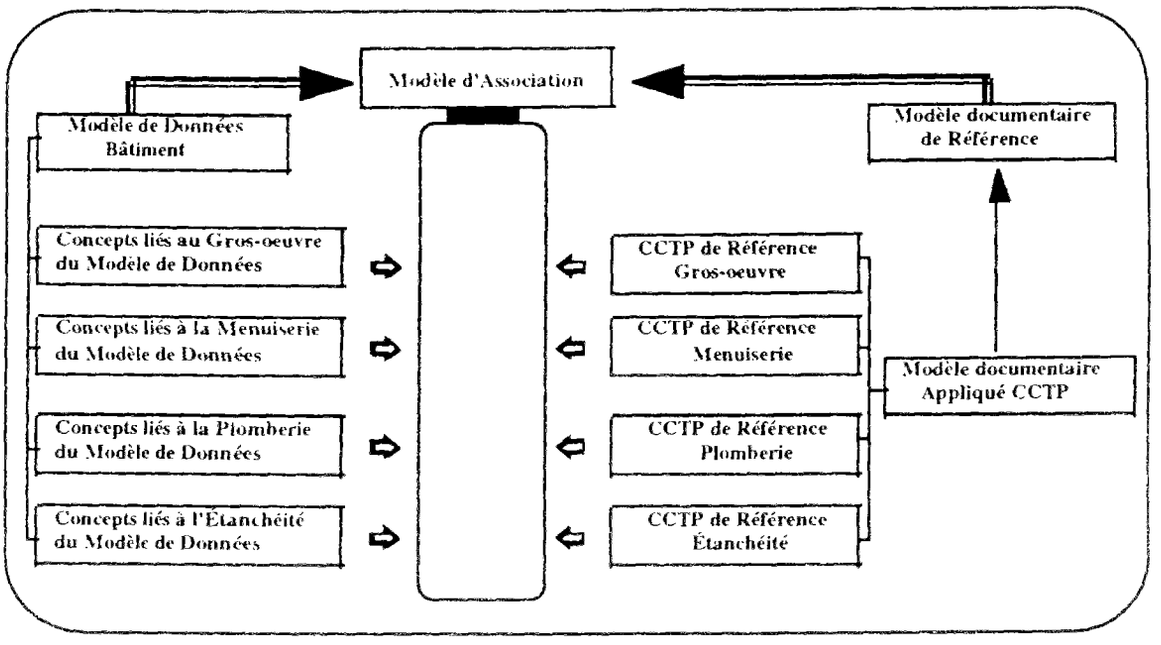


Fig S5.3. Le modèle d'association

Le schéma ci-dessous est le modèle d'association décrit sous le formalisme EXPRESS. C'est au sein de l'entité "predicat" qu'est défini l'association entre le(s) concept(s) du bâtiment et le(s) item(s) documentaire(s). L'entité "predicat" est décrite par son libellé, alors que les items documentaires sont décrits par leur identifiant respectif.

```
SCHEMA predicat ;

TYPE  libelle = STRING ;
END_TYPE; -- libelle

TYPE  concepts-batiment  = STRING ;
END_TYPE; -- concepts-batiment

TYPE  elements_cibles = STRING ;
END_TYPE; -- elements_cibles

ENTITY predicat
 a_pour_libelle : libelle ;
 a_pour_concepts-batiment : SET [1:?] OF concepts-batiment ;
 a_pour_elements_cibles : SET [1:?] OF elements_cibles ;

UNIQUE
  ur1 : a_pour_libelle ;
END_ENTITY ; -- concept_batiment

END_SCHEMA ;
```

Cette association est souvent très complexe. Elle requière une compréhension et une maitrise globale de l'architecture et de la structure du modèle de données du bâtiment et des items documentaires du CCTP de référence. Elle nécessite parfois une restructuration profonde du document de référence de sorte qu'il présente un niveau de généricité comparable au modèle de données du bâtiment.

L'exemple ci-dessous comporte quatre instances de l'objet prédicat décrivant l'association entre le lot gros-oeuvre et le modèle de données du bâtiment. Ces instances sont ensuite produites sous le format Neutre ISO.

```
#.(xp-create-concrete-object 'predicat)
libellé "Terrassements"
concepts-bâtiment ("terrassement")
éléments-cibles ("DESGO2")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Décapage (élimination de la couche de terrain superficielle  avant travaux)"
concepts-bâtiment ("decapage")
éléments-cibles ("DESGO2b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fouilles en grande masse"
concepts-bâtiment ("fouille_en_pleine_masse")
éléments-cibles ("DESGO2c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fouilles en tranchées blindées"
concepts-bâtiment ("fouille_en_tranchee_blindee")
éléments-cibles ("DESGO2d")
end-of-object
```

5. 3. Mise en place des liens internes au document

Un ensemble de relations de dépendances prédéfinies est mis en oeuvre pour la prise en compte de la propagation résultant de la suppression des items documentaires, du chapitre Description des Ouvrages, effectuée lors de l'étape 1.

Les relations de dépendances prennent source depuis les items de la division 'Description des ouvrages' vers les items des divisions 'Prescriptions techniques', 'Spécifications techniques' et 'Limites de prestations' du CCTP (voir Fig. 5.4.).

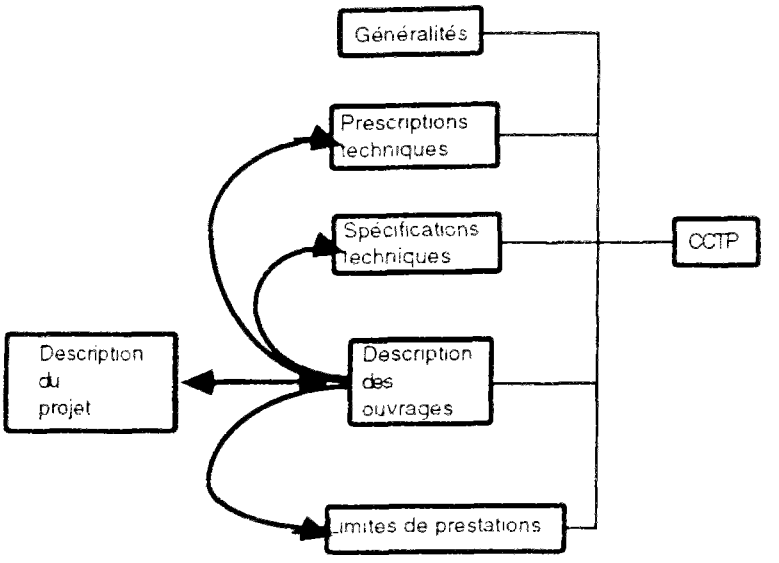


Fig S5.4. Mise en place des Liens internes aux documents CCTP.

Le schéma EXPRESS qui décrit le modèle de liens internes est présenté ci-dessous. L'entité "relation" est décrite par son libellé, ses éléments cible ainsi que ses éléments source. L'attribut Type définit la nature de la relation selon les quatre tables de vérité. Le Type VV signifie que la présence d'éléments source implique obligatoirement celle des éléments cibles associés, tandis que le Type FF signifie que l'absence d'éléments source implique celle des éléments cibles associés. L'utilisation des Types VF et FV signifie qu'une présence ou absence des éléments source implique respectivement l'absence ou la présence des éléments cible. L'utilisation combinée des quatre types énumérés est également possible.

```
SCHEMA relation ;

TYPE  libellé = STRING ;
END_TYPE; -- description

TYPE  types = ENUMERATION OF (TT, FF, TF, FT) ;
END_TYPE; -- type

TYPE  éléments_cibles = SET [1:?] OF STRING ;
END_TYPE; -- éléments_cibles

ENTITY relation
 a_pour_libelle : libelle ;
 a_pour_types : types ;
 a_pour_éléments_cibles : éléments_cibles ;
 a_pour_éléments_sources : éléments_sources ;
UNIQUE
 ur1 : a_pour_libelle ;
END_ENTITY ; -- relation

END_SCHEMA ;
```

Exemples :

Lot Gros-Oeuvre

La division relative aux 'Fondations profondes (pieux)' sous-division de la division 'Description des ouvrages' est liée aux items documentaires suivants :

- *division 'Ouvrages de couronnement des fondations profondes' ;*
- *division 'Spécifications techniques portant sur les fondations profondes' ;*
- *référence au DTU 13-2 relatif aux fondations profondes.*

Lot plomberie

La division relative à la 'Description du surpresseur d'eau', sous-division de la division 'Description des ouvrages' est lié aux items documentaires suivants :

- *division 'Spécifications techniques portant sur les surpresseurs' ;*
- *division 'Description du local technique surpresseur.*

La base de connaissance relative aux liens de dépendance entre items documentaires s'exprime sous forme d'instances de l'objet "relation". Ces instances sont ensuite traduites sous le format Neutre ISO.

```
#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de comblement, consolidation des carrières."
éléments-sources ("DESGO3a")
éléments-cibles ("SPEGO2h")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de consolidation du terrain par injection."
éléments-sources ("DESGO3b")
éléments-cibles ("SPEGO2")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Fondations superficielles (semelles)."
éléments-sources ("DESGO3h" "DESGO2gP1" "DESGO31nI1")
éléments-cibles ("DOCREFI2I4" "SPEGO2p")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Fondations superficielles (radier)"
éléments-sources ("DESGO3i" "DESGO31hP1")
éléments-cibles ("DOCREFI2I4" "SPEGO2u" "SPEGO2zab1I2" "SPEGO2zab3"
"SPEGO2zab5I1" "SPEGO2zab5P1" "SPEGO2n")
end-of-object
```

5. 4. Les choix multiples et le renseignement des variables.

Une nouvelle procédure de description du projet permet une élimination plus fine des items documentaires qui portent notamment sur des choix de procédés.

Exemple :

Lot étanchéité
Variable à choix multiples associée au type d'isolation thermique utilisé :
- choix 1 : "Isolation de laine de roche imprégnée de résine formo-phénolique"
- choix 2 : "Isolation thermique par panneau de laine de roche de forte densité"

La base de connaissances relative aux choix multiples s'exprime sous forme d'instances de l'objet "choice". À ce stade, la structure du document CCTP est globalement figée et cohérente.

Exemple :

```
#.(xp-create-concrete-object 'élément-à-choix-multiples)
contenant "TTI1"
libellé "Isolation thermique des toitures-terrasse inaccessibles avec protection gravillons
par:"
éléments-choix (#.(xp-create-concrete-object
                    'élément-choix
                    'libellé "panneau composite"
                    'identifiant "TTI1b1")
                   #.(xp-create-concrete-object
                     'élément-choix
                     'libellé "panneau de mousse rigide de polyuréthane"
                     'identifiant "TTI1b2"))
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-à-choix-multiples)
contenant "TTI3"
libellé "Isolation thermique des toitures-terrasse inaccessibles avec etancheite
autoprotegee par:"
éléments-choix (#.(xp-create-concrete-object
                    'élément-choix
                    'libellé "panneau composite"
                    'identifiant "TTI3b1")
                   #.(xp-create-concrete-object
                    'élément-choix
                    'libellé "par panneau de perlite"
                    'identifiant "TTI3b2"))
end-of-object
```

La dernière procédure consiste à renseigner les parties variables contenues dans les éléments documentaires restants. La base de connaissances relative aux variables s'exprime sous forme d'instances de l'objet "élément-variable".

```
#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6VV2"
contenant "HYPGO5"
libellé "Appartenance à un site vis a vis du vent."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("classement_site_vent")
valeurs-possibles ("Normal","Expose")
valeur-par-défaut ("Normal")
question "Entrer le classement site relatif au vent."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6V1"
contenant "HYPGO7"
libellé "Zone sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("zone_sismique")
valeurs-possibles (1,2,3)
valeur-par-défaut (1)
question "Entrer la zone sismique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6V2"
contenant "HYPGO7"
libellé "Groupe sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("groupe_sismique")
valeurs-possibles (1,2,3)
valeur-par-défaut (1)
question "Entrer le groupe sismique."
end-of-object
```

5. 5. Validation du document

Arrivé en phase terminale, le CCTP projet peut éventuellement être modifié ou complété de façon marginale à un niveau textuel ne remettant pas en cause la structure du document. Ce dernier est ensuite converti par l'application d'une feuille de style au modèle documentaire en un format compatible avec un outil d'impression (RTF pour Word par exemple). L'approche présentée dans ce chapitre concerne le document CCTP, elle peut cependant s'appliquer à l'ensemble des pièces écrites issues d'un projet de construction. Le chapitre ci-après présente quelques exemples d'utilisation de l'approche au travers des besoins des principaux acteurs du cycle de vie du projet.

6. Généralisation de l'approche

L'approche permettant la génération du CCTP peut être généralisée à tout type de document issu du cycle de vie d'un projet de construction en relation directe avec le modèle de données du bâtiment. Ce chapitre décrit une telle approche et fixe également le cadre d'une gestion rigoureuse des données et de leur échange.

L'approche STEP décrite dans le chapitre 2 nécessite des outils appropriés et adaptés à la démarche préconisée. Elle fait intervenir trois familles d'acteurs :

- **les concepteurs de modèles de données** : ils sont chargés du développement et de la gestion des modèles conceptuels décrivant l'univers du discours (le monde du bâtiment en ce qui nous concerne) ;
- **les développeurs** : ils sont chargés de la mise en place de toutes les fonctionnalités nécessaires à l'approche STEP, au sein de plateformes logicielles. ils sont responsables de l'implémentation de l'aspect physique des données ainsi que des développements informatiques liés à leur interfacage avec les diverses applications orientées par acteur / discipline ;
- **les utilisateurs de ces modèles** : en l'occurrence les acteurs du cycle de vie d'un bâtiment.

6.1. Recensement des besoins de chaque groupe d'utilisateurs impliqués dans la démarche STEP

Les utilisateurs

les divers acteurs d'un projet vont, par corps de métier, instancier les structures des modèles conceptuels mis à leur disposition, de sorte que :

- les données puissent être partagées ou échangées par l'ensemble des acteurs concernés ;
- les données puissent être utilisées par les divers applications et codes de calcul.

Pour ce faire, l'utilisateur doit disposer d'un environnement logiciel adapté à ses besoins. Cet environnement devra intégrer des fonctionnalités permettant :

1- la **modification partielle** ou **l'extension** et la **spécialisation** des modèles conceptuels mis à leur disposition : on pense notamment à des outils implémentant des langages de modélisation conceptuelle (NIAM, EXPRESS-G, etc.) et fonctionnelle (IDEF0). Ces outils doivent également permettre la **conversion** des modèles vers divers formats (le passage d'un modèle graphique du type NIAM ou EXPRESS-G vers une représentation syntaxique du type EXPRESS, ou inversement) tout en assurant le **respect de la complétude et de l'intégrité sémantique** des modèles ainsi traduits. Les modèles conceptuels nécessitent souvent une spécialisation due au caractère particulier inhérent à certains projets (opération de logements, projet d'école, ...). Ces outils doivent intégrer le concept de vue par acteur ou par corps de métier, de sorte qu'un utilisateur n'ait accès qu'aux concepts qui lui sont nécessaires et pertinents ;

2- la saisie des données du projet par l'instanciation des concepts des modèles du bâtiment. Ce travail est logiquement réalisé par le biais de logiciels de CAO véhiculant de la sémantique "bâtiment". Ce qui nécessite un **couplage rigoureux** entre les entités graphiques préalablement identifiées désignant les ouvrages du bâtiment (mur, fenêtre, poteau, ...) et les concepts correspondants du modèle conceptuel utilisé. Dans tous les cas, une interface logicielle doit permettre l'instanciation d'un modèle conceptuel sans avoir recours à la CAO ;

3- la gestion de l'intégrité et de la cohérence des données : on pense notamment à la gestion sémantique de **l'accès concurrentiel** aux concepts du modèle par corps de métier, e.g. l'ingénieur en HVAC ne peut délibérément imposer un passage de gaine au travers d'un voile porteur en béton armé (cette transaction est suggérée puis discutée avec l'ingénieur en génie-civil) ;

3- l'échange des données selon les formats physiques conventionnels (Fichier Neutre ISO). Ce qui suppose que tout utilisateur est capable de charger et d'accéder aux données issues d'environnements autres que le sien ;

4- la possibilité d'interfacer les données ou les activités avec les applications informatiques désirées. On pense notamment, concernant la problématique de cette thèse, à des applications logicielles dédiées à la génération de documents projet à partir des instances d'un modèle de données.

Les concepteurs de modèles de données

Ils doivent en premier lieu se conformer à la norme STEP - ISO. De nombreux travaux sont actuellement en cours. Ils concernent l'inter-opérabilité entre les modèles de données issus des divers secteurs de l'industrie. En ce qui concerne le bâtiment des protocoles d'applications sont en cours de définition. Les concepteurs de modèles doivent s'y conformer.

De nombreux formalismes sont actuellement utilisés pour la modélisation des données. La norme STEP en propose trois NIAM, EXPRESS et EXPRESS-G. Le concepteur de modèles doit disposer de traducteurs lui permettant la conversion d'un modèle conceptuel vers d'autres formalismes, avec le respect total de la sémantique. EXPRESS ou le modèle générique SDAI peut être utilisé comme format pivot d'échange de modèles.

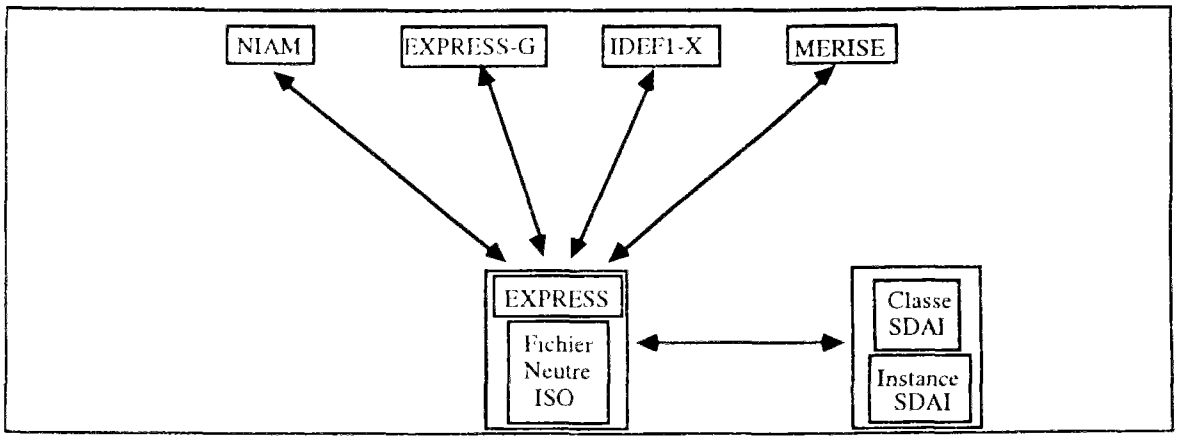


Fig S6.1. La gestion des échanges

Le développement de modèles nécessite des outils adaptés aux tâches de modélisation. Les principales fonctionnalités de tels outils doivent comprendre :

- la mise en place d'une architecture de modélisation permettant **la gestion des niveaux d'abstraction** au travers de mécanismes tels la spécialisation / généralisation ou la décomposition / agrégation, ainsi que **la gestion de la modularité** et ce afin d'assurer une réutilisation et une lisibilité optimale des constructions de modèles ainsi définies ;
- **la gestion de la surcharge et du masquage** de relations lors de la spécialisation de modèles : on pense notamment au passage d'un modèle de référence d'un projet de construction vers un modèle orienté par type de projet e.g. projet de logements ;
- **la gestion des vues** (par acteur ou corps de métier).

Les développeurs

Ils ont un rôle clef dans la mise en oeuvre de l'approche STEP. Ils doivent satisfaire aux besoins des concepteurs de modèles ainsi que des utilisateurs. Ils doivent garantir l'intégrité sémantique des données et gérer leur stockage persistent. Ils sont également chargés de la gestion des requêtes concurrentielles des données selon une architecture client - serveur. Ils doivent se conformer aux principes de l'approche objet qui garantit la modularité des applications.

6.2. La mise en place des échanges

L'information technique est très souvent partagée par de nombreuses applications. Il est donc nécessaire de mettre en évidence et d'identifier ces informations communes tout en structurant le cadre de l'échange [Mangin, Dufau, et al. 1993].

6.2.1. Échange au travers de fichiers neutres ISO

Le principe consiste à échanger de l'information au travers d'un Fichier physique. Cela suppose que l'application possède une sortie et une entrée sur le format du fichier ainsi échangé. La norme STEP propose le Fichier Neutre ISO (ISO/TC184 1993d) comme format d'échange.

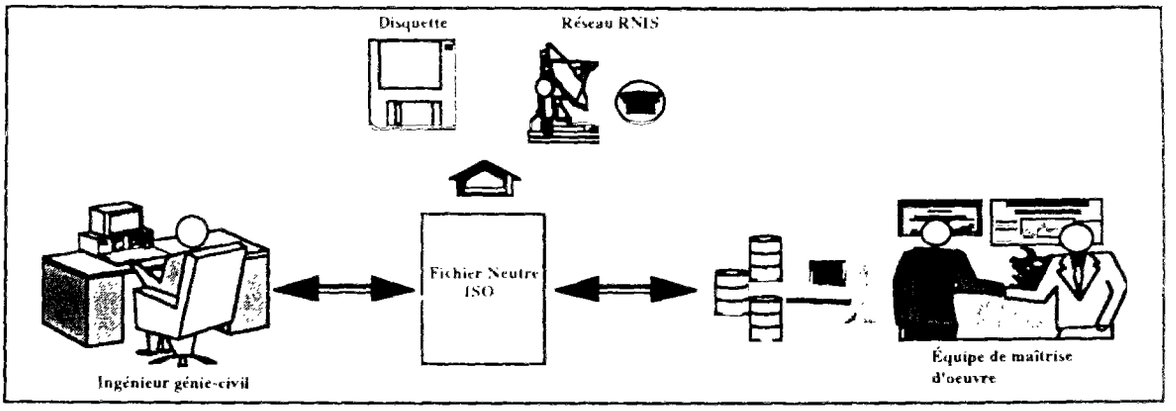


Fig S6.2. Échange au travers de fichier neutre ISO.
L'échange peut se faire soit via un support magnétique (disquette, bande) ou au moyen d'un réseau informatique ou une ligne téléphonique commutée.

Exemple d'instances (ISO NF Format) :

```
STEP;
HEADER;
FILE_SCHEMA(('exemple'));
ENDSEC;
```

```
DATA;
#1=CATALOG('DTP1(401)','DTP1ConstructionLibrary');
#2=CONDUCTIVITY('DTP1(403)',0.04,$,'Thermalconductivity','Real');
#3=EMISSIVITY('DTP1(404)',0.00,$,'Thermalemissivity','Real',$);
#4=REFLECTANCE('DTP1(405)',0.50,$,'Lightreflectance','Real',$),
#5=SPECIFIC_HEAT('DTP1(406)',1000.00,$,'Specificheatcapacity','Real');
#6=MASS_DENSITY('DTP1(407)',30.00,$,'otherwiseknownasdensity','Real');
#7=MATERIAL('DTP1(408)Mineralwoolroll',#2,#3,#4,#5,#6,$);
#8=LAYER('DTP1(402)CeilingJoistInsulation',$,0.00,0,0.15,0.00,#7);
#9=CONDUCTIVITY('DTP1(410)',0.57,$,'Thermalconductivity','Real');
#10=EMISSIVITY('DTP1(411)',0.00,$,'Thermalemissivity','Real',$);
#11=REFLECTANCE('DTP1(412)',0.65,$,'Lightreflectance','Real',$);
#12=SPECIFIC_HEAT('DTP1(413)',840.00,$,'Specificheatcapacity','Real');
#13=MASS_DENSITY('DTP1(414)',700.00,$,'otherwiseknownasdensity','Real');
#14=MATERIAL('DTP1(415)Gypsumplasterboardonjoistsorspacers',#9,#10,#11,#12,#13,$);
#15=LAYER('DTP1(409)InternalCeilingFinishes',$,0.00,1,0.01,0.00,#14);
#16=CONSTRUCTION_TYPE('DTP1(400)',0,0.00,$,2,0.00,$,$,0.45,0.00,'DefaultCeiling',#1,$,(#8,#15));
#17=ELEMENT_CONSTRUCTION('DTP1(399)',0.$,$,0.30,#16,$);
#19=ELEMENT_GEOMETRY('Elem_Gmtr_1635',#18,$,143.36,$,$);
#21=CARTESIAN_POINT('Point_64',$,8.80,7.20,3.20);
#22=CARTESIAN_POINT('Point_32',$,8.80,10.40,3.20);
#23=CARTESIAN_POINT('Point_22',$,7.20,10.40,3.20);
#24=CARTESIAN_POINT('Point_20',$,5.60,10.40,3.20);
#25=CARTESIAN_POINT('Point_38',$,5.60,7.20,3.20);
#26=CARTESIAN_POINT('Point_27',$,-4.80,7.20,3.20);
#27=CARTESIAN_POINT('Point_26',$,-4.80,12.00,3.20);
```

Ce fichier ISO est en fait un ensemble d'instances issues du schéma EXPRESS ci-dessous :

```
SCHEMA example;

TYPE  surface_state        =        SET OF STRING ;
END_TYPE; -- surface_state

ENTITY absorptance
SUBTYPE OF (thermal_characteristic) :
        surface_state      :       surface_state ;
END_ENTITY ; -- absorptance


TYPE port_number        =       INTEGER ;
END_TYPE; -- port_number

ENTITY ac_component
SUPERTYPE OF (non_connecting_ac_component);
SUBTYPE OF (technical_component) ;
        port_number                :       OPTIONAL port_number ;
        has_a_role                 :       OPTIONAL ac_function ;
        has_aeraulic_port          :       SET OF aeraulic_port ;
        is_related_with    :       OPTIONAL enclosure_element ;
        is_located_in              :       OPTIONAL space ;
END_ENTITY ; -- ac_component

TYPE factor       =       REAL ;
END_TYPE; -- factor

ENTITY ac_control_system
SUBTYPE OF (technical_system) ;
        factor             :       OPTIONAL factor ;
        is_part_of         :       OPTIONAL air_conditioning_system ;
```

```
        uses            :       SET OF measure ;
        has_schedule    :       OPTIONAL schedule ;
        has_set_point   :       SET OF set_point ;
END_ENTITY ; -- ac_control_system

--
ENTITY cartesian_coordinate_system
SUPERTYPE OF (building_coordinate_system);
SUBTYPE OF (geometry) ;
END_ENTITY ; -- cartesian_coordinate_system

TYPE x_coordinate       =       REAL ;
END_TYPE; -- x_coordinate

TYPE y_coordinate = REAL ;
END_TYPE; -- y_coordinate

TYPE z_coordinate = REAL ;
END_TYPE; -- z_coordinate

ENTITY cartesian_point
SUBTYPE OF (point) ;
        x_coordinate            OPTIONAL x_coordinate ;
        y_coordinate            OPTIONAL y_coordinate ;
        z_coordinate            OPTIONAL z_coordinate ;
END_ENTITY ; -- cartesian_point

END_SCHEMA
```

6.2.2. Échange par requêtes standardisées dans un "repository" (Base de données)

La norme STEP propose un standard d'accès aux données : le SDAI (Standard Data Application Interface). STEP définit le concept de "Repository" qui représente une base d'informations dans laquelle les entités et les instances sont stockées. Ce concept est également décrit dans le méta-schéma du SDAI ainsi que toutes les fonctions de création, d'ouverture ou de fermeture du "Repository". STEP ne se préoccupe pas du stockage des informations au niveau physique, l'idée étant de laisser le libre choix aux développeurs de logiciels d'utiliser le SDAI dans le monde Objet ou dans le monde relationnel. L'important étant d'avoir une liaison (Binding) par le SDAI de l'implémentation réalisée. STEP fournit aujourd'hui un SDAI C Binding, un SDAI C++ Binding et un SDAI Fortran Binding.

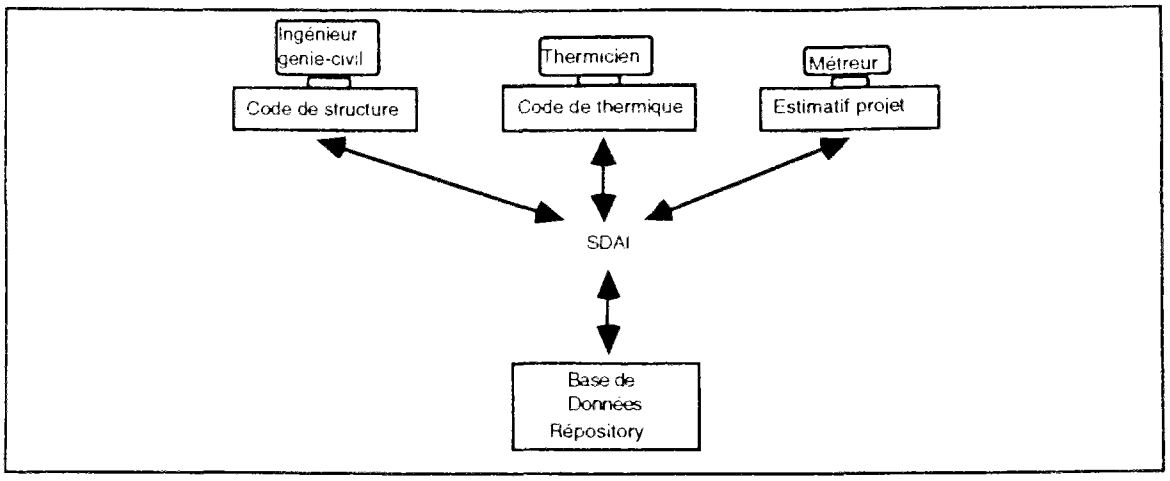


Fig S6.3. Échange par requêtes standardisées dans un "repository"
Le SDAI fournit une ensemble de fonctions de requete, génériques, permettant l'accés aux instances stockées dans une base de données. Ces fonctions sont utilisées à partir des codes de calcul par corps de métier.

6.3. Exemples de plate-forme d'implémentation

La plateforme XPDI

Le projet XPDI constitue le cadre du développement d'une plate-forme logicielle pour l'intégration et l'inter-opérabilité d'outils logiciels. Cette plate-forme est appelée un "FrameWork" et offre des possibilités d'échange entre différents outils. Les applications peuvent être intégrées par l'intermédiaire de processus externes supervisés par XPDI ou bien encapsulées et vivre comme des systèmes autonomes avec leur propre "Repository" à l'intérieur de la plate-forme XPDI . Le projet XPDI supporte entièrement la méthodologie STEP et fournit les outils suivants :

- XP-IDEF0 pour la création du modèle d'activités en IDEF-0 et la génération d'une implémentation dans XPDI de la gestion d'activités.
- XP-EXPRESS-G ou XP-NIAM pour la création de modèles respectivement en EXPRESS-G ou NIAM pour ensuite en dériver une implémentation en EXPRESS, SQL, C++, O2 et en XP-OOL ;
- XP-OOL, un langage Objet implémentant un SDAI Lisp Binding et un stockage des objets ("Repository") ;
- XP-COMPILER pour la génération des schémas EXPRESS et l'échange d'objets XPDI en ISO NF ;

De plus, XPDI et XP-NIAM permettent la gestion des vues (plusieurs modèles EXPRESS peuvent être assemblés et agencés pour les besoins d'un projet spécifique).

Des facilités de transformation de format sont offertes, telles que le passage d'un modèle NIAM à un modèle EXPRESS-G, d'un schéma EXPRESS à une représentation graphique NIAM ou EXPRESS-G, etc.
D'autres outils XPDI permettent :

- l'encapsulation d'outils grâce à une gestion multi "Repository" (XP-RMS);
- la création de règles expertes pour développer des Systèmes Experts (XP-RUL) ;
- la création de liens sémantiques pour gérer la cohérence entre des objets hétérogènes (XP-REL).

Le FrameWork XPDI offre une plate-forme logicielle supportant la modélisation, l'implémentation et l'échange de données entre applications en accord avec les méthodes et les outils développés dans STEP.

PMshell

PMshell [Luijten, Luiten 1993] consiste en une plateforme de développement implémentée sur station SUN Sparc 1 et 2 sous un environnement UNIX. PMshell supporte les principaux langages de la norme STEP et intègre les outils, ci-après, développés au TNO :

- un parser de schemas EXPRESS,
- une base de données : EXIS,
- des outils permettant la gestion de Fichiers Neutres ISO,
- un éditeur graphique configurable.

PMshell est développé en langage objet : Eiffel. La version commerciale éditée par le TNO sera vraisemblablement implémentée en C++.

SIFRAME

Siframe [Siemens Nixdorf 1992] est une plateforme visant l'intégration et l'inter-opérabilité d'applications informatiques. Siframe comporte un système de base de données orientée objet et supporte des langages STEP tels EXPRESS et le Format Neutre ISO. Il permet également d'encapsuler, d'exécuter et de gérer des données et des applications dans des scénarios multi-utilisateurs.

6.4. Fonctionnalités attendues d'un environnement logiciel documentaire

Le processus d'établissement des documents textuels par la Maîtrise d'Oeuvre lors de la conception d'une opération de construction de bâtiments se révèle être complexe, au même titre que celui de l'établissement des documents graphiques, ces deux processus devant être par ailleurs menés en parallèle et en constante coordination.

Cette complexité est liée à un aspect temporel (découpage en phase du processus de conception) et à un aspect organisationnel (intervention de différents acteurs au cours de chacune de ces phases, voir Fig. S.1.1).

Le souci d'une société d'ingénierie générale telle qu'OTH est de produire, à un instant donné et pour un prescripteur donné, des documents textuels de qualité compatibles avec ceux précédemment approuvés et cohérents avec ceux des autres acteurs (internes, c'est-à-dire participant au projet ; ou externes, c'est-à-dire définissant la réglementation en vigueur).

Cette thèse propose la génération de documents en prenant appui sur le modèle de données du bâtiment développé au CSTB ainsi que sur les documents de référence issus du groupe OTH. Nous nous proposons de **généraliser cette approche à tout types de documents** issus d'une entreprise, couplés à un modèle de données du bâtiment autre que celui proposé dans le cadre de cette thèse.

Pour ce faire, un travail préparatoire est nécessaire pour la mise en place de l'approche : d'une part les documents doivent refléter le modèle du type de document auquel ils appartiennent, et d'autre part le modèle de données doit intégrer un niveau de généricité dans la définition des concepts bâtiment comparable à celui du modèle documentaire, de façon à assurer un certain isomorphisme entre la description du bâtiment et la description du document.

Tout cela n'est bien sur possible qu'au travers d'un environnement logiciel adapté aux besoins des utilisateurs. Cet environnement requiert un certain nombre de fonctionnalités.

6.4.1. Capacité de gestion du modèle de données

Les fonctionnalités qui permettent la gestion rigoureuse et adaptée à la démarche de cette thèse sont nombreuses. Elles comprennent entre autres :

1- le chargement de modèles à partir du format EXPRESS ou du schéma SDAI ;
2- la possibilité de conversion vers des formalismes graphiques divers tels NIAM, EXPRESS-G, IDEF1X avec maintien de l'intégrité sémantique ainsi que de la complétude du modèle ;
3- la possibilité de structuration et d'adaptation du modèle à l'approche préconisée dans cette thèse : niveau de généricité (agrégation, spécialisation), modularité, gestion de vues, etc ;
4- l'instanciation pratique du modèle au travers soit d'outils graphiques ou d'interfaces conviviales ;
5- le stockage persistent des données instances du modèle conceptuel de façon transparente à l'utilisateur.

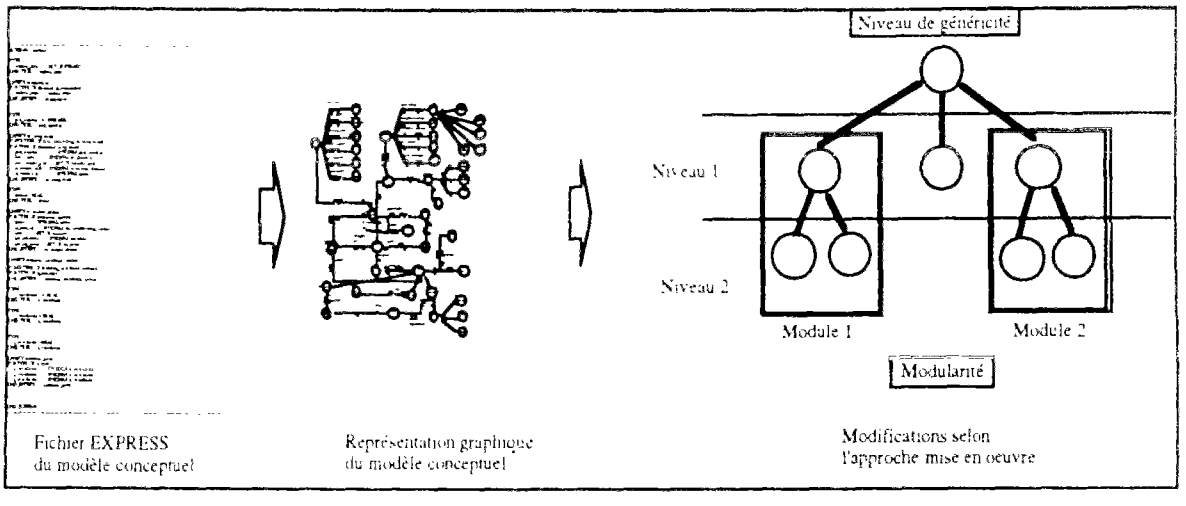


Fig S6.4. Gestion de modèles conceptuels

La capacité de gestion d'un modèle de données passe par la possibilité de restructuration d'un modèle conceptuel à partir de sa version EXPRESS, comme l'illustre la figure ci-dessus.

6.4.2. Assistance à l'élaboration des modèles appliqués documentaires

Mise en place de fonctions dédiées à la modélisation documentaire : modèles de genèse et de contenu de document. La plateforme logicielle doit permettre la spécialisation du modèle de contenu générique en un modèle de contenu spécifique appliqué à un type de document (CCTP, cadre DQE, ...) tout en assurant une gestion rigoureuse de l'héritage et des surcharges des relations définies à un niveau générique.

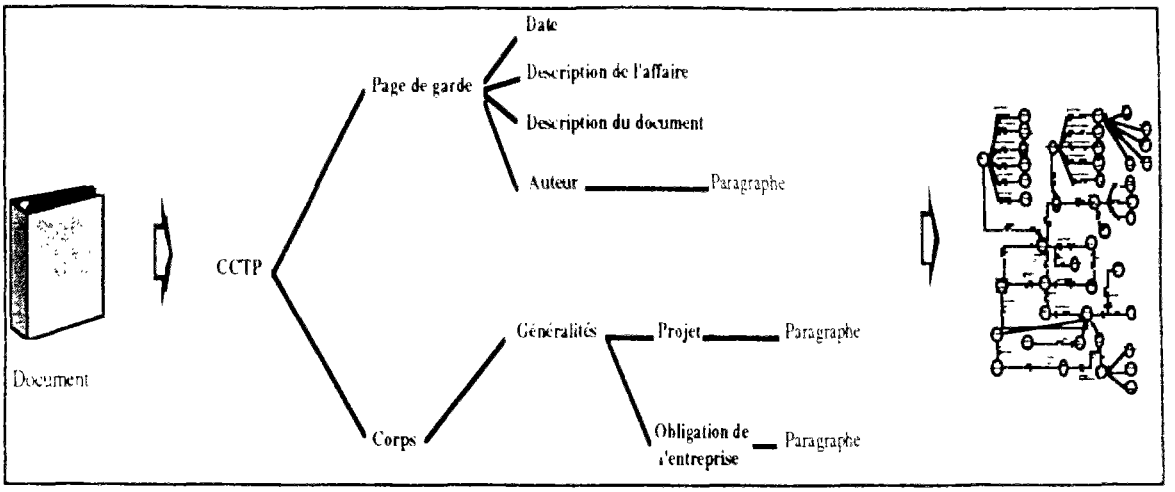


Fig S6.5. Structure logique d'un document.
L'élaboration du modèle appliqué d'un type de document à partir de sa version électronique doit être facilitée par l'utilisation de fonctions adaptées. La figure ci-dessus illustre ce propos par le passage d'un document vers une structure logique puis un modèle de contenu, spécifique au document, interprétable par la machine.

6.4.3. Dérivation des DTDs à partir du modèle de contenu documentaire

L'analyse de documents et la conception de DTDs sont des activités très voisines de celles qui sont pratiquées dans le cadre de la définition de modèles conceptuels de données pour les systèmes d'information. La plateforme logicielle doit permettre la dérivation de la définition type d'un document (DTD) à partir du modèle de contenu qui résulte de l'analyse de la définition formelle de la structure du document. Les éléments de la DTD représentent les classes génériques des éléments composant la structure logique du document.

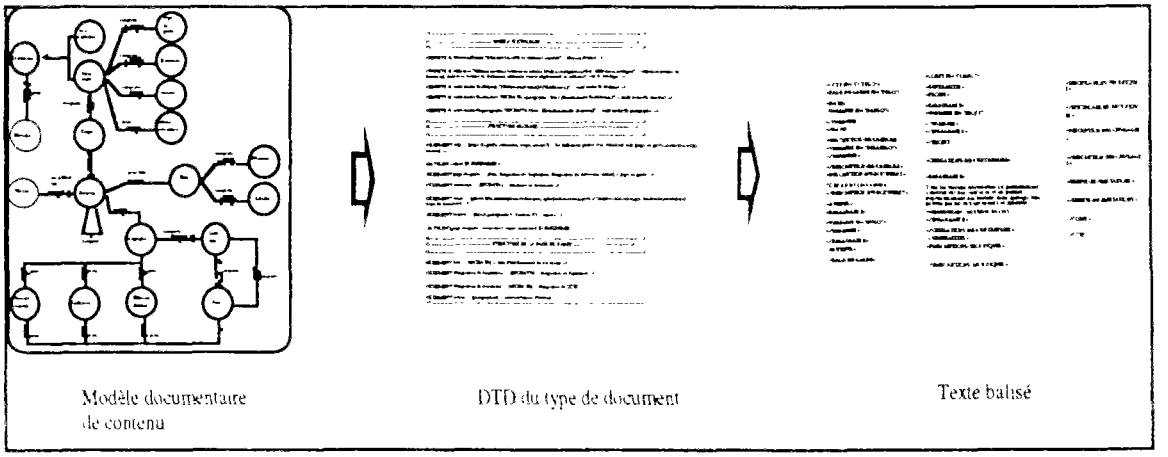


Fig S6.6. Dérivation de la DTD d'un document à partir de son modèle de contenu.
La figure ci-dessus décrit le passage d'un modèle de contenu spécifique d'un document vers sa DTD puis l'instanciation de cette dernière afin de produire la version balisée du document.

6.4.4. Outils d'aide à la structuration et au balisage des documents

L'analyste doit disposer de fonctionalités permettant une assistance à la structuration des documents existants afin d'assurer leur compatibilité avec les modèles conceptuels ainsi que la DTD proposés. Les utilisateurs doivent également être assisté dans leur tâche de balisage selon une DTD choisie ainsi que son contrôle par un parser (contrôleur syntaxique). Les divers traitements effectués sur les éléments documentaires (références, variables, ...) doivent être facilités. L'utilisateur doit pouvoir changer de DTD sans avoir à fournir un travail supplémentaire.

6.4.5. Outils d'aide à la mise en place de la base de connaissance

La qualité d'un document passe par l'absence de redondance, l'absence d'incohérence, l'absence d'objets du domaine non décrits et l'absence d'articles "inutiles".

1. La mise en place des liens internes au document : les divisions d'un document technique sont structurées de sorte à décrire des objets physiques du bâtiment. Les items documentaires qui composent ces diverses divisions sont souvent sémantiquement liés et prennent appui sur des objets communs qu'ils décrivent sous des aspects complémentaires.

Le document de référence est par définition exhaustif et couvre l'ensemble du domaine traité. La définition des liens internes au document est nécessaire de sorte à assurer : la cohérence sémantique au sein du document, la cohérence du document vers les autres documents du projet, la cohérence du document vis à vis de la réglementation.

La mise en place de tels liens suppose une analyse synthétique du dit document et une connaissance parfaite du domaine. Le cogniticien chargé de ce travail doit cependant disposer de fonctionnalités adaptées permettant : l'édition structurée du document, l'assistance à la mise en place de cette base de connaissance.

2. L'indexation entre modèle de données et modèle documentaire : cette indexation permet de relier la description du projet au document de référence de sorte que la suppression de tout item documentaire décrivant des objets non mis en oeuvre dans le projet soit automatisée. le cogniticien doit simultanément pouvoir accéder aux concepts du modèle de données ainsi qu'aux divisions et items du document analysé.

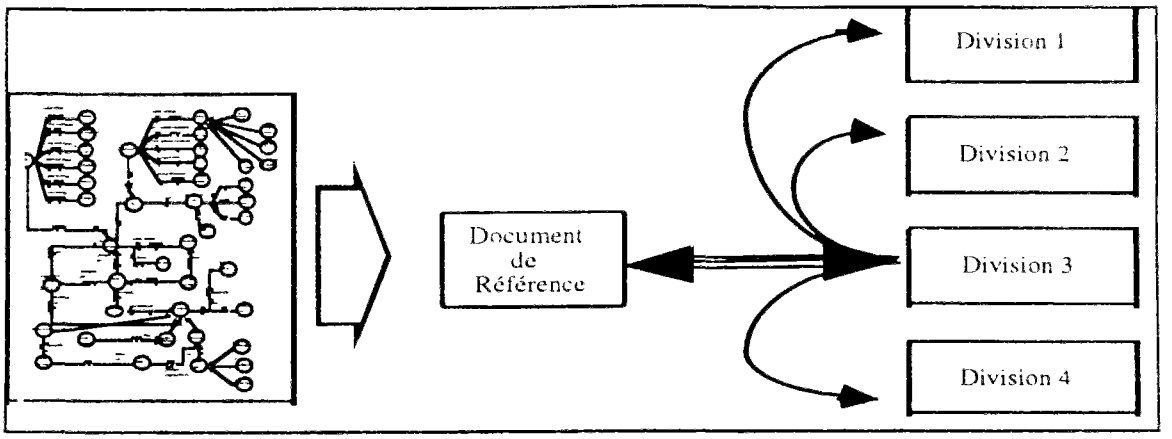


Fig S6.7. Mise en place de la base de connaissance
L'utilisateur doit disposer de fonctions lui permettant l'association des concepts du modèle du bâtiment aux items documentaires, comme l'indique la figure ci-dessus.

6.4.6. Fonctionnalités de consultation hypertexte

La génération automatique de liens du type hypertexte à partir des renvois vers des éléments dits flottants ou vers d'autres parties textuelles internes ou externes au document doit être rendue possible à partir du document textuel balisé.

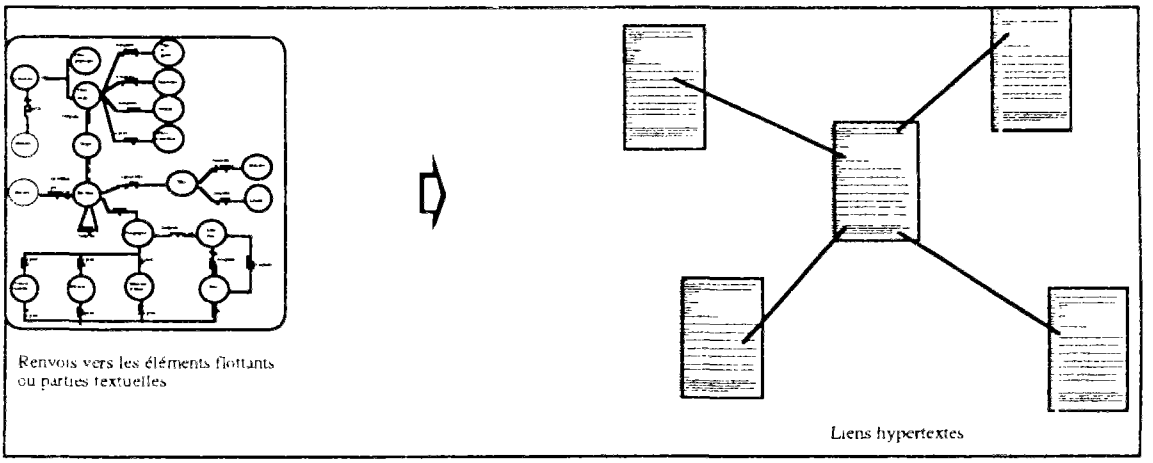


Fig S6.8. Génération automatique des liens hypertextes

À l'exemple du CD-REEF un accès direct aux unités d'information (division, article, etc.) peut être possible par une indexation détaillée du contenu de chaque document. Le but général est de mettre en place des répertoires détaillés et structurés de mots et d'expressions largement utilisés par les spécialistes des divers corps de métier et permettant l'accès direct à l'information utile selon la requête formulée.

6.5. Scénarios de travail dans une logique modèle de données

Le maître d'ouvrage

Le rôle d'un maître d'ouvrage est essentiel dans l'aboutissement et la réussite d'une opération de construction. Il doit déterminer clairement ses besoins et fixer les lignes directrices du projet, tout en prenant les choix et décisions qui s'imposent. Il doit mener l'organisation administrative et économique du projet de façon efficace et transparente de sorte que chaque intervenant puisse pleinement contribuer à la réalisation des tâches qui lui incombent.

Le maître d'ouvrage est le principal intervenant dans les études préliminaires d'un projet. Il exprime les résultats des études de site ainsi que ses besoins et exigences (culture et choix architecturaux du projet) au travers du document "programme". Cette tâche est relativement importante: le succès du projet dépend de la pertinence et de la complétude du programme de l'opération. D'ou l'importance de l'intégrité, de la cohérence et de la complétude de ce document.

Dans une approche "modèle de données", le maître d'ouvrage est le premier maillon de la chaîne d'intervenants dans l'utilisation et l'instanciation des concepts du modèle du bâtiment. Le programme de l'opération peut être généré automatiquement moyennant la saisie des informations et des données nécessaires : ce qui se traduit par l'instanciation des concepts du modèle de données décrivant la vision du maître d'ouvrage sur le projet de construction. Cette démarche sera facilitée par le développement d'un modèle de vue orienté "maîtrise d'ouvrage".

Un accès concurentiel et sélectif aux concepts du modèle de données peut être organisé de façon à permettre aux contractants en phase préliminaire de n'avoir accès qu'à la partie du modèle relevant de leur compétence. Exemple :

- le **géo-technicien** : il instancie les concepts ayant trait aux résultats des sondages géotechniques ;
- le **programmiste** . il saisie la liste ainsi que les caractéristiques des locaux et des zones du projet ;
- l'**économiste** : il instancie les concepts ayant trait à la gestion économique du projet ;

- le **climatologue** : il rentre les résultats de l'étude climatique ainsi que les divers classements : neige et vent ; etc...

L'importance du rôle du maître d'ouvrage dépend du type et de la méthode de mise en oeuvre du projet (réalisation clé en main, type de mission conférée au maître d'oeuvre, etc.). Ce rôle est parfois complexe quand le maître d'ouvrage représente une personne morale (société, groupement d'organisations, etc.). Dans quel cas une définition stricte et rigoureuse des décideurs au sein de la maîtrise d'ouvrage est nécessaire de sorte à éviter tout malentendu : le maître d'ouvrage est responsable auprès des autres partenaires de ses choix, besoins et exigences.

La génération des documents en phase études préliminaires ne se limite pas au programme. On peut très bien imaginer le même scénario pour :

- le rapport géotechnique ;
- l'étude de site ;
- la faisabilité technico-économique ; etc...

En phase Assistance Marché Travaux, le dépouillement des offres peut se faire selon des critères prédéfinis par le maître d'ouvrage en collaboration avec le maître d'oeuvre de sorte que le maître d'ouvrage puisse opérer son choix sur les entreprises retenues pour chaque marché. La synthèse du dépouillement des offres peut ainsi se faire sur la base de tableaux synthétiques, générés automatiquement, et regroupant les quelques entreprises repondant aux critères de selection.

	Entreprise 1 / Montant	**Entreprise 2/ Montant**	**Entreprise 3/ Montant**	**Entreprise 4/ Montant**
Gros oeuvre	xxxx1 540.250,00	xxxx2 450.500,00	xxxx3 520.500,00	xxxx4 440.500,00
Étanchéité	yyyy1 210.250,00	yyyy2 190.520,00	yyyy3 150.250,00	yyyy4 220.200,00
Plomberie	zzzz1 210.250,00	zzzz2 199.550,00	zzzz3 205.200,00	zzzz4 201.240,00

Le maître d'ouvrage a la possibilité d'éditer sous forme de fiche le détail ou la décomposition du prix d'un marché en s'appuyant sur le cadre DQE du lot de travaux.

Lot	**Entreprise**	
Ouvrage	**Ouvrage élémentaire**	**Prix HT**

Les autorités locales

Leur rôle consiste globalement à vérifier la conformité du projet de construction vis à vis des normes et des règlements en vigueur : le respect des normes d'urbanisme, l'accessibilité pour les handicapés, le respect des normes d'incendie, etc.

De Waard propose dans sa thèse un couplage entre un modèle de données du bâtiment et un modèle de réglementation du bâtiment [Waard 1992]. Il suggère deux méthodes de vérification :

- **une méthode passive** : le contrôleur technique reçoit les instances du modèle de données du bâtiment et les charge sous son environnement de façon à les confronter au modèle de réglementation. Dans le cas de non conformité un ensemble d'instances correspondant aux diverses anomalies est généré puis soumis au concepteur sous forme de réserves ;
- **une méthode active** : le contrôle se fait de façon interactive tout le long du processus de conception, moyennant un couplage efficace entre données ou information projet et norme ou réglement. Dès qu'une anomalie survient, le système la signale à l'utilisateur.

On peut ainsi généraliser cette approche à tous les intervenants ayant un rôle de contrôle, de vérification ou d'approbation d'un document et automatiser la génération de ce dernier.

Il faut noter que le document ne constitue qu'un interface entre le concepteur ou prescripteur et le destinataire ou utilisateur. Il est un moyen de dialogue et de communication. Il résulte d'un **effet de bord sur les données**. Il sera dès lors inutile d'axer l'approbation sur le support document, celle-ci pouvant directement se faire à partir des instances ou de la base de données projet. Les **instances "anomalies"** résultant du contrôle de conformité sont traduites sous forme de réserves dans la langue désirée. Ce contrôle peut être généralisé et appliqué aux domaines ci-après :
- **urbanisme** : permis de construire, permis de lotir, etc ;
- **calcul de structure** : contrôle du dimensionnement correct des structures vis à vis de leurs propres charges ainsi que du séisme et de l'action du vent. A ce sujet il est bon de noter l'exemple du logiciel Quakes de conception para-sismique selon le PS-MI-89.
- **contrôle incendie**, etc...

Les rapports issus de l'approbation sont également générés automatiquement.

Rôle des concepteurs

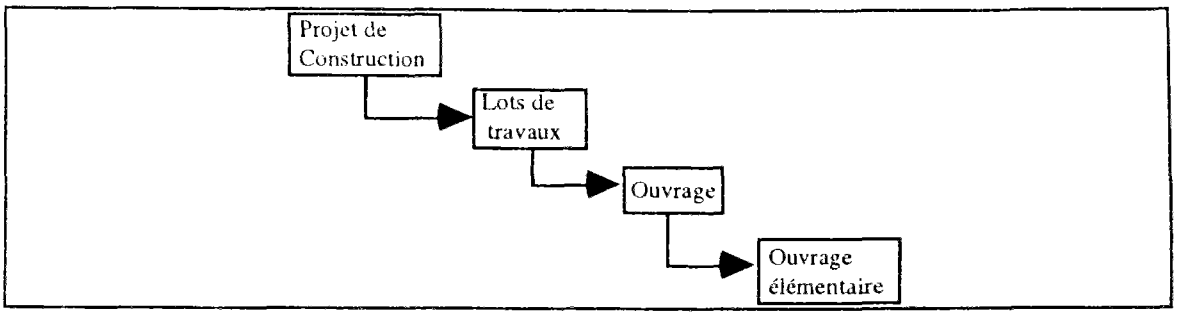
Une des tâches les plus délicates et laborieuses dans le processus de conception est la synthèse tout corps d'état.

Dans une approche par modèle de données, la synthèse TCE n'aura plus lieu d'être en tant qu'activité telle qu'actuellement mise en oeuvre. Elle se déroulera de façon continue et interactive tout le long du processus de conception. Tous les corps de métier ont leur propre modèle de vue. **Ces derniers partagent les instances d'un unique et même modèle de données produit.**

Les concepteurs-prescripteurs auront la possibilité de générer toute les pièces écrites conventionnelles rentrant dans le cadre de leur mission au sein du projet de construction.

Rôle des entreprises de réalisation

Le projet de construction en phase réalisation est vu comme un ensemble de lots de travaux ayant des prestations précises dans la production globale du projet.



Le dossier de consultation des entreprises devient un dossier formel. Les propositions seront basées sur les données du projet. Chaque entreprise pourra formaliser ses prestations et ses honoraires à partir d'une base de connaissance.

Projet	**Adresse**
Lot	**Entreprise**
Ouvrage	**Prix élémentaire**

Les entreprises auront un **accès direct** aux données au travers du **modèle appliqué à leur vision du projet.** Elles pourront ainsi selon la mission qui leur est confiérée poursuivre les études détaillées et effectuer les divers traitements pour la recherche des données pertinentes à la réalisation du projet.

Chaque entreprise pourra ainsi générer des fiches synthétiques projet remplaçant le CCTP.

Projet		**Adresse**		
Lot		**Entreprise**		
Ouvrage	Ouvrage élémentaire	* Propriété * matériau * Procédé	* Tolérance * Forme * Dimension	* Norme, DTU * Limites de prestations

Rôle des exploitants et agents de maintenance

La gestion technique centralisée d'un bâtiment implique la collecte régulière d'un ensemble de résultats consignés sous forme de comptes-rendus. La génération de ces comptes-rendus peut être automatisée et ainsi mise à la disposition des intervenants concernés. Une certification de résultats est souvent exigée par la maîtrise d'ouvrage auprès des concepteurs du projet. Cette certification peut être fournie en prenant appui sur les performances du bâtiment comparées aux mesures et résultats réels fournis par la Gestion Technique Centralisée (GTC).

6.6. Conclusion

Les quelques exemples décrits dans le paragraphe 6.4 témoignent d'une évolution certaine des pratiques traditionnelles dans la conduite d'un projet de construction. Cette évolution basée principalement sur la numérisation des données et des documents et l'informatisation des échanges contribuera à un gain appréciable de temps et à une diminution des erreurs liées au processus complexe de production d'un bâtiment. Elle nécessite cependant une mise en place structurée du cadre de l'échange ainsi qu'une définition rigoureuse des modèles conceptuels, et surtout une étroite coopération entre cogniticiens, développeurs et utilisateurs.

7. Conclusion

Ce chapitre comporte la synthèse et l'évaluation des résultats issus des travaux de recherche menés dans le cadre de cette thèse.

La problématique de cette thèse, telle que formulée au paragraphe 1.7, a trait à la génération automatique des pièces écrites d'un projet de construction tout le long de son cycle de vie, via une description structurée du bâtiment fournie par un modèle de donnée. Il apparaît évident qu'une telle mise en oeuvre n'est possible que si des environnements informatiques adaptés aux besoins de la démarche, tels que décrits dans le chapitre 6, sont mis à la disposition des participants, par corps de métier. Cela implique certains changements dans la culture et les pratiques actuelles dans l'ingénierie du bâtiment. Nous devons cependant privilégier le concept d'évolution à celui de révolution des pratiques. La structure de cette thèse reflète la démarche proposée en début de document et qui revient en fait à répondre aux quatre questions ci-après du domaine de la recherche.

Question 1 :

- Comment développer un Modèle de données du Bâtiment ?

De nombreuses méthodes sont actuellement proposées pour les besoins de la modélisation. Chacune s'appuie sur un aspect ou une vue précise du Produit analysé (Activité, Donnée, Ressource, ...). Nous avons, dans un premier temps, analysés les résultats issus des projets de recherche ayant trait à la Modélisation Produit et à la Modélisation Projet. Nous nous sommes également inspirés des travaux en cours sur l'APPP, ce qui a permis de fixer un cadre méthodologique adapté à la problématique et aux besoins de la norme STEP.

Nous avons décrit au chapitre 3, guidé par une approche systémique / générique, le Modèle de Référence Projet du Bâtiment. Le langage de modélisation utilisé est NIAM. Il constitue un des formalismes graphiques qui se rapprochent le plus du langage naturel. Il nécessite, cependant, quelques adaptations quant à sa traduction en langage

EXPRESS. À ce propos nous recommandons l'utilisation du langage EXPRESS-G qui présente, en plus des avantages de NIAM, une correspondance parfaite avec EXPRESS, duquel il est issu. De nombreux formalismes orientés objets sont actuellement proposés [AFCET 1993], [Coad et al. 1991], [Booch 1991]. Ils permettent notamment d'encapsuler les aspects comportementaux et structuraux des données. Ces formalismes sont actuellement en phase de recherche et d'expérimentation. Le langage EXPRESS de la norme STEP offre d'une façon statique certains avantages du modèle orienté objet (héritage, niveau d'abstraction). La gestion de la dynamique des objets n'est pour le moment pas traitée par EXPRESS. Il semblerait cependant que certains travaux visent à étendre et à doter ce langage de capacités d'encapsulation de fonctions et de méthodes.

Le Modèle de Référence Projet du Bâtiment est un modèle pivot qui relève d'une vision neutre et globale du projet de construction. Il a trait davantage, pour les besoins de la thèse, à l'aspect Produit qu'à l'aspect Projet. Nous avons décrit les activités à la base du processus de conception / construction / maintenance d'un projet de construction, sous le formalisme IDEF0. La complétude du MRPB passe donc par la retranscription de ces activités en données sous le formalisme NIAM.

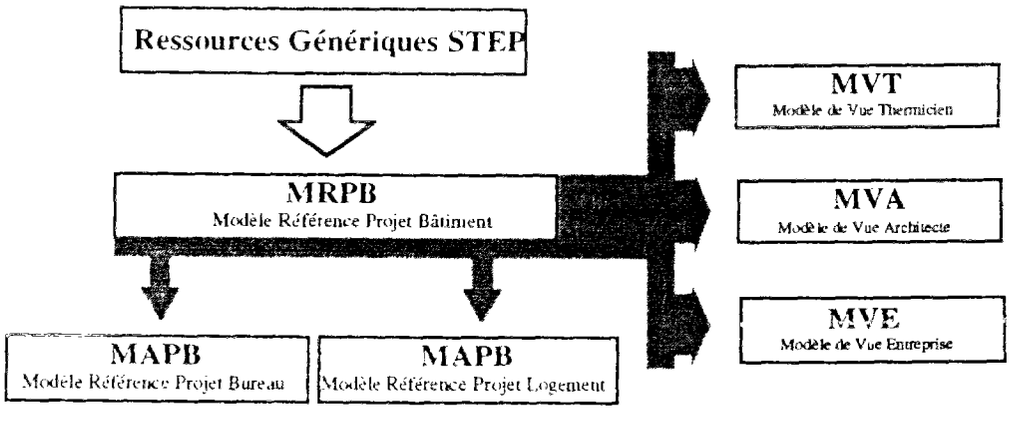


Fig S7.1. L'architecture proposée pour le développement d'un modèle de données du bâtiment.

Le MRPB a permis notamment de dériver des modèles appliqués par type de projet (MAPB) par un mécanisme de spécialisation et des relations d'héritage (fig S7.1.). De nombreux exemples de modèles appliqués existent [Nederveen 1991], [Waard 1992]. Nous avons décrit, à titre d'exemple, l'organisation spatiale d'un bâtiment à usage d'habitation. Nous n'avons pas eu recours au MAPB dans le cadre de cette thèse, et ce afin de maintenir une conformité et une cohérence entre le caractère général des

documents CCTP fournis par OTH (ils s'appliquent à tout type de construction) et la description du projet de construction. Nous recommandons cependant, pour la problématique de cette thèse, l'utilisation des modèles appliqués. Cela sous-entend évidemment la spécialisation des CCTPs génériques par type d'affaire (école, logement, administration, ...).

Les ressources génériques nécessaires à la description d'un bâtiment ont été développées séparément. Ces ressources constituent en fait une spécialisation des ressources de STEP pour les besoins du secteur du bâtiment. Nous avons de même indiqué en fin du chapitre 3, de façon succincte, les principes généraux d'un Modèle Type de Vue. Ces derniers sont actuellement en cours de développement dans le cadre de certains projets européens tel que ATLAS et rentrent plus globalement dans le cadre des travaux de l'APPP. Quant à la communication intersectorielle prônée par STEP, nous l'envisageons au travers de l'usage des ressources génériques de cette norme, spécialisées pour les besoins du domaine.

Question 2 :

- Comment développer un Modèle Documentaire ?

Nous avons insisté, dans cette thèse, sur la notion de structure de document pour diverses raisons. La structure permet entre autre de contrôler la cohérence d'un texte tout en séparant les relations entre les éléments d'un document de leur représentation physique. Nous avons à ce propos mis l'accent sur l'opportunité de l'usage de la norme SGML, qui nous a permis d'effectuer divers traitements dont la génération automatique des sommaires ainsi que des liens hypertexte internes et externes au document. La norme ODA offre également les mêmes fonctionnalités. Elle permet en outre d'associer une représentation physique aux objets identifiés dans la structure logique du document. Nous avons retenu SGML pour sa large utilisation dans le domaine de l'édition technique. Cependant, il existe des langages de quatrième génération tel que OmniMark [OMNIMARK 1993] qui permettent la conversion d'un document d'un format source (SGML) vers un format cible (ODA).

Nous avons dans le chapitre 4 signalé et tiré profit de la similitude d'approche entre l'analyse conceptuelle des documents menant à la conception des DTDs et de l'analyse conceptuelle des données pour la définition des systèmes d'information. Cela nous a

conduit à dériver la DTD générique à partir du modèle conceptuel d'un document. Nous proposions dans le chapitre 6 de généraliser et d'automatiser cette procédure.
Le caractère évolutif du document projet nous a amené à prendre en compte l'aspect dynamique des données, que nous considérons au travers de la gestion des versions d'un même document, tout le long de son cycle de vie. Nous avons par conséquent décomposé le Modèle Documentaire de Référence en deux modèles sous-jacents, l'un décrivant la genèse du document et l'autre son modèle de contenu. La DTD est d'ailleurs dérivée de ce dernier. Nous nous sommes intéressés, dans le cadre de cette thèse, au document CCTP, et ce du fait de l'importance de son caractère technique et juridique unanimement reconnu par les professionnels du bâtiment. Après une analyse synthétique des CCTPs fournis par le groupe OTH, nous avons spécialisé le Modèle Documentaire de Référence en un Modèle Documentaire Appliqué CCTP. Nous avons par la suite spécialisé également la DTD générique en une DTD spécifique aux documents du type CCTP. Il faut signaler que cette démarche, appliquée au CCTP, est généralisée à tout document projet (cf. chapitre 6).

Les techniques de développement des modèles conceptuels documentaires sont comparables à celles utilisées pour le modèle du bâtiment. Nous insistons cependant sur l'importance de la structure sémantique du modèle documentaire destiné à être couplé au modèle du bâtiment. Nous abordons cet aspect dans le paragraphe qui suit.

Question 3 :

- **en quoi consiste le modèle d'association permettant d'indexer les concepts du Modèle de Référence du Bâtiment aux items documentaires d'un type de document ?**

La granularité du document, décrite au travers de sa DTD, doit permettre une exploitation aussi large que possible de son contenu. Elle doit obligatoirement supporter la description de l'ensemble des concepts du modèle du bâtiment. Ce qui suppose une bijection parfaite entre d'une part les items documentaires et d'autres part les concepts du bâtiment. Cette bijection n'est toutefois pas implicite. Elle passe avant tout par une correspondance logique entre l'architecture et les niveaux d'abstraction du modèle de données du bâtiment, et la structure hiérarchique du modèle de contenu du document CCTP. Cette mise en relation nécessite un effort conceptuel préalable de mise en place de l'approche, par restructuration des deux modèles afin d'assurer des niveaux de

généricité comparables. L'assistance d'environnements logiciels adaptés est vivement souhaitée pour ce travail, comme en témoigne le chapitre 6 de la thèse.
Nous avons ensuite restructuré les quatre CCTPs Gros-oeuvre, Étanchéité, Plomberie et Menuiserie conformément au Modèle Documentaire Appliqué CCTP et au Modèle de Référence Projet Bâtiment.

Nous avons ensuite développé un Modèle d'Association, au travers duquel sont décrits, par un mécanisme d'instanciation, les liens sémantiques entre les concepts d'un modèle du bâtiment, et les éléments d'informations textuels correspondants issus du CCTP.

Question 4 :

- **comment mettre en oeuvre les mécanismes permettant le passage d'un document de référence vers un document appliqué projet ?**

La démarche envisagée pour le passage d'un CCTP de référence vers un CCTP projet est applicable à tout type de document issu du cycle de vie d'un projet. Elle part d'un état initial où tous les items du CCTP de référence sont sélectionnés, s'appuie sur des bases de connaissances élaborées pour chacun des lots considérés, et comprend trois étapes correspondant chacune à un niveau de plus en plus fin d'analyse du document.

Dans une première phase un certain nombre d'items documentaires sont déselectionnés à partir de l'évaluation des ouvrages du projet de construction. Cette déselection prend appui sur les instances du Modèle d'Association et permet ainsi d'éliminer les éléments textuels qui décrivent les ouvrages non utilisés dans le cadre du projet.

Dans une deuxième phase, un ensemble de relations de dépendances prédéfinies est mis en oeuvre pour la prise en compte de la propagation résultant de la suppression des items documentaires effectuée lors de la phase 1. Les relations de dépendances prennent source depuis les items de la division 'Description des ouvrages' vers les items des divisions 'Prescriptions techniques', 'Spécifications techniques' et 'Limites de prestations'. À ce stade, la structure du document CCTP est globalement figée et cohérente. La dernière phase consiste à renseigner les parties variables contenues dans les éléments documentaires restants, et à opérer les choix multiples qui s'imposent.

Il est important de signaler que l'efficacité de cette approche est étroitement liée à la complétude du modèle de données du bâtiment, à la cohérence du modèle documentaire

vis à vis de ce dernier, et à la pertinence de leur indexation respective. Tout cela nécessite une plateforme logicielle adaptée aux besoins de l'approche.

Au final, l'approche globale préconisée quant à la génération et à la consultation des documents d'un projet de construction passe par cinq étapes précises et nécessite le concours de trois familles d'acteurs : concepteurs de modèles, développeurs et utilisateurs de modèles (cf. 6.1). Les cinq étapes concernent les domaines du bâtiment et du documentaire et comportent : la conceptualisation des domaines, la dérivation des schémas physiques, le chargement des schémas physiques, l'élaboration de la base de connaissance et enfin la consultation et l'édition (fig. 7.2.).

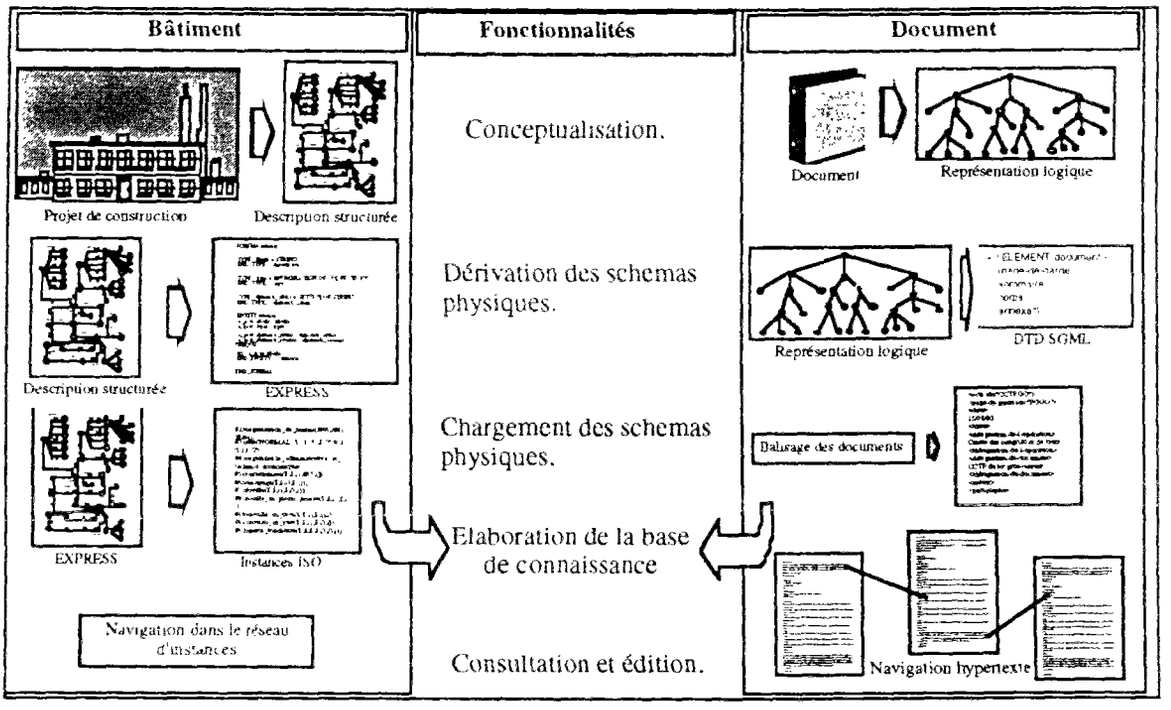


Fig S7.2. Synthèse de l'approche.

8. Perspectives

Ce chapitre propose, en guise de perspective, une ouverture sur les recherches futures envisageables dans une continuation de ce travail.

La modélisation du bâtiment

Nous avons pris comme problématique de départ dans notre travail de modélisation le cadre du bâtiment. Nous envisagions la communication et l'échange intersectoriel via les ressources génériques proposées par STEP et spécialisées selon le contexte. D'autres approches sont proposées dans les projets européens en cours. ATLAS propose un modèle du bâtiment spécialisé à partir d'un modèle plus global partagé par les divers secteurs de l'AIC. Ces aspects sont actuellement discutés au niveau de l'APPP dans le cadre de la norme STEP.

L'APPP vise à définir un cadre global de modélisation qui fixe les interactions et les recouvrements entre les divers modèles conceptuels pour l'ensemble des secteurs de l'AIC (construction navale, génie-civil, bâtiment, installations industrielles) afin de développer des protocoles d'application adaptés aux besoins spécifiques des systèmes fonctionnels identifiés dans chaque secteur.

Les modèles développés dans cette thèse utilisent les concepts pertinents des ressources génériques proposés par la norme STEP. Ils nécessiteront vraisemblablement un réajustement et une réadaptation par rapport aux résultats des discussions portant sur l'APPP prévus avant la fin 1994. Il faudra par la suite envisager les développements des protocoles d'application par discipline. Ces derniers permettront d'interfacer les applications logicielles aux données du projet moyennant une gestion rigoureuse de l'inter-opérabilité entre les protocoles d'applications ainsi identifiés.

La modélisation documentaire

Les modifications autorisées sur un document portent sur son contenu et sa structure. Ces modifications sont gérées par le modèle de genèse du document. Nous considérons cependant dans cette thèse que la modification d'un document est une tâche exclusivement réservée à un unique utilisateur. Il serait dès lors intéressant de gérer les versions successives d'un document, non plus au niveau global, mais en le ramenant au niveau le plus fin, c'est à dire au niveau de ses noeuds. Chaque noeud est ainsi caractérisé par un ensemble de versions indiquant sa position dans l'architecture du document et son contenu à une date donnée. Nous qualifions ces noeuds de noeuds multi-versions.

Indexation des items documentaires par les concepts du modèle de données

Des recherches sont actuellement en cours dans le domaine de l'indexation automatique des documents [Chaumier et al. 1992], [Menon 1988]. Ces recherches prennent appui sur des méthodes fondées sur différents modèles : le modèle statistique, probabiliste, linguistique ou procédural. Ces méthodes présentent des avantages et des inconvénients.

L'approche statistique est la plus ancienne, elle se base sur le calcul de la fréquence d'occurrence des termes significatifs d'un document. Les termes retenus pour l'indexation sont ceux dont la fréquence d'apparition est comprise entre des valeurs fournies par des tables de fréquence moyenne. L'approche probabiliste consiste quant à elle à établir des réseaux sémantiques entre les termes, selon leur distribution dans le document. C'est le modèle linguistique qui est le plus utilisé en France. Il se fonde sur cinq niveaux d'analyse : le niveau morphologique (reconnaissance du mot), le niveau lexical (lemmatisation ou réduction du mot à sa forme canonique), le niveau syntaxique (utilisation de la grammaire), le niveau sémantique (reconnaissance des concepts) et le niveau pragmatique (a trait à l'univers du discours). Le modèle procédural nous intéresse davantage. Il prend appui sur des règles pour passer du langage source du texte à indexer, au langage cible des termes d'un thésaurus. Ce dernier s'apparente aux concepts d'un modèle de données du bâtiment.

Ces méthodes ne donnent pas encore une entière satisfaction. Une approche pragmatique consiste en leur utilisation combinée au sein d'un document. Il est dès lors intéressant d'exploiter et d'adapter ces diverses techniques aux besoins de l'indexation automatique entre les concepts d'un modèle de données du bâtiment et les items documentaires d'un document. Le problème n'est pas simple, il mérite cependant de s'y intéresser. C'est un des objectifs du projet COMBINE2 [Dubois et al. 1994].

La génération du document projet

La génération du document projet nécessite à l'heure actuelle une assistance et un contrôle continu de son auteur. Cela est due en partie à l'absence d'un modèle exhaustif et complet couvrant la quasi-totalité des aspects d'un projet de construction, tout le long de son cycle de vie. La génération automatique d'un document projet est dès lors étroitement liée à la pertinence et à la complétude d'un modèle de données du bâtiment. On peut espérer que dans les prochaines années, dans le cadre des travaux menés au sein de la norme STEP, des protocoles d'application résultant d'un consensus général et couvrant l'étendu des domaines d'un projet de construction seront proposés aux utilisateurs. Sur le plan informatique, des logiciels sont en cours de développement. Ils nécessiteront vraisemblablement une validation.

Enfin, il faut préciser que la réussite d'un tel projet passe par une étroite coopération entre cogniticiens, développeurs et utilisateurs.

Bibliographie

[AFCET 1993]
AFCET. - *Actes des journées de synthèse Méthodes d'analyse et de conception orientées objet des systèmes d'information.* - 22-23 Novembre 1993, Paris, AFCET, 1993, 448 p.

[André et al. 1990]
André J., Quint V. - *Structures et modèles de documents.* - Le document électronique, Cours INRIA, Châtelaillon, Juin 1990, pp. 3-57.

[Appleton Company 1985]
Appleton Company. - *Information Modelling Language IDEF1X.* - D. Appleton Company, Inc., Decembre 1985.

[ATLAS 1992]
Architecture methodology and Tools for computer integrated LArge Scale engineering. - ESPRIT 7280 project. Technical Annex Part1 - General Project Overview, 1992.

[Autodesk 1992]
Autodesk. - *Advanced Modeling Extension 2.1*, Manuel d'utilisation. - Autodesk Ltd., 1992.

[Bennett 1985]
Bennett J. - *Construction project managment.* - London, Butterworth, 1985, 220p.

[Bindslev 1993]
Bindslev B. - *Problems in the development of a work model.* - Building Research and Information, 1993, Vol. 21, N° 6.

[Björk 1993]
Björk B.C. - *The RATAS project - An example of cooperation between industry and research towards computer integrated construction.* - ASCE Journal for Computing in Civil Engineering, 1993.

[Björk 1992]
Björk, B.C. - *A Unified Approach for Modelling Construction Information.* - Building and Environment, 1992, vol. 21, N°2, pp. 173-194.

[Björk 1994]
Björk B.C. - *Contributions to the theory of building product data models.* - Thèse de Doctorat, 1994 (Version préliminaire).

[Bohms 1993]
Bohms M. - *Building Framework Proposal for AEC/Building Construction* (BC)-APPP. - Working paper, December 1993.

[Bohms et al. 1994]
Bohms M., Tolman F., Storer G. - *ATLAS, a STEP towards Computer Integrated large Scale Engineering.* - Revue internationale de CFAO, 1994, Vol. 9, N°3, pp 305-324.

[Bonhomme 1990]
Bonhomme A. - *Guide pour l'établissement des projets de bâtiment.* - Éditions du Moniteur, Paris, 1990.

[Booch 1991]
Booch G. - *Object-Oriented Design with Applications.* - The Benjamin Cummings Publishing Company, Redwood City, USA, 1991, 580p.

[Brodie et al. 1984]
Brodie M.L., Mylopoulos J., Schmidt J.W. - *On Conceptual Modelling : Perspectives from Artificial Intelligence, Databases and Programming Languages.* - New York, Topics in Information Systems, Springer-Verlag, 1984, 110p.

[Bush 1945]
Bush V. - *As we think.* - The Atlantic Monthly, Reprinted in Greif, I., Ed., Computer-supported cooperative work : a book of readings, USA, 1988, Morgan Kaufman Publ., San Mateo, pp. 17-34.

[Chaumier, Dejean 1992]
Chaumier J., Dejean M. - *L'indexation assistée par ordinateur - Principes et méthodes.* - Documentaliste Sciences de l'information, vol.29, n°1, 1992, pp. 3-6.

[Chen 1976]
Chen P.P. - *The entity-relationship model - towards a unified view of data ; ACM Transactions on Database Systems.* - Vol. 1, N° 1, Mars 1976, pp. 9-36.

[Coad et al. 1991]
Coad P., Yourdon E. - *Object-Oriented Analysis.* - Englewood Cliff, (UK), Prentice-Hall, 1991, 233p.

[Cutting-Decelle et al. 1994a]
Cutting-Decelle, A.F., Fimbel, C. - *Data Exchange and Integration within the Steel Construction Industry.* - Revue internationale de CFAO, Volume 9, N°3, 1994, p 339-350.

[Dachelet 1990]
Dachelet R. - *Hypertexte et hypermédia : Documents - Informations - Connaissances.* - Le document électronique, Cours INRIA, Châtelaillon, Juin 1990, pp. 135-161.

[Debras et al. 1994]
Debras Ph., Dubois A.M. - *COMBINE Project* - Document interne COMBINE, 1994.

[Debras et al. 1993]
Debras Phd., Rezgui Y., Le Ber P. - *Projet DOCCIME : système logiciel pour l'intégration de l'ingénierie documentaire dans le processus de conception. Rapport intermédiaire N°1.* - Sophia Antipolis, CSTB, Juillet 1993, ILC 1335, pag. mult.

[Debras et al. 1994]
Debras Ph. - *Docset : A Documentary Tool.* - Document interne, 1993.

[Delcambre 1990]
Delcambre B. - *FARTEC : computerization of building technical rules.* - 2nd Finnish-French Colloquium for Information Technology in Construction, ESPOO (FIN), 1990, 14-15 juin, pp.181-186.

[Dubois 1990]
Dubois A.M. - *Dat Modelling for Multi-Actors DEsign Purpose.* - VTT Symposium 118, 2nd Finnish-French colloquium for information technology in construction, Espoo, 14-15 june, 1990.

[Dubois et al. 1992]
Dubois A.M., Escudier J.C., Laret L. - *Combine Integrated Data Model.* - Vol. 1 - NIAM diagrams, Vol. 2 - Dictionnary", V.3.3, 920123, Sophia-Antipolis, CSTB, janvier 1992, MGL 1264.

[Dubois et al. 1993]
Dubois A.M., Rezgui Y., Poyet P. - *ATLAS HVAC System View Type Model.* - ESPRIT 7280, WP2 2600, D206a, SIB, Sophia Antipolis, 1993, diffusion confidentielle, pag mult..

[Dupagne 1991]
Dupagne A. - *Computer Integrated Building.* - ESPRIT II ; Exploratory action No 5604, Strategic Final Report, Liège, LEMA, 1991.

[Eastman 1978]
Eastman C. - *The representation of design problems and maintenance of their structure.* - In Latcombe [ed.], Application of an AI and PR to CAD, North-Holland, Amsterdam, pp.335-337.

[Eastman 1989a]
Eastman C.M. - *Architectural CAD : a ten year assessment of the state of the art.* - Computer Aided Design, Vol. 21, N° 5, pp. 27-36, Juin 1989.

[Eastman 1989b]
Eastman C.M. - *Why Are We Here and Where We Are Going : The Evolution of CAD.* - University of California, Los Angeles, November 1989.

[Englebart 1963]
Englebart D.C. - *A conceptual framework for the augmentation of man's intellect.* - In Vistas in Information Handling, vol.1 (P. Howerton, Ed.), Spartan Books, Washington DC, 1-29, Reprinted in : Greif, I. Ed., Computer-supported cooperative work : a book of readings, 1988, Morgan Kaufman Publ., San Mateo, California, USA, pp. 35-65.

[Flavin 1981]
Flavin M. - *Fundamental Concepts of Information Modelling.* - Yourdon Press, New York, 1981.

[Fisher 1989]
Fisher M.A. - *Design Construction Integration through Constructibility Design Rules for the Preliminary Design of Reinforced Concrete Structures* - CSCE/CPCA Structural Concrete Conference Proceedings, Montreal, Canada, 1989.

[Froese 1992]
Froese, T. - *Integrated Computer-Aided Project Management Through Standard Object-Oriented Models.* - Ph.D thesis, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, USA.

[Froese et al. 1993]
Froese, T., Cooper G., Fisher, M., Oxman, R. - *IRMA-tica 93 : An International E-Mail Conference on the IRMA Model : an Information Reference Model for AEC.* - available at the University of British Columbia, Vancouver, Canada.

[Gielingh 1988]
Gielingh, W. - *General AEC Reference Model", ISO TC 184/SC4/WG1 doc.3.2.2.1.* - TNO building and construction research, BI-88-150, Delft, the Netherlands.

[Gardarin et al. 1989]
Gardarin G., Valduriez P. - *Relational Databases and Knowledge Bases.* - Reading Ma, Addison-Wesley, 1989, 448p.

[Gielingh 1990]
Gielingh W. - *General AEC Reference Model (GARM), an aid for the integration of applications specific data models.* - In Christiansson, P., Karlsson, H., (edts) : Conceptual modelling of buildings CIB seminar proceedings, publication 126, working comissions W74 and W78. The swedish Building Center, Stockholm, Sweden, pp. 213-221.

[Gielingh 1993b]
Gielingh W. - *Requirements for Model Integration and Inter-operability.* - Results of European Workshop, Darmstadt, 26-27 August 1993.

[Gielingh et al. 1993]
Gielingh W.F., Suhm A.K. - *IMPPACT Reference Model : An Approach for Integrated Product and Process Modelling of discrete Parts Manufacturing.* - Vol. 1, Research Reports ESPRIT : Project 2165 - IMPPACT, Springer-Verlag, Darmstadt, 1993, 261p.

[Goldfarb 1981]
Goldfarb, C.F. - *A generalized approach to document markup.* - ACM SIGPLAN Notices, 16(6):68-73, 1981.

[Ferries et al. 1991]
Ferries B., Hanrot S. - *Synthèse des modèles conceptuels développés dans le cadre de la recherche bâtiment en France.* - Collection : Recherches, N°10, Plan Construction et Architecture, Paris, 1992, 94p.

[Hamon 1994]
Hamon C. - *Bases de données orientées objet pour l'édition.* - Ingénierie des systèmes d'information, 1994, Vol. 2, N°2, pp. 171-192.

[Intergraph 1988]
Intergraph Corporation. - *Intergraph system.* - Alabama, USA, 1988.

[ISO TC 184 SC4 1993]
ISO TC 184 SC4. - *The STEP standard.* - Draft International Standard DIS 10303,1993.

[ISO/TC184 1993a]
ISO/TC184. - *Part 1 : Overview and fundamental principles. - In Industrial automation systems and integration, Product data representation and exchange.* - Draft International Standard, ISO, Geneva, Switzerland, ISO DIS 10303-1, aout 1993.

[ISO/TC184 1992a]
ISO/TC184. - *Part 11 : The EXPRESS Language Reference Manual. - In Industrial automation systems and integration, Product data representation and exchange.* - Draft International Standard, ISO/IEC, Geneva, Switzerland, ISO DIS 10303-11, aout 1992.

[ISO/TC184 1993b]
ISO/TC184. - *Part 22 : Standard Data Access Interface. - In Industrial automation systems and integration, Product data representation and exchange.* - Committee Draft, ISO, ISO CD 10303-22, 1993.

[ISO/TC184 1993c]
ISO/TC184. - *Part 42 : Integrated resources : Geometric and topological representation. - In Industrial automation systems and integration, Product data representation and exchange.* - Draft International Standard, ISO, Geneva, Switzerland, ISO DIS 10303-42, 1993.

[ISO/TC184 1993d]
ISO/TC184. - *Part 101 : Integrated resources : Draughting. - In Industrial automation systems and integration.* - Product data representation and exchange, Committee Draft, NIST, Gaithersburg, USA, ISO CD 10303-101, janvier 1993.

[ISO/TC184 1992b]
ISO/TC184. - *Part 201 : Application protocol : Explicit draughting. - In Industrial automation systems and integration, Product data representation and exchange.* - Committee Draft, edition 3.1, Nist, Gaithersburg, USA,,ISO CD 10303-201, novembre 1992.

[Koch et al. 1993]
Koch T., Bruijn W. - *Application Protocol Framework for MARITIME.* - ESPRIT project 6041 Deliverable D2401, European Commission.

[Kohler 1991]
Kohler N. - *Modelisation of a Building During Its Life Cycle.* - The Computer Integrated Future, CIB Seminar, Eindhoven University of Technology, 16-17 Septembre 1991.

[Kronlof 1993]
Kronlof K. - *Method Integration : Concepts and Case Studies.* - New York, Wiley, 1993, 402p.

[Kuiper 1994]
Kuiper P. - *Planning of Integrated Resources and Application Protocols for Architectuer.* - Engineering and Construction. - STEP Phoenix meeting, January 26, 1994.

[Lamport 1986]
Lamport L. - *Latex : A Document Preparation System.* - Addison-wesley, 1986.

[Lebastard 1993]
Lebastard F. - *Bases de données expertes et grandes bases de connaissances, l'état de l'art.* - Génie Logiciel & Systèmes Experts, N° 31, Juin 1993, pp. 4-17.

[Lefevbvre 1991]
Lefebvre F. - *Gestion de la qualité des bâtiments en phase de conception dans un système de CAO.* - Thèse de doctorat de génie civil, Chambéry, Université de Savoie, 1991, 233p.

[Le Gauffre 1988]
Le Gauffre P. - *Méthodologie de Conception et intelligence artificielle en bâtiment. Études pour un système multi-expert d'aide à la décision.* - Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 1988.

[Le Moigne 1990]
Le Moigne J.L. - *La théorie du système général. Théorie de la modélisation.* - Paris, Presses Universitaires de France, 1977.

[Lugez et al. 1987]
Lugez J., Maison J., Urien R. - *Guide de la Consultation sur Avant-Projet Performanciel.* - Paris, CSTB, 1987, 106p.

[Luiten 1994]
Luiten G.T. - *Computer Aided Design for Construction in the Building Industry.* - Ph.D. thesis, Delft University of Technology, 1994.

[Luiten et al. 1993]
Luiten, G., Froese, T., Björk, B-C., Cooper, G., Junge, R., Karstila, K., Oxman R. - *An Information Reference Model for Architecture, Engineering and Construction.* - In Mathur, K., Betts, and Tham, K., (edt.) Management of Information Technology for Construction, World Scientific & Global Publication Services, Singapore 1993, pp. 391-406.

[Maloney et al. 1988]
Maloney M., Rubinski Y., Sharpe P., Shiff B., Spencer R. - *Author/Editor Advance Version User's Guide.* - SoftQuad Inc, Toronto, 1988.

[Mangin et al. 1993]
Mangin J.C., Dufau J., Perrotin P. - *Synthèse de Modèles et Coopération entre Outils de Gestion de Projets et de Production des Ouvrages de Gros-oeuvre.* - Actes des journées de présentation Plan Construction et Architecture, 17-18 Novembre 1993.

[Marca 1987]
Marca D.A., McGowan C.L. - *SADT - Structured Analysis and Design Technique.* - New York, McGraw-Hill, 1987.

[Menon 1988]
Menon B. - *Indexation automatique et intelligence artificielle : quelques questions de stratégie.* - Image et intelligence artificielle dans l'information scientifique, Cours INRIA, Bénodet, 6-10 Juin 1988.

[Meyer 1988]
Meyer B. - *Object-oriented Software Construction. - Series in Computer Science.* - Prentice Hall, Cambridge, U.K, 1988, 534p.

[MOB 1994]
Modèle Objet Bâtiment 3, 2ème rapport intermédiaire, Paris, Plan Construction et Architecture, mars 1994.

[NBS 1986]
Initial Graphics Exchange Specification, National Bureau of Standards, Washington D.C., 1986.

[Nederveen 1991]
Nederveen G.A. - *A Building Data Modelling Exercise Using the GARM Approach.* - Preliminary COMBINE report, Delft, June 1991.

[Neverdeen et al. 1991]
Neverdeen G.A. van, Tolman F.P. - *Modelling Multiple Views on Buildings.* - In The Computer Integrated Future, CIB W78 Seminar, Eindhoven (NLD), 16-17 September 1991.

[Nelson 1967]
Nelson T.H. - *Getting out of our system.* - Information Retrieval : A critical review, G., Schechter, Ed., Thompson Books, Washington DC, 1967.

[Nijssen et al. 1989]
Nijssen G.M., Halpin T.A. - *Conceptual Schema and Relational Database Design, a fact oriented approach.* - London, Prentice Hall, 1989, 342p.

[ODA 1986]
Information-processing - Text and office system -- Office Document Architecture. - ISO/DIS 8613 document, 1986.

[O2 Technology 1993]
The O2 User Manual. - Version 4.3, Released July 1993.

[OmniMark 1993]
OmniMark Quick Reference Guide. - Exoterica Corporation, 1993.

[Poyet et al. 1993]
Poyet P. et al. - *Évolution des pratiques informatiques dans le secteur de la construction.* - Actes du séminaire de Sophia-Antipolis, Cahier du CSTB, N° 2660, 1993.

[Poyet et al. 1994]
XPDI Station. - Document interne, Sophia-Antipolis, CSTB, 1994.

[Quint, Vatton, 1986]
Quint V., Vatton I. - *Grif : An Interactive System for Structured Document Manipulation.* - Proceedings of EP86 International Conference, Van Vliet ed., Cambridge University Press, 1986.

[Reed 1988]
Reed K. - *Product Modelling of Buildings for Data Exchange : from IGES to PDES/STEP and Beyond.* - In : Proceedings of the Conceptual Modelling of Building, Lund Sweden, CIB W74 + W78 Seminar, octobre 1988.

[Reef 1994]
Recueil des Éléments utiles à l'Élaboration des projets de bâtiment en France, Paris, CSTB.

[Reid 1980]
Reid B.K. - *A high level approach to computer document production.* - Proceedings of the 7th Annual ACM Symposium on Principles of Programming Languages, ACM SIGPLAN-SIGACT, janvier 1980.

[Reid 1983]
Reid B. - *Scribe : Histoire et évaluation.* - Actes des journées sur la manipulation de documents, J. André ed., Rennes, Mai 1983, pp. 28-39.

[Rezgui 1991]
Rezgui Y. - *PROSE :Développement d'un logiciel de gestion de chantier sur serveur informatique.* - Rapport du stage effectué à OTH-SI dans le cadre du DEA Sciences et Techniques du Bâtiment, ENPC, Juillet 1991.

[Rezgui 1993]
Rezgui Y. - *Principes fondamentaux pour le développement d'un modèle de données du bâtiment.* - Rapport interne, ILC-93-1351, CSTB, décembre 1993.

[Rezgui 1994]
Rezgui Y. - *A CSTB Proposed Framework for the Building and Construction APPP.* - Document interne, fevrier 1994.

[Rezgui et al. 1993]
Rezgui Y., Poyet P. - *Intégration des systèmes d'informations techniques pour l'exploitation des ouvrages.* - Rapport interne, ILC-93-1337, CSTB, 1993.

[Seroul 1989]
Seroul R. - *Le petit livre de Tex.* - InterEditions, 1989.

[SGML 1986]
Information-processing -- Text and office system -- Standard Generalized Markup Language (SGML). - ISO 8879 document, 1986.

[Siemens Nixdorf 1992]
Siemens Nixdorf. - *SIFRAME Framework Software.* - Siemens Nixdorf Information System AG, Munich, Germany, 1992.

[Svenson 1991]
Svenson K. - *Neutral Building Product Model (the KBS Model).* - Report from the Technical Division - The National Board of Public Building, Stockholm, Novembre 1991.

[Tabourier 1986]
Tabourier Y. - *De l'autre coté de Merise.* - Ed. d'Organisation, Paris, 1986.

[Turner 1990a]
Turner J. - *AEC Building Systems Model.* - ISO TC184/SC4/WG1, Doc. N363, Working paper.

[Turner 1990b]
Turner J. - *Spatial Systems Model.* - ISO TC184/SC4/WG1, Doc. N363, Working paper.

[Turner 1990c]
Turner J. - *Building Enclosure Systems Model.* - ISO TC184/SC4/WG1, Working paper.

[Valduriez 1989]
Valduriez P., Gardarin G. - *Analysis and Comparison of Relational Database Systems.* - Reading Ma, Addison-Wesley, 1989, 280p.

[Vries et al. 1990]
Vries M. de, Zutphen R. van. - *The development of an architects' oriented product model.* - Automation in construction, Vol. 1, N° 2, Septembre 1992, p 143-151.

[Waard 1992]
Waard M. de. - *Computer Aided Conformance Checking : Checking residential building design against building regulations with the aid of computers.* - Ph.D. thesis, Delft University of Technology, 1992.

[Willems 1990]
Willems P.H. - *The Road Model Kernel.* - Version 0.2, TNO Building and Construction Research, B-89-831, March 1990.

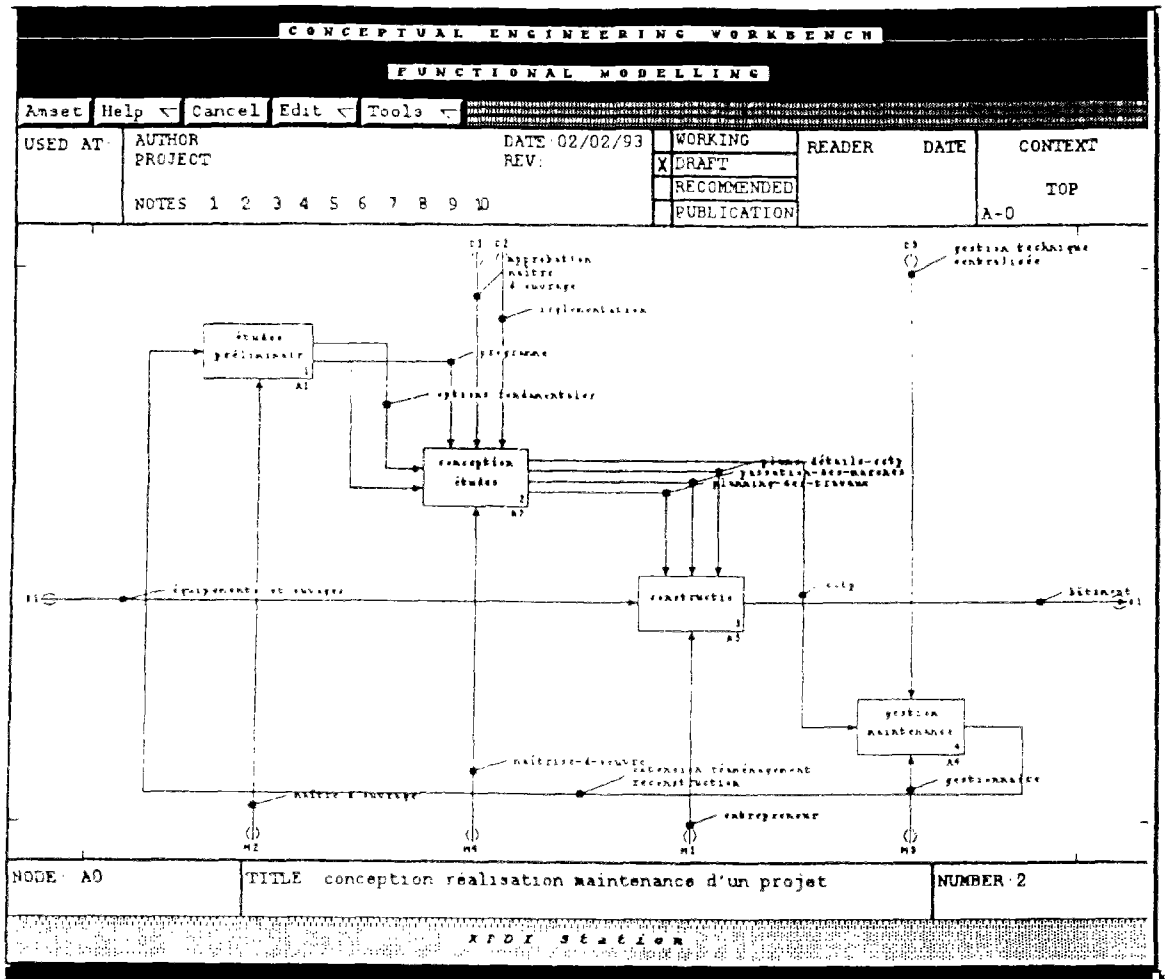
[Wix et al. 1993]
Wix J., Junge R., Poyet P., Storer G. - *Development of the STEP Building APPP : A proposed framework for the development of Application Protocols.* - A distillation of discussions at the Building APPP Representatives meeting, Hamburg, 23-24 November 1993.

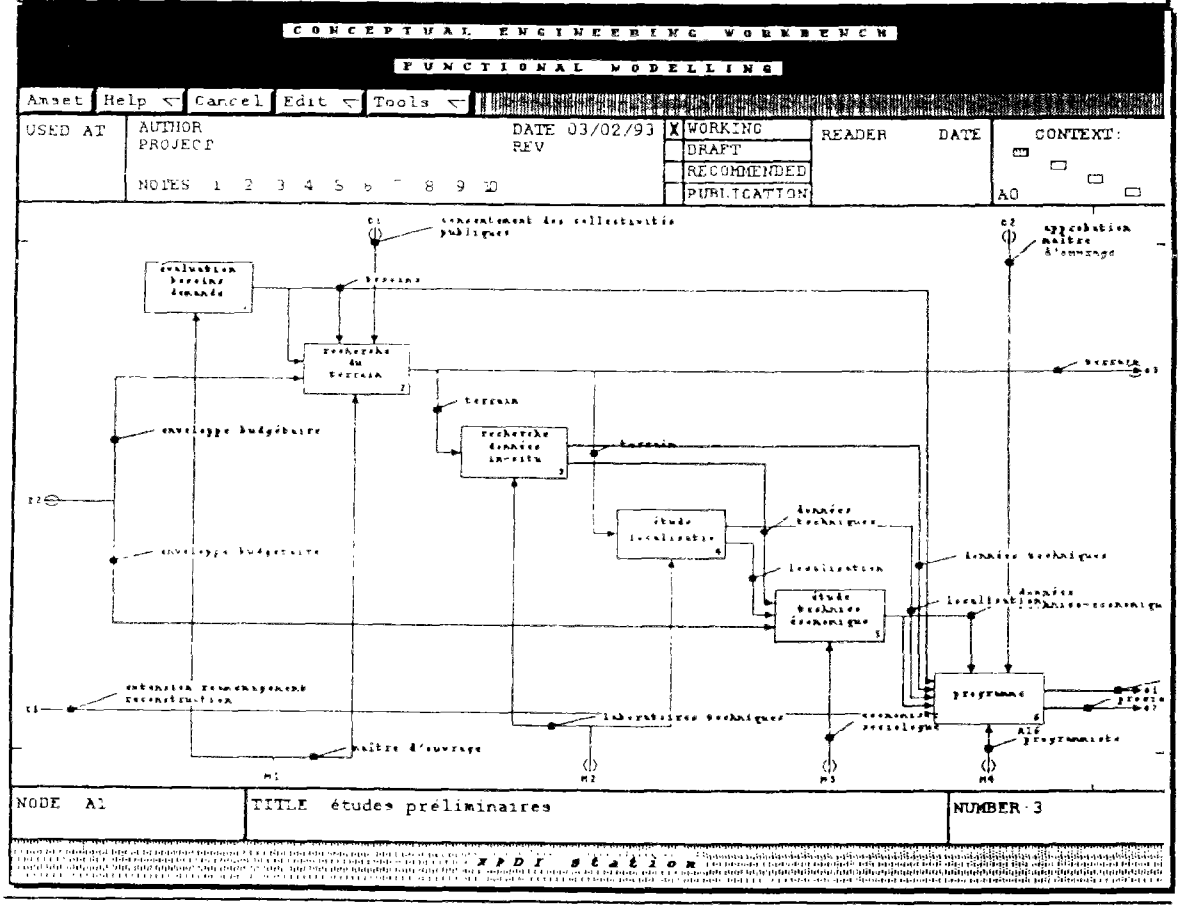
[Wright 1988]
Wright R.N. - *Computer Integrated Construction.* - IABSE Proceedings P-123/88, IABSE Periodica 1. pp 17-25.

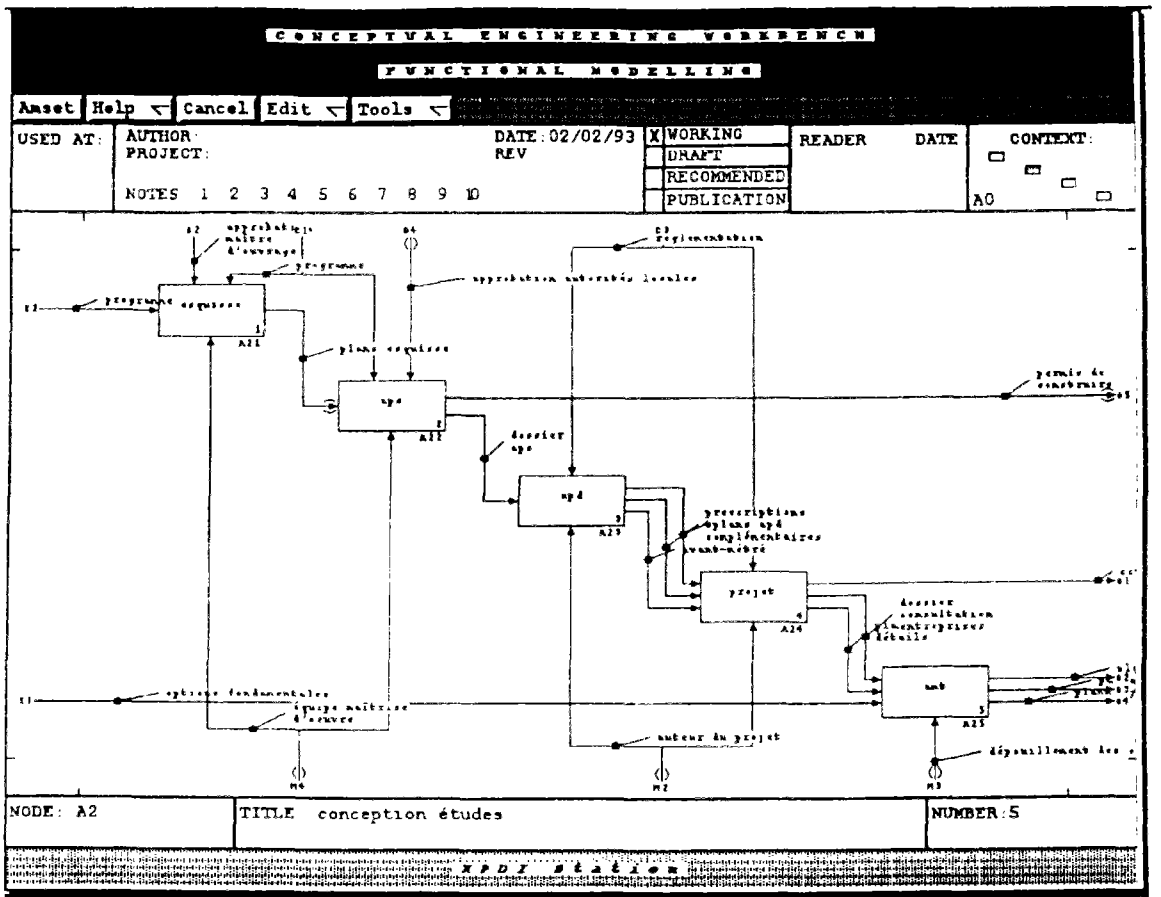
[Zevi 1973]
Zevi B. - *Il linguaggio moderno dell' architecttura.* - Giulio Einaudi, 1973.

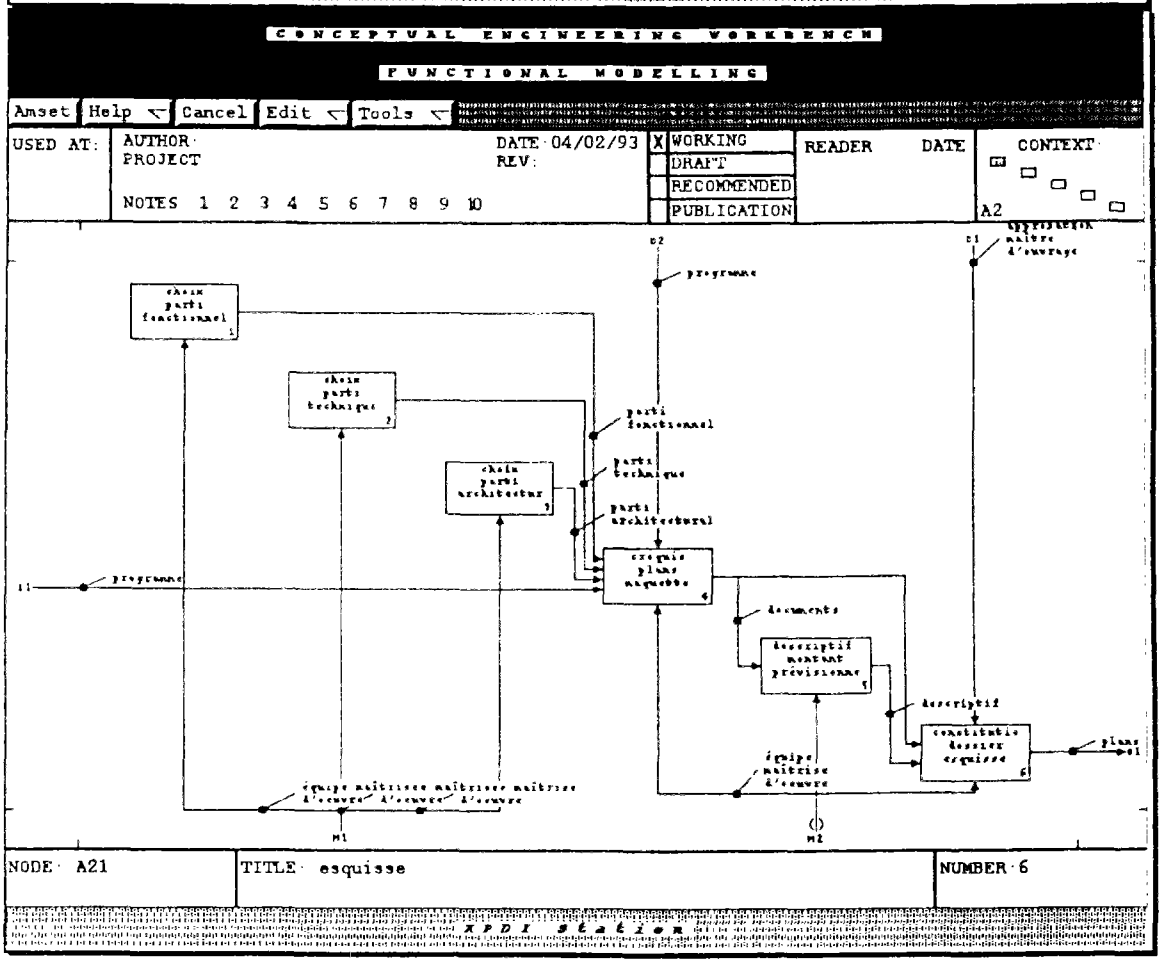
ANNEXE A

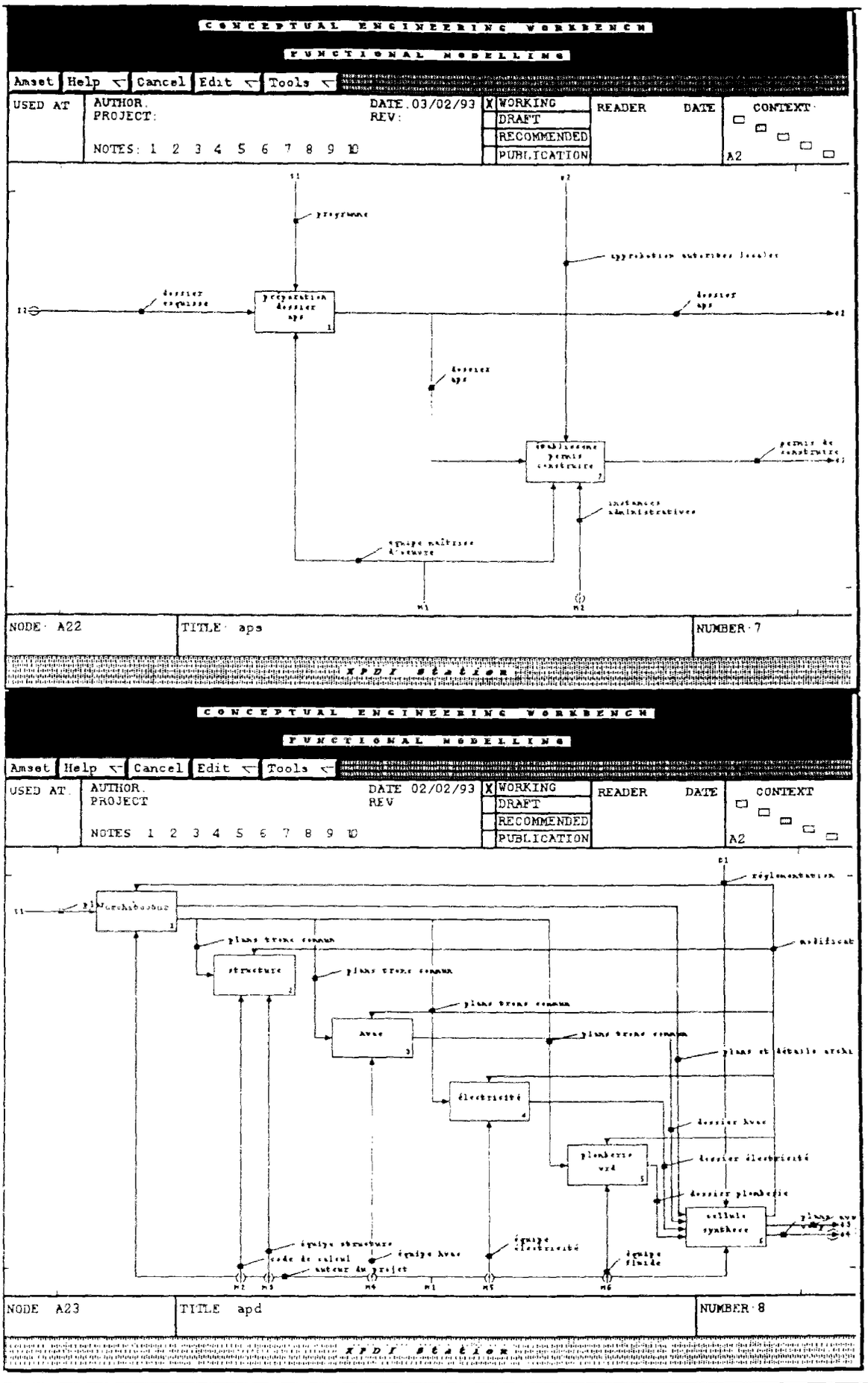
Le modèle d'activité

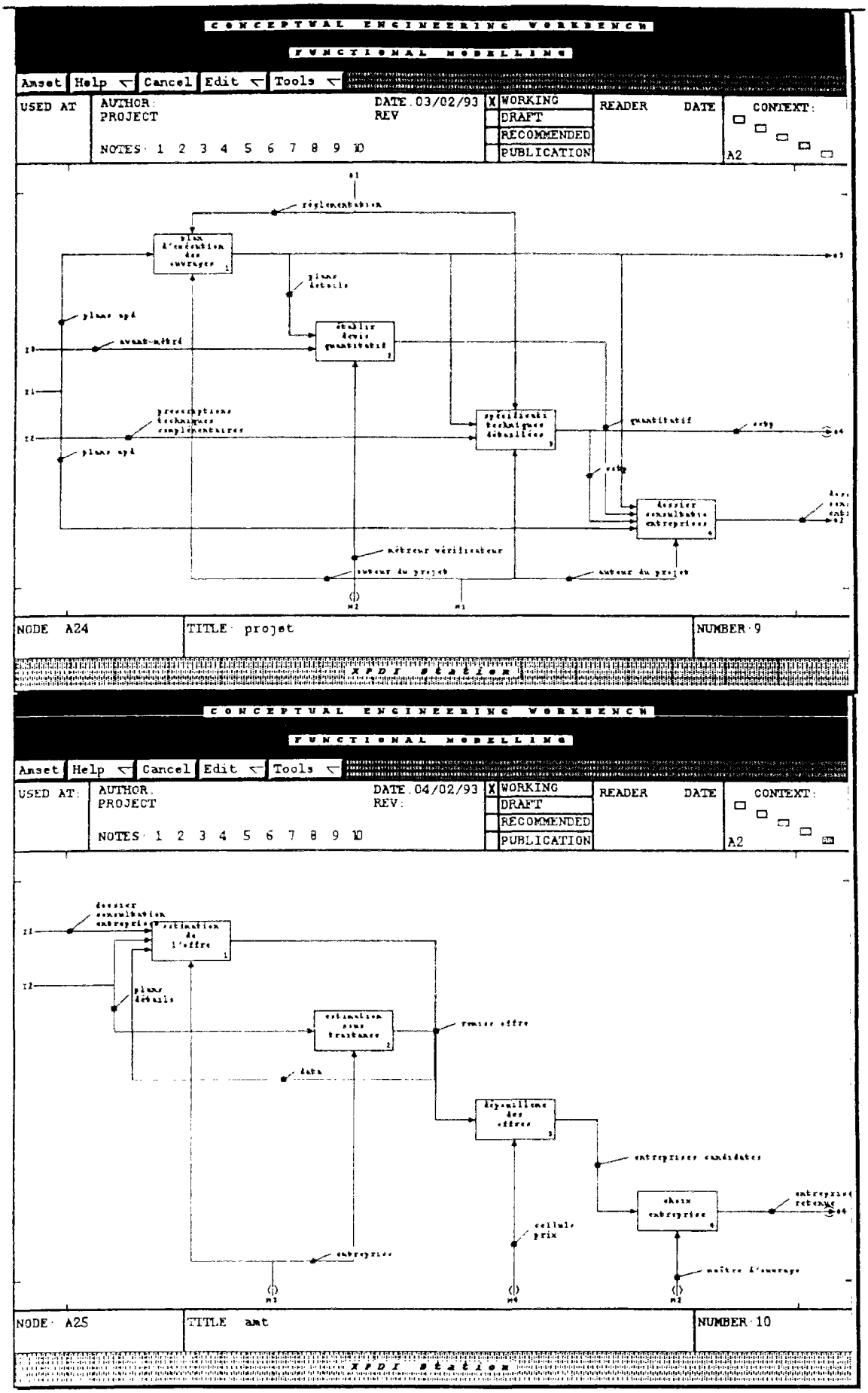

CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset Help Cancel Edit Tools
USED AT
AUTHOR
PROJECT
DATE 02/02/93
REV:
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
WORKING
X DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER DATE
CONTEXT
TOP
A-0
NODE A0
TITLE conception réalisation maintenance d'un projet
NUMBER 2
XPDL Station

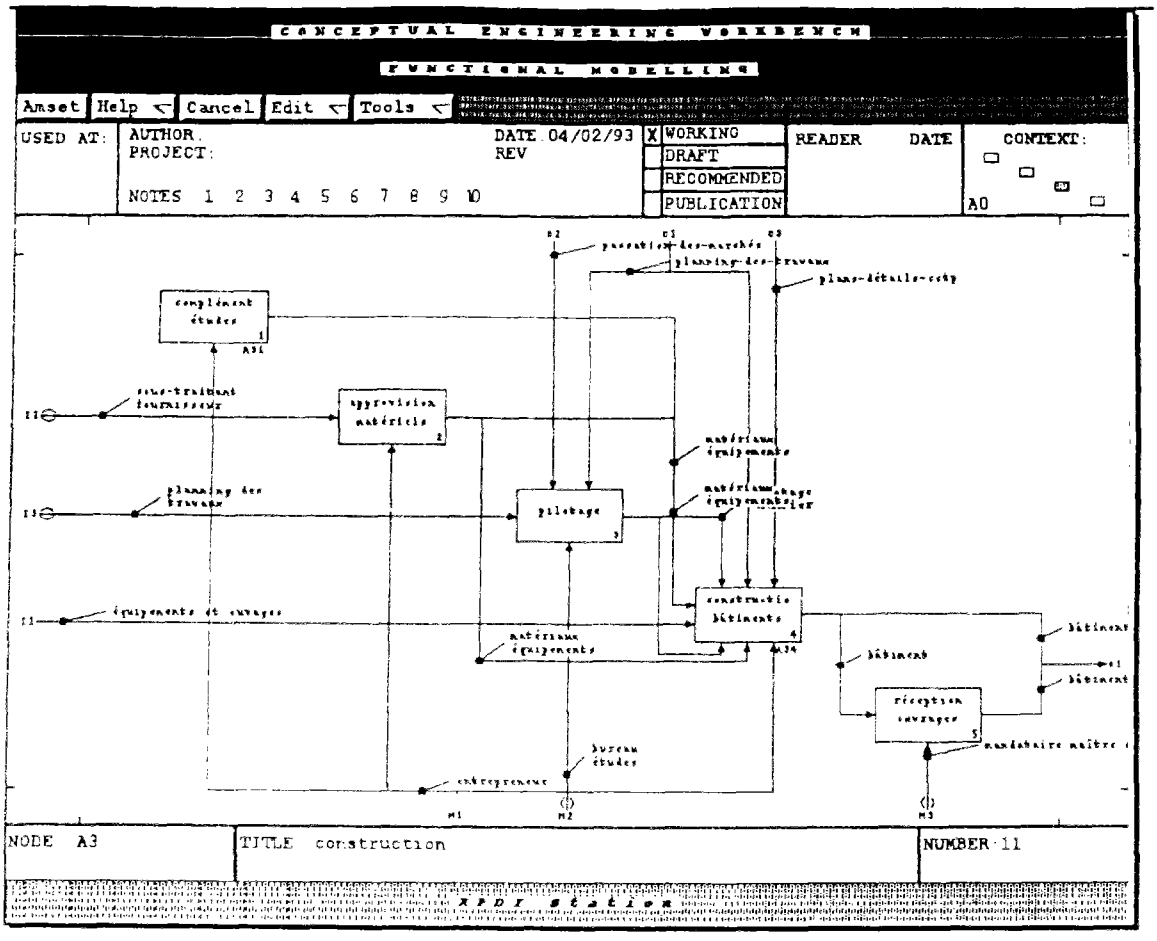

CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset Help Cancel Edit Tools
USED AT
AUTHOR
PROJECT
DATE 03/02/93
REV
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
X WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER DATE
CONTEXT:
A0
NODE A1
TITLE études préliminaires
NUMBER 3
XPDL Station


CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset
Help
Cancel
Edit
Tools
USED AT:
AUTHOR:
PROJECT:
DATE: 02/02/93
REV
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER
DATE
CONTEXT:
A0
NODE: A2
TITLE conception études
NUMBER: 5
XPDI Station


CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset
Help
Cancel
Edit
Tools
USED AT:
AUTHOR:
PROJECT
DATE: 04/02/93
REV:
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER
DATE
CONTEXT:
A2
NODE: A21
TITLE: esquisse
NUMBER: 6
XPDI Station


CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset
Help
Cancel
Edit
Tools
USED AT
AUTHOR.
PROJECT:
DATE.03/02/93
REV:
NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
X WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER
DATE
CONTEXT
A2
NODE A22
TITLE aps
NUMBER 7
XPDI station
CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset
Help
Cancel
Edit
Tools
USED AT
AUTHOR.
PROJECT
DATE 02/02/93
REV
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
X WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER
DATE
CONTEXT
A2
structure
Avac
électricité
plomberie
NODE A23
TITLE apd
NUMBER 8
XPDI station


CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset Help Cancel Edit Tools
USED AT
AUTHOR:
PROJECT
DATE 03/02/93
REV
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
X WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER DATE
CONTEXT:
A2
NODE A24
TITLE projet
NUMBER 9
XPDI station
CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset Help Cancel Edit Tools
USED AT:
AUTHOR.
PROJECT
DATE 04/02/93
REV:
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
X WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER DATE
CONTEXT:
A2
NODE A25
TITLE amt
NUMBER 10
XPDI station


CONCEPTUAL ENGINEERING WORKBENCH
FUNCTIONAL MODELLING
Amset
Help
Cancel
Edit
Tools
USED AT:
AUTHOR.
PROJECT:
DATE 04/02/93
REV
NOTES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
WORKING
DRAFT
RECOMMENDED
PUBLICATION
READER
DATE
CONTEXT:
A0
pilotage
NODE A3
TITLE construction
NUMBER 11
XPDL Station

ANNEXE B

Extrait de la version EXPRESS du corps du MPRB

```
SCHEMA batiment ;

ENTITY batiment ;
 a_pour_code : code ;
 a_pour_designation : designation ;
 a_pour_description : description ;
 a_pour_surface_hors_oeuvre : surface_hors_oeuvre ;
 a_pour_surface_utile : surface_utile ;
 compose : organisation_de_masse ;
 a_pour_organisation_spatiale : organisation_spatiale ;
 a_pour_systeme_constructif : systeme_constructif ;
 a_pour_systeme_technique : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 a_pour_ouvrage : SET [1:?] OF ouvrage ;
 a_pour_systeme_separateur : systeme_separateur ;
 a_pour_niveau : SET [1:?] OF niveau ;

UNIQUE
  ur1 : a_pour_code ;
  ur2 : a_pour_designation ;
  ur3 : a_pour_description ;
  ur4 : a_pour_systeme_separateur ;
END_ENTITY ; -- batiment


ENTITY charge
SUPERTYPE OF (charge_dynamique andor charge_ponctuelle andor charge_repartie);
 a_pour_valeur : valeur ;
 appliquee_a : modele_d_element_porteur ;
 a_pour_nature_de_charge : SET [1:?] OF nature_de_charge ;
END_ENTITY ; -- charge


ENTITY charge_climatique
SUBTYPE OF (nature_de_charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_climatique


ENTITY charge_d_exploitation
SUBTYPE OF (nature_de_charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_d_exploitation


ENTITY charge_dynamique
SUBTYPE OF (charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_dynamique


ENTITY charge_permanente
SUBTYPE OF (nature_de_charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_permanente


ENTITY charge_ponctuelle
SUBTYPE OF (charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_ponctuelle


ENTITY charge_repartie
SUBTYPE OF (charge) ;
END_ENTITY ; -- charge_repartie
```

```
TYPE  marque_commerciale = STRING ;
END_TYPE; -- marque_commerciale

TYPE  modele = STRING ;
END_TYPE; -- modele

TYPE  fabricant = STRING ;
END_TYPE; -- fabricant

TYPE  poids = STRING ;
END_TYPE; -- poids


ENTITY composant ;
 a_pour_code : code ;
 a_pour_designation : designation ;
 a_pour_marque_commerciale : marque_commerciale ;
 a_pour_modele : modele ;
 a_pour_fabricant : fabricant ;
 a_pour_poids : poids ;
 a_pour_prix : prix ;
 de : SET [1:?] OF ouvrage_type ;

UNIQUE
 ur1 : a_pour_code ;
 ur2 : a_pour_designation ;
END_ENTITY ; -- composant


ENTITY corps_de_metier ;
 est_le_corps_de_metier_de : SET [1:?] OF intervenant ;
END_ENTITY ; -- corps_de_metier


ENTITY infrastructure ;
 du : systeme_constructif ;
 se_compose_de : SET [1:?] OF unite_d_infrastructure ;
 a_pour : SET OF joint_de_structure ;
 a_pour_classement : classement_en_infrastructure;
UNIQUE
 ur1 : du ;
 ur2 : a_pour_classement;
END_ENTITY ; -- infrastructure


ENTITY intervenant ;
 anime : SET [1:?] OF activite ;
 a_pour_point_de_vue : point_de_vue ;
 a_pour_corps_de_metier : corps_de_metier ;
END_ENTITY ; -- intervenant


ENTITY joint_de_dilatation
SUBTYPE OF (joint_de_structure) ;
END_ENTITY ; -- joint_de_dilatation


ENTITY joint_de_rupture
SUBTYPE OF (joint_de_structure) ;
END_ENTITY ; -- joint_de_rupture
```

```
ENTITY joint_de_structure
SUPERTYPE OF (joint_sismique andor joint_de_dilatation andor joint_de_rupture);
 de : infrastructure ;
 compose : superstructure ;
 connecte : SET [1:?] OF unite_de_superstructure ;
END_ENTITY ; -- joint_de_structure


ENTITY joint_sismique
SUBTYPE OF (joint_de_structure) ;
END_ENTITY ; -- joint_sismique


ENTITY modele_barre
SUBTYPE OF (modele_d_element_porteur) ;
END_ENTITY ; -- modele_barre


ENTITY modele_coque
SUBTYPE OF (modele_d_element_porteur) ;
END_ENTITY ; -- modele_coque


ENTITY modele_d_element_de_jonction
SUPERTYPE OF (element_de_jonction_lineaire andor element_de_jonction_ponctuel andor
element_de_jonction_surfacique);
 de : element_de_jonction ;

UNIQUE
 ur1 : de ;
END_ENTITY ; -- modele_d_element_de_jonction


TYPE  section = STRING ;
END_TYPE; -- section

TYPE  moment_de_flexion = STRING ;
END_TYPE; -- moment_de_flexion

TYPE  fleche_admissible = STRING ;
END_TYPE; -- fleche_admissible

ENTITY modele_d_element_porteur
SUPERTYPE OF (ONEOF (modele_barre,modele_coque,modele_plaque));
 a_pour_code : code ;
 a_pour_section : section ;
 a_pour_moment_de_flexion : moment_de_flexion ;
 a_pour_fleche_admissible : fleche_admissible ;
 a_pour_point_caracteristique : SET [1:?] OF point_caracteristique ;
 est_soumis : SET [1:?] OF charge ;

UNIQUE
 ur1 : a_pour_code ;
 ur2 : a_pour_section ;
 ur3 : a_pour_moment_de_flexion ;
 ur4 : a_pour_fleche_admissible ;
END_ENTITY ; -- modele_d_element_porteur


ENTITY modele_plaque
SUBTYPE OF (modele_d_element_porteur) ;
END_ENTITY ; -- modele_plaque
```

```
ENTITY nature_de_charge
SUPERTYPE OF (ONEOF (charge_permanente,charge_d_exploitation,charge_climatique));
 est : SET [1:?] OF charge ;
 a_pour_valeur : valeur;
END_ENTITY ; -- nature_de_charge


TYPE  degre_de_liberte = STRING ;
END_TYPE; -- degre_de_liberte

ENTITY noeud
SUPERTYPE OF (ONEOF (noeud_libre,noeud_articule,noeud_encastre))
SUBTYPE OF (point_caracteristique) ;
 a_pour_code : code ;
 a_pour_degre_de_liberte : degre_de_liberte ;

UNIQUE
 ur1 : a_pour_code ;
 ur2 : a_pour_degre_de_liberte ;
END_ENTITY ; -- noeud


ENTITY noeud_articule
SUBTYPE OF (noeud) ;
END_ENTITY ; -- noeud_articule


ENTITY noeud_encastre
SUBTYPE OF (noeud) ;
END_ENTITY ; -- noeud_encastre


ENTITY noeud_libre
SUBTYPE OF (noeud) ;
END_ENTITY ; -- noeud_libre


ENTITY operation_de_logements
SUBTYPE OF (projet_de_construction) ;
END_ENTITY ; -- operation_de_logements


ENTITY organisation_de_masse ;
 est_l_organisation_de_masse_du : SET [1:?] OF projet_de_construction ;
 comporte_batiment : SET [1:?] OF batiment ;
 comporte_ouvrages_et_espaces_exterieurs : SET [1:?] OF ouvrages_et_espaces_exterieurs ;
END_ENTITY ; -- organisation_de_masse


ENTITY organisation_spatiale ;
 de : SET [1:?] OF batiment ;
END_ENTITY ; -- organisation_spatiale


TYPE  date_de_mise_en_service = STRING ;
END_TYPE; -- date_de_mise_en_service

TYPE  date_de_fabrication = STRING ;
END_TYPE; -- date_de_fabrication
```

```
ENTITY ouvrage_elementaire ;
END_ENTITY ; -- ouvrage_elementaire

ENTITY ouvrage
SUPERTYPE OF (ouvrage_structure and ouvrage_technique and ouvrage_second_oeuvre);
 a_pour_code : code ;
 a_pour_designation : designation ;
 a_pour_description : description ;
 a_pour_date_de_mise_en_service : date_de_mise_en_service ;
 a_pour_date_de_fabrication : date_de_fabrication ;
 de : SET [1:?] OF batiment ;
 utilise : SET [1:?] OF ressources_d_information ;
 a_pour_ouvrage_elementaire : SET [1:?] OF ouvrage_elementaire ;
 est_connecte_par : SET OF element_de_jonction ;
 estrattache_a : SET [1:?] OF element_paroi ;
 est_contenu_par : SET [1:?] OF piece ;
 a_pour_ouvrage_type : ouvrage_type ;

UNIQUE
  ur1 : a_pour_code ;
  ur2 : a_pour_designation ;
  ur3 : a_pour_description ;
END_ENTITY ; -- ouvrage


ENTITY ouvrage_structure
SUPERTYPE OF (element_porteur_vertical and element_de_contreventement and
element_porteur_horizontal and element_de_fondation)
SUBTYPE OF (ouvrage) ;
END_ENTITY ; -- ouvrage_structure


ENTITY ouvrage_technique
SUPERTYPE OF (ONEOF(ouvrage_HVAC,ouvrage_plomberie,ouvrage_electricite))
SUBTYPE OF (ouvrage) ;
 compose_systeme_technique : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 compose_reseau_technique : SET [1:?] OF reseau_technique ;
END_ENTITY ; -- ouvrage_technique

ENTITY ouvrage_HVAC
SUBTYPE OF (ouvrage_technique);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie_de_distribution
SUPERTYPE OF (ONEOF(element_canalisation,fourreau,element_calorifugeage))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie_de_regulation
SUPERTYPE OF
(ONEOF(detendeur,reducteur_de_pression_plomberie,vanne,manometre,purgeur_plomberie,securite_plo
mberie,reducteur_de_pression_plomberie,compteur_d_eau,pompe_d_homogeneisation,pompe_de_recycl
age,vanne))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY pompe_d_homogeneisation
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY vanne
```

```
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY pompe_de_recyclage
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY detendeur
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY compteur_d_eau
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY reducteur_de_pression_plomberie
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY vanne
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY manometre
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY purgeur_plomberie
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY securite_plomberie
SUPERTYPE OF (ONEOF(filtre_plomberie,appareil_de_traitement_des_eaux))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY appareil_de_traitement_des_eaux
SUPERTYPE
OF(ONEOF(appareil_pour_traitement_d_eau_anti_tartre,appareil_pour_traitement_d_eau_anti_corrosio
n,appareil_pour_adoucissement_d_eau))
SUBTYPE OF (securite_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY appareil_pour_traitement_d_eau_anti_tartre
SUBTYPE OF (appareil_de_traitement_des_eaux);
END_ENTITY ;


ENTITY appareil_pour_traitement_d_eau_anti_corrosion
SUBTYPE OF (appareil_de_traitement_des_eaux);
END_ENTITY ;

ENTITY appareil_pour_adoucissement_d_eau
SUBTYPE OF (appareil_de_traitement_des_eaux);
END_ENTITY ;

ENTITY reducteur_de_pression_plomberie
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_regulation);
END_ENTITY ;

ENTITY filtre_plomberie
SUBTYPE OF (securite_plomberie);
```

```
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie
SUPERTYPE OF
(ONEOF(ouvrage_plomberie_de_distribution,ouvrage_plomberie_de_generation,ouvrage_plomberie_de
_regulation,ouvrage_plomberie_de_stockage,ouvrage_plomberie_terminal))
SUBTYPE OF (ouvrage_technique);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie_terminal
SUPERTYPE OF (ONEOF(robinetterie,siphon_de_sol,clapet_aerateur))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY robinetterie
SUPERTYPE OF (ONEOF(robinetterie_de_regulation))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_terminal);
END_ENTITY ;

ENTITY robinetterie_de_regulation
SUBTYPE OF (robinetterie);
END_ENTITY ;

ENTITY siphon_de_sol
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_terminal);
END_ENTITY ;

ENTITY clapet_aerateur
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_terminal);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie_de_stockage
SUPERTYPE OF (ONEOF(ballon_d_eau))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_plomberie_de_generation
SUPERTYPE OF (ONEOF(element_pompe,element_surpresseur))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie);
END_ENTITY ;

ENTITY element_pompe
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_generation);
END_ENTITY ;

ENTITY element_surpresseur
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_generation);
END_ENTITY ;


ENTITY element_canalisation
SUPERTYPE OF (ONEOF(element_canalisation_noye,element_canalisation_enterre))
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_distribution);
END_ENTITY ;

ENTITY fourreau
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_distribution);
END_ENTITY ;

ENTITY element_calorifugeage
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_distribution);
END_ENTITY ;
```

```
ENTITY element_canalisation_noye
SUBTYPE OF (element_canalisation);
END_ENTITY ;

ENTITY element_canalisation_enterre
SUBTYPE OF (element_canalisation);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_electricite
SUBTYPE OF (ouvrage_technique);
END_ENTITY ;


ENTITY ballon_d_eau
SUBTYPE OF (ouvrage_plomberie_de_stockage);
END_ENTITY ;

ENTITY ouvrage_type ;
 a_pour_code : code ;
 a_pour_designation : designation ;
 de : SET [1:?] OF ouvrage ;
 a_pour : composant ;

UNIQUE
  ur1 : a_pour_code ;
  ur2 : a_pour_designation ;
END_ENTITY ; -- ouvrage_type


ENTITY ouvrages_et_espaces_exterieurs ;
 compose : organisation_de_masse ;
END_ENTITY ; -- ouvrages_et_espaces_exterieurs


ENTITY point_caracteristique
SUPERTYPE OF (ONEOF (noeud));
 du : SET [1:?] OF modele_d_element_porteur ;
END_ENTITY ; -- point_caracteristique


ENTITY point_de_vue ;
 est_le_point_de_vue_de : SET [1:?] OF intervenant ;
END_ENTITY ; -- point_de_vue


ENTITY produit ;
 resulte_de : projet_de_construction ;
 a_pour_etat : SET [1:?] OF etat_du_produit ;

UNIQUE
  ur1 : resulte_de ;
END_ENTITY ; -- produit


TYPE  cout_d_objectif_previsionnel = STRING ;
END_TYPE; -- cout_d_objectif_previsionnel

TYPE  cout_d_objectif_final = STRING ;
END_TYPE; -- cout_d_objectif_final

TYPE  marge_cout_d_objectif = STRING ;
```

```
END_TYPE; -- marge_cout_d_objectif

TYPE  region_neige = STRING ;
END_TYPE;

TYPE  intensite_nominale_sismique = STRING ;
END_TYPE;

TYPE  alpha_sismique = STRING ;
END_TYPE;

TYPE  delta_sismique = STRING ;
END_TYPE;

TYPE  taux_de_travail_du_sol = STRING ;
END_TYPE;

ENTITY site
SUPERTYPE OF (site_proximite_mer);
a_pour_classement_site_au_vent : classement_site_vent ;
a_pour_classement_region_au_vent : classement_region_vent ;
a_pour_zone_sismique : zone_sismique ;
a_pour_groupe_sismique : groupe_sismique ;
a_pour_region_neige : region_neige ;
a_pour_intensite_nominale_sismique : intensite_nominale_sismique ;
a_pour_alpha_sismique : alpha_sismique ;
a_pour_delta_sismique : delta_sismique ;
a_pour_taux_de_travail_du_sol : taux_de_travail_du_sol ;
END_ENTITY ; -- site

ENTITY site_proximite_mer
SUBTYPE OF (site);
END_ENTITY ;

ENTITY organisation_administrative_et_technico_economique ;
END_ENTITY ; -- organisation_administrative_et_technico_economique

ENTITY projet_de_construction
SUPERTYPE OF (ONEOF (etablissement_scolaire,operation_de_logements));
 a_pour_code : code ;
 a_pour_designation : designation ;
 a_pour_description : description ;
 a_pour_cout_d_objectif_previsionnel : cout_d_objectif_previsionnel ;
 a_pour_cout_d_objectif_final : cout_d_objectif_final ;
 a_pour_marge_cout_d_objectif : marge_cout_d_objectif ;
 a_pour_classement_de_chantier : classement_de_chantier ;
 a_pour_finalite : produit ;
 est_decrit_par : SET [1:?] OF ressources_d_information ;
 est_organise_en : SET [1:?] OF phase ;
 a_pour_site : site ;
 a_pour_organisation_de_masse : organisation_de_masse ;
 a_pour_organisation_administrative : organisation_administrative_et_technico_economique ;

UNIQUE
  ur1 : a_pour_code ;
  ur2 : a_pour_designation ;
  ur3 : a_pour_description ;
  ur4 : a_pour_cout_d_objectif_previsionnel ;
  ur5 : a_pour_cout_d_objectif_final ;
  ur6 : a_pour_marge_cout_d_objectif ;
  ur7 : a_pour_finalite ;
END_ENTITY ; -- projet_de_construction
```

```
ENTITY procede ;
END_ENTITY ; -- procede

ENTITY materiau_de_base ;
END_ENTITY ; -- materiau_de_base

ENTITY document ;
END_ENTITY ; -- document

ENTITY geometrie ;
END_ENTITY ; -- geometrie

ENTITY ressources_d_information
SUPERTYPE OF (ONEOF
(materiau_de_construction,procede,materiau_de_base,propriete_materiau,document,geometrie));
 decrit_le : projet_de_construction ;
 decrit : SET [1:?] OF ouvrage ;
 est_decrit_par : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 decrit : SET [1:?] OF etancheite ;
END_ENTITY ; -- ressources_d_information


ENTITY reseau_technique ;
 comporte : SET [1:?] OF ouvrage_technique ;
END_ENTITY ; -- reseau_technique


ENTITY superstructure ;
 du : systeme_constructif ;
 se_compose_de : SET [1:?] OF unite_de_superstructure ;
 comporte : SET OF joint_de_structure ;
 a_pour_classement : classement_en_superstructure;

UNIQUE
 ur1 : du ;
 ur2 : a_pour_classement;
END_ENTITY ; -- superstructure


ENTITY systeme_HVAC
SUPERTYPE OF (ONEOF(systeme_de_desenfumage))
SUBTYPE OF (systeme_technique) ;
END_ENTITY ; -- systeme_HVAC

ENTITY systeme_de_desenfumage
SUBTYPE OF (systeme_HVAC);
END_ENTITY ;


ENTITY systeme_alarme_signalisation
SUBTYPE OF (systeme_electricite_courants_faibles) ;
END_ENTITY ; -- systeme_alarme_signalisation


ENTITY systeme_constructif ;
 de : SET [1:?] OF batiment ;
 a_pour_infrastructure : infrastructure ;
 a_pour_superstructure : superstructure ;

UNIQUE
 ur1 : a_pour_infrastructure ;
```

```
  ur2 : a_pour_superstructure :
 END_ENTITY ; -- systeme_constructif


 ENTITY systeme_d_assainissement
 SUBTYPE OF (systeme_technique) ;
 END_ENTITY ; -- systeme_d_assainissement


 ENTITY systeme_d_emission ;
 END_ENTITY ; -- systeme_d_emission


 ENTITY systeme_de_distribution ;
  du : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 END_ENTITY ; -- systeme_de_distribution


 ENTITY systeme_de_generation ;
  du : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 END_ENTITY ; -- systeme_de_generation


 ENTITY systeme_de_regulation ;
  du : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 END_ENTITY ; -- systeme_de_regulation


 ENTITY systeme_de_stockage ;
  du : SET [1:?] OF systeme_technique ;
 END_ENTITY ; -- systeme_de_stockage


 ENTITY systeme_detection_incendie
 SUBTYPE OF (systeme_electricite_courants_faibles) ;
 END_ENTITY ; -- systeme_detection_incendie


 ENTITY systeme_informatique
 SUBTYPE OF (systeme_electricite_courants_faibles) ;
 END_ENTITY ; -- systeme_informatique


 ENTITY systeme_plomberie
 SUBTYPE OF (systeme_technique) ;
 END_ENTITY ; -- systeme_plomberie


 ENTITY systeme_separateur
 SUPERTYPE OF (systeme_separateur_en_infrastructure andor systeme_separateur_en_superstructure);
  de : batiment ;

 UNIQUE
  ur1 : de ;
 END_ENTITY ; -- systeme_separateur


 ENTITY systeme_separateur_en_infrastructure
 SUPERTYPE OF (systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur andor
systeme_separateur_en_infrastructure_porteur)
 SUBTYPE OF (systeme_separateur) ;
 END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_infrastructure
```

```
ENTITY systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur
SUBTYPE OF (systeme_separateur_en_infrastructure) ;
 a_pour_element_vertical_non_porteur : SET [1:?] OF element_vertical_non_porteur ;
 a_pour_element_horizontal_non_porteur : SET [1:?] OF element_horizontal_non_porteur ;
END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur


ENTITY systeme_separateur_en_infrastructure_porteur
SUBTYPE OF (systeme_separateur_en_infrastructure) ;
 a_pour_element_porteur_horizontal_surfacique : SET [1:?] OF element_porteur_horizontal_surfacique ;
 a_pour_element_porteur_vertical_surfacique : SET [1:?] OF element_porteur_vertical_surfacique ;
END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_infrastructure_porteur


ENTITY systeme_separateur_en_superstructure
SUPERTYPE OF (systeme_separateur_en_superstructure_porteur andor
systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur)
SUBTYPE OF (systeme_separateur) ;
END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_superstructure


ENTITY systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur
SUBTYPE OF (systeme_separateur_en_superstructure) ;
 a_pour_element_vertical_non_porteur : SET [1:?] OF element_vertical_non_porteur ;
 a_pour_element_horizontal_non_porteur : SET [1:?] OF element_horizontal_non_porteur ;
END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur


ENTITY systeme_separateur_en_superstructure_porteur
SUBTYPE OF (systeme_separateur_en_superstructure) ;
 a_pour_element_porteur_vertical_surfacique : SET [1:?] OF element_porteur_vertical_surfacique ;
 a_pour_element_porteur_horizontal_surfacique : SET [1:?] OF element_porteur_horizontal_surfacique ;
END_ENTITY ; -- systeme_separateur_en_superstructure_porteur


ENTITY systeme_technique
SUPERTYPE OF (systeme_HVAC andor systeme_plomberie andor systeme_electricite andor
systeme_d_assainissement);
 de : SET [1:?] OF batiment ;
 a_pour_systeme_de_distribution : SET [1:?] OF systeme_de_distribution ;
 a_pour_systeme_de_generation : SET [1:?] OF systeme_de_generation ;
 a_pour_systeme_de_regulation : SET [1:?] OF systeme_de_regulation ;
 a_pour_systeme_de_stockage : SET [1:?] OF systeme_de_stockage ;
 utilise : SET [1:?] OF ressources_d_information ;
 est_compose_de : SET [1:?] OF ouvrage_technique ;
 est_realise_par : SET [1:?] OF reseau_technique ;
END_ENTITY ; -- systeme_technique


ENTITY systeme_telephonie
SUBTYPE OF (systeme_electricite_courants_faibles) ;
END_ENTITY ; -- systeme_telephonie


ENTITY systeme_electricite
SUPERTYPE OF (systeme_electricite_courants_faibles andor systeme_electricite_courants_forts)
SUBTYPE OF (systeme_technique) ;
END_ENTITY ; -- systeme_electricite
```

```
ENTITY systeme_electricite_courants_faibles
SUPERTYPE OF (systeme_telephonie andor systeme_informatique andor systeme_alarme_signalisation
andor systeme_detection_incendie)
SUBTYPE OF (systeme_electricite) ;
END_ENTITY ; -- systeme_electricite_courants_faibles


ENTITY systeme_electricite_courants_forts
SUBTYPE OF (systeme_electricite) ;
END_ENTITY ; -- systeme_electricite_courants_forts


ENTITY element_de_jonction
SUPERTYPE OF (ONEOF (element_de_jonction_non_porteur,element_de_jonction_porteur));
 connecte_par : SET [1:?] OF ouvrage ;
 a_pour : modele_d_element_de_jonction ;

UNIQUE
 ur1 : a_pour ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction


ENTITY element_de_jonction_lineaire
SUBTYPE OF (modele_d_element_de_jonction) ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction_lineaire


ENTITY element_de_jonction_non_porteur
SUBTYPE OF (element_de_jonction) ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction_non_porteur


ENTITY element_de_jonction_ponctuel
SUBTYPE OF (modele_d_element_de_jonction) ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction_ponctuel


ENTITY element_de_jonction_porteur
SUBTYPE OF (element_de_jonction) ;
 relie : SET [1:?] OF element_porteur ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction_porteur


ENTITY element_de_jonction_surfacique
SUBTYPE OF (modele_d_element_de_jonction) ;
END_ENTITY ; -- element_de_jonction_surfacique


ENTITY element_horizontal_non_porteur
SUBTYPE OF (element_paroi_horizontal,ouvrage_second_oeuvre) ;
 compose_systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur :
systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur ;
 compose_systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur :
systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur ;
END_ENTITY ; -- element_horizontal_non_porteur


ENTITY element_porteur
SUPERTYPE OF (element_porteur_horizontal and element_porteur_vertical and
element_de_contreventement);
 est_relie_a_element_porteur : SET [1:?] OF element_porteur ;
 est_relie_a_element_de_jonction_porteur : SET OF element_de_jonction_porteur ;
```

```
END_ENTITY ; -- element_porteur


ENTITY element_porteur_vertical_surfacique
SUBTYPE OF (element_porteur_vertical) ;
 compose_systeme_separateur_en_infrastructure_porteur :
systeme_separateur_en_infrastructure_porteur ;
 compose_systeme_separateur_en_superstructure_porteur :
systeme_separateur_en_superstructure_porteur ;
END_ENTITY ; -- element_porteur_vertical_surfacique


ENTITY element_vertical_non_porteur
SUPERTYPE OF (element_mur_interieur and element_mur_exterieur)
SUBTYPE OF (element_paroi_vertical,ouvrage_second_oeuvre) ;
 compose_systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur :
systeme_separateur_en_superstructure_non_porteur ;
 compose_systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur :
systeme_separateur_en_infrastructure_non_porteur ;
END_ENTITY ; -- element_vertical_non_porteur


ENTITY etablissement_scolaire
SUBTYPE OF (projet_de_construction) ;
END_ENTITY ; -- etablissement_scolaire


ENTITY etat_du_produit ;
 est_influence_par : SET [1:?] OF phase ;
 est_l_etat_du : SET [1:?] OF produit ;
END_ENTITY ; -- etat_du_produit

ENTITY acrotere
SUBTYPE OF (ouvrage_terrasse);
 est_supporte_par : plancher_en_terrasse ;
END_ENTITY ; -- acrotere


ENTITY chainage
SUPERTYPE OF (chainage_horizontal andor chainage_vertical)
SUBTYPE OF (element_de_contreventement_lineaire) ;
END_ENTITY ; -- chainage


ENTITY chainage_horizontal
SUPERTYPE OF (longrine andor poutre_de_redressement)
SUBTYPE OF (chainage) ;
END_ENTITY ; -- chainage_horizontal


ENTITY chainage_vertical
SUBTYPE OF (chainage) ;
END_ENTITY ; -- chainage_vertical


ENTITY chape_hydrofuge ;
 protege : SET OF dalle ;
END_ENTITY ; -- chape_hydrofuge


ENTITY console
SUBTYPE OF (poutre) ;
```

```
END_ENTITY ; -- console


ENTITY contreventement_par_palees_triangulees
SUBTYPE OF (element_de_contreventement_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- contreventement_par_palees_triangulees


ENTITY contreventement_par_voile
SUPERTYPE OF (ONEOF (voile_peripherique))
SUBTYPE OF (element_de_contreventement_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- contreventement_par_voile


ENTITY corbeau
SUBTYPE OF (poutre) ;
END_ENTITY ; -- corbeau


ENTITY corniche ;
 est : dalle ;
END_ENTITY ; -- corniche


ENTITY corps_creux ;
 corps_creux_pour : SET OF plancher_corps_creux ;
END_ENTITY ; -- corps_creux


ENTITY dalle
SUPERTYPE OF (ONEOF (dalle_flottante,dalle_sur_terre_plein,dalle_etage_courant,dalle_terrasse))
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
 a_pour_nez_de_dalle : SET OF nez_de_dalle ;
 a_pour_corniche : SET OF corniche ;
 est_protegee_par : SET OF chape_hydrofuge ;
END_ENTITY ; -- dalle


ENTITY dalle_flottante
SUBTYPE OF (dalle) ;
END_ENTITY ; -- dalle_flottante


ENTITY dalle_sur_terre_plein
SUPERTYPE OF (ONEOF (dalle_sur_terre_plein_sol_non_porteur,dalle_sur_terre_plein_sol_porteur))
SUBTYPE OF (dalle) ;
 a_pour_drainage : SET OF tapis_drainant ;
END_ENTITY ; -- dalle_sur_terre_plein


ENTITY dalle_sur_terre_plein_sol_non_porteur
SUBTYPE OF (dalle_sur_terre_plein) ;
END_ENTITY ; -- dalle_sur_terre_plein_sol_non_porteur


ENTITY dalle_sur_terre_plein_sol_porteur
SUBTYPE OF (dalle_sur_terre_plein) ;
END_ENTITY ; -- dalle_sur_terre_plein_sol_porteur


ENTITY dalle_terrasse
SUBTYPE OF (dalle) ;
```

```
END_ENTITY ; -- dalle_terrasse


ENTITY dalle_etage_courant
SUBTYPE OF (dalle) ;
END_ENTITY ; -- dalle_etage_courant


ENTITY degre_de_liberte ;
 a_pour_valeur : valeur ;
END_ENTITY ; -- degre_de_liberte


ENTITY ascenseur
SUBTYPE OF (ouvrage_circulation_verticale);
END_ENTITY;

ENTITY monte_charge
SUBTYPE OF (ouvrage_circulation_verticale);
END_ENTITY;

ENTITY phase ;
END_ENTITY ; -- phase

ENTITY activite ;
 structure : SET [1:?] OF phase ;
 est_assuree_par : SET [1:?] OF intervenant ;
END_ENTITY ; -- activite

TYPE   classement_en_infrastructure = STRING ;
END_TYPE;

TYPE   classement_en_superstructure = STRING ;
END_TYPE;

TYPE   classement_site_vent = STRING ;
END_TYPE; -- classement_site_vent

TYPE   classement_region_vent = STRING ;
END_TYPE; -- classement_region_vent

TYPE    zone_sismique = STRING ;
END_TYPE; -- zone_sismique

TYPE   groupe_sismique = STRING ;
END_TYPE; -- groupe _sismique

TYPE   code = STRING ;
END_TYPE; -- code

TYPE   classement_de_chantier = STRING ;
END_TYPE; -- code

TYPE   designation = STRING ;
END_TYPE; -- designation

TYPE   description = STRING ;
END_TYPE; -- description

TYPE   surface_hors_oeuvre = STRING ;
END_TYPE; -- surface_hors_oeuvre
```

```
TYPE  surface_utile = STRING ;
END_TYPE; -- surface_utile


ENTITY piece
SUPERTYPE OF (ONEOF(piece_noble,piece_technique,cave,parking));
END_ENTITY ;

ENTITY piece_technique
SUBTYPE OF (piece);
END_ENTITY ;

ENTITY piece_noble
SUBTYPE OF (piece);
END_ENTITY ;

ENTITY cave
SUBTYPE OF (piece);
END_ENTITY ;

ENTITY parking
SUPERTYPE OF (ONEOF(parking_enterre,parking_aerien))
SUBTYPE OF (piece);
END_ENTITY ;

ENTITY parking_enterre
SUBTYPE OF (parking);
END_ENTITY ;

ENTITY parking_aerien
SUBTYPE OF (parking);
END_ENTITY ;

ENTITY piece_machinerie
SUBTYPE OF (piece_technique);
END_ENTITY ;

ENTITY piece_technique_transformateur
SUBTYPE OF (piece_technique);
END_ENTITY ;

ENTITY zone;
END_ENTITY ;

ENTITY niveau_en_infrastructure
SUBTYPE OF (niveau);
END_ENTITY ;

ENTITY niveau_en_superstructure
SUBTYPE OF (niveau);
END_ENTITY ;

ENTITY etage_courant
SUBTYPE OF (niveau);
END_ENTITY ;


ENTITY drainage ;
END_ENTITY ; -- drainage


ENTITY linteau
```

```
SUBTYPE OF (poutre) ;
END_ENTITY ; -- linteau


ENTITY longrine
SUBTYPE OF (chainage_horizontal) ;
contrevente : SET OF element_de_fondation ;
END_ENTITY ; -- longrine


ENTITY nez_de_dalle ;
 est : dalle ;
END_ENTITY ; -- nez_de_dalle


ENTITY couche_horizontale ;
END_ENTITY ; -- couche_horizontale


ENTITY plancher
SUPERTYPE OF (plancher_sur_vide_sanitaire andor plancher_sur_terre_plein andor
plancher_en_terrasse andor plancher_en_etage_courant);
 a_pour_couche_horizontale : SET [1:?] OF couche_horizontale ;
 est_un : element_paroi_horizontal;

 UNIQUE
 url : est_un;
END_ENTITY ; -- plancher


ENTITY plancher_alveole
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- plancher_alveole



TYPE  types = STRING ;
END_TYPE; -- types

ENTITY plancher_corps_creux
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
 a_pour_designation : designation ;
 a_pour_type : types ;
 table_de_compression : table_de_compression ;
 corps_creux : corps_creux ;
 poutrelle : SET [1:?] OF poutrelle ;
END_ENTITY ; -- plancher_corps_creux

ENTITY garde_de_corps
SUBTYPE OF (ouvrage_terrasse);
est_supporte_par : plancher_en_terrasse ;
END_ENTITY;

ENTITY ouvrage_terrasse
SUPERTYPE OF (garde_de_corps andor acrotere)
SUBTYPE OF (ouvrage_second_oeuvre);
END_ENTITY;


ENTITY plancher_en_terrasse
SUBTYPE OF (plancher) ;
 supporte : SET [1:?] OF ouvrage_terrasse;
```

```
 a_pour : SET [1:?] OF etancheite_toiture ;
 a_pour_forme : forme_de_pente;

UNIQUE
url : a_pour_forme;
END_ENTITY ; -- plancher_en_terrasse

ENTITY forme_de_pente;
de : plancher_en_terrasse;

UNIQUE
url : de;
END_ENTITY ;

ENTITY plancher_en_etage_courant
SUBTYPE OF (plancher) ;
END_ENTITY ; -- plancher_en_etage_courant


ENTITY plancher_nervure
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- plancher_nervure


ENTITY plancher_sur_terre_plein
SUBTYPE OF (plancher) ;
END_ENTITY ; -- plancher_sur_terre_plein


ENTITY plancher_sur_vide_sanitaire
SUBTYPE OF (plancher) ;
END_ENTITY ; -- plancher_sur_vide_sanitaire


ENTITY plancher_a_caisson
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- plancher_a_caisson


TYPE  section_armatures_longitudinales = REAL ;
END_TYPE; -- section_armatures_longitudinales

TYPE  section_armature_transversale = REAL ;
END_TYPE; -- section_armature_transversale

ENTITY point_caracteristique_barre ;
 position : position ;
 section_armatures_longitudinales : section_armatures_longitudinales ;
 armatures_transversales : section_armature_transversale ;
END_ENTITY ; -- point_caracteristique_barre


ENTITY poutre
SUPERTYPE OF (poutrelle andor linteau andor console andor corbeau andor suspente)
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_lineaire);
END_ENTITY ; -- poutre


ENTITY poutre_de_redressement
SUBTYPE OF (chainage_horizontal) ;
END_ENTITY ; -- poutre_de_redressement
```

```
ENTITY poutrelle
SUBTYPE OF (poutre) ;
 poutrelle_pour : SET OF plancher_corps_creux ;
END_ENTITY ; -- poutrelle


ENTITY propriete_materiau ;
END_ENTITY ; -- propriete_materiau


ENTITY predalle
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- predalle


ENTITY suspente
SUBTYPE OF (poutre) ;
END_ENTITY ; -- suspente


ENTITY table_de_compression ;
 table_de_compression_de : SET OF plancher_corps_creux ;
END_ENTITY ; -- table_de_compression


ENTITY tapis_drainant ;
 drainage_de : dalle_sur_terre_plein ;
END_ENTITY ; -- tapis_drainant


ENTITY element_couverture
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal_surfacique) ;
END_ENTITY ; -- element_couverture


ENTITY element_de_contreventement
 SUPERTYPE OF (element_de_contreventement_surfacique andor
element_de_contreventement_lineaire)
 SUBTYPE OF (element_porteur);
END_ENTITY ; -- element_de_contreventement


ENTITY element_de_contreventement_lineaire
SUPERTYPE OF (ONEOF (chainage))
SUBTYPE OF (element_de_contreventement) ;
END_ENTITY ; -- element_de_contreventement_lineaire


ENTITY element_de_contreventement_surfacique
SUPERTYPE OF (ONEOF (contreventement_par_voile,contreventement_par_palees_triangulees))
SUBTYPE OF (element_de_contreventement) ;
END_ENTITY ; -- element_de_contreventement_surfacique


ENTITY element_porteur_horizontal
SUPERTYPE OF (element_porteur_horizontal_lineaire andor element_porteur_horizontal_surfacique)
SUBTYPE OF (element_paroi_horizontal) ;
END_ENTITY ; -- element_porteur_horizontal


ENTITY element_porteur_horizontal_lineaire
```

```
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal) ;
END_ENTITY ; -- element_porteur_horizontal_lineaire


ENTITY element_porteur_horizontal_surfacique
SUPERTYPE OF (ONEOF
(plancher_a_caisson,plancher_nervure,plancher_corps_creux plancher_alveole,dalle,predalle element_co
uverture))
SUBTYPE OF (element_porteur_horizontal) ;
END_ENTITY ; -- element_porteur_horizontal_surfacique


ENTITY adresse;
 est_l_adresse_de : SET [1:?] OF decharge_publique ;
END_ENTITY ; -- adresse


ENTITY ancrage_multihelicoidaux
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- ancrage_multihelicoidaux


ENTITY armature_longitudinal
SUBTYPE OF (nappe_armatures) ;
END_ENTITY ; -- armature_longitudinal


ENTITY armature_transversal
SUPERTYPE OF (etrier andor epingle andor cadre)
SUBTYPE OF (nappe_armatures) ;
END_ENTITY ; -- armature_transversal


ENTITY barre_scellee
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- barre_scellee


ENTITY battu_enrobe
SUBTYPE OF (pieux_faconnes_a_l_avance) ;
END_ENTITY ; -- battu_enrobe


ENTITY battu_moule
SUBTYPE OF (pieux_a_tubes_battus_executes_en_place) ;
END_ENTITY ; -- battu_moule


ENTITY battu_pilonne
SUBTYPE OF (pieux_a_tubes_battus_executes_en_place) ;
END_ENTITY ; -- battu_pilonne


ENTITY battu_prefabrique
SUBTYPE OF (pieux_faconnes_a_l_avance) ;
END_ENTITY ; -- battu_prefabrique


ENTITY blindage_des_fouilles
SUPERTYPE OF (paroi_berlinoise andor paroi_moulee);
 est_le_blindage_des_fouilles : fouille_blindee ;
```

```
END_ENTITY ; -- blindage_des_fouilles


ENTITY boulon_d_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- boulon_d_ancrage


TYPE  epaisseur = REAL ;
END_TYPE; -- epaisseur

ENTITY beton_de_proprete
SUBTYPE OF (beton);
 a_pour_epaisseur : epaisseur ;
 beton_de_proprete_de : SET OF element_de_fondation ;
END_ENTITY ; -- beton_de_proprete

ENTITY beton
 SUPERTYPE OF
(ONEOF(beton_de_proprete,beton_precontraint,beton_banche,beton_architectonique));
END_ENTITY ;

ENTITY beton_architectonique
SUBTYPE OF (beton) ;
END_ENTITY ;

ENTITY beton_precontraint
SUBTYPE OF (beton) ;
END_ENTITY ;

ENTITY beton_banche
SUBTYPE OF (beton) ;
END_ENTITY ;

ENTITY beton_force
SUBTYPE OF (pieux_fonces) ;
END_ENTITY ; -- beton_force


ENTITY cadre
SUBTYPE OF (armature_transversal) ;
END_ENTITY ; -- cadre


ENTITY coin_pour_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- coin_pour_ancrage


ENTITY colonnes_balastres
SUBTYPE OF (element_de_fondation_profonde) ;
END_ENTITY ; -- colonnes_balastres


ENTITY cone_d_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- cone_d_ancrage


ENTITY coquille_pour_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- coquille_pour_ancrage
```

```
ENTITY cuvelage;
 se_compose_de : SET [1:?] OF paroi_cuvelage ;
END_ENTITY ; -- cuvelage


ENTITY decapage
SUBTYPE OF (terrassement) ;
END_ENTITY ; -- decapage


ENTITY decharge_publique;
 est_la_decharge_publique : SET [1:?] OF terrassement ;
 a_pour_adresse : adresse ;
END_ENTITY ; -- decharge_publique


ENTITY element_de_fondation_profonde
SUPERTYPE OF (ONEOF (picots,colonnes_balastres,pieux,semelle_sur_pieux))
SUBTYPE OF (element_de_fondation) ;
 a_pour_ancrage : SET OF element_pour_ancrage ;
 de : SET OF systeme_de_fondation_profonde ;
END_ENTITY ; -- element_de_fondation_profonde


ENTITY element_de_fondation_semi_profonde
SUPERTYPE OF ( ONEOF (puits,semelle_sur_puit,fondation_par_puit_blinde))
SUBTYPE OF (element_de_fondation) ;
 de : systeme_de_fondation_semi_profonde ;
END_ENTITY ; -- element_de_fondation_semi_profonde


ENTITY element_de_fondation_superficielle
SUPERTYPE OF ( ONEOF (semelle,radier))
SUBTYPE OF (element_de_fondation) ;
 de : systeme_de_fondation_superficielle ;
END_ENTITY ; -- element_de_fondation_superficielle


TYPE  nuance = STRING ;
END_TYPE; -- nuance

TYPE  enrobage_recommande = REAL ;
END_TYPE; -- enrobage_recommande

ENTITY ferraillage;
 a_pour_nuance : nuance ;
 a_pour_enrobage : enrobage_recommande ;
 est_le_ferraillage_de_la : SET OF element_de_fondation ;
 se_presente_sous_forme_de : SET [1:?] OF nappe_armatures ;
 est_le_ferraillage_de : SET [1:?] OF element_porteur ;

END_ENTITY ; -- ferraillage


ENTITY fondation_par_puit_blinde
SUBTYPE OF (element_de_fondation_semi_profonde) ;
END_ENTITY ; -- fondation_par_puit_blinde


ENTITY fore_boue
```

```
SUBTYPE OF (pieux_fores) ;
END_ENTITY ; -- fore_boue


ENTITY fore_simple
SUBTYPE OF (pieux_fores) ;
END_ENTITY ; -- fore_simple


ENTITY fore_tube
SUBTYPE OF (pieux_fores) ;
END_ENTITY ; -- fore_tube


ENTITY fouille
SUPERTYPE OF ( ONEOF
(fouille_en_pleine_masse,fouille_en_tranchee,fouille_en_trou,fouille_en_puit))
SUBTYPE OF (terrassement) ;
 a_pour_nature : SET [1:?] OF nature_fouille ;
END_ENTITY ; -- fouille


ENTITY fouille_blindee
SUBTYPE OF (nature_fouille) ;
 a_pour_blindage_des_fouilles : SET [1:?] OF blindage_des_fouilles ;
END_ENTITY ; -- fouille_blindee


ENTITY fouille_en_pleine_masse
SUBTYPE OF (fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_en_pleine_masse


ENTITY fouille_en_puit
SUBTYPE OF (fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_en_puit


ENTITY fouille_en_tranchee
SUPERTYPE OF ( ONEOF (fouille_en_tranchee_blindee))
SUBTYPE OF (fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_en_tranchee


ENTITY fouille_en_tranchee_blindee
SUBTYPE OF (fouille_en_tranchee) ;
END_ENTITY ; -- fouille_en_tranchee_blindee


ENTITY fouille_en_trou
SUBTYPE OF (fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_en_trou


ENTITY fouille_franche
SUBTYPE OF (nature_fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_franche


ENTITY fouille_talutee
SUBTYPE OF (nature_fouille) ;
END_ENTITY ; -- fouille_talutee
```

```
ENTITY isolant_antisismique;
 isolant_antisismique_de_la : SET OF element_de_fondation ;
END_ENTITY ; -- isolant_antisismique


ENTITY maconnerie_en_soubassement
SUBTYPE OF (paroi_fondation) ;
END_ENTITY ; -- maconnerie_en_soubassement


ENTITY micro_pieux
SUBTYPE OF (pieux) ;
END_ENTITY ; -- micro_pieux


ENTITY mur_de_soutenement ;
END_ENTITY ; -- mur_de_soutenement


ENTITY metal_battu
SUBTYPE OF (pieux_faconnes_a_l_avance) ;
END_ENTITY ; -- metal_battu


ENTITY metal_fonce
SUBTYPE OF (pieux_fonces) ;
END_ENTITY ; -- metal_fonce


ENTITY metal_force;
END_ENTITY ; -- metal_force


TYPE  niveau_de_la_nappe = REAL ;
END_TYPE; -- niveau_de_la_nappe

TYPE  enrobage = REAL ;
END_TYPE; -- enrobage

TYPE  section_totale = REAL ;
END_TYPE; -- section_totale

TYPE  nombre_de_barres = INTEGER ;
END_TYPE; -- nombre_de_barres

TYPE  section_barre = SET [1:?] OF REAL ;
END_TYPE; -- section_barre

ENTITY nappe_armatures
SUPERTYPE OF ( ONEOF (armature_longitudinal,armature_transversal));
 a_pour_niveau : niveau_de_la_nappe ;
 a_pour_enrobage : enrobage ;
 a_pour_section_section : section_totale ;
 a_pour_nombre_de_barres : nombre_de_barres ;
 a_pour_section_barre : section_barre ;
 du : SET [1:?] OF ferraillage ;
END_ENTITY ; -- nappe_armatures


ENTITY nature_fouille
```

```
 SUPERTYPE OF ( ONEOF (fouille_franche,fouille_blindee,fouille_talutee));
  est_la_nature_de : SET [1:?] OF fouille ;
 END_ENTITY ; -- nature_fouille


 ENTITY nature_terrassement;
 END_ENTITY ; -- nature_terrassement


 ENTITY normes_et_reglements;
  normes_fixant_les : SET OF tolerance_dimensionnelle ;
 END_ENTITY ; -- normes_et_reglements


 TYPE   prix = REAL ;
 END_TYPE; -- prix


 ENTITY palfeuille
 SUBTYPE OF (paroi_fondation) ;
 END_ENTITY ; -- palfeuille


 ENTITY palplanche
 SUBTYPE OF (paroi_fondation) ;
 END_ENTITY ; -- palplanche


 ENTITY paroi_cuvelage
 SUBTYPE OF (paroi_fondation) ;
  de : cuvelage ;
 END_ENTITY ; -- paroi_cuvelage


 TYPE   longueur = REAL ;
 END_TYPE; -- longueur

 TYPE   hauteur = REAL ;
 END_TYPE; -- hauteur

 ENTITY drain ;
 END_ENTITY ; -- drain

 ENTITY paroi_fondation
 SUPERTYPE OF ( ONEOF
(mur_de_soutenement,palplanche,palfeuille,voile_peripherique,maconnerie_en_soubassement,paroi_cuv
elage));
  a_pour_designation : designation ;
  a_pour_longueur : longueur ;
  a_pour_hauteur : hauteur ;
  a_pour_epaisseur : epaisseur ;
  travail_avec_la : SET OF element_de_fondation ;
  a_pour_drain : SET OF drain ;
  a_pour : SET OF etancheite_paroi ;
 END_ENTITY ; -- paroi_fondation



 ENTITY picots
 SUBTYPE OF (element_de_fondation_profonde) ;
 END_ENTITY ; -- picots
```

```
ENTITY pieux
SUPERTYPE OF ( ONEOF
(pieux_faconnes_a_l_avance,pieux_a_tubes_battus_executes_en_place,pieux_fores,pieux_fonces_mixte) )
pieux))
SUBTYPE OF (element_de_fondation_profonde) ;
END_ENTITY ; -- pieux


ENTITY pieux_faconnes_a_l_avance
SUPERTYPE OF ( ONEOF (battu_prefabrique,tubulaire_precontraint,metal_battu,battu_enrobe))
SUBTYPE OF (pieux) ;
END_ENTITY ; -- pieux_faconnes_a_l_avance


ENTITY pieux_fonces
SUPERTYPE OF ( ONEOF (beton_force,metal_fonce))
SUBTYPE OF (pieux) ;
END_ENTITY ; -- pieux_fonces


ENTITY pieux_fores
SUPERTYPE OF ( ONEOF (fore_simple,fore_tube,fore_boue,tariere_creuse,visse_moule))
SUBTYPE OF (pieux) ;
END_ENTITY ; -- pieux_fores


ENTITY pieux_a_tubes_battus_executes_en_place
SUPERTYPE OF ( ONEOF (battu_pilonne,battu_moule))
SUBTYPE OF (pieux) ;
END_ENTITY ; -- pieux_a_tubes_battus_executes_en_place


ENTITY puits
SUBTYPE OF (element_de_fondation_semi_profonde) ;
END_ENTITY ; -- puits


ENTITY radier
SUPERTYPE OF ( ONEOF (radier_general,radier_nervure))
SUBTYPE OF (element_de_fondation_superficielle) ;
END_ENTITY ; -- radier


ENTITY radier_general
SUBTYPE OF (radier) ;
END_ENTITY ; -- radier_general


ENTITY radier_nervure
SUBTYPE OF (radier) ;
END_ENTITY ; -- radier_nervure


ENTITY rail_d_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- rail_d_ancrage


TYPE  excentrement = REAL ;
END_TYPE; -- excentrement
```

```
ENTITY semelle
SUPERTYPE OF ( ONEOF (semelle_isolee,semelle_filante))
SUBTYPE OF (element_de_fondation_superficielle) ;
END_ENTITY ; -- semelle


ENTITY semelle_filante
SUBTYPE OF (semelle) ;
END_ENTITY ; -- semelle_filante


ENTITY semelle_isolee
SUBTYPE OF (semelle) ;
END_ENTITY ; -- semelle_isolee


ENTITY semelle_sur_pieux
SUBTYPE OF (element_de_fondation_profonde) ;
END_ENTITY ; -- semelle_sur_pieux


ENTITY semelle_sur_puit
SUBTYPE OF (element_de_fondation_semi_profonde) ;
END_ENTITY ; -- semelle_sur_puit


ENTITY systeme_de_fondation_profonde
SUBTYPE OF (systeme_de_fondation) ;
 a_pour : SET [1:?] OF element_de_fondation_profonde ;
END_ENTITY ; -- systeme_de_fondation_profonde


ENTITY systeme_de_fondation_semi_profonde
SUBTYPE OF (systeme_de_fondation) ;
 a_pour : SET [1:?] OF element_de_fondation_semi_profonde ;
END_ENTITY ; -- systeme_de_fondation_semi_profonde


ENTITY systeme_de_fondation_superficielle
SUBTYPE OF (systeme_de_fondation) ;
 a_pour : SET OF element_de_fondation_superficielle ;
END_ENTITY ; -- systeme_de_fondation_superficielle


ENTITY systeme_de_fondation
SUPERTYPE OF ( ONEOF
(systeme_de_fondation_profonde,systeme_de_fondation_semi_profonde,systeme_de_fondation_superfic
ielle));
 est_le_systeme_de_fondation_de : unite_d_infrastructure ;
 a_pour : SET [1:?] OF element_de_fondation ;
END_ENTITY ; -- systeme_de_fondation


ENTITY tariere_creuse
SUBTYPE OF (pieux_fores) ;
END_ENTITY ; -- tariere_creuse


TYPE  deblai = REAL ;
END_TYPE; -- deblai

TYPE  remblai = REAL ;
```

```
END_TYPE; -- remblai


ENTITY terrassement
SUPERTYPE OF ( ONEOF (fouille,decapage));
 a_pour_volume_de_deblai : OPTIONAL deblai ;
 a_pour_volume_de_remblai : OPTIONAL remblai ;
 a_pour_description : description ;
 terrassement_pour : unite_d_infrastructure ;
 a_pour_decharge_publique : SET [1:?] OF decharge_publique ;
END_ENTITY ; -- terrassement


ENTITY terrassement_en_fouille;
END_ENTITY ; -- terrassement_en_fouille


ENTITY terrassement_en_tranchee;
END_ENTITY ; -- terrassement_en_tranchee


ENTITY tige_d_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- tige_d_ancrage


ENTITY tirant_d_ancrage
SUBTYPE OF (element_pour_ancrage) ;
END_ENTITY ; -- tirant_d_ancrage


ENTITY tolerance_d_implantation
SUBTYPE OF (tolerance_dimensionnelle) ;
END_ENTITY ; -- tolerance_d_implantation


TYPE  valeur = REAL ;
END_TYPE; -- valeur

ENTITY tolerance_dimensionnelle
SUPERTYPE OF ( ONEOF (tolerance_d_implantation,tolerance_a_la_deformation));
 a_pour_valeur : valeur ;
 tolerances_dimensionnelles_de : SET OF element_de_fondation ;
 selon_les_normes : SET [1:?] OF normes_et_reglements ;
 est_la_tolerance_dimensionnelle_de : SET [1:?] OF element_porteur ;

END_ENTITY ; -- tolerance_dimensionnelle


ENTITY tolerance_a_la_deformation
SUBTYPE OF (tolerance_dimensionnelle) ;
END_ENTITY ; -- tolerance_a_la_deformation


ENTITY tubulaire_precontraint
SUBTYPE OF (pieux_faconnes_a_l_avance) ;
END_ENTITY ; -- tubulaire_precontraint


ENTITY types;
END_ENTITY ; -- types
```

```
ENTITY unite_d_infrastructure;
 necessite_des_terrassements : SET [1:?] OF terrassement ;
 a_pour_element_de_structure : SET [1:?] OF element_porteur ;
 a_pour_systeme_de_fondation : SET [1:?] OF systeme_de_fondation ;
 est_en_relation_avec : SET OF unite_d_infrastructure ;
 est_coonecte_par : SET OF joint_de_structure ;
END_ENTITY ; -- unite_d_infrastructure


ENTITY visse_moule
SUBTYPE OF (pieux_fores) ;
END_ENTITY ; -- visse_moule


TYPE  charge_verticale_transmise = REAL ;
END_TYPE; -- charge_verticale_transmise

TYPE  profondeur_d_ancrage = REAL ;
END_TYPE; -- profondeur_d_ancrage


ENTITY element_de_fondation
SUPERTYPE OF ( ONEOF
(element_de_fondation_superficielle,element_de_fondation_profonde,element_de_fondation_semi_profo
nde));
 charge_verticale_transmise : charge_verticale_transmise ;
 ancrage : profondeur_d_ancrage ;
 exentrement : exentrement ;
 a_pour_beton_de_proprete : beton_de_proprete ;
 a_pour_isolant_antisismique : SET [1:?] OF isolant_antisismique ;
 est_en_rapport_avec : SET [1:?] OF paroi_fondation ;
 a_pour_ferraillage : SET [1:?] OF ferraillage ;
 a_pour_tolerances_dimensionnelles : SET [1:?] OF tolerance_dimensionnelle ;
 a_pour_coffrage : SET [1:?] OF coffrage ;
 de : systeme_de_fondation ;
 est_contrevente_per : SET OF longrine ;

END_ENTITY ; -- element_de_fondation


ENTITY element_pour_ancrage
SUPERTYPE OF ( ONEOF
(ancrage_multihelicoidaux,barre_scellee,coquille_pour_ancrage,cone_d_ancrage,rail_d_ancrage,tige_d_a
ncrage,tirant_d_ancrage,boulon_d_ancrage,coin_pour_ancrage));
 a_pour_ancrage : profondeur_d_ancrage ;
 ancrage_de : SET OF element_de_fondation_profonde ;
END_ENTITY ; -- element_pour_ancrage


ENTITY elements_de_contreventement;
END_ENTITY ; -- elements_de_contreventement


ENTITY elements_porteurs_horizontaux;
END_ENTITY ; -- elements_porteurs_horizontaux

ENTITY elements_porteurs_verticaux;
END_ENTITY ; -- elements_porteurs_verticaux

END_SCHEMA ;
```

ANNEXE C

Le fichier d'instances ISO

STEP;
HEADER;
FILE_NAME('/home/debras/doccime/demo/batiment.spf','1994-05-30 T14:56:56',
('batiment'),(' XIG '),'STEP VERSION 2.0 e',,'APPROVED BY XPDI ');
FILE_SCHEMA(('batiment'));
ENDSEC;
DATA;
#0=projet_de_construction('cd1','opération_50_logements',('Projet_de_logements_semi_collectifs_en_region_parisienne'),'150MF','45MF','5MF','C',#76,(#75),(#77),#3,#2,#4);
#1=batiment('bat1','batiment_les_eucalyptus',(S),'1500,00m2','1350,50 m2',#2,#27,#28,(#31,#30,#32,#33),(#72),S,(#79,#80,#81));
#2=organisation_de_masse((#0),(#1),(#26));
#3=site('NORMAL','1','1','1',S,'7','0.5','1.15','2');
#4=organisation_administrative_et_technico_economique();
#5=terrassement(S,S,(),#37,());
#6=decapage(S,S,(),S,());
#7=fouille(S,S,(),S,(),());
#9=fouille_en_pleine_masse(S,S,(),S,(),());
#10=fouille_en_trou(S,S,(),S,(),());
#11=fouille_en_puit(S,S,(),S,(),());
#12=paroi_fondation(S,S,S,S,(),(),());
#13=element_de_fondation(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),S,(),S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),S);
#14=element_de_fondation_superficielle(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),*,(),S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),*,());
#15=dalle_sur_terre_plein_sol_porteur(S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),(),(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),(),(),S,S,(),(),(),(),(),S,(),(),(),());
#16=dalle_sur_terre_plein(S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),(),(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),(),(),S,S,(),(),(),(),(),S,(),(),());
#17=voile_peripherique(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,S,(),(),(),S);
#18=voile_peripherique_enterre(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,S,S,(),(),(),S);
#19=voile(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),());
#20=voile_en_infrastructure(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),#51,S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S);
#21=escalier(S,S,(),S,S,(),(),(),(),(),(),S,S);
#22=drain();
#23=mur_façade(S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),S,S);
#24=plancher((),S);
#25=acrotere(S,S,(),S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S);
#26=ouvrages_et_espaces_exterieurs(#2);
#27=organisation_spatiale(());
#28=systeme_constructif((#1),#35,#36);
#29=ouvrage(S,S,(),S,S,(),(),(),(),(),(),S);
#30=systeme_HVAC((),(),(),(),(),(),(),());
#31=systeme_electricite((),(),(),(),(),(),(),());
#32=systeme_plomberie((),(),(),(),(),(),(),());
#33=systeme_d_assainissement((),(),(),(),(),(),(),());
#34=systeme_technique((),(),(),(),(),(),(),());
#35=infrastructure(#28,(#37),(#40),'CF-2Heures');
#36=superstructure(S,(),(),'CF-1Heure');
#37=unite_d_infrastructure((#5,#11,#7,#6,#9,#10),(#53,#17,#15,#54,#56,#57),(#58),(),());
#38=unite_de_superstructure((#60,#61,#62,#63,#64),(),());
#39=systeme_de_fondation(#37,(()));
#40=joint_de_structure((),S,());
#41=element_porteur(((),()),());
#42=element_porteur_horizontal(S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),S,S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),S)
;
#43=element_porteur_vertical(S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),());
#44=element_porteur_horizontal(S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),(),S,S,S,(),S,S,S,S,(),(),(),S,S,S,S,S,S,S,(),(),(),(),(),S)
;
#45=etancheite(S,S);
#46=etancheite_toiture(S,S,S,S,S);

#47=etancheite_toiture_inaccessible($,$,$,$,$);
#48=etancheite_toiture_jardin($,$,$,$,$);
#49=etancheite_rampe($,$);
#50=etancheite_paroi($,$,$,$,$,$,(),(),(),$,());
#51=etancheite_paroi_enterre($,$,$,$,$,$,$,(),(),(),$,());
#52=TTI_support_BA($,$,$,$,$,$);
#53=poteau($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),());
#54=longrine($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,(),(),());
#55=poutre_de_redressement($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,(),());
#56=poutre($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),$);
#57=dalle_etage_courant($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,(),$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,(),(),(),(),$,(),(),(
));
#58=systeme_de_fondation_superficielle(#37,(#59),(#59));
#59=semelle_isolee('sem1','semelle_isolee',(),$,$,$,(),(),((),(),(),(),(),$,$,.6,0.,$,$,$,(),(),(),(),(),(),*,());
#60=poteau($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),());
#61=poutre($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),(),$);
#62=voile_en_superstructure($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),());
#63=dalle_etage_courant($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,(),(),(),(),(),$,(),(),(
));
#64=dalle_terrasse($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,$,$,$,$,$,(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),(),$,$,$,$,(),(),(),(),(),$,(),(),());
#65=plancher_en_terrasse((),$,(#25,#73),(#68,#70,#48),$);
#66=corniche($);
#67=nez_de_dalle($);
#68=TTI_SBA_type_baryphalte_terrasse($,$,$,$,$);
#70=TTA_SBAP_IT_protection_par_dallettes_sur_plot($,$,$,$,$);
#72=rampe_exterieure('RA1',(),(),$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,(#74));
#73=garde_de_corps($,$,(),$,$,$,(),(),(),(),(),(),$,$,$);
#74=ER_pieton_vehicule_leger_lourd($,$);
#75=ressources_d_information($,(),(),());
#76=produit(#0,(#78));
#77=phase();
#78=etat_du_produit((),());
#79=niveau_en_infrastructure((#82,#83,#84),());
#80=niveau_en_superstructure((#85,#86),());
#81=niveau_en_superstructure((#87,#88),());
#82=piece_technique_transformateur(());
#83=piece_machinerie(());
#84=parking_enterre(());
#85=piece(());
#86=piece(());
#87=piece(());
#88=piece(());
ENDSEC;
ENDSTEP;

ANNEXE D

Le fichier prédicats du lot Gros-oeuvre

```
#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Terrassements"
concepts-bâtiment ("terrassement")
éléments-cibles ("DESGO2")
end-of-object

# (xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Décapage (élimination de la couche de terrain superficielle  avant travaux)"
concepts-bâtiment ("decapage")
éléments-cibles ("DESGO2b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fouilles en grande masse"
concepts-bâtiment ("fouille_en_pleine_masse")
éléments-cibles ("DESGO2c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fouilles en tranchées blindées"
concepts-bâtiment ("fouille_en_tranchee_blindee")
éléments-cibles ("DESGO2d")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fouilles complémentaires"
concepts-bâtiment ("fouille_en_trou" "fouille_en_puit")
éléments-cibles ("DESGO2g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Remblais contre voiles"
concepts-bâtiment ("paroi_fondation")
éléments-cibles ("DESGO2h")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations"
concepts-bâtiment ("element_de_fondation")
éléments-cibles ("DESGO3")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Béton précontraint."
concepts-bâtiment ("beton_precontraint")
éléments-cibles ("SPEGO1a2I1" "SPEGO1k" "SPEGO2zag" "DOCREFI2I3")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations semi_profondes (puits)."
concepts-bâtiment ("element_de_fondation_semi_profonde" "puits" )
éléments-cibles ("SPEGO2k" "DESGO2gP2" "DESGO3d" "DESGO3e" "SPEGO2n")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations profondes (pieux)."
concepts-bâtiment ("element_de_fondation_profonde" "pieux")
éléments-cibles ("SPEGO2j" "SPEGO2m" "DESGO3c" "SPEGO2zab1I3")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations superficielles (radier)."
```

concepts-bâtiment ("element_de_fondation_superficielle" "radier")
éléments-cibles ("SPEGO2u" "SPEGO2zab1I2" "SPEGO2zab3"
"SPEGO2zab5P1" "DESGO3i" "DESGO31hP1" "SPEGO2n" "DOCREFI2I4")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Semelles sur pieux, longrines "
concepts-bâtiment ("semelle_sur_pieux")
éléments-cibles ("DESGO3f")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Semelles sur puits ou barrettes, longrines"
concepts-bâtiment ("semelle_sur_puit")
éléments-cibles ("DESGO3g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations superficielles (semelles)."
concepts-bâtiment ("element_de_fondation_superficielle" "semelle")
éléments-cibles ("SPEGO2p" "DESGO3h" "DESGO2gP1" "DESGO31nI1"
"DOCREFI2I4")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Fondations par puits blindés"
concepts-bâtiment ("fondation_par_puit_blindé")
éléments-cibles ("DESGO3e")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Technique de l'accélération du durcissement du béton par chauffage."
concepts-bâtiment ("procede_de_durcissement_du_beton_par_chauffage")
éléments-cibles ("SPEGO1c4I1" "SPEGO1e")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Parements en béton destinés à recevoir un revêtement."
concepts-bâtiment ()
éléments-cibles ("SPEGO1h" "SPEGO2zad1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Brique pleine."
concepts-bâtiment ("brique_pleine")
éléments-cibles ("SPEGO2zal" "SPEGO2zal2I1" "SPEGO2zam" "DESGO19b3"
"DESGO26c" "DESGO28fI1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Proximité de la mer "
concepts-bâtiment ("site_proximite_mer")
éléments-cibles ("SPEGO1jI1" "ANXGO6I1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Blocs de béton pour maçonnerie."
concepts-bâtiment ("bloc_de_beton")
éléments-cibles ("SPEGO1m" "SPEGO2w" "SPEGO2zad2" "SPEGO2zai2"
"DESGO19b1P1" "DESGO19b2P1" "DESGO27" "DESGO28aI1" "DESGO28bI1"
"DESGO28dI1" "DESGO31nI2" "ANXGO7P1")
end-of-object

```
#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Carrière à combler et à consolider."
concepts-bâtiment ("carriere_a_combler")
éléments-cibles ("SPEGO2b" "DESGO3a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Le terrain nécessite une consolidation sous fondation."
concepts-bâtiment ("consolidation_terrain")
éléments-cibles ("SPEGO2c" "DESGO3b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Ouvrages à démolir."
concepts-bâtiment ("ouvrage_a_demolir")
éléments-cibles ("SPEGO2d" "SPEGO2e2" "DESGO1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Voiles en tranchée blindée."
concepts-bâtiment ("voile_en_tranchee_blindee")
éléments-cibles ("SPEGO2g" "DESGO6b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Parois moulées."
concepts-bâtiment ("paroi_moulee")
éléments-cibles ("DESGO6c" "SPEGO2zac5" "SPEGO2i")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Parois berlinoises ou parisiennes."
concepts-bâtiment ("paroi_berlinoise")
éléments-cibles ("SPEGO2h" "DESGO6d")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Nappes phréatiques à rabattre."
concepts-bâtiment ("rabattement_de_nappe_phréatique")
éléments-cibles ("SPEGO2i1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Parois périphériques enterrées."
concepts-bâtiment ("voile_peripherique")
éléments-cibles ("SPEGO2r" "DESGO18" "SPEGO2h")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Voiles enterrés abritant des locaux nobles."
concepts-bâtiment ("local_noble" "voile_peripherique_enterre")
éléments-cibles ("DESGO17" "SPEGO2s")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Le projet comporte des canalisations enterrees."
concepts-bâtiment ("element_canalisation_enterre")
éléments-cibles ("SPEGO2t" "DESGO4" "SPEGO2v")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Vide sanitaire."
```

concepts-bâtiment ("plancher_sur_vide_sanitaire")
éléments-cibles ("DESGO9b" "SPEGO2wI1" "DESGO7b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Sous_sol "
concepts-bâtiment ("niveau_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO11" "DESGO13d" "DESGO14" "DESGO28cI1"
"DESGO29aI1" "DESGO29aP1" "DESGO29b" "DESGO31g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Caves."
concepts-bâtiment ("cave")
éléments-cibles ("DESGO27a" "DESGO5c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Parking interieur."
concepts-bâtiment ("parking_enterre")
éléments-cibles ("SPEGO2za" "DESGO5a" "DESGO6a" "DESGO13a" "DESGO13b"
"DESGO13c" "DESGO14c" "DESGO15")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Béton banché."
concepts-bâtiment ("beton_banche")
éléments-cibles ("DESGO19a" "DESGO19i" "DESGO28aI2" "DESGO28bI2"
"DESGO28dI2" "DOCREFIB1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Gaines de ventilation."
concepts-bâtiment ("gaine_de_ventilation")
éléments-cibles ("DESGO20d" "DESGO20e" "SPEGO2zav" "SPEGO2zaw"
"SPEGO2zax")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "joint de dilatation."
concepts-bâtiment ("joint_de_dilatation")
éléments-cibles ("SPEGO2zab3IJ1" "SPEGO2zai4IJ1" "SPEGO2zat14"
"SPEGO2zazf" "DESGO19aPJ1" "DESGO19b1P2" "DESGO19b2P1" "DESGO22d"
"DESGO28g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Canalisations noyées en radier et fosse hydrocarbure"
concepts-bâtiment ("element_canalisation_noye" "radier")
éléments-cibles ("DESGO4b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Canalisations sous dallage et fosse hydrocarbure"
concepts-bâtiment ("element_canalisation_enterre")
éléments-cibles ("DESGO4c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Dallage sur terre-plein, sol porteur "
concepts-bâtiment ("dalle_sur_terre_plein_sol_porteur")
éléments-cibles ("DESGO5d")

```
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Dallage sur terre_plein, sol non porteur "
concepts-bâtiment ("dalle_sur_terre_plein_sol_non_porteur")
éléments-cibles ("DESGO5c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Dallage béton des parkings"
concepts-bâtiment ("dalle_sur_terre_plein" "parking")
éléments-cibles ("DESGO5a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Murs maçonnés en périphérie de sous_sol"
concepts-bâtiment ("mur_maconne_porteur_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO6c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Maçonnerie enterrée en soubassement"
concepts-bâtiment ("mur_maconne_de_soutenement")
éléments-cibles ("DESGO7a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Longrines et voiles supports des planchers sur vides sanitaire"
concepts-bâtiment ("longrine" "voile_en_infrastructure" "plancher_sur_vide_sanitaire")
éléments-cibles ("DESGO7b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Voiles et poteaux B.A en sous_sol"
concepts-bâtiment ("niveau_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO8")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Plancher haut 1er sous_sol en dalle BA "
concepts-bâtiment ("niveau_en_infrastructure" "dalle")
éléments-cibles ("DESGO9a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Planchers sur vide sanitaire"
concepts-bâtiment ("plancher_sur_vide_sanitaire")
éléments-cibles ("DESGO9b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Escaliers interieurs dans la hauteur des sous_sols"
concepts-bâtiment ("escalier" "niveau_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO11")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Rampe intérieure"
concepts-bâtiment ("rampe_interieure")
éléments-cibles ("DESGO12")
end-of-object
```

```
#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Ventilations en infrastructure"
concepts-bâtiment ("niveau_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO13")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Gros_oeuvre dans les locaux techniques en sous_sol"
concepts-bâtiment ("niveau_en_infrastructure")
éléments-cibles ("DESGO14")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Cuvelage"
concepts-bâtiment ("cuvelage")
éléments-cibles ("DESGO16")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Revêtement d'étanchéité sur paroi extérieure des murs enterrés abritant des
locaux nobles"
concepts-bâtiment ("etancheite_paroi")
éléments-cibles ("DESGO17")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Drain extérieur contre parois périphériques"
concepts-bâtiment ("drain")
éléments-cibles ("DESGO18")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Façades et pignons en béton banché"
concepts-bâtiment ("voile_en_mur_facade")
éléments-cibles ("DESGO19a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Façades et pignons en maçonnerie"
concepts-bâtiment ("mur_maconne_porteur_en_facade")
éléments-cibles ("DESGO19b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Façades et pignons en maçonnerie avec isolation thermique par l'intérieur"
concepts-bâtiment ("mur_maconne_porteur_en_facade" "isolant_thermique")
éléments-cibles ("DESGO19b1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Façades en panneaux de béton architectonique"
concepts-bâtiment ("panneau_de_façade" "beton_architectonique")
éléments-cibles ("DESGO19c")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Corniches"
concepts-bâtiment ("corniche")
éléments-cibles ("DESGO19g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
```

libellé "Voiles intérieurs en béton banché"
concepts-bâtiment ("voile" "beton_banche")
éléments-cibles ("DESGO19i")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Nez de dalle des balcons"
concepts-bâtiment ("nez_de_dalle")
éléments-cibles ("DESGO19k")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Séparatifs d'appartements sur balcons"
concepts-bâtiment ("separatif_sur_balcon")
éléments-cibles ("DESGO19l")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Escaliers communs des logements (cage et édicule)"
concepts-bâtiment ("operation_de_logements")
éléments-cibles ("DESGO20a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Ascenseurs : Fosse, gaine, local machinerie, ventilation, édicule"
concepts-bâtiment ("ascenseur")
éléments-cibles ("DESGO20b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Collecte des ordures ménagères"
concepts-bâtiment ("operation_de_logements")
éléments-cibles ("SPEGO2zaz")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Gaine horizontale pour amenées d'air frais"
concepts-bâtiment ("gaine_de_ventilation")
éléments-cibles ("DESGO20d")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Gaines palières verticales : V.B. _ V.H."
concepts-bâtiment ("gaine_de_ventilation")
éléments-cibles ("DESGO20e")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Ouvrages verticaux pour désenfumage des escaliers dans la hauteur et hors des combles"
concepts-bâtiment ("systeme_de_desenfumage")
éléments-cibles ("DESGO20f")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Local transfo à rez_de_chaussée"
concepts-bâtiment ("local_technique_transformateur")
éléments-cibles ("DESGO20g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Conduits de fumée "

concepts-bâtiment ("systeme_de_desenfumage")
éléments-cibles ("DESGO20h")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Dalles flottantes"
concepts-bâtiment ("dalle_flottante")
éléments-cibles ("DESGO21a")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Formes de pente"
concepts-bâtiment "forme_de_pente"
éléments-cibles ("DESGO21b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'prédicat)
libellé "Traitement des joints de dilatation"
concepts-bâtiment ()
éléments-cibles ("DESGO22d")
end-of-object

ANNEXE E

Le fichier Relations du lot Gros-oeuvre

```
#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de démolition."
éléments-sources ("DESGO1")
éléments-cibles ("SPEGO2d")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de fouille en tranchée blindée."
éléments-sources ("DESGO2d")
éléments-cibles ("SPEGO2f6")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de terrassement des banquettes."
éléments-sources ("DESGO2e")
éléments-cibles ("SPEGO2f5" "SPEGO2ibPB1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de remblai importants."
éléments-sources ("DESGO2h" "DESGO2i")
éléments-cibles ("SPEGO2id")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de comblement, consolidation des carrières."
éléments-sources ("DESGO3a")
éléments-cibles ("SPEGO2b")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de consolidation du terrain par injection."
éléments-sources ("DESGO3b")
éléments-cibles ("SPEGO2")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Fondations superficielles (semelles)."
éléments-sources ("DESGO3h" "DESGO2gP1" "DESGO31nI1")
éléments-cibles ("DOCREFI2I4" "SPEGO2p")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Fondations superficielles (radier)"
éléments-sources ("DESGO3i" "DESGO31hP1")
éléments-cibles ("DOCREFI2I4" "SPEGO2u" "SPEGO2zab1I2" "SPEGO2zab3" "SPEGO2zab5I1"
"SPEGO2zab5P1" "SPEGO2n")
end-of-object


#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Fondations profondes (pieux)."
éléments-sources ("DESGO3c")
```

libellé "Canalisations enterrées."
éléments-sources ("DESGO4")
éléments-cibles ("SPEGO2lbIE1" "SPEGO2v" "SPEGO2vPE1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Tapis drainants."
éléments-sources ("DESGO4a")
éléments-cibles ("SPEGO2q" "DESGO3iPTD1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux relatifs aux dallages des parkings."
éléments-sources ("DESGO5a")
éléments-cibles ("SPEGO2za")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Travaux de dallage sur terre plein."
éléments-sources ("DESGO5d" "DESGO31e" "DESGO5e")
éléments-cibles ("SPEGO2z")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Voiles en tranchées blindées."
éléments-sources ("DESGO6b")
éléments-cibles ("SPEGO2g")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Parois moulées."
éléments-sources ("DESGO6c")
éléments-cibles ("SPEGO2i")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Parois berlinoises ou parisiennes."
éléments-sources ("DESGO6d")
éléments-cibles ("SPEGO2h")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Murs enterrés abritant des locaux nobles."
éléments-sources ("DESGO17")
éléments-cibles ("SPEGO2s")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Ascenseur "
éléments-sources ("DESGO20b")
éléments-cibles ("SPEGO2lbIA1" "SPEGO2za7" "SPEGO2zaza")
end-of-object

```
#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Dispositif de collecte des ordures menageres."
éléments-sources ("DESGO20c")
éléments-cibles ("SPEGO2zaz")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Gaines horizontales."
éléments-sources ("DESGO20d")
éléments-cibles ("SPEGO2zaw")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Gaines palières verticales."
éléments-sources ("DESGO20e")
éléments-cibles ("SPEGO2zax")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Ouvrages de désenfumage pour escaliers."
éléments-sources ("DESGO20f")
éléments-cibles ("SPEGO2zay")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Conduits de fumée."
éléments-sources ("DESGO20h")
éléments-cibles ("SPEGO2zav")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Dalles flottantes."
éléments-sources ("DESGO21a")
éléments-cibles ("SPEGO2zaze")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Traitement de joint de dilatation en façade."
éléments-sources ("DESGO28g")
éléments-cibles ("SPEGO2zazf")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Appui de baie."
éléments-sources ("DESGO21f")
éléments-cibles ("SPEGO2zak6")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
Libellé "Joint coupe-feu."
éléments-sources ("DESGO21g")
éléments-cibles ("SPEGO2zaze" "SPEGO2zazh7IJ1")
end-of-object
```

```
#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Bardage en dalle ARDAL."
éléments-sources ("DESGO25" "DESGO26a")
éléments-cibles ("SPEGO2zau")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Enduit traditionnel aux liants hydrauliques."
éléments-sources ("DESGO28a")
éléments-cibles ("SPEGO2zan")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Enduit d'imperméabilisation monocouche aux liants hydrauliques."
éléments-sources ("DESGO28b")
éléments-cibles ("SPEGO2zao")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Peinture en ravalement."
éléments-sources ("DESGO28c")
éléments-cibles ("SPEGO2zas")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Enduit de revêtement plastique."
éléments-sources ("DESGO28d")
éléments-cibles ("SPEGO2zap")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Revêtement mural extérieur collé."
éléments-sources ("DESGO28f")
éléments-cibles ("SPEGO2zaq")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Isolation thermique sous plancher."
éléments-sources ("DESGO29")
éléments-cibles ("SPEGO2zazb")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Isolation thermique sous plancher Fibrastyrène DB 150."
éléments-sources ("DESGO29a")
éléments-cibles ("SPEGO2zazb1")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Isolation thermique sous plancher laine de roche type ROCKWOOL ou EUROCOUSTIC 580."
éléments-sources ("DESGO29b")
éléments-cibles ("SPEGO2zazb2")
end-of-object
```

```
#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Isolation thermique sous plancher en matelas de fibre minérale projetée "
éléments-sources ("DESG029e")
éléments-cibles ("SPEG02zazb4")
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'relation)
type "VV FF"
libellé "Dallage sur terre plein."
éléments-sources ("DESG031e")
éléments-cibles ("SPEG02y")
end-of-object
```

ANNEXE F

Le fichier Variables du lot Gros-oeuvre

```
# (xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"HYPGO2V1"
contenant "HYPGO2"
libellé "Valeur de la charge d'exploitation."
concept-bâtiment ("charge_d_exploitation")
attribut-bâtiment ("valeur")
valeurs-possibles (50,100,150,200,250,300,350,400,450,500,550,600,650,700)
valeur-par-défaut (250)
question "Entrer la valeur de la charge d'exploitation."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO1V1"
contenant "HYPGO1"
libellé "Classement du chantier."
concept-bâtiment ("projet_de_construction")
attribut-bâtiment ("classement_de_chantier")
valeurs-possibles ("A","B","C")
valeur-par-défaut ()
question "Entrer le classement du chantier."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"HYPGO3V1"
contenant "HYPGO3"
libellé "Nom de l'organisme ayant établi le rapport géotechnique."
concept-bâtiment ("laboratoire_geotechnique")
attribut-bâtiment ("nom")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer le nom de l'organisme ayant établi le rapport géotechnique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO4V1"
contenant "HYPGO4"
libellé "Classement en infrastructure du bâtiment."
concept-bâtiment ("infrastructure")
attribut-bâtiment ("classement_en_infrastructure")
valeurs-possibles ("CF-1H","CF-2H","CF-3H","CF-4H")
valeur-par-défaut ()
question "Quel est le classement en infrastructure du bâtiment."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO4V2"
contenant "HYPGO4V1"
libellé "Classement en superstructure du bâtiment."
concept-bâtiment ("superstructure")
attribut-bâtiment ("classement_en_superstructure")
valeurs-possibles ("CF-1H","CF-2H","CF-3H","CF-4H")
valeur-par-défaut ()
question "Quel est le classement en superstructure du bâtiment."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"HYPGO5V1"
contenant "HYPGO5"
libellé "Appartenance à une region vis a vis du vent."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("classement_region_vent")
valeurs-possibles (1,2,3)
```

```
valeur-par-défaut (1)
question "Entrer la region 'vent' du site."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6VV2"
contenant "HYPGO5"
libellé "Appartenance à un site vis a vis du vent."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("classement_site_vent")
valeurs-possibles ("Normal","Expose")
valeur-par-défaut ("Normal")
question "Entrer le classement site relatif au vent."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6V1"
contenant "HYPGO7"
libellé "Zone sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("zone_sismique")
valeurs-possibles (1,2,3)
valeur-par-défaut (1)
question "Entrer la zone sismique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO6V2"
contenant "HYPGO7"
libellé "Groupe sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("groupe_sismique")
valeurs-possibles (1,2,3)
valeur-par-défaut (1)
question "Entrer le groupe sismique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO8YYV1"
contenant "HYPGO8"
libellé "Hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions exeptionnelles."
concept-bâtiment ("systeme_plomberie")
attribut-bâtiment ("sous_pression_de_l_eau_dans_les_conditions_exeptuonnelles")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer les hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions
exeptionnelles."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO8YYV2"
contenant "HYPGO8"
libellé "Hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions de hautes eaux ."
concept-bâtiment ("systeme_plomberie")
attribut-bâtiment ("sous_pression_de_l_eau_dans_les_conditions_de_hautes_eaux")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer les hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions de hautes
eaux ."
end-of-object
```

```
#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO8YYV3"
contenant "HYPGO8"
libellé "Hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions de basses eaux ."
concept-bâtiment ("systeme_plomberie")
attribut-bâtiment ("sous_pression_de_l_eau_dans_les_conditions_de_basses_eaux")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer les hypotheses de calcul pour la sous pression de l'eau dans les conditions de basses
eaux ."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"HYPGO9V1"
contenant "HYPGO9"
libellé "Hypothese relative a l'intensite nominale du seisme."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("intensite_nominale_sismique")
valeurs-possibles (7)
valeur-par-défaut ()
question "Entrer l'hypothese relative a l'intensite nominale du seisme "
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO9V2"
contenant "HYPGO9"
libellé "Hypothese relative au coefficient alpha du calcul sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("alpha_sismique")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer l'hypothese relative au coefficient alpha du calcul sismique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "HYPGO9V3"
contenant "HYPGO9"
libellé "Hypothese relative au coefficient delta du calcul sismique."
concept-bâtiment ("site")
attribut-bâtiment ("delta_sismique")
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer l'hypothese relative au coefficient delta du calcul sismique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO5aV1"
contenant "DESGO5a"
libellé "Position du dallage des parkings."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan"
question "Entrer la position du dallage des parkings."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO5bbV1"
contenant "DESGO5b"
libellé "Position du dallage type chaussée souple."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
```

valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan"
question "Entrer la position du dallage type chaussée souple."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO5bV1"
contenant "DESGO5c"
libellé "Position du dallage béton des caves et leurs circulations."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan"
question "Entrer la position du dallage béton des caves et leurs circulations."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO5dV1"
contenant "DESGO5d"
libellé "Position du dallage des logements sur terre-plein, sol porteur."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan"
question "Entrer la position du dallage des logements sur terre-plein, sol porteur."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO5eV1"
contenant "DESGO5e"
libellé "Position du dallage des logements sur terre-plein, sol non porteur."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan"
question "Entrer la position du dallage logements sur terre-plein,sol non porteur."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6aV1"
contenant "DESGO6a"
libellé "Position des voiles périphériques des parkings coffrés deux faces."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des voiles périphériques des parkings coffrés deux faces."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6bV1"
contenant "DESGO6b"
libellé "Position des voiles en tranchée blindée."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des voiles en tranchée blindée."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6cV1"

contenant "DESGO6c"
libellé "Position des parois moulées."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des parois moulées."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6cV2"
contenant "DESGO6c"
libellé "Niveau d'assise de la paroi moulée."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer le niveau d'assise de la paroi."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6dV1"
contenant "DESGO6d"
libellé "Position des parois berlinoises ou parisiennes."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des parois berlinoises ou parisiennes."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6dV2"
contenant "DESGO6d"
libellé "Niveau d'assise de la paroi berlinoise ou parisienne."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Entrer le niveau d'assise de la paroi."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO6eV1"
contenant "DESGO6e"
libellé "Position des murs maçonnés en périphérie de sous-sol."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des murs maçonnés en périphérie de sous-sol."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO8V1"
contenant "DESGO8"
libellé "Position des voiles et poteaux ba en sous-sol."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des voiles et poteaux ba en sous-sol."

```
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO9aV1"
contenant "DESGO9a"
libellé "Position du plancher haut 1er sous-sol en dalle BA."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du plancher haut 1er sous-sol en dalle BA."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO9bV1"
contenant "DESGO9b"
libellé "Position du plancher sur vide sanitaire."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du plancher sur vide sanitaire."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO10V1"
contenant "DESGO10"
libellé "Position du plancher intermediaire en sous sol."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du plancher intermediaire en sous sol."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO14aV1"
contenant "DESGO14a"
libellé "Position du poste EDF."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du poste EDF."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO14bV1"
contenant "DESGO14b"
libellé "Nombre de locaux compteur d'eau."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut ()
question "Enter le nombre de locaux compteur d'eau."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO16V1"
contenant "DESGO16"
libellé "Position du cuvelage."
concept-bâtiment ()
```

attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du cuvelage "
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO17V1"
contenant "DESGO17"
libellé "Position du revêtement d'étanchéité sur paroi extérieure des murs enterres abritant des locaux nobles."
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du revêtement d'étanchéité sur paroi extérieure des murs enterres abritant des locaux nobles."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO18V1"
contenant "DESGO18"
libellé "Position du drain extérieur contre parois périphériques."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du drain extérieur contre parois périphériques."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO19cV1"
contenant "DESGO19c"
libellé "Position des façades en panneaux de béton architectonique."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des façades en panneaux de béton architectonique."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO20gV1"
contenant "DESGO20g"
libellé "Position du local transfo à rez-de-chaussée."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du local transfo à rez-de-chaussée."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO21a1"
contenant "DESGO21a"
libellé "Position des dalles flottantes."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des dalles flottantes."
end-of-object

```
#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO21b1"
contenant "DESGO21b"
libellé "Position de la Forme de pente."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position de la forme de pente."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO21cV1"
contenant "DESGO21c"
libellé "Position de la chape hydrofuge."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position de la chape hydrofuge."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO21hV1"
contenant "DESGO21i"
libellé "Position des appuis."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Enter la position des appuis."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO24V1"
contenant "DESGO24"
libellé "Position des facades isolees par panneaux isolants."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Enter la position des facades isolees par panneaux isolants."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO26aV1"
contenant "DESGO26a"
libellé "Position du bardage en dalle ardal tpr."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du bardage en dalle ardal tpr."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO26bV1"
contenant "DESGO26b"
libellé "Position du revetement de facade eterplan +rpe."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
```

valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position du revetement de facade etenplan +rpe."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO26dV1"
contenant "DESGO26d1"
libellé "Localisation des facades revetues de plaques de pierre.
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des facades revetues de plaques de pierre."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO27aV1"
contenant "DESGO27a"
libellé "Position des cloisons en separation de caves."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des cloisons en separation de caves."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO27eV1"
contenant "DESGO27e"
libellé "Position des obturations des commerces "
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des obturations des commerces "
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO28aV1"
contenant "DESGO28a"
libellé "Position des enduit traditionnel aux liants hydrauliques."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des enduit traditionnel aux liants hydrauliques."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO28bV1"
contenant "DESGO28b"
libellé "Position des enduit d'imperméabilisation (Monocouche aux liants hydrauliques)."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des enduits d'imperméabilisation (Monocouche aux liants hydrauliques)."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO28dV1"
contenant "DESGO28d"

libellé "Position de l'enduit de revêtement plastique épais (RPE) aux hauts organiques."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des enduits de revêtement plastique épais (RPE) aux hauts organiques."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO28eV1"
contenant "DESGO28e"
libellé "Position des Enduit plastique granité."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des enduit plastique granité."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO28gV1"
contenant "DESGO28f"
libellé "Position des revêtements muraux extérieurs collés."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des revêtements muraux extérieurs collés."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO29cV1"
contenant "DESGO29c"
libellé "Matelas de fibre minérale projetée."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des matelas de fibre minérale projetée."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO30bV1"
contenant "DESGO30b"
libellé "Duree de la protection au feu par enduit projeté à base de plâtre et perlite ou vermiculite."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la durée de la protection au feu par enduit projeté à base de plâtre et perlite ou vermiculite."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO30bV2"
contenant "DESGO30b"
libellé "Position de la protection au feu par enduit projeté à base de plâtre et perlite ou vermiculite."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."

question "Entrer la position de la protection au feu par enduit projete a base de platre de perlite ou vermiculite."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO30cV1"
contenant "DESGO30c"
libellé "Position de la protection au feu de structure métal."
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position de la protection au feu de structure metallique "
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31aV1"
contenant "DESGO31a"
libellé "Position de Formes de pentes."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des formes de pente."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31dV1"
contenant "DESGO31d"
libellé "Position des Escaliers extérieurs."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des escaliers exterieurs."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31fV1"
contenant "DESGO31f"
libellé "Position Mur de soutènement."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des murs de soutènement."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31gV1"
contenant "DESGO31g"
libellé "Position de la dalle de transition."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position de la dalle de transition."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31i1a"
contenant "DESGO31i1"
libellé "Position des regards existants."
concept-bâtiment ()

attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des regards existants."
end-of-object

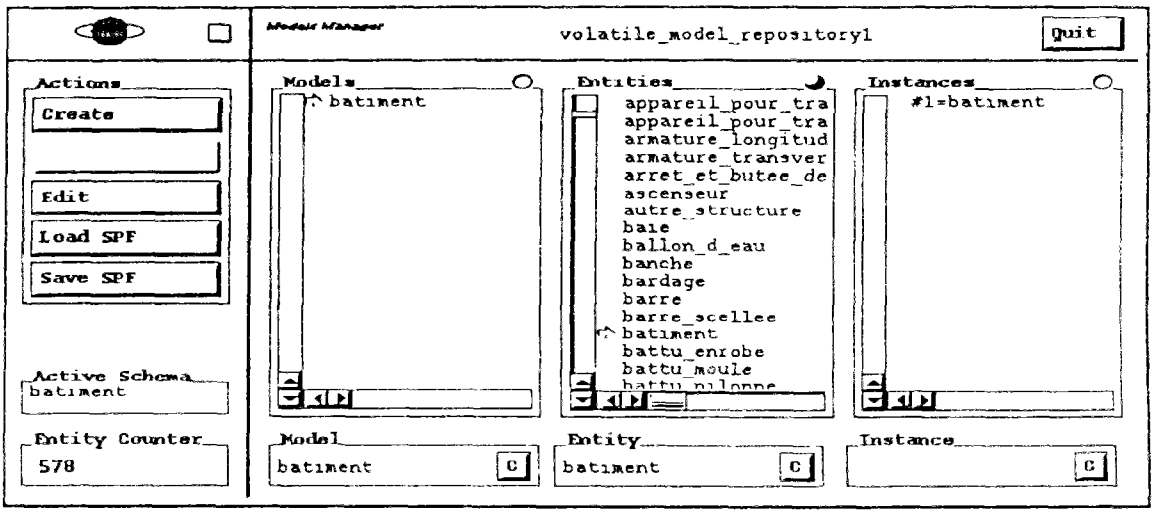
#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant"DESGO31i2V1"
contenant "DESGO31i2"
libellé "Position des regards à créer."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des regards."
end-of-object

#.(xp-create-concrete-object 'élément-variable)
identifiant "DESGO31nV1"
contenant "DESGO31n"
libellé "Position des jardinières."
concept-bâtiment ()
attribut-bâtiment ()
valeurs-possibles ()
valeur-par-défaut "Selon plan."
question "Entrer la position des jardinières."
end-of-object

ANNEXE G

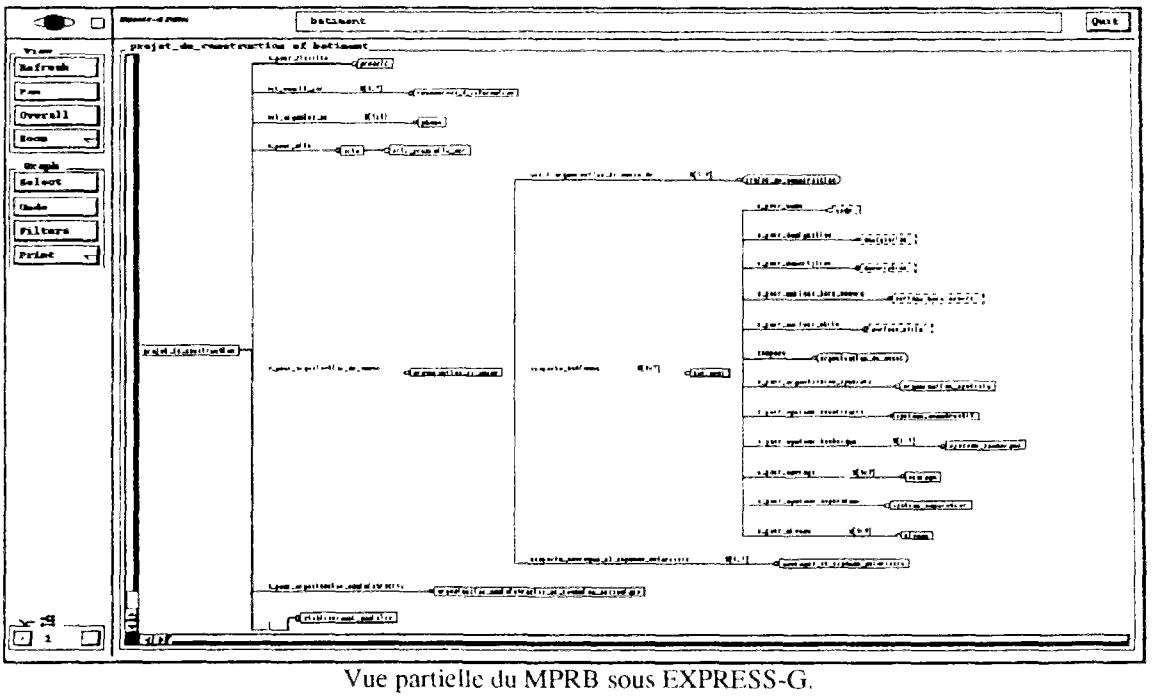
Présentation de l'outil DOCSET de la plate-forme XPDI implémentant l'approche présentée dans cette thèse.

Le Modèle de Référence Projet du Bâtiment présenté succinctement dans le chapitre 3 a été saisi sous l'outil XP-NIAM de la plateforme XPDI. L'expression du projet de bâtiment décrit dans le fichier ISO NF dans l'annexe C, en une forme interprétable par l'ordinateur, s'est faite par l'instanciation du schéma EXPRESS (généré à partir de XP-NIAM) via le XP-SDAI manager. Le schéma et le modèle associé sont stockés de manière persistente dans la base de données O2. Il est important de préciser que compte tenu de la nature descriptive du document CCTP le nombre d'occurrences d'un ouvrage importe peu. Le panneau ci-dessous issu du XP-SDAI présente les entités du modèle "bâtiment" associé au schéma EXPRESS du MRPB ainsi que les instances correspondant au projet mis en oeuvre.



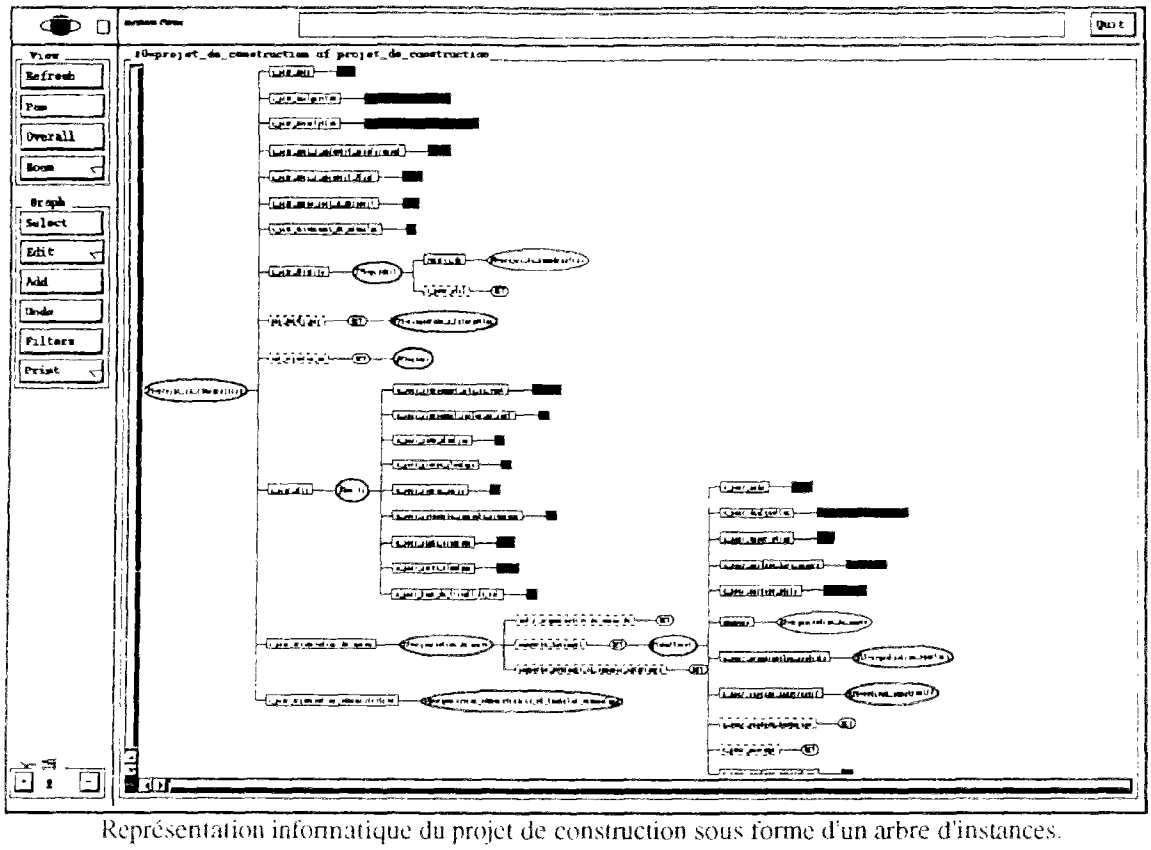
Le gestionnaire de modèles SDAI.

Le panneau ci-dessous présente une vue partielle du MRPB sous le formalisme ESPRESS-G.



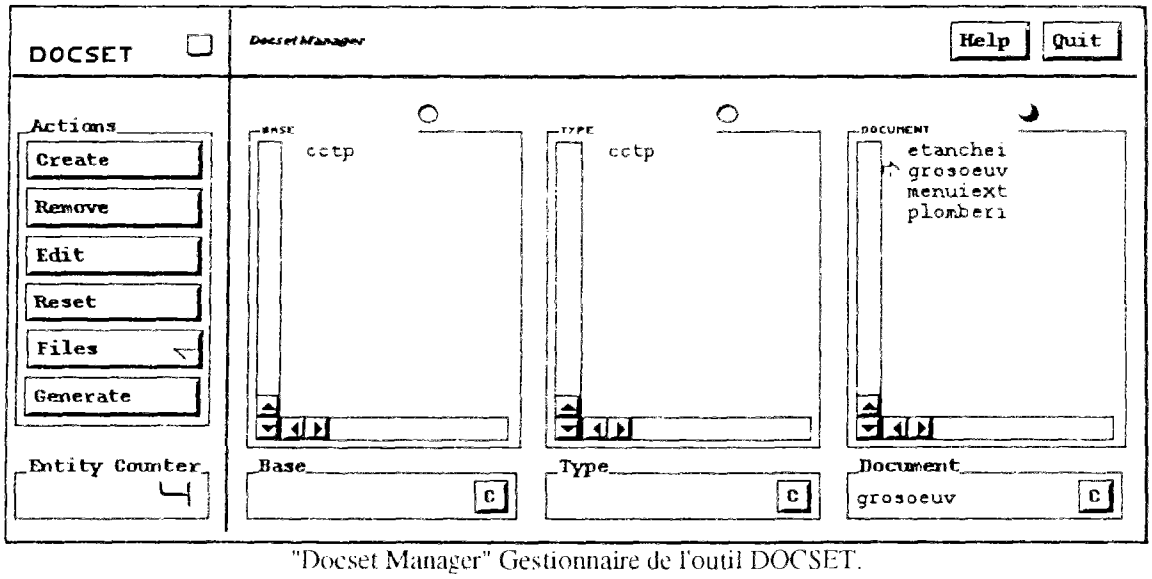
Vue partielle du MPRB sous EXPRESS-G.

Le XP-SDAI permet une construction de l'arbre des instances conformément au schéma utilisé comme l'indique le panneau ci-dessous.



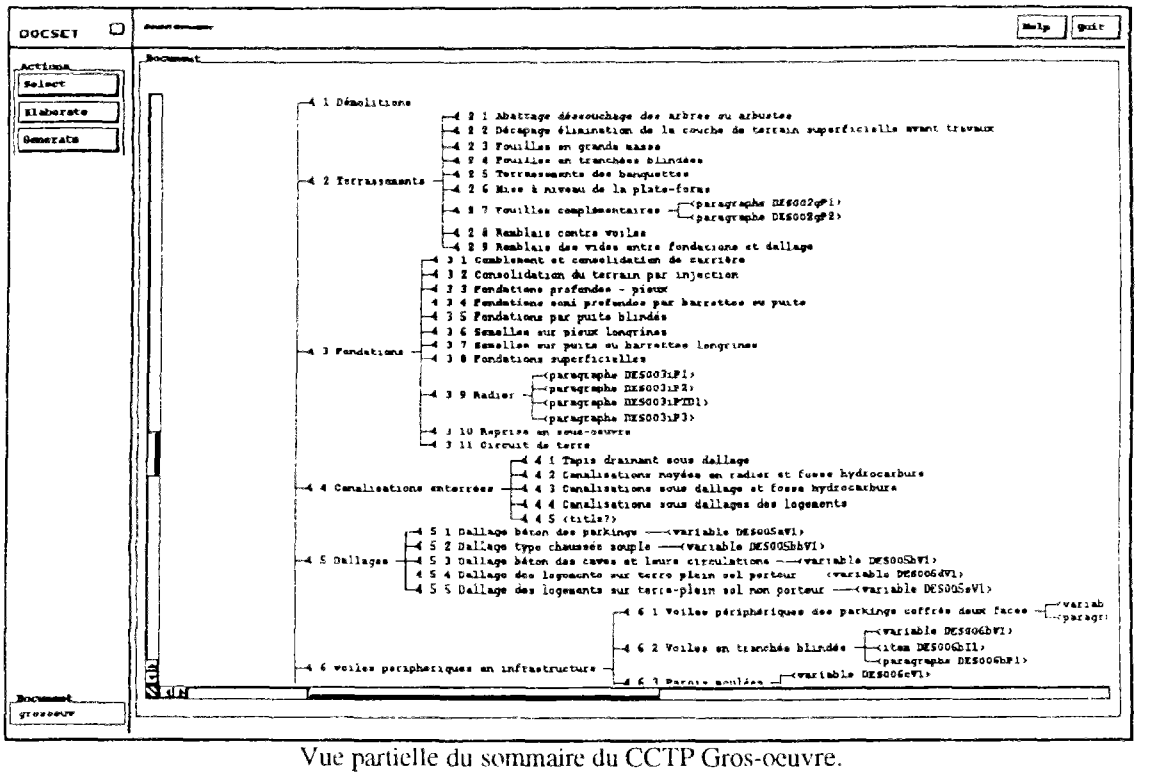
Représentation informatique du projet de construction sous forme d'un arbre d'instances.

Le prototype mettant en oeuvre l'approche présentée dans cette thèse consiste en une extension de l'outil DOCSET. Comme il a été énoncé précédemment tout document appartient à une classe dont il constitue une instance. Cette classe identifie un type précis de document. Les documents instances sont eux mêmes rattachés à une base documentaire comme l'illustre le panneau ci-dessous.



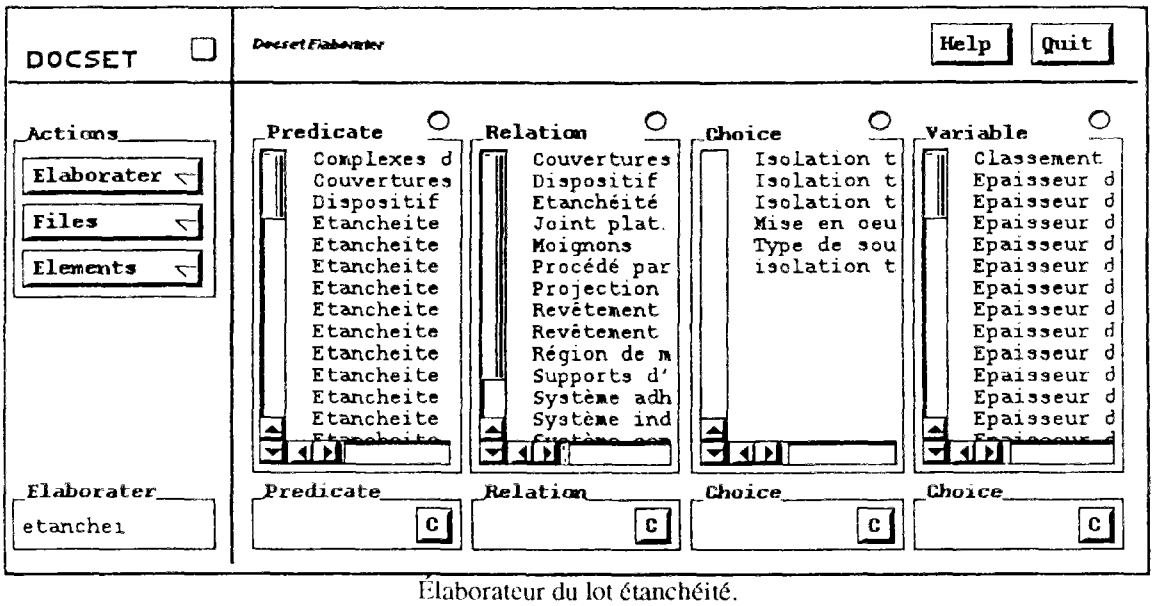
"Docset Manager" Gestionnaire de l'outil DOCSET.

Docset permet d'abord d'éditer le sommaire d'un document de référence sous une forme arborescente. Cette fonction permet d'avoir une vision globale et exhaustive du contenu ainsi que de la structure logique du document. Le panneau ci-dessous présente une sous partie du chapitre Description des Ouvrages du lot gros-oeuvre.



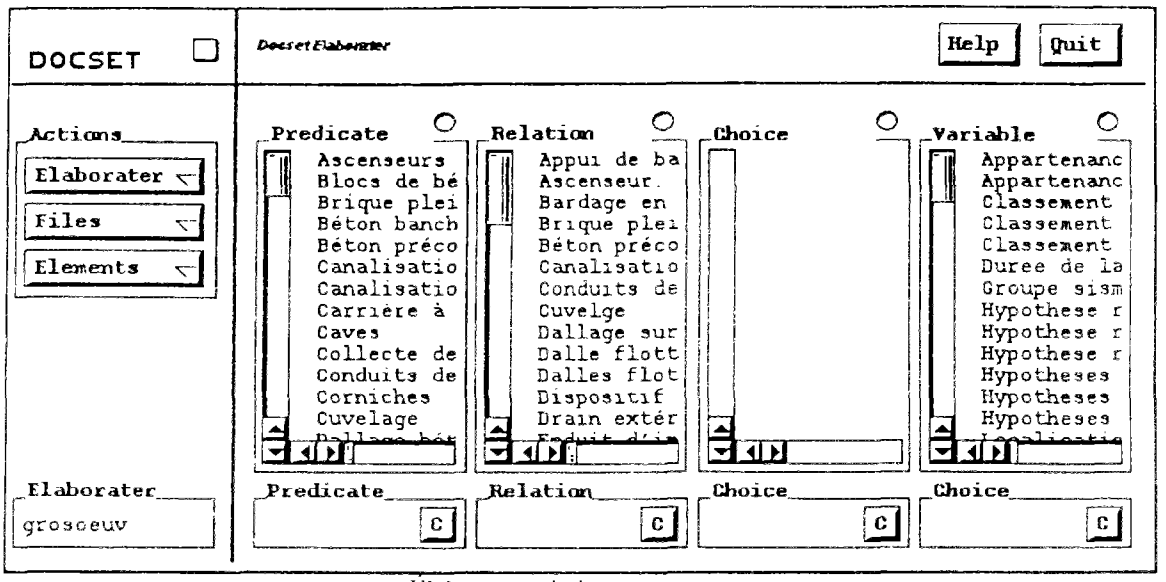
Vue partielle du sommaire du CCTP Gros-oeuvre.

L'utilisateur a ensuite la possibilité de consulter ou d'élaborer la base de connaissance du document actif. Cette base de connaissance est structurée en quatre niveaux distincts correspondant chacun à un niveau de détail et de finesse dans l'analyse du document cf. chapitre 5. Le panneau correspondant à la mise en place de la base de connaissance est appelé Élaborateur. Le panneau ci-dessous correspond au lot étanchéité.



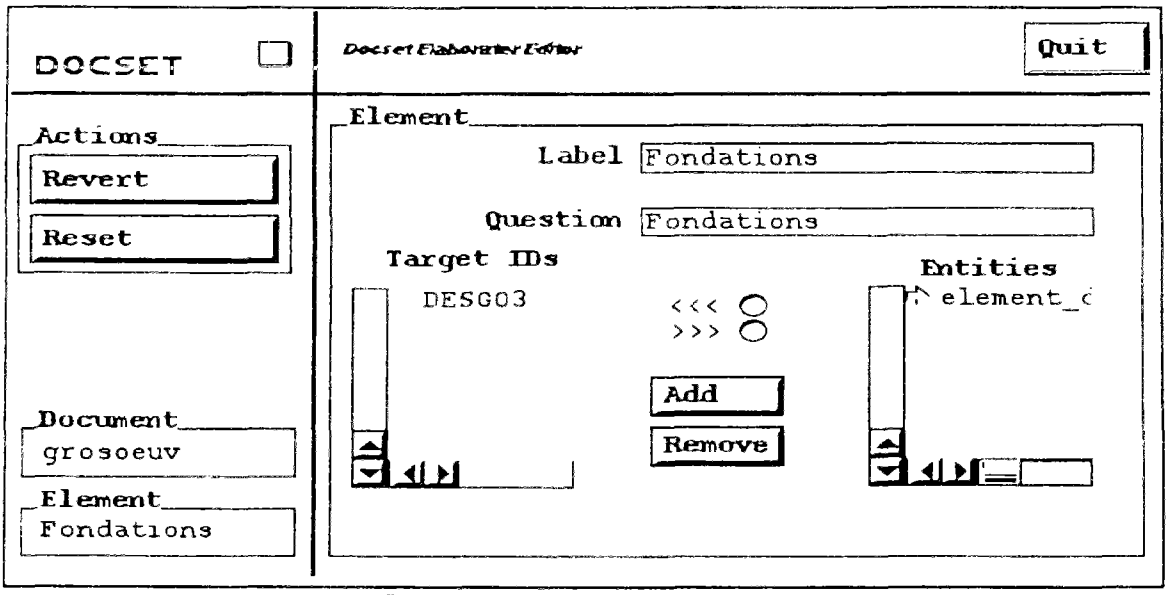
Élaborateur du lot étanchéité.

Nous avons envisagé deux scénarios possibles de génération du CCTP projet à partir de la base de connaissance. Le premier scénario consiste en une génération automatique via les instances d'un modèle de données du bâtiment, en l'occurrence le MPRB. Le principe est simple, il consiste à vérifier pour chaque prédicat si le concept du bâtiment supportant la description d'un élément documentaire de la division Description des Ouvrages a été instancié. Si la vérification se révèle positive l'élément documentaire est conservé, dans le contraire la suppression de l'élément ainsi que de tous ses fils s'impose.



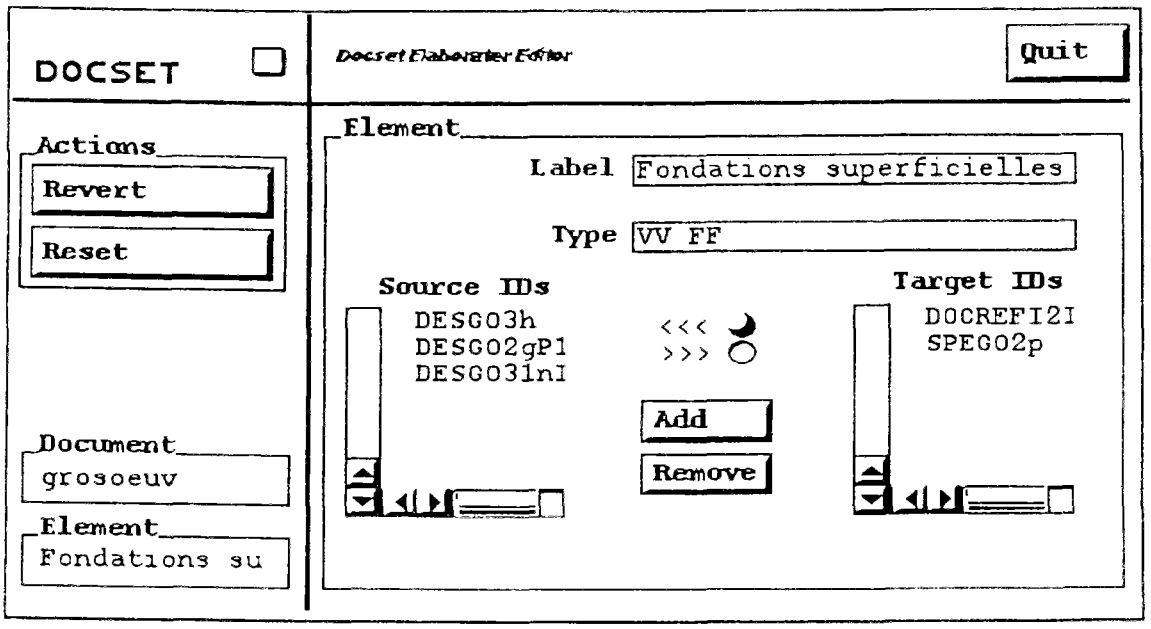
Elaborateur du lot gros-oeuvre.

Le panneau ci-dessous présente la structure d'un prédicat. Le champs "Target IDs" comporte les éléments du chapitre Description des Ouvrages, décrits par leur identifiant, à la base du prédicat. Le champs "Entities" comporte les entités du modèle de données du bâtiment supportant la description des éléments sélectionnés dans le "Target IDs".



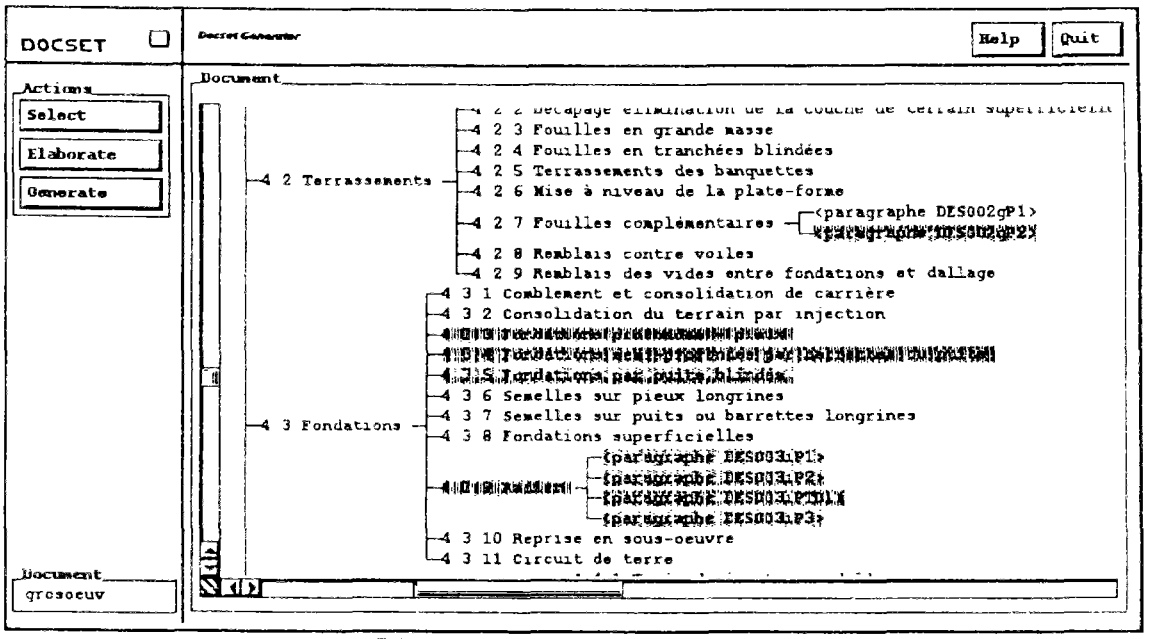
Panneau d'élaboration d'un prédicat.

Une fois les prédicats évalués, l'élaborateur permet l'activation des relations qui gèrent la propagations des suppressions opérées via les prédicats. Les relations prennent source depuis la chapitre Description des ouvrages matérialisé par le champs "Source IDs" vers le reste du document "Target IDs". Le "Type" indique la portée de la relation, il s'appuie sur les quatre tables de vérité.



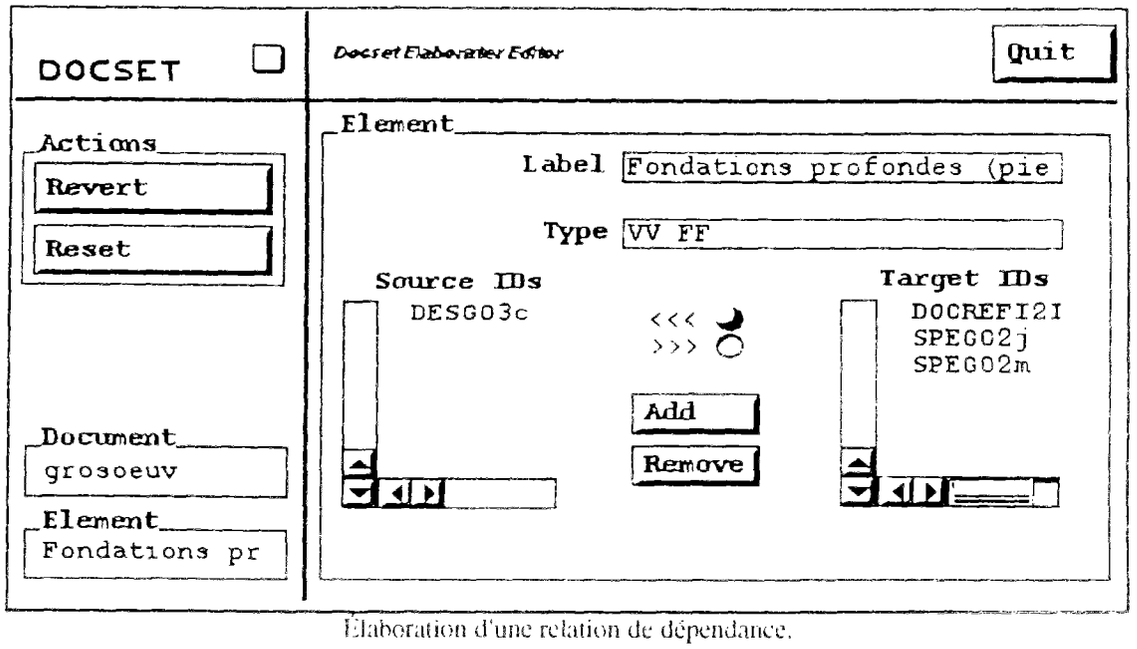
Panneau d'élaboration d'une relation.

Le panneau ci-dessous illustre le cas où le projet ne comporte ni fondation profonde ni fondation semi-profonde. Nous rappelons que cette évaluation peut se faire soit manuellement (par activation du prédicat concerné où par déselection des noeuds de l'arbre du document), soit automatiquement au travers des instances du MPRB. L'état de suppression se traduit par une représentation biffée du noeud concerné.



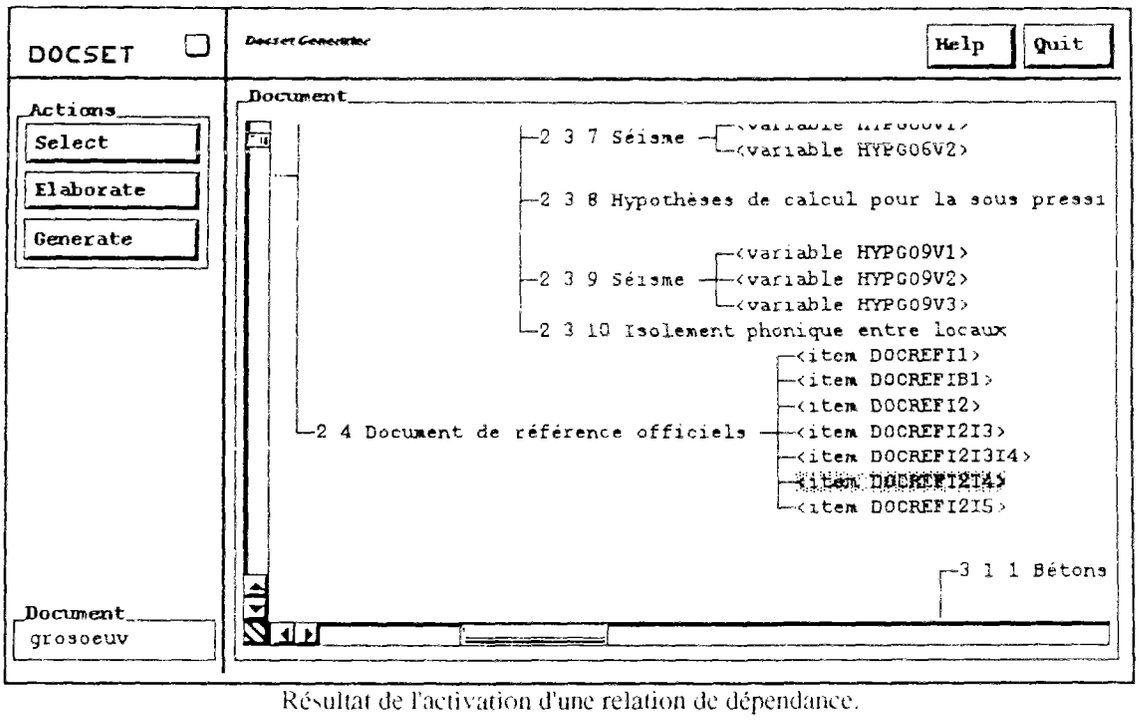
Résultat de l'activation d'un prédicat.

L'absence de fondations profondes décrites par la division "DESGO3c" entraine, via les relations, la suppression des divisions "DOCREFI2I", "SPEGO2j" et "SPEGO2m" comme l'indique le panneau ci-dessous.



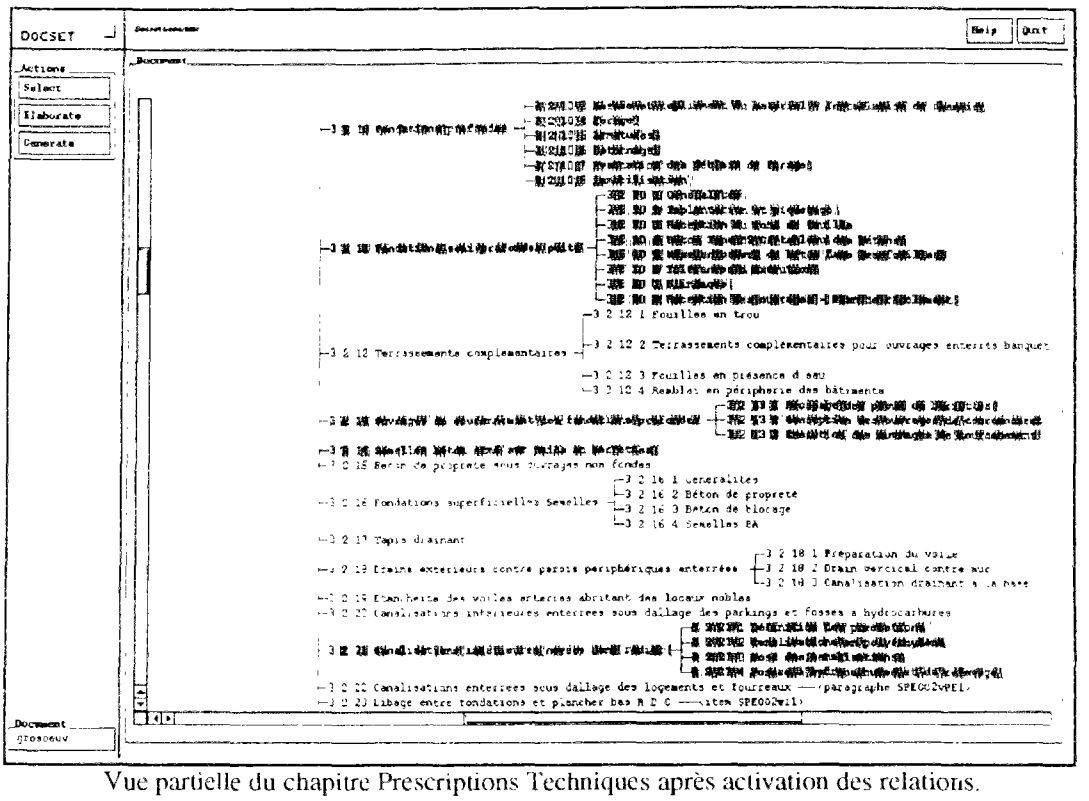
Élaboration d'une relation de dépendance.

La déselection des divisions "DOCREFI2I", "SPEGO2j" et "SPEGO2m" se fait de façon interactive et entraine la déselection de l'ensemble du sous-arbre défini par ce noeud. De même que la sélection d'un noeud entraîne la sélection récursive de ses pères jusqu'à la racine de l'arbre.



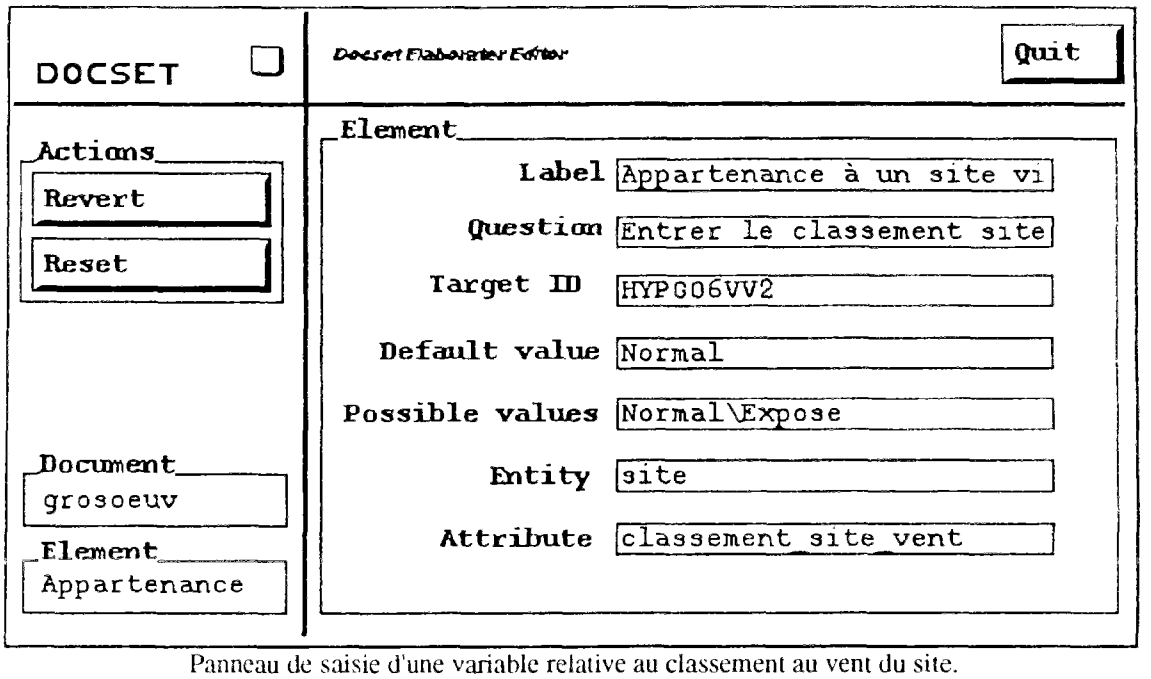
Résultat de l'activation d'une relation de dépendance.

Ainsi, le panneau ci-dessous présentant une vue partielle du chapitre Prescriptions techniques indique le résultat de la propagation induite par une double absence de fondations profondes et de fondations semi-profondes dans le projet.



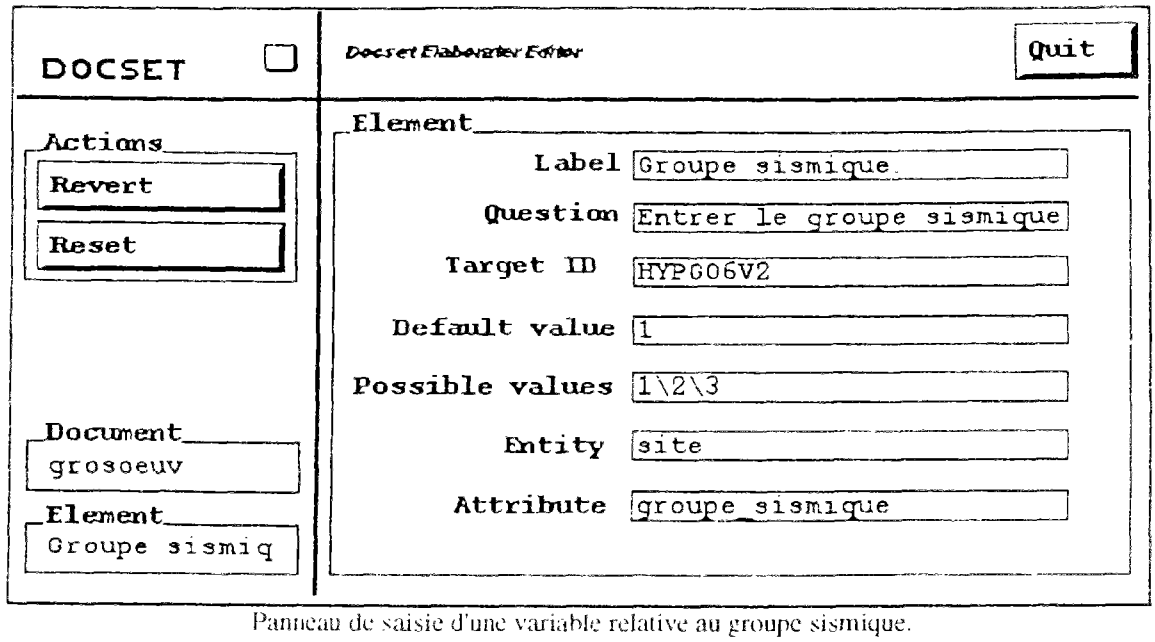
Vue partielle du chapitre Prescriptions Techniques après activation des relations.

Une fois le document évalué, seules les divisions non-biffées sont conservées. L'utilisateur procède alors au renseignement des variables et des choix multiples du projet.



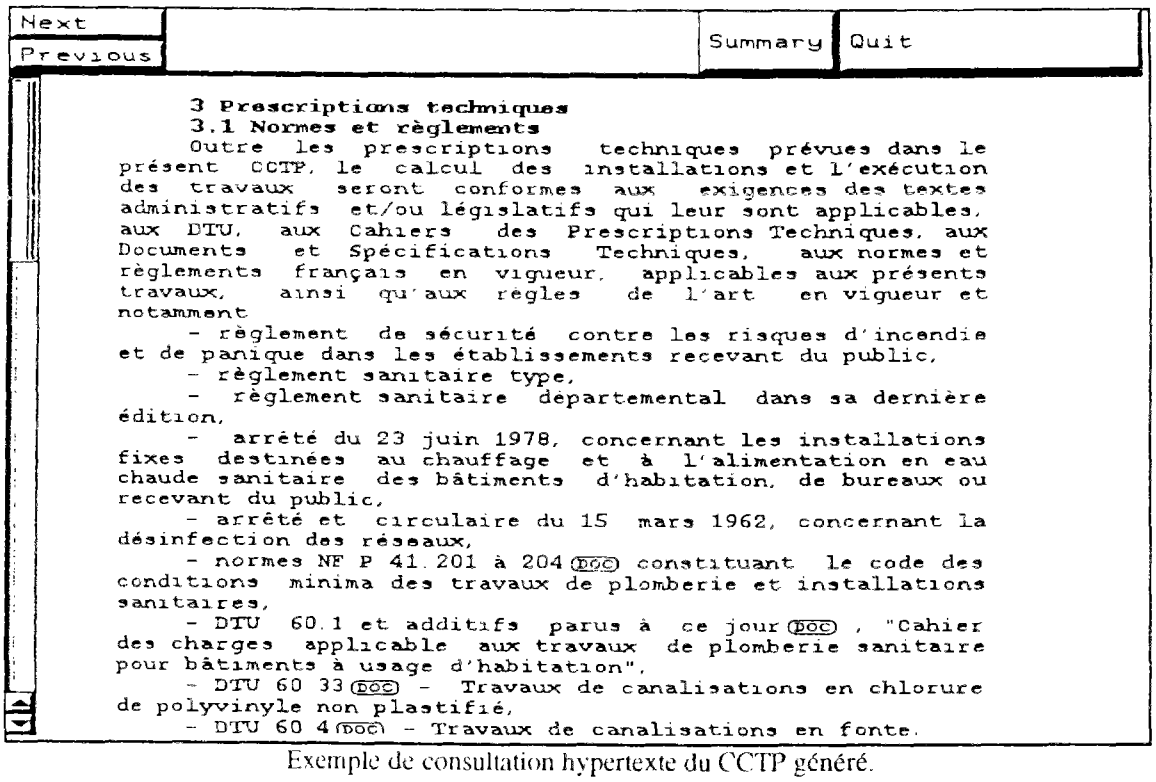
Panneau de saisie d'une variable relative au classement au vent du site.

De même que pour les prédicats, le renseignement des variables peut se dérouler de façon automatique en indiquant le concept du MPRB ainsi que l'attribut concerné.



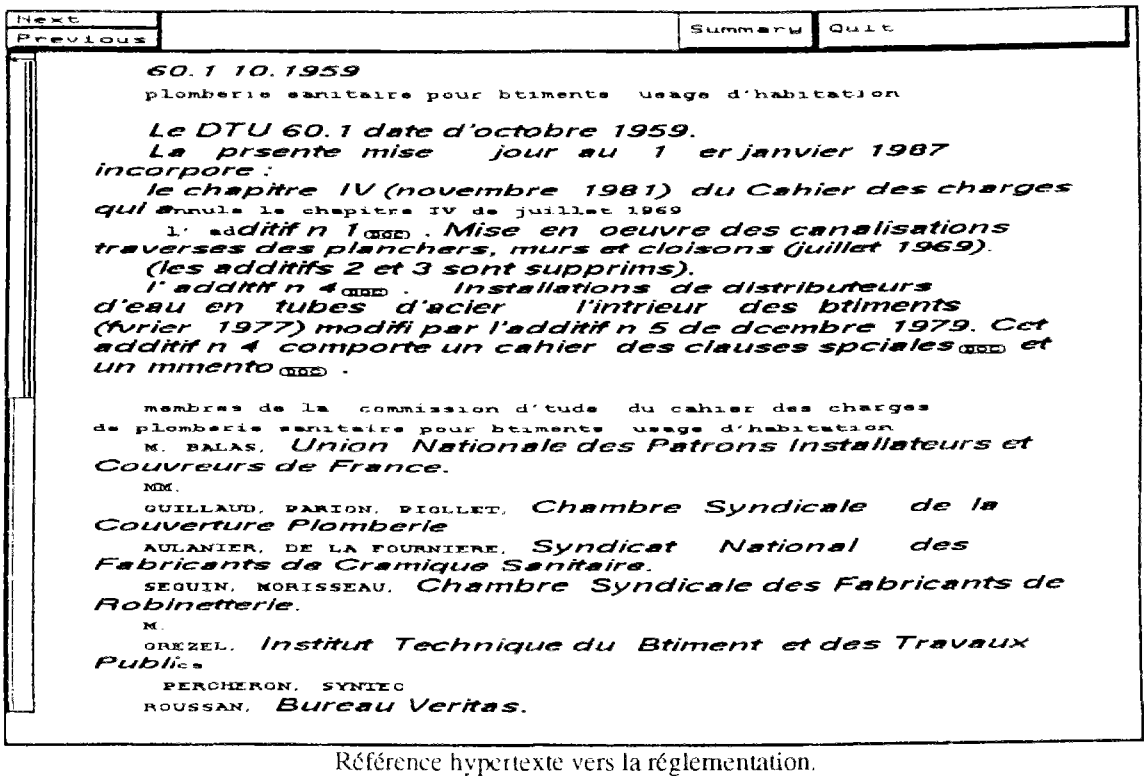
Panneau de saisie d'une variable relative au groupe sismique.

Une fois l'élaboration terminée l'utilisateur peut générer le document projet sous le format désiré (SGML, RTF, Hypertexte, etc.). Le document créé peut ensuite être parcouru en accédant au document à partir du sommaire ou en utilisant les références hypertextes éventuelles renvoyant le lecteur d'une division à une autre au sein du document, au sein d'un autre document projet ou vers un document du corpus technico-réglementaire. Un exemple d'accès au document projet est présenté ci-dessous.



Exemple de consultation hypertexte du CCTP généré.

La mise en oeuvre d'un lien hypertexte vers le corpus technico-règlementaire FARTEC est proposée en figure S8-7.



Référence hypertexte vers la réglementation.