



HAL
open science

Une approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée : Contribution à l'interopérabilité des acteurs du bâtiment en conception avancée

Hamza Oumeziane

► To cite this version:

Hamza Oumeziane. Une approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée : Contribution à l'interopérabilité des acteurs du bâtiment en conception avancée. Sciences de l'ingénieur [physics]. Ecole Centrale Paris, 2005. Français. NNT : . tel-00275275

HAL Id: tel-00275275

<https://theses.hal.science/tel-00275275>

Submitted on 23 Apr 2008

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.



**ÉCOLE CENTRALE DES ARTS
ET MANUFACTURES
« ÉCOLE CENTRALE PARIS »**

THÈSE
présentée par

Hamza OUMEZIANE

pour l'obtention du

GRADE DE DOCTEUR

Spécialité : Génie industriel

Laboratoire d'accueil : Laboratoire Génie Industriel - LGI

**Approche systémique pour une ingénierie du bâtiment intégrée.
Contribution à l'interopérabilité d'acteurs en conception avancée**

soutenue le 5 juillet 2005

devant un jury composé de :

**Jean-Jacques Terrin
Daniel Brun-Picard
Hugues Wilquin
Hafid Rakem
Jean-Claude Bocquet
Philippe Deshayes**

**Président
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Directeur de thèse
Co-Directeur de thèse**

2005 - 20

A mes parents...

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu Jean-Claude Bocquet et Philippe Deshayes qui ont encadré cette thèse. Leurs conseils et idées, tant sur le plan méthodologique que scientifique, ont profondément inspiré et nourri ma réflexion au cours de mes travaux. Il m'est difficile d'imaginer que cette thèse aurait pu être menée à bien sans leur direction bienveillante.

Je voudrais remercier encore une fois le professeur Jean Claude Bocquet, en sa qualité cette fois de Directeur du Laboratoire Génie Industriel à l'Ecole Centrale Paris, de m'avoir accueilli dans son équipe de recherche.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude à Jean-Pierre Bourey professeur à l'Ecole Centrale Lille pour ses précieuses recommandations en UML.

J'adresse mes vifs remerciements aux rapporteurs de ce mémoire, Daniel Brun-Picard et Hugues Wilquin pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Merci également à Jean-Jacques Terrin et Hafid Rakem pour avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Je remercie la famille du Laboratoire Génie Industriel pour son accueil chaleureux. En particulier, Akram, Sylvie, Anne, Corinne, Anne Jubert, Zied, Ali, Walid, Selma, Yacine, Nabil, Aurélie et les autres.

Maman, merci d'avoir traversé avec moi ces trois années et de m'avoir accompagné et soutenu jusqu'à la fin de cette thèse. Je remercie aussi toute ma famille, mon frère Mohamed, et tous mes amis, Aniss, Khaled, Smaïl et Lamine.

Table des matières

| | |
|----------------------------------------------------|-----------|
| Table des matières | 1 |
| Liste des figures | 8 |
| Introduction générale | 13 |
| Guide de lecture | 15 |
| Cadre de recherche | 16 |
| Partie I : Présentation de la problématique | 18 |
| <i>Présentation de la partie I.....</i> | <i>18</i> |
| Chapitre 1 Contexte | 19 |
| <i>Introduction.....</i> | <i>19</i> |
| 1.1. Contexte historique | 21 |
| 1.2. Contexte méthodologique | 28 |
| 1.3. Contexte technologique..... | 30 |
| <i>Synthèse</i> | <i>30</i> |

| | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Chapitre 2 | Construction de la problématique | 31 |
| | <i>Introduction</i> | 31 |
| 2.1. | Problématique relative au cycle de vie du bâtiment..... | 32 |
| 2.2. | Problématique relative aux méthodologies de conception collaborative | 32 |
| 2.3. | Problématique relative aux Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication | 32 |
| | <i>Synthèse</i> | 33 |
| Chapitre 3 | Positionnement scientifique | 34 |
| | <i>Introduction</i> | 34 |
| 3.1. | Positionnement méthodologique..... | 34 |
| 3.2. | Positionnement par rapport à l'ingénierie de production..... | 35 |
| 3.3. | Positionnement par rapport aux méthodologies de conception coopérative | 36 |
| 3.4. | Positionnement par rapport à la modélisation conceptuelle formelle | 36 |
| | <i>Synthèse</i> | 37 |
| | <i>Synthèse de la partie I</i> | 37 |
| Partie II : Etat de l'art | | 39 |
| | <i>Présentation de la partie II</i> | 39 |

Chapitre 4 Travail collaboratif et Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication 41

Introduction..... 41

4.1. Les outils d'aide dans le bâtiment : la CAO 3D.....41

4.2. Le travail Collaboratif Assisté par Ordinateur : TCAO44

4.3. Collecticiels et CAO 4D.....46

4.4. L'informatisation : du documentaire au « modèle »48

Synthèse 52

Chapitre 5 La modélisation conceptuelle dans le bâtiment 53

Introduction..... 53

5.1. La modélisation conceptuelle des données53

5.2. Principaux modèles de données pour l'interopérabilité dans le bâtiment57

5.3. Implémentation de modèle conceptuel.....68

5.4. Apports, limites et perspectives des travaux actuels70

5.5. L'approche systémique de modélisation.....72

5.6. Modélisation UML.....74

Synthèse 77

Chapitre 6 Méthodologies de conception de bâtiment 78

Introduction..... 78

6.1. Concepteurs et démarches de conception..... 78

6.2. Méthodologies de conception actuelles..... 80

6.3. Formalisation du bâtiment dans un processus de conception..... 86

Synthèse 92

Synthèse de la partie II et positionnement 92

**Partie III : Une Approche systémique pour une ingénierie de bâtiment
intégrée : BATSYS 95**

Présentation de la partie III..... 95

**Chapitre 7 Définition d'un contexte numérique adapté à l'interopérabilité en
ingénierie du bâtiment 98**

Introduction..... 98

7.1. Approche technologique pour l'interopérabilité 98

7.2. Un environnement numérique pour l'interopérabilité..... 99

7.3. Exemple d'application numérique 100

Synthèse 103

Chapitre 8 Approche Systémique de Modélisation du cycle de viE du Bâtiment :

ASMEB 104

Introduction..... 104

8.1. Le système bâtiment.....104

8.2. Aspect ontologique: définition du système104

8.3. Aspect fonctionnel105

8.4. Aspect transformationnel105

8.5. Aspect téléologique.....108

8.6. Interactions du système109

8.7. Modèle informel du système bâtiment.....110

Synthèse 111

Chapitre 9 Approche Systémique de Modélisation du Produit bâtiment : ASMEP 112

Introduction..... 112

9.1. Aspect ontologique.....113

9.2. Aspect fonctionnel116

9.3. Aspect transformationnel117

9.4. Aspect téléologique.....117

9.5. Interaction du système.....118

| | | |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.6. | Modèle informel du système produit bâtiment | 120 |
| | <i>Synthèse</i> | 121 |
| Chapitre 10 | Approche Systémique de Conception Multi-Acteurs : ASCMA | 123 |
| | <i>Introduction</i> | 123 |
| 10.1. | Aspect ontologique..... | 124 |
| 10.2. | Aspect fonctionnel | 125 |
| 10.3. | Aspect transformationnel | 127 |
| 10.4. | Aspect téléologique..... | 128 |
| 10.5. | Interactions du système..... | 134 |
| 10.6. | Modèle informel du système conception multi-acteurs CMA | 137 |
| 10.7. | Intégration du volet ASCMA dans ASMEP | 138 |
| 10.8. | Spécification des formes sémantiques du produit bâtiment par un exemple | 140 |
| | <i>Synthèse</i> | 152 |
| Chapitre 11 | Modélisation UML | 154 |
| | <i>Introduction</i> | 154 |
| 11.1. | Diagramme des cas d'utilisation de BATSYS | 154 |

| | | |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.2. | Package | 155 |
| 11.3. | Diagramme de classes | 157 |
| 11.4. | Diagramme de séquences | 162 |
| 11.5. | Diagramme d'objets | 163 |
| | <i>Synthèse</i> | 163 |
| Chapitre 12 | Validation et apports de l'approche systémique BATSYS | 165 |
| | <i>Introduction</i> | 165 |
| 12.1. | SI-BATSYS un système d'information pour une ingénierie de bâtiment intégrée | 165 |
| 12.2. | Technologies de développement de SI-BATSYS | 171 |
| 12.3. | SI-BATSYS : simulation d'une mise en route et intégration..... | 177 |
| | <i>Synthèse</i> | 180 |
| | <i>Synthèse de la partie III</i> | 181 |
| Partie IV : Conclusions et perspectives | | 182 |
| | <i>Synthèse générale</i> | 182 |
| | <i>Perspectives et discussions</i> | 184 |
| Bibliographie | | 186 |

Liste des figures

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure1 : Ordres gréco-romains de l'architecture classique [Larousse 2000] | 20 |
| Figure2 : Exemple de façades d'immeuble moderne dans le style néo-classique. | 20 |
| Figure3 : Schéma du cycle de vie d'un bâtiment selon la loi MOP d'après [Malcurat 2001] | 22 |
| Figure4 : Cycle de vie du bâtiment d'après [Ameziane 1998]..... | 23 |
| Figure5 : Exemple d'interopérabilité en phase de conception avancée d'après [IAI 2003] | 24 |
| Figure6 : Trois écoles « différentes » réalisées par la même agence « Architecture-Studio » | 26 |
| Figure7 : Deux modèles de maison faites par la même entreprise (Kaufman & Broad) et reproduites pour différents clients | 26 |
| Figure 8 : Comparaison entre cycle classique et cycle d'ingénierie concourante [Decreuse et Feschotte 1996] | 27 |
| Figure9 : Synthèse graphique de la première partie..... | 38 |
| Figure10 : Structure de l'état de l'art | 40 |
| Figure11 : De l'approche documentaire à l'approche modèle | 50 |
| Figure12 : Protocole d'application225 selon le formalisme UML [Malcurat 2001]61 | |
| Figure13 : L'IAI compte neuf chapitres regroupant 20 pays [IAI 2003] | 62 |
| Figure14 : Architecture de la version 2.0 des IFC | 63 |
| Figure15 : Architecture de la version 2x des IFC | 64 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure16 : Exemple d'utilisation des IFC dans le calcul des coûts et plannings [Malcurat 2001] | 69 |
| Figure17 : Le couple objets/processus dans la modélisation relative au bâtiment..... | 71 |
| Figure18 : Synthèse de l'état de l'art et positionnement des propositions..... | 94 |
| Figure19 : Problématique d'interopérabilité et approche de résolution..... | 96 |
| Figure20 : Architecture d'un environnement numérique adapté au travail collaboratif..... | 100 |
| Figure21 : Modélisation conceptuelle et implémentation en base de données ... | 102 |
| Figure22 : Association d'une représentation graphique a une base de données via AutoCad | 102 |
| Figure23 : Axe classique du cycle de vie du bâtiment | 105 |
| Figure24 : Système bâtiment et niveau d'abstraction..... | 105 |
| Figure25 : Axe des états obligatoirement successifs..... | 107 |
| Figure26 : Graphe d'évolution du système bâtiment..... | 108 |
| Figure27 : Variables de sortie du système | 108 |
| Figure28 : La représentation en V du cycle de vie du système bâtiment | 109 |
| Figure29 : Abstraction de l'évolution du système bâtiment | 110 |
| Figure30 : Sous système des produits bâtiment SPB et réflexivité de la systémique..... | 112 |
| Figure31 : Ontologie du système SPB..... | 115 |
| Figure32 : Téléologie du SPB | 118 |
| Figure33 : Définition des référentiels d'interaction | 119 |
| Figure34 : Définition sémantique du produit bâtiment..... | 119 |
| Figure35 : Référentiel normatif du SPB..... | 120 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| figure36 : Définition du produit bâtiment | 121 |
| Figure37 : Définition sémantique du produit bâtiment moyennant le sous système CMA..... | 123 |
| Figure38 : Sémantique du produit bâtiment entre domaines de connaissance et pratique professionnelle..... | 125 |
| Figure39 : Sémantique du produit bâtiment relativement aux acteurs du système CMA..... | 126 |
| Figure40 : Fonction de formalisation sémantique du produit bâtiment dans le système CMA..... | 126 |
| Figure41 : Aspect transformationnel du système CMA..... | 127 |
| Figure42 : Aspect transformationnel du CMA relativement à la variabilité du produit bâtiment..... | 128 |
| Figure43 : Processus de reverse engineering..... | 129 |
| Figure44 : Développement des trois premières formes sémantiques sur la structure syntaxique | 131 |
| Figure45 : Développement des trois dernières formes sémantiques sur la structure syntaxique | 132 |
| Figure46 : Définition du « produit bâtiment » relativement aux quatre niveaux de syntaxe..... | 134 |
| Figure47 : Définition des acteurs intervenants dans la formalisation d'un produit bâtiment (1) | 135 |
| Figure48 : Définition des acteurs intervenants dans la formalisation d'un produit bâtiment (2) | 135 |
| Figure49 : Interaction des acteurs privilégiés dans la formalisation du produit bâtiment..... | 136 |
| Figure50 : Modèle informel du système CMA | 137 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure51 : Référentiel conceptuel du système SPB dan ASMEP | 139 |
| Figure52 : Définition sémantique du produit bâtiment..... | 140 |
| Figure53 : Niveaux de validation de l'approche ASCMA..... | 141 |
| Figure54 : Schéma de structure urbaine | 142 |
| Figure55 : Définition d'un langage architectural | 142 |
| Figure56 : Parti architectural du projet | 143 |
| Figure57 : Schéma de structure proposé..... | 143 |
| Figure58 : Carte topographique du site | 144 |
| Figure59 : Evolution historique du site | 144 |
| Figure60 : Programme quantitatif du projet | 145 |
| Figure61 : Thématique du franchissement | 145 |
| Figure62 : Tracé géométrique et volumétrie..... | 146 |
| Figure63 : Equipements de mise en service..... | 146 |
| Figure64: Répartition des masses et des blocs..... | 147 |
| Figure65: Affectation des fonctions par partie dans le bâtiment..... | 147 |
| Figure66 : Planchers collaborant et structure tubulaire en acier | 148 |
| Figure67 : Elévations et représentation 3D du projet | 149 |
| Figure68 : Représentation 3D de la structure porteuse du projet..... | 150 |
| Figure69 : Représentation planimétrique du projet | 150 |
| Figure70 : Plan et axonométrie détaillés du projet | 151 |
| Figure71 : Représentation détaillée d'un élément de bureau..... | 152 |
| Figure72 : Diagramme des cas d'utilisation de BATSYS | 155 |
| Figure73 : Diagramme des packages | 156 |
| Figure74 : Diagramme de classe du package « acteur » | 157 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure75 : Diagramme de classe du package « système bâtiment » | 158 |
| Figure76 : Diagramme de classe du package « production documentaire » | 159 |
| Figure77 : Diagramme de classe du package « outil » | 160 |
| Figure78 : Diagramme de classe du « référentiel méthodologique »..... | 160 |
| Figure79 : Diagramme de classe du « référentiel conceptuel »..... | 161 |
| Figure80 : Diagramme de classe UML de l'approche BATSYS | 162 |
| Figure81 : Diagramme de séquence dans l'approche BATSYS..... | 163 |
| Figure82 : Exemple de l'interface de l'outil de gestion de projet Architecture-spconcepts | 168 |
| Figure83 : Lancement de EasyPHP | 175 |
| Figure84 : Gestion de base de données depuis EasyPHP | 175 |
| Figure85 : Accès à la plateforme par un lien publicitaire | 177 |
| Figure86 : Page d'accueil de IS-BATSYS | 178 |
| Figure87 : Page de l'état de conception pour une communication directe entre acteurs | 179 |
| Figure88 : Page de l'état de conception pour une intervention de l'acteur..... | 179 |
| Figure89 : Consultation de la base de données de l'état de conception | 180 |
| Figure90 : Synthèse générale des travaux..... | 183 |

Introduction générale

Depuis quelques années, le champ des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) investit le bâtiment. Cet élan, qui compte déjà quelques succès, profite de la multiplicité et de la diversité des projets de recherches lancés au croisement des problématiques de communication et des considérations spécifiques au secteur du bâtiment.

Dans le même temps, l'ingénierie du bâtiment connaît une évolution en terme d'organisation. Les exigences d'amélioration de la productivité et de la qualité du secteur conduisent en particulier à un échange plus structuré des relations entre acteurs et à un parallélisme plus grand des tâches. L'interopérabilité et le travail collaboratif sont les notions qui résument le mieux le nouveau besoin du secteur de l'Architecture Et Construction (AEC).

Comme tout secteur d'activité de production, l'AEC aspire à intégrer des méthodes de maîtrise des coûts et délais. L'évolution des pratiques sectorielles linéaires vers les pratiques coopératives concourantes constitue une première forme de réduction de délais et des coûts. L'expérience du secteur industriel, en particulier celui de l'automobile, confirme la valeur ajoutée des pratiques concourantes et amène les spécialistes de l'AEC à se poser des questions par rapport aux modes et ingénieries de production. L'objet de la présente thèse n'est pas de s'étendre sur une démonstration de la nécessité de structure interopérable (démonstration déjà faite depuis longtemps [Poyet 1997]) mais de proposer un cadre conceptuel et méthodologique pertinent pour un tel rapprochement.

Le contexte évolutif auquel fait face le bâtiment invite à réfléchir sur la manière avec laquelle s'opèrent les changements dans les pratiques et les outils d'acteurs dans les étapes de conception. Comment faire évoluer l'AEC vers des structures de travail interopérable ? Quels types d'outils vont prendre en charge ces changements ? Et de quelle manière les produire ?

L'évolution des pratiques de l'AEC vers les pratiques d'interopérabilité et l'utilisation des NTIC est le sujet que nous traitons dans ce travail de thèse. Nous commencerons en premier lieu par contextualiser la pratique de conception du bâtiment en vue de formaliser une problématique de recherche. En second lieu, nous montrerons comment l'AEC peut évoluer vers une organisation de travail collaborative moyennant les NTIC. Nous terminerons cette thèse par la mise en exergue d'une proposition conceptuelle formalisée par un modèle commun et partagé, dédié à l'échange d'information et à l'interopérabilité entre acteurs.

Nous faisons appel dans nos travaux à plusieurs domaines de référence disciplinaires :

- En *ingénierie de production* nous proposons de modéliser le cycle de vie du bâtiment selon une *approche systémique* en vue d'arriver à une *ingénierie concourante*. Le modèle du cycle de vie identifie les différentes étapes d'interopérabilité et favorise la parallélisation des tâches ;
- En méthodologie de *conception coopérative* nous mettons en place un *modèle* de conception coopérative partagé entre acteurs. Ce modèle intègre les domaines de connaissance intervenant, ainsi que les acteurs qui les représentent ;
- En *modélisation conceptuelle* nous utilisons les capacités d'interopérabilité des *cycles en V* développés dans le génie logiciel pour une représentation informelle de nos modèles. Pour une représentation formelle, nous faisons appel à **UML** (Unified Modeling Language) et à ses possibilités de modélisation multi-référentiels et multi-points de vue.

Guide de lecture

Ce mémoire de thèse est présenté en quatre parties qui se décomposent en chapitres. Le plan, ainsi que les différentes parties sont présentés par les points suivants :

1. La première partie comporte trois chapitres. Dans le premier nous présentons le contexte du travail collaboratif dans l'AEC. Dans le deuxième, nous formalisons notre problématique de recherche. Dans le troisième nous commençons par un positionnement méthodologique de nos travaux. Ensuite, nous positionnons nos contributions par rapport aux différentes disciplines auxquelles nous avons fait appel (Ingénierie de production, conception coopérative, modélisation conceptuelle formelle).
2. La deuxième partie est consacrée à l'état de l'art. Nous présentons respectivement des états de l'art sur : les NTIC et les outils numériques dédiés au travail collaboratif dans le bâtiment (chapitre 4), les actions menées sur le terrain ainsi que les travaux de recherche en réponse à l'interopérabilité entre acteurs du secteur bâtiment, la théorie du système général et la systémique, la modélisation UML et ses aspects multi-vues (chapitre 5), la modélisation des méthodologies de conception dans le bâtiment (chapitre 6). Nous terminerons cette partie par une mise en place de la spécificité de nos propositions conceptuelles par rapport aux travaux actuels.
3. Dans la troisième partie, nous commençons par la présentation d'un environnement logiciel adapté au travail collaboratif (chapitre 7). Nous définissons par la suite la notion du « système bâtiment » proposé comme alternative au cycle de vie séquentiel classique (chapitre 8). Nous définissons aussi, selon la même approche, le produit bâtiment à générer par ce système bâtiment (chapitre 9). Le chapitre suivant concerne un modèle de conception coopérative (chapitre 10). Ce modèle est formalisé en UML ainsi que les modèles du produit et du système bâtiment (chapitre 11). Nous terminons cette partie par l'instrumentation de nos modèles en outils nommé SI-BATSYS pour valider nos propositions (chapitre 12).
4. La dernière partie conclue ce mémoire et ouvre de nouvelles perspectives.

Cadre de recherche

Cadre scientifique

Il existe un grand nombre d'initiatives françaises et internationales en vue d'améliorer l'interopérabilité d'acteurs dans le bâtiment. Malgré l'investissement croissant des spécialistes de ce domaine de recherche, on assiste à très peu d'applications concrètes sur le terrain. On peut même parler de désintérêt des utilisateurs pour ces projets même si le besoin d'interopérer est bien réel. L'une des principales raisons de ce désintérêt est que tant dans les laboratoires de recherche scientifique que dans les laboratoires d'entreprise, la majeure partie de ces efforts (anciens ou nouveaux) sont initiés par des spécialistes de l'AEC qui tentent de profiter des avancées du secteur industriel (automobile en particulier) en intégrant des démarches toutes faites sans adaptation préalable. Le problème est posé dans ces groupes de recherche par rapport à un point de vue de bâtisseur ou constructeur (cf. 6.2.) qui essaient de s'aligner sur des méthodes et outils d'un secteur fondamentalement différent. Rendre l'AEC interopérable nécessite le développement de démarches et méthodes (industrielles à la base) dédiées au bâtiment.

Le cadre dans lequel nous menons notre travail de recherche est différent des cadres de recherche existants (ce qui devrait permettre de donner un éclairage particulier) car ce travail de thèse est réalisé dans un laboratoire de génie industriel (il ne s'agit pas d'un laboratoire de recherche sur le bâtiment) : le Laboratoire de Génie Industriel (LGI) de l'Ecole Centrale Paris. Il s'intègre dans une démarche de recherche en génie industriel et non pas de génie du bâtiment stricto sensu. La spécificité d'une telle démarche est que l'on considère le bâtiment d'un *point de vue « produit » par rapport à des systèmes de production, des méthodes de conception et d'optimisation, moyennant des outils théoriques et méthodologiques souvent propres à l'industrie (ingénierie concurrente, approche systémique de production, reverse engineering, etc.)*.

Cadre applicatif

Le présent travail de thèse est un *travail académique* qui se situe en amont des situations réelles d'ingénierie et de conception de bâtiment. En effet, Aujourd'hui, le

contexte du bâtiment est trop diversifié et parcellarisé (cf. 1.2.) pour envisager des applications en temps réels. Aujourd'hui, *la plus grande action internationale pour l'interopérabilité* dans l'AEC dans le monde est représentée par l'IAI (International Alliance for Interoperability) (cf. 5.2.). Cette alliance regroupe près de 600 partenaires à travers le monde et ne connaît *pas encore d'applications concrètes et effectives* de ses modèles. Nous citons par analogie, le secteur automobile face aux nouvelles démarches de *l'ingénierie des systèmes*. En effet, l'ingénierie des systèmes a mis plus de dix ans pour être appliquée (aujourd'hui que dans les phases de préconception) dans le secteur automobile en France.

La robustesse de *l'approche systémique* que nous adoptons comme support théorique permet néanmoins de générer des modèles consolidés même s'ils restent dans un cadre académique. La nature de ces modèles dédiés à l'interopérabilité impliquerait une validation par de multiples opérations de construction impliquant un nombre élevé d'acteurs. Malgré ces limites, notre problématique et nos propositions sont étayées par un exemple travaillé dans l'enseignement de l'architecture et qui témoigne d'une faisabilité applicative. Nous reviendrons, en conclusions, sur ces points.

Partie I : Présentation de la problématique

Présentation de la partie I

Cette première partie est composée de trois chapitres. Dans le premier nous présentons le contexte dans lequel évoluent les activités de conception coopérative du bâtiment par rapport aux données historiques, méthodologiques et technologiques. Nous spécifions dans le deuxième chapitre le champ d'action de nos travaux dans le cycle de vie du bâtiment ainsi que la problématique, basée sur l'étude du contexte et en continuité des travaux de recherche déjà existants. Dans un dernier chapitre nous situons les apports de ce travail de recherche par rapport aux différentes disciplines que nous faisons intervenir.

Chapitre 1 Contexte

Introduction

En vue de prendre conscience de l'importance des pratiques coopératives dans le cycle de vie du bâtiment en général et dans les phases de conception en particulier, nous introduisons dans ce chapitre le contexte de conception de bâtiment pour ensuite, cibler les points où nous voulons intervenir par notre travail de thèse.

Nous commençons premièrement par une lecture du contexte historique de conception de bâtiment. Deuxièmement, nous investissons le terrain par rapport aux dimensions : réglementaire, méthodologique et métier. Enfin, nous terminons par une lecture analytique du contexte technologique.

1.1. Contexte historique

Esquisser, dessiner, concevoir, construire, réaliser, diriger, décorer, orner, sont autant de tâches sous entendues par « l'activité de conception et réalisation des bâtiments » impliquant autant d'acteurs et d'intervenants. [Ameziane 1998].

Il est important pour nous d'assimiler, même de façon sommaire, l'évolution de ces activités dans l'histoire afin de mieux comprendre qui fait quoi dans ces étapes du cycle de vie d'un ouvrage.

Nous distinguons deux phases importantes dans l'histoire du bâtiment : avant et après la révolution industrielle. L'époque d'avant la révolution industrielle est dite « période classique » où la pratique de conception était orchestrée par un seul acteur, à savoir l'architecte, de la conception à la réalisation [Hughe, Rudel et al. 1970a]. Elle était souvent régie par des règles et lois qui méthodisent la conception ; en imposant le même langage architectural (éléments d'architecture, éléments architectoniques, plan régulateur, tracé géométrique, etc.) (figure1) et les mêmes règles constructives pour toutes les constructions (règles de proportions, de composition, etc.) (figure2).

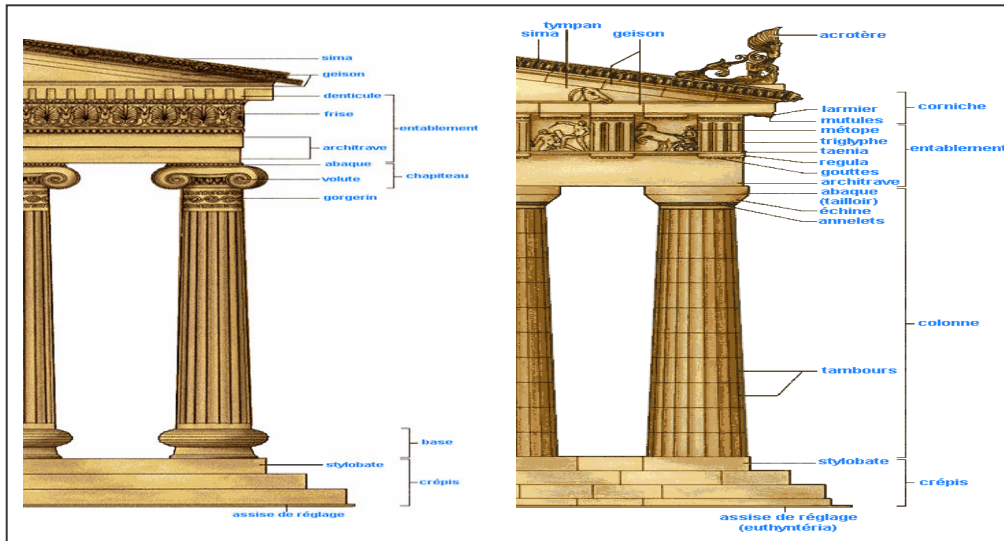


Figure1 : Ordres gréco-romains de l'architecture classique [Larousse 2000]



Figure2 : Exemple de façades d'immeuble moderne dans le style néo-classique

L'avènement de la révolution industrielle a fortement bousculé les pratiques de conception. L'architecte, jusque là incontesté dans ses pratiques, devient concurrencé (à cette époque) par un nouvel acteur qui est « l'ingénieur ». L'ingénierie propose des solutions technologiques tandis que les architectes s'en éloignent, il intègre des technologies nouvelles dans le bâtiment (le verre, l'acier, etc.) et ouvre les portes des activités de conception à d'autre corps métier [Hughe, Rudel et al. 1970b]. La révolution industrielle a ouvert, par ses avancés technologiques, un nouveau chapitre dans l'histoire de la conception de bâtiment.

Le développement des activités d'ingénierie après la seconde guerre mondiale a amené à désigner comme « maître d'œuvre » (concepteur du projet) la personne physique ou morale assumant cette charge vis-à-vis du « maître d'ouvrage » (propriétaire du projet) et des autorités environnant l'ouvrage [AFITEP 2003].

La « maîtrise d'œuvre » exprime la notion de partage, car elle ne s'approprie pas un domaine particulier mais intègre l'ensemble des disciplines concernées par la conception bâtiment. La « maîtrise d'ouvrage » exprime quant à elle la notion de partage du « bien immobilier » entre différents associés.

Aujourd'hui « l'architecture », désignant autrefois l'ensemble des activités de conception liées au cycle de vie du bâtiment, a évolué dans ses pratiques en passant de la suprématie du savoir faire de « l'architecte » au savoir faire partagé entre pluralité d'acteurs de « la maîtrise d'œuvre ».

1.2. Contexte méthodologique

Ce qui est à souligner en premier dans le contexte méthodologique, est l'influence de « l'environnement réglementaire » sur les pratiques d'acteur. En effet, il existe un contexte règlementaire auquel les acteurs se réfèrent pour l'organisation de travail. En France, la loi sur la Maîtrise d'Oeuvre Publique MOP, codifie les missions de chaque acteur intervenant dans la conception et la réalisation d'ouvrages publics. Les ouvrages et bâtiments y font l'objet d'un phasage du cycle de vie particulier. Ce cadre légal constitue un instrument privilégié de gestion des activités liées au secteur de l'AEC pour les pouvoirs publics. Même si cette loi est liée en premier lieu aux ouvrages publics, son impact et son influence s'étend au secteur privé. Un grand nombre de projets liés à l'AEC dans le secteur privé se voient reprendre la démarche de la loi MOP. On estime à 80% le nombre de bureaux d'études faisant usage de cette référence légale en France, dans la construction d'édifices [D'A 2000]. Sur le plan international, des lois et réglementations spécifiques à chaque pays (à l'image de la loi MOP) codifient les pratiques de conception.

Dans le « découpage organisationnel » proposé par la loi MOP (figure3), un projet de construction naît d'une intention qui exprime un besoin. Ce besoin se formalise par

l'élaboration d'un programme qui exprime les exigences du client. Du contenu de ce programme dépendront les choix et options fondamentales prises par la maîtrise d'œuvre. Dans l'étape de programmation, le maître d'œuvre met en forme un ensemble de données issues d'études de faisabilité ainsi que la description fonctionnelle du projet en terme d'espaces et d'activités affectées à ces espaces. Il produit alors une esquisse dans laquelle il développe un projet qui répond aux exigences du programme et sur laquelle sera négociée la suite des études de conception.

| ÉTUDES PREALABLES | ÉTUDES DE CONCEPTION | D.C.E & CHOIX | OFFRES ENTREPRISES | ÉTUDES EXECUTION | REALISATION CHANTIER RECEPTION | EXPLOITATION MAINTENANCE |
|--------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| esquisses documents graphiques | plans façades coupes détails techniques | plans variantes ou de détails schémas divers | plans communiqués pour offres plans variantes | plans de synthèse décomposition pour situation de travaux variantes éventuelles | plans de mise au point plan DOE situations de travaux devis modificatifs o.s. correspondants Notices DOE | exploitation & maintenance modifications d'installations |
| mémoire estimation | devis descriptif estimation détaillée | précisions demandées dépouillement offres | recherche & intégration offres sous/co-traitants et fournisseurs | tous documents préparation des travaux | o.s. correspondants Notices DOE | commandes de travaux ou de fournitures |
| programme doc. administratifs | pièces administratives de consultation | documents marchés | documents marchés | | tous documents de chantier & C.R. de réunions, réception | |

Figure3 : Schéma du cycle de vie d'un bâtiment selon la loi MOP d'après [Malcurat 2001]

Sur la base des discussions de l'esquisse se développe un Avant Projet Sommaire (APS) qui sera intégré au dossier administratif de demande de permis de construire. Ces documents font l'objet d'une évaluation, sur la base des règlements et documents de droits des sols en vigueur (POS); ils apportent un éclairage aux questions administratives, juridiques et réglementaires que pourront se poser les responsables des droits des sols.

Une fois la décision administrative notifiée, l'équipe de maîtrise d'œuvre élabore un Avant Projet Détaillé (APD) en mettant au point les propositions de l'APS et choisit les solutions techniques qui seront évaluées par les partenaires de la conception (bureaux d'études fluide, structure, etc.).

Ce travail aboutit à la réalisation du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) qui se compose des Plans d'Exécution des Ouvrages et des Spécifications Techniques Détaillées.

La phase de réalisation des ouvrages verra apparaître de nouveaux documents administratifs (comptes-rendus de chantier, ordres de services et procès verbaux de constatation, planning, calendrier de fournitures des documents, attachements, décomptes, situation, etc.) ainsi que des documents techniques mis à jour de manière systématique dans les Plans des Ouvrages Exécutés.

La réception des ouvrages vient marquer l'achèvement des travaux et leur acceptation par le maître d'ouvrage, assisté de son maître d'œuvre. L'édifice entre alors dans la phase d'exploitation pour laquelle il était destiné.

Au moment où il ne répondra plus aux exigences nécessaires à son exploitation, un nouveau projet démarrera, réhabilitation, rénovation ou démolition-construction à partir d'un nouveau programme. Ces différentes étapes illustrent le cycle de vie du bâtiment.

Dans l'ensemble du cycle de la loi MOP (figure3), nous proposons de regrouper les étapes concernées par le besoin d'interopérabilité. La (figure4) résume le découpage de la loi MOP à trois principales étapes. La première est relative à la préconception : réalisation d'esquisse, Avant Projet Sommaire, etc. la deuxième est la phase d'interopérabilité, celle de la conception avancée du projet, faisant appel à des compétences diverses et variées (figure5). La dernière étape est celle de la réalisation et de la gestion de projet.

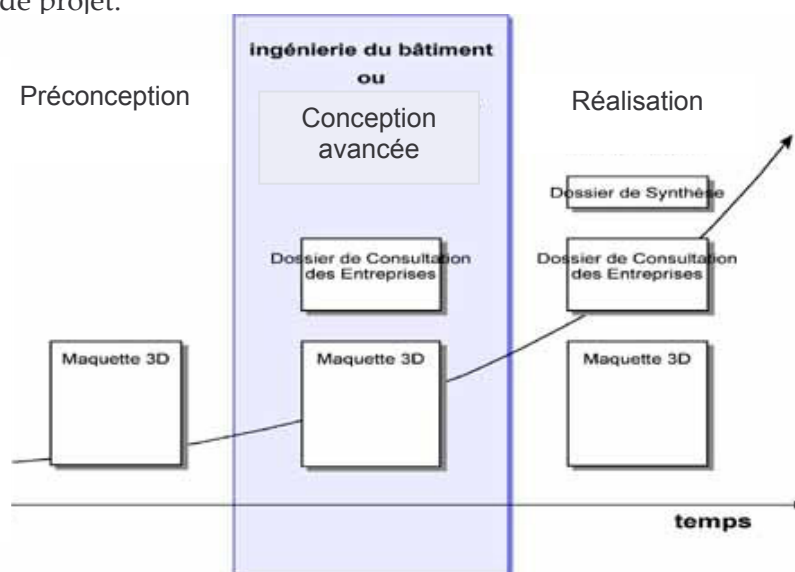


Figure4 : Cycle de vie du bâtiment d'après [Ameziane 1998]

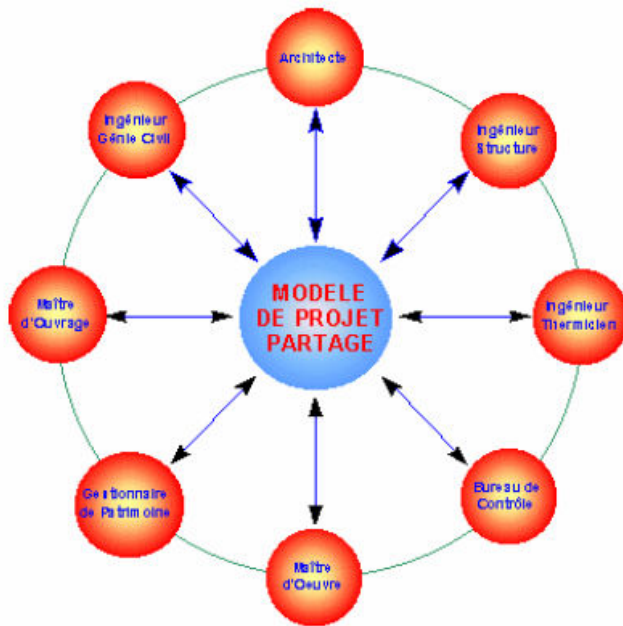


Figure5 : Exemple d'interopérabilité en phase de conception avancée d'après [IAI 2003]

La dénomination de « conception avancée » dans ce découpage, est appelée aussi dans l'AEC, étape « d'ingénierie du bâtiment ». Même si le travail collaboratif s'étend sur l'ensemble du cycle de vie, l'ingénierie bâtiment est la phase la plus sensible du point de vue de la complexité de ses rapports avec les méthodologies issues de l'ingénierie industrielle.

Lors du séminaire inter-entreprises intitulé « management de la qualité dans la construction » organisé par le laboratoire de Génie Industriel de l'Ecole Centrale Paris en 2003, cette question a été largement abordée par un grand nombre d'intervenants (maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprise de réalisation) du monde du bâtiment, avec leurs conséquences sur l'évolution de leurs pratiques métier vers l'interopérabilité que ce soit dans un processus conventionnel (MOP) ou spécifique à l'entreprise [Recueil du séminaire 26 février 2003].

Qu'ils soient maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou entreprise de réalisation, les intervenants affirment adopter en plus du cadre légal existant ce qu'ils appellent des « démarches qualité¹ » (cf. 1.3.) en vue d'améliorer l'organisation de travail et les

¹ Cette démarche est l'une des démarches conceptuelles unifiées que l'on rencontre aujourd'hui dans le bâtiment

échanges d'information entre acteurs. Habitat25², maître d'ouvrage d'habitat, adopte une démarche qualité à laquelle doivent satisfaire ses partenaires maîtres d'œuvre, construite autour du programme du projet. Cette démarche constitue un « langage » commun entre Habitat25 et ses interlocuteurs de travail. Le Groupe Arcane³, maître d'œuvre, adopte également une démarche qualité pour arriver à une conception du projet. Il s'agit pour ce groupe d'organiser la conception selon huit procédures qui suivent l'élaboration du projet de l'esquisse au terme de la conception avancée.

Il est à noter que les bureaux de maîtrise d'œuvre cités ainsi que la plupart des maîtres d'ouvrage concernés, développent des démarches qualité de « conception » qui ne concernent que les phases de conception où ils interviennent en général. Les entreprises de réalisation adoptent, elles aussi, la même approche de mise en place de démarche qualité mais dans une perspective différente.

Il existe en effet une différence notable entre les agences de maîtrise d'œuvre et les entreprises de réalisation. L'intérêt des agences d'architecture présentes est d'arriver à produire un bâtiment unique spécifique à un seul cas de figure (figure6). De leur côté les entreprises de réalisation et certains maîtres d'ouvrage développent des démarches qualité pour la production « systématique » d'un produit unique adapté au maximum des cas de figures possibles. Elles adoptent des démarches qualité utilisables sur l'ensemble du cycle de vie d'un modèle d'ouvrage à commercialiser (figure7).

² Office public d'HLM du département du Doubs

³ Créé en 1976, le Groupe ARCANE est une SARL d'Architecture et d'Ingénierie organisée autour d'un groupe de cinq associés : quatre architectes et un ingénieur généraliste du bâtiment

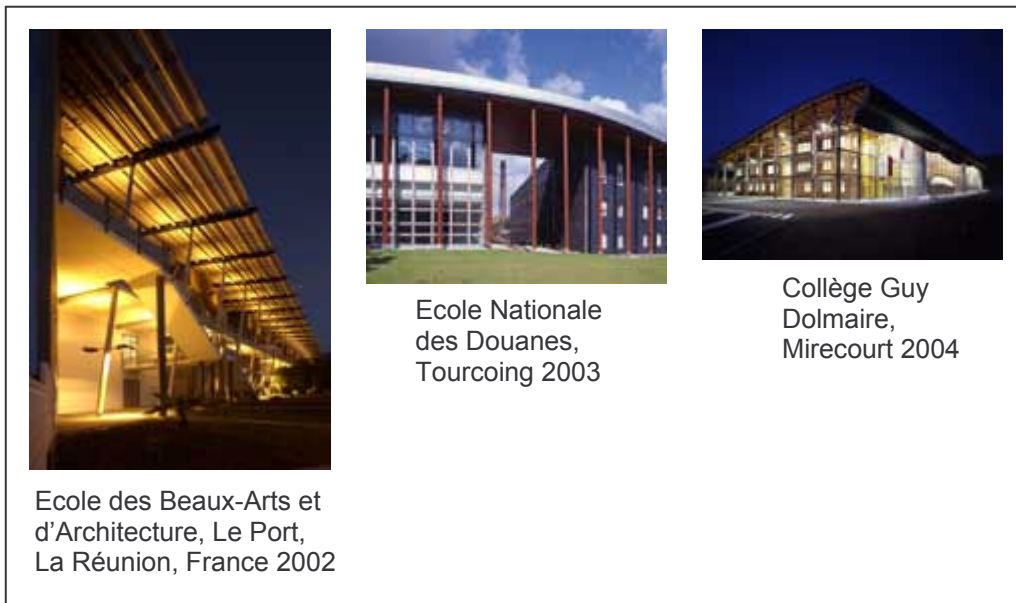


Figure6 : Trois écoles « différentes » réalisées par la même agence « Architecture-Studio »



Figure7 : Deux modèles de maison faites par la même entreprise (Kaufman & Broad) et reproduites pour différents clients

Ces entreprises sont souvent plus rapides dans leurs démarches et proposent des produits clefs en mains à prix compétitif. Elles deviennent par exemple les fournisseurs de référence en matière de maisons individuelles, en raison de la disponibilité en des délais très courts et à des prix bas de leurs gammes de produits (Kaufman & Broad en est un exemple réel (figure7)).

Cet avantage est dû au fait que les entreprises de réalisation développent leurs produits dans un cadre intégré. Les acteurs intervenants travaillent dans un même cadre en utilisant une même démarche unique et partagée. Les agences de maîtrise d'œuvre s'inscrivent quant à elles dans un processus linéaire faisant intervenir des acteurs différents à des instants différés.

Les cadres de travail développés en entreprise permettent de passer en général d'une organisation séquentielle du cycle de production à une organisation concurrente (figure8). L'ingénierie concurrente qu'adoptent les entreprises dans l'organisation de travail est l'aspiration vers laquelle tend tout le secteur AEC (cf. 5.2.).

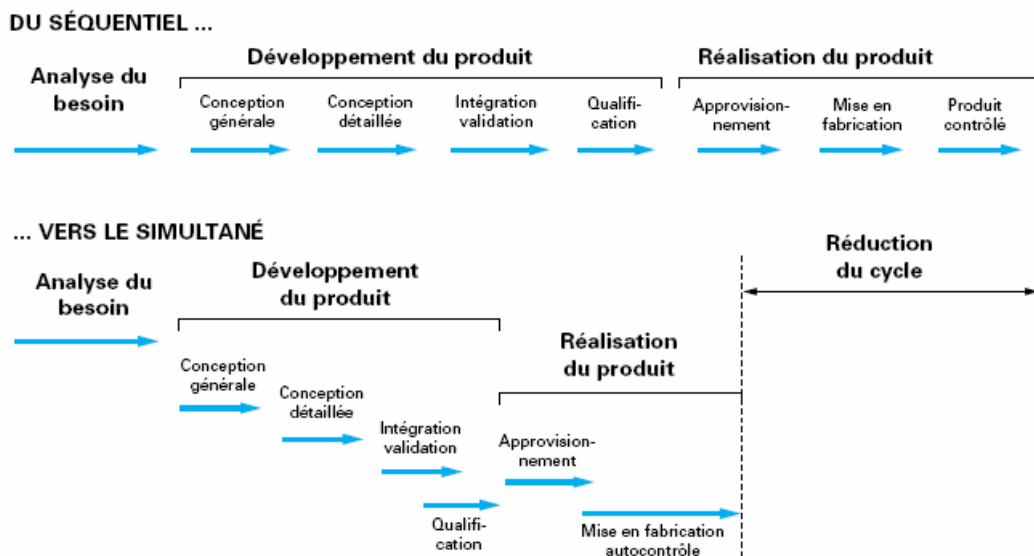


Figure 8 : Comparaison entre cycle classique et cycle d'ingénierie concurrente [Decrease et Feschotte 1996]

Des travaux récents soutiennent cette hypothèse et montrent que l'ingénierie concurrente permet de créer une continuité informationnelle dans le cycle de conception et réalisation du bâtiment [Mesquita 2002]. Bien avant ces travaux, les publications de Midler [Midler 1993] dans le domaine industriel puis [Jouini et Midler 1996] dans le secteur du bâtiment, ont mis en avant six principes nécessaires à la mise en place d'une ingénierie concurrente :

- Le rôle prépondérant du chef de projet ou du mandataire dans le cas d'une co-traitance qui prend en charge la responsabilité de la mise en oeuvre des moyens nécessaires

pour la réalisation du contrat passé avec le maître d'ouvrage. Ce point s'inspire de la composante hiérarchique inhérente à tout travail en groupe.

- Le *refus d'appliquer des solutions standards* mais la prise en compte des spécificités du projet ;
- La *recherche de solutions à un échelon global* prenant en compte tous les aspects du projet par opposition à une juxtaposition de problèmes locaux ;
- La *prise en compte dès le début de la conception de tous les paramètres du projet*, y compris la mise en oeuvre et la maintenance. Cette anticipation se fait d'abord de manière grossière puis de plus en plus précisément jusqu'à la réalisation du projet ;
- La *prise en compte de l'incertitude propre à toute démarche de conception* et la transparence des structures impliquées dans l'opération afin d'éviter l'accumulation d'erreurs et d'encourager la vigilance de chacun. Ces dispositions visent à éviter des retards ou des surcoûts imputables à des défauts de communication à l'intérieur de l'équipe de conception ;
- L'*ouverture à l'innovation* : être à l'écoute de toute proposition permettant d'améliorer le service fourni au maître d'ouvrage tout en préservant l'essence architecturale du projet.

Les enjeux du contexte méthodologique actuel se résumeraient alors en deux points principaux : la démarche qualité en conception et l'interopérabilité entre acteurs en perspective d'ingénierie concourante.

1.3. Contexte technologique

L'informatisation de l'AEC est désormais une réalité inéluctable. Le réseau informatique Internet conquiert chaque jour une place plus importante chez les professionnels qui profitent de son faible coût d'exploitation, de sa facilité d'usage et de son universalité. Cette révolution emboîte le pas à une révolution plus ancienne, celle de l'informatisation des années 1980.

Les logiciels de première génération, logiciels dits « métier » (cf. 4.1.) ne couvrent que les besoins d'une pratique professionnelle et généralement un seul aspect de celle-ci (dessins, calculs, estimations chiffrées, plannings). Ils n'ont pas amené de modifications profondes dans l'organisation des pratiques professionnelles. L'aspect collaboratif n'est

traité dans ces outils que par rapport aux formats d'échanges de documents, ils ont cependant ouvert une perspective à la collaboration considérée comme un thème de réflexion et un champ de recherche à part entière. L'outil informatique n'est pas innocent dans les transformations des pratiques professionnelles de coopération.

La question des nouvelles technologies n'est pas un phénomène annexe qui ne relèverait que du champ des techniques et que l'on devrait traiter avec distance. Elle est au coeur de la question posée de la coopération non seulement parce qu'elle rend possible les échanges mais parce qu'elle les structure.

Pour ne citer qu'un exemple, le téléphone et le fax ont transformé les modes de collaboration et de coopération en accroissant considérablement les flux d'informations et en rendant les échanges plus synchrones (le fax a conservé la matérialité du document — nous restons dans le monde papier — qui est un atout précieux pour les acteurs). Ce raccourcissement du temps dans les transactions a modifié les comportements de tous. Dans le monde économique, il a contribué à remodeler les systèmes organisationnels qui sont de moins en moins construits selon des structures hiérarchiques et de plus en plus sur des structures en réseau.

L'informatique est devenu le support d'une chaîne de production fondée sur l'usage des données du bâtiment depuis sa conception et jusqu'à sa mise en oeuvre. Dans cette chaîne « informatique » les plans deviennent fichiers ; les échanges, flux contractuels ; les acteurs émetteur, récepteur et destinataire. L'un des constats les plus frappants par rapport à cette chaîne est que les outils numériques dédiés au travail collaboratif sont plus présents dans les étapes de réalisation et mise en oeuvre que dans les étapes de conception. Les technologies de communication via les réseaux et outils informatiques sont encore peu développées en phase de conception. Les NTIC ont intégré l'AEC par rapport aux étapes de réalisation et gestion de projet. L'évolution vers laquelle le secteur s'oriente aujourd'hui est la création de support informatique pour le travail collaboratif dans les phases de préconception et conception avancée.

Synthèse

Ce premier chapitre permet de dresser un constat sur le contexte des activités de conception dans l'AEC. Par rapport à son histoire, l'AEC a évolué vers la pluralité des cultures métier qui le composent. Cette pluridisciplinarité fait intervenir un grand nombre d'acteurs travaillant sur un même projet avec des préoccupations différentes. Dans le contexte actuel les domaines d'acteurs sont identifiés sur des schémas séquentiels du cycle de vie de projet. Les acteurs interviennent dans ce cycle de façon successive étendue dans le temps ne favorisant pas la collaboration. L'AEC aspire à une évolution de cet état de fait par l'introduction de méthodes et démarches nouvelles orientées vers l'interopérabilité. L'ingénierie concourante semble être la méthode la plus adaptée à cet effet. Parallèlement au changement dans les moyens méthodologiques, l'AEC doit se doter des moyens technologiques d'information et de communication adéquats, pour palier à cette précarité en la matière.

Chapitre 2 Construction de la problématique

Introduction

Les activités de préconception et conception avancée dans l'AEC font intervenir une pluralité d'acteurs de différentes cultures métier. Ce secteur est confronté aujourd'hui au problème d'interopérabilité et de communication de l'information. Le caractère sectoriel des métiers et professions qui interviennent dans le cycle de vie du bâtiment devient sujet à des problématiques multiples. La phase la plus concernée par ces problématiques est sûrement la phase d'ingénierie du bâtiment faisant suite à la phase de conception préliminaire, car c'est dans cette phase que le nombre de spécialistes est le plus accru et le plus significatif.

La problématique de nos travaux porte sur l'interopérabilité entre acteurs dans le cycle de vie d'un bâtiment en général et sur la phase d'ingénierie bâtiment en particulier. Nous étayons dans ce chapitre notre problématique par rapport aux éléments qui définissent le contexte de conception actuel: le cycle de vie du bâtiment, les méthodologies de conception collaboratives et les NTIC.

2.1. Problématique relative au cycle de vie du bâtiment

La représentation séquentielle et linéaire du cycle de vie du bâtiment reprise par les différentes réglementations et méthodologies de travail est la première cause de discontinuité informationnelle entre les acteurs. Palier à cette situation revient à revoir la représentation de ce cycle en perspective d'ingénierie concourante. Une modélisation adaptée du cycle de vie doit prendre en charge la parallélisation des étapes.

2.2. Problématique relative aux méthodologies de conception collaborative

Le caractère pluridisciplinaire des activités de conception avancée met le bâtiment au centre d'une multitude de points de vue différents qui le définissent. Les méthodes de travail actuelles ne permettent pas de concevoir un bâtiment dans cette optique. En effet, le découpage de la conception en étapes fait que le projet avance d'un point de vue à l'autre, d'un acteur à l'autre dans un ordre logique prédéfini. En d'autres mots : le projet est dans une étape initiale complètement conçu par rapport à un point de vue d'architecte. Il est retravaillé dans un contexte constructif qui modifie le plus souvent de nombreux aspects de la conception initiale. La réalisation, enfin, revient également sur le projet tel qu'il était originellement prévu.

Si on sait pertinemment que la négociation entre acteurs dans un projet de construction (après sa conception préliminaire) peut être initiée délibérément, par une ligne d'architecte, une direction d'urbaniste, un mobilier de designer, un élément de structure d'ingénieur, une ambiance, une couleur, etc. Est-il néanmoins possible de mettre à plat ces « points de vues » qui dans leur ensemble constituent le projet, sur un même niveau de lecture ? Est-il possible d'offrir aux intervenants une « représentation partageable » du projet (où ils retrouvent leurs points de vue identifiés) sans pour autant leur imposer un point de vue unique ou uniquement lié à un acteur ?

Ces questionnements recourent trois principaux points : la représentation du bâtiment comme produit, l'identification des cultures métier et acteurs intervenants et les méthodologies pour rendre l'ensemble coopérant.

2.3. Problématique relative aux Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Les outils numériques dédiés au bâtiment tentent aujourd'hui d'intégrer les technologies de pointes pour le travail collaboratif : communication sur différents réseaux (GPS, GPRS, WAP, WEB, etc.), transfèrent de documents multimédias (images, sons, vidéos, etc.), représentation des évolutions en temps réel, etc. Ces efforts concernent dans la majeure partie des cas l'organisation de chantier, la gestion de

projet, la mise en œuvre des ouvrages, etc. où les allers-retours entre chantier et bureaux sont très fréquents.

Relativement aux étapes d'ingénierie du bâtiment et de conception avancée dans lesquelles se situe notre champ d'intervention, il n'existe que très peu d'efforts d'adaptation d'outils informatiques pour le travail collaboratif. Moins encore, il y a très peu de méthodes organisationnelles de travail adaptées à l'utilisation de ces outils. Face à un tel constat, un réel besoin est à formuler par rapport à l'AEC. Quels types d'outils numériques doit intégrer l'AEC dans les étapes de conception ? Quelle organisation de travail peut correspondre à ce contexte technologique ? Comment produire des outils de travail collaboratif dédiés à l'AEC ?

Ces questions mettent en correspondance deux domaines spécifiques à l'informatique : la formulation des besoins en langage « semi-informatique » adapté à l'implémentation d'outils (nous avons parlé d'UML dans l'introduction de ce document) ; l'utilisation des technologies des systèmes d'information pour la structuration du travail coopératif.

Synthèse

La problématique de notre mémoire est autour de l'interopérabilité entre acteurs dans les phases de conception avancées. Elle se développe sur trois axes définis à partir du contexte actuel de la conception coopérative dans le bâtiment. L'organisation du cycle de vie en perspective d'ingénierie concurrente, l'élaboration de modèle conceptuel intégrant les aspects multi-points de vue de la connaissance, et l'implémentation de ces modèles en vue de créer des outils numériques pour l'interopérabilité.

Chapitre 3 Positionnement scientifique

Introduction

Dans ce chapitre, nous commençons par un positionnement méthodologique de nos travaux (il s'agit d'apporter réponse à la question suivante : selon quelle approche allons nous produire des solutions?). Ensuite, dans les sections suivantes, nous effectuons un positionnement par rapport aux disciplines auxquelles nous avons fait appel et dans lesquelles se situent nos apports et contributions : l'ingénierie de production, les méthodes de conception coopérative et la modélisation conceptuelle formelle. Ces disciplines sont uniquement considérées par rapport au secteur bâtiment.

3.1. Positionnement méthodologique

Le positionnement méthodologique permet d'identifier l'approche que nous adoptons pour : *l'observation, la modélisation et la résolution de problème*, du phénomène étudié dans cette thèse (interopérabilité d'acteurs en phase d'ingénierie du bâtiment).

Une méthodologie, s'intéresse aux pratiques (méthodes) utilisées pour acquérir la connaissance. Autrement dit, elle concerne le « *comment* » produire des connaissances, c'est-à-dire l'ensemble des procédures et règles qui permettent aux chercheurs de produire des connaissances [Ben-Ahmed 2004].

Nos travaux se basent essentiellement sur la modélisation de systèmes (ou objets) complexes (objets bâtiment, connaissances d'acteurs, etc.). Notre positionnement méthodologique se fait donc par rapport aux méthodes de modélisation. Toutes les épistémologies sont d'accord sur le fait qu'un modèle est l'interface entre un sujet et le monde réel pour construire la connaissance. Cependant, ces épistémologies ont différentes conceptions de ce qu'est un système et de la façon de le modéliser. D'où l'existence de plusieurs méthodologies de modélisation.

Comme une grande partie de notre travail porte sur la modélisation de systèmes et de processus complexes, il convient de poser la question suivante : *comment construire ces modèles ?* En d'autres termes : *quelle méthodologie de modélisation choisir ?*

En ce qui concerne la conception de bâtiment, il s'agit d'un processus qui fonctionne et se transforme en même temps dans un environnement et contexte qui sont évolutifs. Pour sa représentation il faut des modèles qui font la conjonction entre le système (structure, fonctions, évolutions, etc.), son environnement et les objectifs de la modélisation.

Cette logique de modélisation *conjonctive* [Le Moigne 1999] que nous adoptons dans ce travail a donné naissance à la méthode systémique (appelée aussi systémo-graphie) pour la modélisation de ces systèmes. L'approche systémique [Le Moigne 1974], [Morin et Le Moigne 1999] s'est fortement inspirée de ce qui est connue dans la littérature anglo-saxonne par la cybernétique [Ashby 1965], [Wiener 1948] ou de la théorie générale du système [Bertalanffy 1969].

Notre vision sur le bâtiment sera portée selon une approche « *systémique* » qui ne considère plus le produit comme élément distinct, mais appartenant à un ensemble d'éléments interagissant entre eux. Le produit bâtiment devient alors un composant d'un système complexe comportant des éléments humains matériels et immatériels.

Couplé à cela, nous considérons la réalité du bâtiment selon une *vue métier*. Ce qui signifie pour nous une approche fondée sur l'observation des pratiques apparentes d'acteurs (*sans modéliser les processus de conception personnels des acteurs*).

3.2. Positionnement par rapport à l'ingénierie de production

La précarité de l'AEC en matière d'ingénierie de production par rapport au domaine industriel fait que les méthodes d'ingénierie concurrente, reverse engineering, etc. restent peu connues et utilisées dans ce secteur. Les préceptes de *l'ingénierie concurrente* de parallélisation des tâches sont pour nous à intégrer sur deux niveaux : un niveau propre à chaque étape du cycle de vie du bâtiment et un deuxième niveau supérieur qui met les différentes étapes de ce cycle en relation.

Pour arriver à intégrer les principes de l'ingénierie concourante dans nos modèles, nous utiliserons la notion de *cycles en V*, développé dans le domaine du *génie logiciel* pour permettre aux premières étapes d'un cycle de correspondre avec les dernières (cet aspect est pertinent dans la mesure où il rapproche les étapes du cycle).

3.3. Positionnement par rapport aux méthodologies de conception coopérative

La phase de conception a été abordée par de nombreux travaux, en particulier dans les années quatre-vingt dix. Nous renvoyons le lecteur aux travaux de [Lebahar 1997], [Boudon 1971], [Boudon 1992], [Boudon 1994], [Prost 1994] et [Scoffier 1994]. Ces travaux utilisant en général les sciences cognitives pour chercher le *comment* du produit bâtiment en conception. Nous adoptons une approche différente qui consiste à retracer le processus de conception depuis l'état matériel d'un bâtiment jusqu'à en abstraire une représentation conceptuelle (*reverse engineering*).

Au travers d'une *structure de référentiel*, nous proposons *une représentation des finalités qualitatives* vers lesquelles doivent arriver les acteurs dans un cadre de travail collaboratif sans pour autant modéliser leurs démarches personnelles et sectorielles. Notre souci est donc relatif au *produit « conçu » par l'« acteur » représentant d'un « métier »* intervenant dans la conception réalisation des bâtiments.

3.4. Positionnement par rapport à la modélisation conceptuelle formelle

L'un des problèmes que rencontre l'AEC aujourd'hui est la modélisation formelle des données. Les différents modèles existants utilisent des langages de modélisation dits « objet ». Ils modélisent en général des données statiques. La représentation formelle de nos modèles se fait selon les différentes vues dynamiques et statiques intégrées dans le langage *UML*. Ce langage permet par ses « vues » multiples la représentation physique d'un système, ainsi que son évolution dynamique et l'échange d'information entre objets modélisés. Il comporte six « vues » que l'on peut porter sur un système donné.

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons fait un positionnement scientifique par rapport aux différentes disciplines auxquelles nous avons fait appel dans nos travaux. Sur le plan méthodologique, nous avons choisi la systémique. Elle est adaptée à la modélisation des systèmes et des processus complexes.

Par rapport à l'ingénierie concourante, nos travaux se situent sur deux niveaux d'interopérabilité : l'un spécifique à chaque étape du cycle de vie, l'autre partagé entre ces étapes.

Par rapport à la méthodologie de conception de bâtiment, nos travaux se positionnent en dehors des formalisations des processus mentaux d'acteurs, et s'intéresse à la structuration de référentiel construit à partir d'un processus de reverse engineering.

Par rapport à la modélisation conceptuelle, nous proposons une approche allant au-delà de la représentation objet, qui intègre les aspects multi-vues d'acteurs et les capacités multi-référentiels du formalisme UML.

Synthèse de la partie I

L'objectif de nos travaux peut se résumer comme suit selon la (figure9) : *favoriser l'interopérabilité d'acteurs et l'échange d'informations dans le processus de conception avancée de bâtiment en perspective d'ingénierie concourante*. Cet objectif doit tenir compte des points suivants soulevés dans l'étude du contexte :

- La complexité des activités de conception bâtiment et donc le besoin d'analyse multi-points de vue nécessitant une grande expertise du domaine ;
- La nature complexe des connaissances à construire dans les modèles ;
- La dépendance des connaissances des acteurs, du contexte de leur développement et du contexte de leur utilisation.

Pour répondre à ces différents points, nous proposons un *modèle de travail collaboratif bâtiment en UML*. Pour ce faire, nous utilisons des approches systémiques et d'ingénierie de production pour :

- Développer une représentation partagée du système bâtiment et du produit bâtiment ;
- Intégrer une démarche de conception coopérative matérialisée par des référentiels dans le système bâtiment ;
- Modélisation formelle en UML, du produit bâtiment évoluant dans un système moyennant une démarche de conception coopérative intégrée.

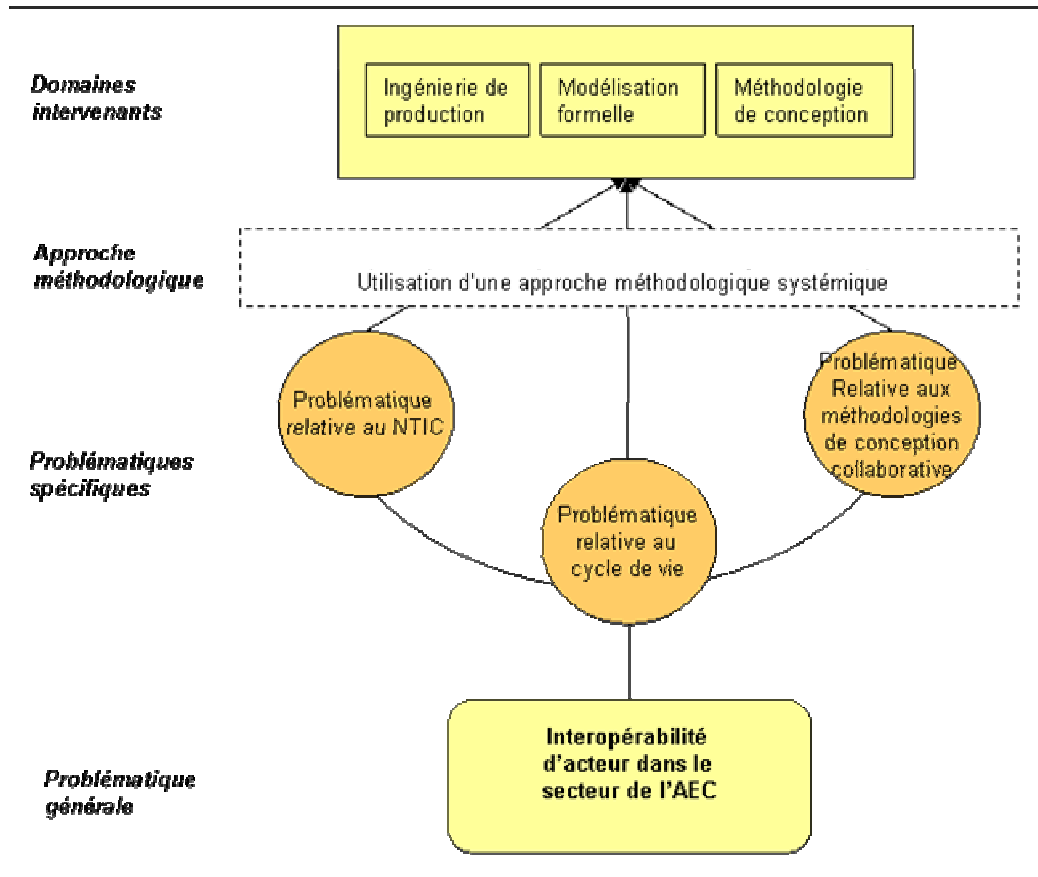


Figure9 : Synthèse graphique de la première partie

Partie II : Etat de l'art

Présentation de la partie II

La deuxième partie comporte trois chapitres. Chaque chapitre est relatif à un domaine auquel nous faisons appel pour nos propositions conceptuelles. Le premier chapitre est un état de l'art sur les outils numériques dédiés à l'interopérabilité dans le bâtiment. Le second concerne la modélisation conceptuelle et les principales solutions conceptuelles existantes pour l'interopérabilité en France et dans le monde. Il intègre aussi des titres sur la modélisation systémique et la modélisation en langage formel UML. Le troisième et dernier chapitre est un état de l'art sur les méthodologies de conception servant de base au développement des modèles conceptuels pour le bâtiment.

Chaque chapitre de l'état de l'art s'étend sur une chronologie à trois étapes (figure10). Les années 80 se caractérisent par une diffusion massive de « l'informatique métier ». Dans cette première période, l'informatique s'est contentée de transposer les pratiques de chacun des intervenants (cf. 4.1.). Cette spécialisation des logiciels a même renforcé un cloisonnement des métiers ; on peut parler d'une informatisation autonome. Elle a augmenté fortement les productivités sectorielles sans favoriser les pratiques d'échanges de l'information et les rapports de collaboration entre acteurs.

Les années 90 ont vu l'émergence de l'informatique en réseaux [Hellmuth 1993] [Nam 1998]. Ceux-ci introduisent un tout autre changement. En augmentant l'accessibilité en temps réel à une multitude d'informations, en réduisant encore les temps de la

conception, en rendant possible une synchronisation forte des décisions, les réseaux induisent le passage d'une ingénierie fortement discrétisée à une ingénierie de plus en plus simultanée.

Les cinq dernières années connaissent l'émergence du Web sémantique et de la CAO 4D basées sur la gestion des connaissances (Knowledge Management) et l'ontologie des modèles de produit. En ce qui concerne les méthodologies conception, la tendance est pour la mise en place et la concrétisation des besoins d'une ingénierie concurrente définie pendant les années quatre-vingt dix.

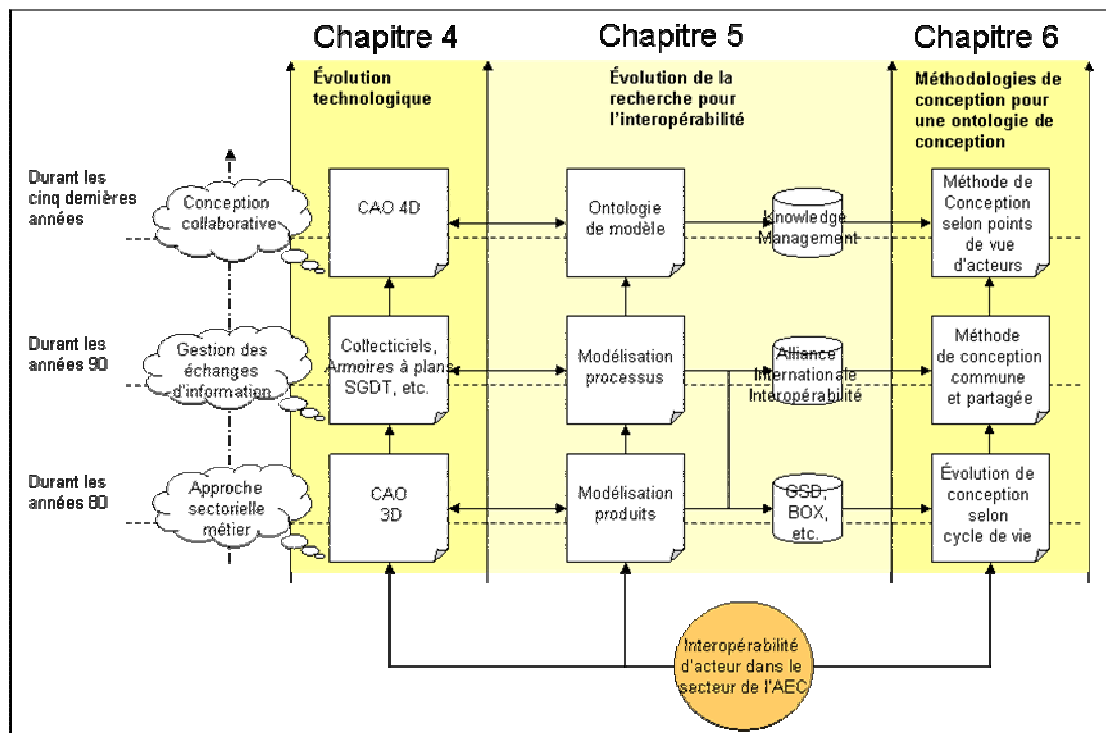


Figure10 : structure de l'état de l'art

Chapitre 4 Travail collaboratif et Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Introduction

Le présent chapitre est un état de l'art sur les moyens technologiques dédiés à la conception et à l'interopérabilité entre acteurs de l'AEC. Comme explicité dans la (figure10) nous distinguons trois grandes périodes d'évolution des NTIC. Durant les années quatre-vingt le secteur bâtiment s'est doté d'outils de CAO 3D métier. Dans les années quatre-vingt dix le besoin d'interopérabilité entre ces outils a fait intervenir les outils ouverts sur le Web, les collecticiels répartis sur réseau. De nos jours, les NTIC dans le bâtiment évoluent vers la CAO 4D et le Web sémantique construit autour de la gestion de connaissances.

4.1. Les outils d'aide dans le bâtiment : la CAO 3D

La présentation suivante des outils d'aide aux activités de conception et conception collaborative n'est pas spécifique au secteur du bâtiment étant donné que ces outils n'ont intégrés l'AEC que tardivement. L'aide à la conception collaborative dans le bâtiment est très liée aux outils de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) orientés vers les métiers de ce secteur. Nous présentons ici une lecture analytique de l'évolution de ces outils dans le secteur de la construction pendant les années quatre-vingt.

Durant les années quatre-vingt dix [Léglise 1995] souligne dans un constat sur l'évolution de la CAO dans le bâtiment « qu'il y a toutes les raisons de penser que les développeurs de systèmes de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) liés à l'architecture étaient plus intéressés à la fabrication de systèmes qui fonctionnent que par l'élaboration de systèmes capables de s'adapter aux besoins des concepteurs ».

En effet, de l'AEC en général et l'architecture en particulier ont investi les domaines des NTIC sans transition préalable et adaptation requise. Car le passage de l'utilisation

d'outils conventionnels (planche à dessin, documents papiers, etc.) à l'utilisation d'outils nouveaux (logiciel CAO, modeleurs géométrique, logiciels de traitement d'images, collecticiel, etc.) suppose un minimum de révision sur les pratiques pouvant changer [Billon 1999]. Dans la transition au monde des NTIC, les concepteurs du bâtiment ont commencé par utiliser des produits logiciels conçus pour d'autres types d'acteurs et domaines : des modeleurs géométriques destinés aux secteurs de la mécanique, de l'aérospatiale, de la réalité virtuelle, etc.

A priori les architectes (principaux maîtres d'œuvre dans le bâtiment) ne tirent profit de ces outils que de manière très restreinte, le souci majeur étant de trouver un moyen de représentation de projet le plus réaliste possible (modélisation 2D et 3D de projet). Dans le même temps les éditeurs de logiciels, conscients de l'importance du nouveau marché qui s'ouvre à eux, commencent à investir un domaine nouveau de la CAO et DAO orienté vers le secteur bâtiment, et proposent des outils de plus en plus adaptés. On assiste alors au passage de l'utilisation de logiciels proposant des modeleurs géométriques (modélisation de courbes, surfaces, et figures géométriques) dits généralistes, à l'utilisation de logiciels proposant une modélisation « d'objets bâtiment » dits dédiés [Autodesk 2002].

Ce passage d'une représentation géométrique généraliste à une représentation en « objets » et éléments propres et dédiés au bâtiment est néanmoins peu suivi sur le terrain. Car les objets proposés par les éditeurs de logiciels sont très limitatifs du bâtiment (le bâtiment est plus complexe que l'assemblage souvent repris dans les logiciels dédiés, de poteau, poutre, mur et dalle.) [Lasserre 2002]. Ces logiciels prennent base sur des modèles du bâtiment très élémentaires, qui modélisent une réalité autre que celle observée sur le terrain.

De plus en plus d'acteurs de la conception du bâtiment, faisant face à ce décalage entre pratiques du métier et outils supports à la pratique, investissent le domaine des NTIC pour mieux saisir le contexte dans lequel ils évoluent. Ils se rendent compte que l'informatique est loin d'être un moyen d'aide au dessin, seulement. C'est avant tout un moyen de traiter l'information de quel que domaine qu'elle soit.

Ces outils d'aide sont nombreux. Tout secteur d'activité produisant de nouveaux objets en faisant appel à des connaissances, des savoir-faire partagés, s'est vu commercialiser un ou plusieurs outils d'aide à la conception. Ils couvrent de nombreux domaines du secteur de l'AEC : génie civil, génie électrique, architecture, etc. Ces outils sont souvent orientés vers la représentation graphique (2D ou 3D). Ils sont caractérisés par leurs aspects sectoriels et orientés « métiers » ne favorisant pas l'interopérabilité d'acteurs. Un autre aspect de ces outils est introduit dans [Segers 2001] traduit de l'anglais « Alors qu'il existe de très nombreux outils et systèmes visant à automatiser ou faciliter le processus de projet, les outils de conception utilisant cette information tout en stimulant la créativité sont encore relativement rares » .

Les fonctions principales de ces outils de CAO sont celles qui permettent l'édition des représentations de l'objet, mais elles sont souvent accompagnées d'autres fonctions transversales et complémentaires utiles au travail de conception [Krakowiak 2004]. Toutes ces fonctions peuvent être répertoriées en un certain nombre de catégories selon [Halin 2004] :

- Les fonctions d'édition et de manipulation de l'objet : elles sont dépendantes du modèle de représentation utilisé, et permettent à l'utilisateur de représenter et de manipuler l'objet tout en respectant le modèle de représentation.
- Les fonctions de paramétrisation ou de définition des contraintes de conception : elles permettent la collecte des contraintes connues (présentes dans le cahier des charges) que les concepteurs doivent respecter. Leur prise en compte est aussi dépendante du modèle de représentation utilisé.
- Les fonctions de gestion des niveaux d'abstraction : elles permettent la définition de vues, la focalisation sur certaines propriétés de l'objet, le masquage de propriétés, le parcours de l'objet et sa présentation à l'utilisateur.
- Les fonctions de rétrospection : ces fonctions de recherche permettent de trouver une information soit dans l'objet en cours de conception, soit dans une mémoire à court terme de la conception courante, soit dans une mémoire à plus long terme des conceptions précédentes.
- Les fonctions d'intégration : elles ouvrent l'outil vers l'extérieur en lui offrant la possibilité d'intégrer d'autres formes d'objets construits par d'autres outils de conception dans l'objet en cours de conception.

- Les fonctions de gestion des évolutions : elles offrent la possibilité de gérer différentes versions de l'objet représenté, les différents chemins parcourus dans l'espace des solutions,
- Les fonctions d'assistance et d'aide : elles décrivent les autres fonctions. Elles peuvent être contextuelles ou sous la forme d'un document hypertextuel (tutoriaux, fichier d'aide, etc.).

La demande des professionnels pour des solutions logicielles permettant d'améliorer les échanges de données entre leurs outils spécifiques de conception est un phénomène qui évolue [Mesquita 2002]. Cette exigence, inconnue ou timidement formulée il y a quelques années, devient une des préoccupations fortes de l'AEC.

Aujourd'hui les plus grands éditeurs d'outils de CAO tentent de développer ensemble des formats de fichier « standard » échangeable entre logiciels métiers différents (cf. 4.4.). Ils tentent aussi de développer des outils de travail collaboratif indépendant des outils de CAO, dédiés à *l'interopérabilité sur le Web* (cf. 4.2. et 4.3.) il s'agit des outils de TCAO (Travail Collaboratif Assisté Par Ordinateur).

4.2. Le travail Collaboratif Assisté par Ordinateur : TCAO

La généralisation de l'Internet et de sa structure en réseau parmi les communautés d'acteurs de l'AEC a étendu l'espace de collaboration à la fois du côté de la gestion collaborative de l'information [Ginsburg et Kambil 1999] et également du côté de la gestion de projets coopératifs [Indrusiak et al. 2001]. En somme, Internet permet de gérer l'échange d'information numérisée entre acteurs dans les phases de conception, ainsi que dans les phases de réalisation. Si l'on ne veut pas se limiter à une approche instrumentaliste, derrière ces échanges d'informations numérisées se construisent des manières d'agir ensemble singulières [Cicognani et al. 1997] [Dong et al. 1995].

On relève deux points néanmoins, qui ne sont pas à proprement parler des problèmes, mais qui ont limité jusqu'à aujourd'hui l'usage de l'informatique en réseau et des documents électroniques en perspective d'une ingénierie concourante [Malcurat 2001]:

- La prééminence du support papier et plus généralement l'attachement à la matérialité des supports. Hérité de pratiques séculaires, il est majoritairement

utilisé dans les échanges qu'ils soient graphiques ou textuels. Outre cela, il conserve l'avantage de la souplesse d'utilisation (annotation des plans, visualisation aisée) et une valeur contractuelle car ce sont des documents papier qui sont exigés et non leurs versions électroniques.

- La modélisation graphique moyennant la CAO, est presque toujours effectuée en mode bidimensionnel (2D), le mode tridimensionnelle n'est que rarement exigé. Les échanges portent donc sur des représentations traditionnelles (plans, coupes, façades), plutôt que sur des maquettes « virtuelles » en 3D.

Théoriquement, il existe 5 principaux objectifs des outils dédiés au TCAO [David 2001]:

- Obtenir un gain de performance ;
- Capitaliser la connaissance. ;
- Améliorer les temps de réponse ;
- Partager les compétences ;
- Faciliter le travail à distance.

Cette discipline devrait être considérée comme une tentative pour comprendre la nature et les caractéristiques du travail coopératif, avec comme objectif la conception d'une technologie adéquate. Le TCAO, domaine de recherche relativement récent (une quinzaine d'années) et aujourd'hui bien identifié, partage, avec d'autres domaines de recherche, des préoccupations et des conceptualisations dont il s'est fortement inspiré pour son propre développement [Malcurat 2001]. Ce qui a permis au TCAO de s'affirmer par rapport à ces différents domaines, ce qui fonde l'identité même de ce domaine, réside dans la forte imbrication des questions techniques et sociales qu'il soulève. Coopérer « informatiquement », c'est *former un réseau de machines et d'Hommes*.

La mise en place d'outils de TCAO prend appui sur les technologies du Web et se développe selon des architectures système composées « d'Hommes » et de « machines » identifiées comme des « clients » et « serveurs ». Ces outils sont plus communément appelés « collecticiels ».

4.3. Collecticiels et CAO 4D

Le terme collecticiel (synonyme de synergiciel) est la traduction du terme anglais « *groupware* ». Il désigne la technologie destinée à faciliter le travail de groupe. Cette technologie peut être employée pour communiquer, coopérer, se coordonner, résoudre des problèmes, concourir ou négocier [Appelt 2001]. Un groupe n'est pas nécessairement une entité constituée préalablement à l'utilisation du collecticiel (il arrive que ce soit le collecticiel qui induise la formation du groupe) fixe dans le temps et dont les liens et motivations de groupe sont très solides. Mais un groupe a toujours une motivation minimale qui l'unit.

L'architecture d'un collecticiel dans ses aspects les plus élémentaires, nous importe ici. Nous identifions trois critères qui s'avèrent souvent décisifs dans le choix d'un collecticiel [Belaud 2002]:

- *Environnements d'exécution du client* : Dans le secteur du bâtiment (en France), il en existe deux principaux (Windows et MacOS), les autres étant très largement marginaux (ex. Unix, Linux). Évidemment, les logiciels qui ne s'exécutent que dans un seul de ces environnements excluent indirectement les utilisateurs d'autres environnements.
- *Clients* : Le client est le programme d'interface exécuté par l'utilisateur du collecticiel. Les clients Web (webbased groupware) s'exécutent depuis un navigateur internet ; l'avantage de cette formule est son universalité (toutes les personnes ayant accès à internet ont un navigateur internet) et sa simplicité d'emploi ; l'inconvénient réside dans la faiblesse des interfaces graphiques et la difficulté à supporter la communication synchrone [Mayeur 2003]. Pour remédier à ces problèmes, certains clients Web sont écrits, totalement ou en partie, dans le langage Java. Le programme client peut être écrit spécifiquement pour l'environnement dans lequel il s'exécute ; contrairement aux deux solutions précédentes, ils nécessitent l'installation, parfois le téléchargement, d'un programme et des mises à jour occasionnelles. Ses avantages sont ceux que l'on peut déjà obtenir avec les clients « java » avec en plus une meilleure intégration à l'environnement d'exécution (ex. possibilité de couplage avec des logiciels installés, interface graphique standard, etc.).

- *Serveurs* : Le serveur est le programme qui dialogue avec les programmes clients ; il est le coeur du collecticiel car il centralise et pérennise les données (référentiel unique) de tous les utilisateurs [Mayeur 2003]. Dans la grande majorité des collecticiels actuels, le serveur est hébergé par une société qui «loue» (ou « prête » pour des évaluations) ses services aux utilisateurs. Dans ce cas, ces derniers ignorent la localisation du serveur et n'ont aucun contrôle sur la confidentialité des données qu'ils y entreposent. Quelquefois, le programme serveur est mis à disposition des utilisateurs pour une installation sur une machine serveur de leur choix ; par rapport à l'offre précédente, cela offre l'avantage de ne pas avoir à louer un service et d'avoir une capacité de stockage très importante ; les inconvénients sont l'obligation de disposer d'une machine serveur (avec une connexion permanente) et l'exigence d'une compétence informatique minimum.

Une autre architecture pour la mise en place de collecticiel, en pleine émergence aujourd'hui, prend le nom de « poste à poste » (Peer-to-Peer) [Gehre et al. 2004]. Cette architecture logicielle s'affranchit d'une centralisation des données par un ou plusieurs serveurs. Les postes clients établissent des connexions directes entre eux. Si les problèmes de confidentialité des données et de dépendance vis-à-vis d'une société de services y trouvent un début de solution, la pérennité des données n'est assurée que si les utilisateurs, à la fois clients et serveurs, maintiennent une connexion permanente au réseau (ex. connexion ADSL ou câble).

Parallèlement au développement de collecticiel, la *CAO 4D* constitue une autre forme d'outil permettant de rendre le cycle de conception avancée interopérable. Elle consiste à intégrer dans les outils CAO de modélisation 3D, une *quatrième dimension* signifiant l'évolution du processus.

Les récents travaux de recherche [Akbas 2004] [Akinci 2002] [Heesom 2003] [Li 2003] [Mallasi 2002] dans la CAO 4D montrent un intérêt croissant pour le développement d'environnement 4D intégrant : une variété d'analyse d'espace de travail, des flux d'information, utilisation de ressources, etc.

Dans [Koo 2003] la modélisation 4D est définie par des outils de « visualisation » des information de projet, « d'intégration » augmentant la collaboration entre acteurs, et de support « d'analyse » pour les différents utilisateurs.

La modélisation 4D est une approche qui s'implémente différemment selon les projets et les cas d'étude. [Kam et al. 2003] propose d'intégrer une quatrième dimension dans la CAO matérialisée par un modèle de gestion documentaire. Des travaux comme [Schapke et al. 2002] proposent d'examiner l'aspect traitement et extraction de connaissance (data mining) des documents générés dans un processus de conception. Dans le chapitre 7 (cf. ch.7.3.), nous proposons une implémentation 4D moyennant le modeleur 3D AutoCad et le Système de Gestion de Base De Données (SGBD) Oracle8.

4.4. L'informatisation : du documentaire au « modèle »

Nous distinguons dans notre état de l'art deux approches pour satisfaire au problème d'assistance informatique à la conception coopérative dans l'AEC. Une première approche dite « documentaire ». Elle concerne le développement des collecticiels et des outils basés sur Internet. Une deuxième approche dite « modèle » regroupe les efforts de standardisation des échanges entre outils logiciels d'acteurs (cf. 5.1.).

L'approche documentaire propose la mise en œuvre des Systèmes de Gestion De Documents Techniques (SGDT) échangés entre acteurs. Il s'agit d'organiser l'échange des documents numérisés produits par chaque acteur sans toutefois se soucier du contenu de ces derniers. L'architecture des collecticiels introduits dans le titre précédent sont le support informatique qui permet de gérer ces échanges.

L'assistance que propose cette approche est très focalisée sur l'ingénierie et l'échange de données. Elle n'introduit aucune sémantique nouvelle dans le processus de conception. Relativement à un processus classique de conception, il ne s'agit que d'un simple changement dans la nature du support documentaire.

Il existe actuellement une multitude de systèmes et collecticiels sur le marché qui adoptent cette approche, nous citerons entre autres les produits de Build-on-ligne, OTH, DERBI, PROSYS, etc. Nous citons aussi pour les précurseurs [Batibase 1996]

[Batiprix 1999] [Habitat 1997] [Batimat 1997] [Cated 1985]. Les informations qui se trouvent sur ces systèmes sont gérées par les sociétés spécialisées dans la gestion d'informations sur les produits. Mais ces informations peuvent être aussi gérées par les fabricants.

Les collecticiels cités sont désignés aussi par le nom « d'armoire à plans ». Ils permettent à tous les intervenants sur un projet de partager un espace de stockage électronique de documents (graphiques, textuels, tabulaires) tout au long des différentes phases. L'accès à l'armoire à plans est personnalisé en fonction de chaque acteur selon ce que stipule le contrat d'interchange adjoint au marché d'études et de travaux.

Les principales fonctionnalités de l'armoire à plans sont le classement et l'organisation des documents, la communication entre les partenaires grâce à une messagerie associée et le maintien de la cohérence des données. Le classement des plans obéit à trois découpages qui permettent d'interroger la base de données : un découpage en domaine technique, un découpage par phase (esquisse, avant-projet, exécution...), un découpage en zones géographiques (ou en bâtiments, niveaux) proposé par chaque acteur en fonction de la pertinence de ses interventions. Le respect de règles sur la codification des cartouches (norme AFNOR) et des couches (norme ISO 13567 (organisation et dénomination des couches CAO)) est nécessaire pour retrouver et exploiter les documents graphiques. Les messages de facturation se conforment à la norme EDIFACT.

Pour donner une idée de l'ampleur de la gestion par armoires à plans informatisés, prenons les chiffres donnés dans [Dechaume 1997] : sur l'opération de l'Hôpital Européen Georges Pompidou (plus d'un milliard de francs de travaux (15 millions d'euros)), l'armoire à plans a permis de connecter jusqu'à 60 intervenants ; elle a stocké 30 000 plans (équivalents à 3 giga-octets) au rythme de 3 000 nouveaux plans par mois.

Cette situation devrait évoluer avec la généralisation de la « maquette numérique partagée ». Dans ce cas de figure, les acteurs partageront le même objet (maquette numérique) qu'ils modifieront de manière totalement concurrente, à l'image de ce qui a déjà lieu dans l'industrie automobile ou aéronautique [Dunyach et Moore 2001].

d'éditeurs proposent déjà ce service. Les IFC constituent de nos jours le plus gros projet international pour l'interopérabilité dans le secteur de l'AEC. La version 1,5 est la seule version disponible certifiée pour le moment, et elle ne permet d'échanger que quatre types d'objet : mur, poteau, dalle, plancher. La révision de la version 2x a pris fin en 2003, et la version 2,0 qui l'a précédé attend toujours d'être certifiée par les éditeurs de logiciels. Peut être que ce manque de succès tient au fait que le modèle IFC formalise les tâches spécifiques aux acteurs et les contraintes à modéliser selon la « méthode » formalisée (cf. 6.2.).

La réalité des choses de nos jours est que les outils de CAO disponibles adoptent pour la grande majorité l'approche documentaire pour l'assistance informatique. Le projet y est représenté selon la structure « layers » en couches superposées d'information, l'information est échangée avec les autres acteurs par des utilitaires de gestion documentaire. L'environnement d'AutoCad par exemple (produit d'Autodesk) propose l'édition de page Web, l'envoi de fichier graphique au format graphique standard DXF comme e-Mail à partir du logiciel même, les conférences en ligne, etc.

Les outils de CAO adoptant l'approche modèle connaissent malheureusement moins de succès et sont utilisés en général de manière inappropriée. ArchiCad de Graphisoft est sans doute le logiciel adoptant une approche modèle le plus utilisé par les architectes dans le monde. Cet outil propose de représenter le bâtiment en objet véhiculant une sémantique [Graphisoft 2004]. La pratique montre que les « objets » proposés dans ArchiCad sont utilisés d'une manière complètement contradictoire avec la fonction pour laquelle ils ont été créés. Si l'on demande à un architecte comment vous représentez un poteau dans ArchiCad, la réponse serait pour les expérimentés « en utilisant l'objet -dalle- et en lui donnant des paramètres géométriques de poteau » alors qu'il existe un objet « poteau » dans ArchiCad. Ceci n'est qu'un tout petit exemple de ce qu'est la complexité de « représentation en modèle du bâtiment ».

Synthèse

Ce premier chapitre de l'état de l'art explore l'évolution du travail collaboratif par rapport aux NTIC. Nous distinguons quatre principaux points marquant cette avancée vers l'interopérabilité :

- L'évolution des outils de CAO dans l'AEC, des outils généralistes conçus dans d'autres domaines, aux outils dédiés spécifiques aux métiers ;
- L'évolution, de la sectorisation engendrée par les outils de CAO dédiés, vers l'interopérabilité rendue possible par deux versants : la construction de modèles conceptuels (maquette numérique) autour des standards d'échange (cf. 5.2.) et la gestion de la communication et de l'échange documentaire moyennant le Web ;
- La création de collecticiels pour gérer les documents numérisés sur le Web avec une architecture client serveur regroupant les acteurs en « clients» ;
- L'effort de synthétiser le développement d'assistance à la conception collaborative, selon deux approches : l'approche documentaire déjà opérationnelle et utilisée, et l'approche modèle en phase d'expérimentation et d'adaptation au terrain.

Chapitre 5 La modélisation conceptuelle dans le bâtiment

Introduction

Le deuxième chapitre de cette partie est un état de l'art articulé autour de six titres. Le premier titre est relatif à la définition et présentation de la modélisation conceptuelle. Le deuxième consiste en un état de l'art sur les principales initiatives de modélisation françaises et internationales pour l'interopérabilité. Dans un troisième titre nous présentons l'implémentation en outil que prennent les différents modèles existants. Un quatrième titre permet de résumer les apports, les limites et perspectives des travaux de recherche et initiatives actuelles. Enfin, nous présentons l'approche systémique de modélisation « informelle » et le langage UML de modélisation « formelle » dans les cinquième et sixième chapitres.

5.1. La modélisation conceptuelle des données

La modélisation peut être perçue comme une méthodologie de construction de connaissances. Selon [Heylighen 1993], la question fondamentale à laquelle la modélisation doit répondre est : « Comment un environnement complexe peut être représenté par un modèle qui est nécessairement plus simple et qui permet à un sujet (un utilisateur) de construire des connaissances pour prédire le comportement de cet environnement ? ». Elle peut être exprimée par des mots, des symboles ou des formules mathématiques décrivant des entités et des relations établies entre elles [André et Vailly 2001].

Le même auteur reprend dans [Heylighen 2003] une définition de [Le Moigne 1999] qui cite la modélisation comme étant une action d'élaboration et de construction intentionnelle de modèles par composition de symboles. Ces modèles sont susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences des projets d'actions. La modélisation

est une activité intrinsèque à toute tâche humaine et elle est la base de construction de connaissances.

Un modèle est utilisé pour permettre la compréhension et la communication des prescriptions. Différents types de modèles peuvent être créés, chacun d'eux correspondant à un aspect spécifique de l'analyse, de la conception, et de l'implémentation d'un système. Les modèles les plus fréquemment utilisés dans le secteur de la construction sont les modèles de *processus* et les modèles *objet* (appelés aussi : *produit*) [IAI 2005].

- Un modèle de processus décrit les tâches qui font partie d'une activité donnée et présente les informations qui doivent être communiquées entre ces tâches. En fait, il décrit les messages qu'une tâche envoie aux autres tâches. L'intérêt d'un modèle de processus réside dans le fait qu'il peut être utilisé pour exposer la manière selon laquelle les différentes activités sont conduites et la manière selon laquelle elles devront l'être. Pour cette raison, les modèles de processus sont des outils fondamentaux pour l'amélioration des processus et leur réorganisation⁴. Parce que le modèle de processus présente aussi les informations qui existent (ou qui doivent exister) dans un processus, c'est aussi un préalable à la phase d'analyse pour le développement des systèmes. Il liste les informations qui doivent être captées par le modèle objet.

- Un modèle objet (produit) est une représentation du contenu et de la structure de l'information qui doit être échangée ou partagée. Il est aussi utilisé dans les phases d'analyse et de conception du développement des descriptions, comme un moyen pour les spécialistes du secteur de réviser et de commenter le travail réalisé par les spécialistes de la modélisation.

Un modèle de données de produits bâtiment est un modèle particulier de données « produits ». Un produit est défini dans [Gu et al. 1995] comme « tout objet physique produit par un processus naturel ou artificiel. De plus, toute partie ou ensemble qui participe à un produit est également un produit ».

⁴ On parle ici de processus liés aux activités de l'AEC

Un modèle de données pour le bâtiment est un type de modèle permettant, au premier niveau, de représenter des concepts du secteur (on les appelle des classes d'objets) et leurs relations ; par exemple, on peut dire qu'une pièce (ce concept d'une manière générale) appartient à un étage, ou qu'une porte est un type de baie, etc.

L'apport d'un tel modèle (il en existe plusieurs développés par des éditeurs de logiciels de dessin architectural) se limite à la pratique du seul logiciel qui l'implémente. Or les cas d'échange de données entre logiciels se produisent aussi et surtout entre des logiciels distincts, d'où l'intérêt pour les acteurs de disposer d'un modèle standard, sémantiquement riche de surcroît [Brown et al. 1996]. Ce type de modèles permet de représenter les acteurs (utilisateurs ayant accès au modèle) et leurs points de vue ; le modèle différencie pour chacun des acteurs, en fonction de son métier ou du corps d'état auquel il appartient par exemple, la représentation (la vue) d'un même objet architectural. Par exemple, la représentation d'une paroi verticale est adaptée aux métiers auxquels elle s'adresse (ex. coefficient thermique pour le thermicien, coefficient acoustique pour l'acousticien, forme et matière pour l'architecte, prix pour l'économiste).

D'un point de vue logiciel, ces modèles sont conçus pour améliorer l'interopérabilité, c'est-à-dire l'échange d'information entre plusieurs logiciels. Les avantages avancés sont évidents [Malcurat 2001] :

- La capitalisation des informations dans un modèle unique et cohérent ;
- Pas de ressaisie du travail d'un acteur « en amont » ;
- Pas d'erreurs d'interprétation. ;
- L'automatisation (ou semi-automatisation) de certaines procédures, notamment pour la synthèse technique (détection des conflits topologiques).

Une typologie intéressante proposée par [Björk 1995] (la majeure partie des modèles pour le bâtiment ont vu le jour dans les années quatre-vingt dix (cf. 5.2.)) situe en cinq parties les modèles de données du bâtiment par rapport à des modèles élaborés dans d'autres domaines. Ces cinq catégories sont classées de manière hiérarchique, partant des modèles les plus génériques aux modèles les plus spécifiques, avec un mécanisme d'héritage dans la structure d'information. Ces modèles de données peuvent être représentés par une série de couches concentriques. Les couches les plus profondes

contiennent des structures d'informations génériques, utilisées par héritage dans les couches supérieures.

- *Les langages de modélisation de l'information* sont utilisés dans tous les modèles. Ils fournissent des méthodes de formalisation qui sont appliquées dans les domaines qui nécessitent l'élaboration d'outils informatiques (industrie, bâtiment, gestion, etc.).

- *Les modèles génériques de description de produits.* Ces modèles constituent la première génération de modèles de données développés au milieu des années quatre-vingt. Ils proposent une organisation de l'information décrivant un produit manufacturé durant son processus de conception, indépendamment de la nature de l'objet. Cette organisation peut être appliquée à divers domaines : bâtiment, automobile, construction navale, etc. Les structures d'information présentes dans ces modèles décrivent les propriétés générales d'un produit : forme, localisation, relations avec d'autres objets (composition, association, etc.), ainsi que les états durant le processus de sa conception.

- *Les modèles communs de données de produits bâtiment.* Ces modèles contiennent les structures d'information explicites pour le domaine du bâtiment. Ils constituent des noyaux communs, dans lesquels est décrite l'information générale sur le bâtiment commune à tous les points de vue. La description des objets est la même que dans le cas des modèles génériques (forme, relation, localisation, niveaux de conception, etc.) mais prend en compte, cette fois, la sémantique du bâtiment. On décrit des objets tels que les espaces, les murs ou les ouvertures ou les relations entre un espace et les parois qui le composent, etc. Les caractéristiques qui les décrivent sont communes à tous les points de vue (matériaux, coefficient d'inertie thermique, etc.).

- *Les modèles partiels de données de produits bâtiment.* Ces modèles contiennent les structures d'information pour modéliser le bâtiment relativement à un point de vue ou à une phase donnée du processus. Dans certain cas, ils peuvent regrouper plusieurs points de vue. La différence avec les modèles communs de données bâtiment réside dans le traitement partiel du domaine. Ces modèles décrivent des informations qui ne font plus l'objet d'un consensus au niveau des modèles communs.

- *Les modèles d'application.* Ce sont des schémas conceptuels d'une application donnée. Ils ne font pas l'objet de recherches dans le secteur bâtiment.

La modélisation conceptuelle de données permet ainsi de formaliser non seulement des objets bâtiments, mais aussi les processus qui les réalisent.

5.2. Principaux modèles de données pour l'interopérabilité dans le bâtiment

La modélisation conceptuelle a constitué durant les années quatre-vingt-dix l'un des plus importants domaines de recherche dans le secteur bâtiment, pour la production d'outils d'aide à la conception collaborative [Poyet 1997]. Ce phénomène n'a trouvé néanmoins que très peu de succès parmi la population d'utilisateurs à laquelle il est destiné [Lasserre 2002]. Aujourd'hui ce désintérêt des utilisateurs bloque de manière considérable la recherche dans le domaine de la modélisation. Le retard qu'a pris le bâtiment dans le domaine de l'ingénierie ainsi que les traditions séculaires difficilement modifiables sont sans doute les freins de cette avancée du domaine.

Durant ces années, un grand nombre de travaux au niveau national français ont été initiés (BOX, GSD, MOB, SUC, TECTON, etc.)⁵ mais aussi au niveau international (ATLAS, COMBINE, RATAS, etc.)⁵ qui se sont fixés pour problématique la description et l'élaboration de modèles de données ou de modèles d'activités relatifs aux produits et au processus de construction du bâtiment.

Ces travaux se sont diversément appuyés sur des laboratoires de recherche issus du milieu universitaire, avec l'aide de partenaires institutionnels et de partenaires industriels impliqués dans la fabrication de matériels ou l'édition de logiciels.

Sur le plan national français, le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) est la première institution de recherche dans le bâtiment. Ce centre est à l'origine de plusieurs projets pour l'interopérabilité qui néanmoins s'appuient sur des travaux plus ouverts vers l'international tel que les IFC. D'autres centres de recherche comme le CRAI (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie) de Nancy, le MAP

⁵ Ces projets sont détaillés plus loin dans le texte

(Modélisation et simulation pour l'Architecture et le Paysage) de Marseille, CERMA de Toulouse, etc. constituent les principaux pôles de recherche universitaire en matière de travail collaboratif dans le bâtiment en France.

Sur le plan international, le VTT Center en Finlande (équivalant au CSTB français) est sans doute la référence première en la matière. Ce centre travaille en collaboration avec les institutions représentatives du secteur bâtiment dans toute l'Europe et même en Asie et en Amérique.

Aujourd'hui les différents efforts internationaux tentent d'unifier leurs démarches pour le même et seul objectif de créer un modèle d'interopérabilité. Ces efforts ont donné naissance en 1995 à l'Internationale Alliance pour l'Interopérabilité (IAI). Néanmoins, avant de présenter les projets de l'IAI, nous présentons ici les principaux modèles déjà réalisés et ayant servi de base pour le développement de cette alliance durant les années quatre-vingt dix.

Modèles de données bâtiment de la décennie quatre-vingt dix

Le projet SUC [EDICONSTRUCT 1995], s'est orienté vers une harmonisation des codes et conventions graphiques entre utilisateurs de systèmes hétérogènes de CAO. Les éditeurs concernés ont structuré un modèle de fichiers d'échanges au format DXF accessible depuis différentes plates-formes. L'association d'un Système de Gestion de Bases de Données (SGBD) gérant les informations en y associant des attributs non graphiques tels que la nature des matériaux ou leurs caractéristiques a donné naissance au projet BOX.

Le GSD, Activités et recherches du Groupe Structuration des Données, [GSD 1991] s'est proposé de produire à partir des modèles recensés par ses animateurs une synthèse selon trois niveaux : le niveau de référence accepté par tous, le niveau applicatif dédié à un point de vue et les différents niveaux intermédiaires dits de spécialisation puisqu'ils permettent de passer des premiers aux seconds. Ce travail s'est donc largement appuyé sur les résultats de projets antérieurs.

Selon [Dugelay 1993] le projet MOB « Modèle partagé des Objets du Bâtiment », propose l'élaboration d'un modèle de référence intégrant les points de vue des

différents acteurs du projet de conception et réalisation du bâtiment. Il s'articule autour d'une maquette de bâtiment de référence appelé "modèle pivot". Il est intéressant de noter que l'objectif essentiel de ce projet est la spécification et le prototypage de nouveaux services d'échanges, dans lesquels souhaitent s'impliquer fortement les opérateurs de réseaux présents dans l'équipe [MOB 1994].

Le modèle SIGMA [SIGMA 1994], est un modèle proposé par l'AFNOR. Nous retiendrons que SIGMA se veut être une synthèse des projets existants et ayant déjà proposé des résultats exploitables [Debras 1996]. C'est une synthèse des modèles français : GSD, MOB, et SUC. Le cycle de conception, dans ce modèle, est décomposé en trois phases générales qui semblent s'appuyer sur le découpage normatif, propre au contexte français de la loi MOP (APS, APD, DPC).

Le projet européen ATLAS (Architecture, methodology and Tools for computer Integrated Large Scale engineering) qui réunit des industriels, des éditeurs et des chercheurs est orienté vers l'intégration des outils ou techniques informatiques dans les activités d'ingénierie de grands projets afin de partager et d'échanger l'information tout au long de ce processus. C'est l'un des premiers projets à parler de "l'ingénierie concourante" considérant l'activité de construction dans sa globalité. Il prend en compte l'aspect définition du "produit" et les aspects contenus dans le "process plant", c'est à dire la planification et la gestion du processus de construction, des approvisionnements, des coûts et du temps[ATLAS 1992].

Le projet finlandais RATAS, est un des plus anciens [Huovila 1993]. Sa problématique a donné naissance à différentes actions conduites en collaboration avec d'autres projets européens, notamment le projet COMBINE (Computer Models for Building INdustry in Europe) [Augenbroe et Owen Lewis 1991], [Dubois 1993] et CIMSTEEL lancé en 1990 et plus particulièrement attaché aux aspects énergétiques dans le bâtiment.

Nous introduisons ci-après deux modèles qui ont fait l'objet d'un développement à l'échelle mondiale : le modèle STEP qui date du milieu des années 1980 et le modèle IFC qui lui est postérieur de 10 ans. Il s'agit pour ce dernier de la plus grande mobilisation internationale pour l'interopérabilité dans le secteur du bâtiment.

Modèles de données STEP et IFC

La technologie des données de produits développée dans STEP vise à maîtriser tous les aspects de la définition et du traitement de l'information afférente à un produit tout au long de son cycle de vie. En premier lieu, STEP développe les modèles et se préoccupe de les rendre interopérables par la définition sémantique des objets de construction [Sahnouni 1999]. Ensuite, il met en place des protocoles d'application métier (domaine, champs, etc.) et s'occupe de l'implémentation, en définissant une norme pour les formats de fichiers afin que différentes applications (de différents éditeurs) accèdent à des informations dans un environnement partagé. STEP surmonte la difficulté posée par la multiplicité des interfaces entre applications en intégrant le dispositif d'interrogation des données SDAI (Standard Data Access Interface) aux données elles-mêmes ; l'application ignore l'implémentation dans la base de données.

STEP n'est pas initialement qu'un modèle de données bâtiment ; son domaine d'application est beaucoup plus large et couvre le domaine de l'automobile, de l'aéronautique, de l'architecture navale, etc. Il intègre, afin de s'adapter à un domaine d'application particulier, des protocoles d'application. Par exemple, le protocole d'application 225 « Building Elements Using Explicit Shape Representation » vise à donner une description géométrique 3D des éléments de construction. Le protocole d'application 208 « Life Cycle Product Change Process » concerne la gestion du cycle de vie des objets (par exemple architecturaux), des versions successives d'objets, des acteurs responsables, mais n'est pas spécifique au domaine bâti.

La structuration des données selon le protocole d'application 225 s'établit autour de notions, ou d'objets au sens informatique, que voici : bâtiment, élément, espace d'usage, partie physique, ouvrages particuliers et matériaux de construction. Nous donnons une illustration de la relation de ces objets entre eux (figure12).

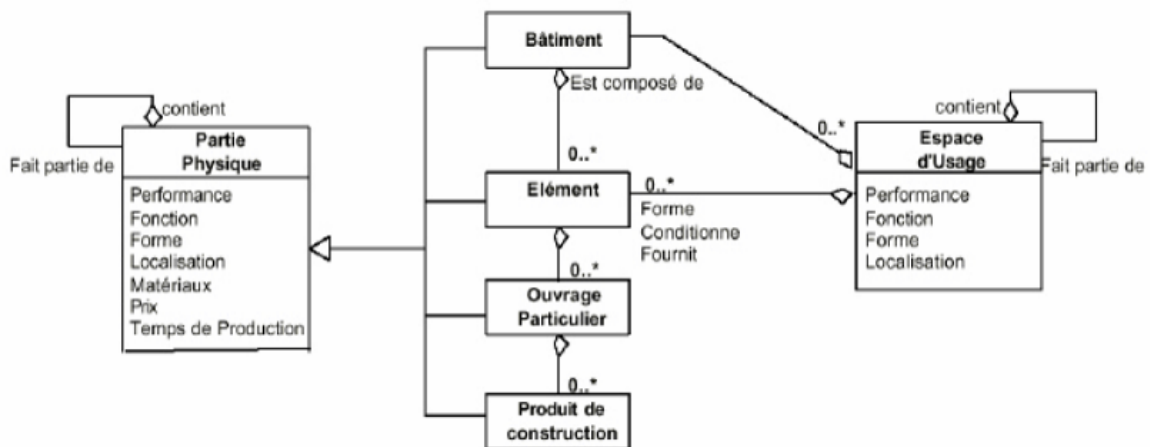


Figure12 : Protocole d'application225 selon le formalisme UML [Malcurat 2001]

Le modèle IFC (Industrial Foundation Classes) de l'IAI (International Alliance for Interoperability) utilise une partie de la technologie du modèle STEP. Sa réalisation suit une approche ascendante, depuis les préoccupations des utilisateurs (enquêtes des besoins des professionnels du bâtiment) jusqu'au codage informatique, par opposition à celle de STEP qui peut être considérée comme au moins partiellement descendante.

L'IAI (International Alliance for Interoperability) est née en 1995 aux Etats Unis sous l'impulsion de 12 sociétés fondatrices. STEP, département de l'ISO, avait en projet le développement d'un modèle d'échange de données dédié au secteur de l'AEC et basé sur les technologies objets. Constatant la lenteur de ce développement, l'IAI décida d'accélérer cette action dans un cadre professionnel privé, en exploitant certaines ressources de STEP, pour proposer un modèle d'échange sous le nom des IFC (Industrial Foundation Classes). Bien vite, l'initiative des fondateurs a donné naissance à des extensions de l'IAI dans le monde entier (figure13). L'IAI compte aujourd'hui 600 partenaires et 9 chapitres dans le monde regroupant 20 pays.

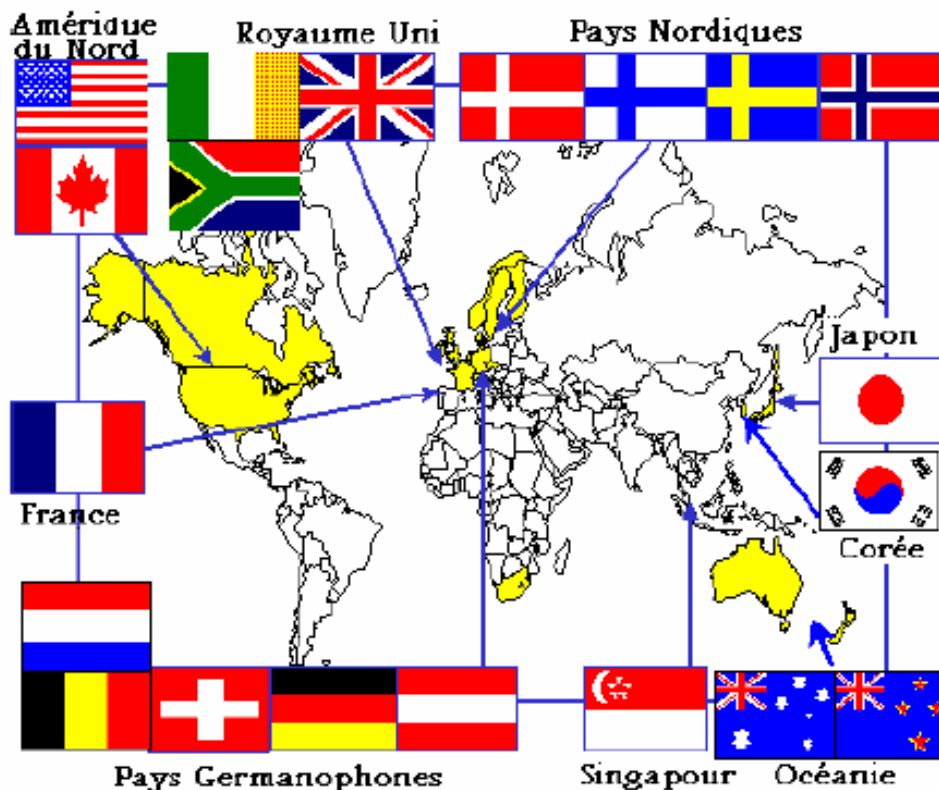


Figure13 : L'IAI compte neuf chapitres regroupant 20 pays [IAI 2003]

Le modèle des IFC est un modèle différent des précédents dans la mesure où il propose une structuration extrêmement détaillée du bâtiment [IFC 2003]. Ce niveau de détail se justifie par le fait que ce modèle est un ensemble de ressources, pensées comme un support aux éditeurs de logiciels bâtiment.

Les IFC représentent le bâtiment non pas par des dessins, mais comme une organisation de composants et d'ouvrages. Ils ont choisi la méthode la plus logique, celle qui a le plus de chances d'être comprise par les professionnels du monde entier, et qui, de plus, est majoritairement employée dans les logiciels techniques. Un composant est :

- Soit un objet industriel préfabriqué que l'on apporte sur le chantier (une porte, un sanitaire, un tube).
- Soit un constituant d'un composant plus important, dimensionné sur le chantier (isolation et cloisons par plaques).

- Soit il est ouvragé sur place (béton coulé de mur, de fondation, de plancher ..., mais aussi la peinture ...).

Les IFC ont prévu trois types d'informations associées à un composant désigné :

- Son appartenance à une classe.
- Ses propriétés (que l'on appelle aussi attributs).
- Ses relations.

Il y a deux familles de propriétés qui impliquent une complexité différente dans les IFC :

- Les propriétés propres au composant : les dimensions, les matériaux, surface, volume.
- Les propriétés contextuelles, qui sont la conséquence de l'environnement existant autour du composant dans son voisinage immédiat.

Le modèle IFC s'organise selon une architecture autour d'un noyau « d'objets ». Nous présentons ici la version 2.0 (figure14) du modèle IFC intégrée par bon nombre d'éditeurs de logiciels, et la version 2x (figure15).

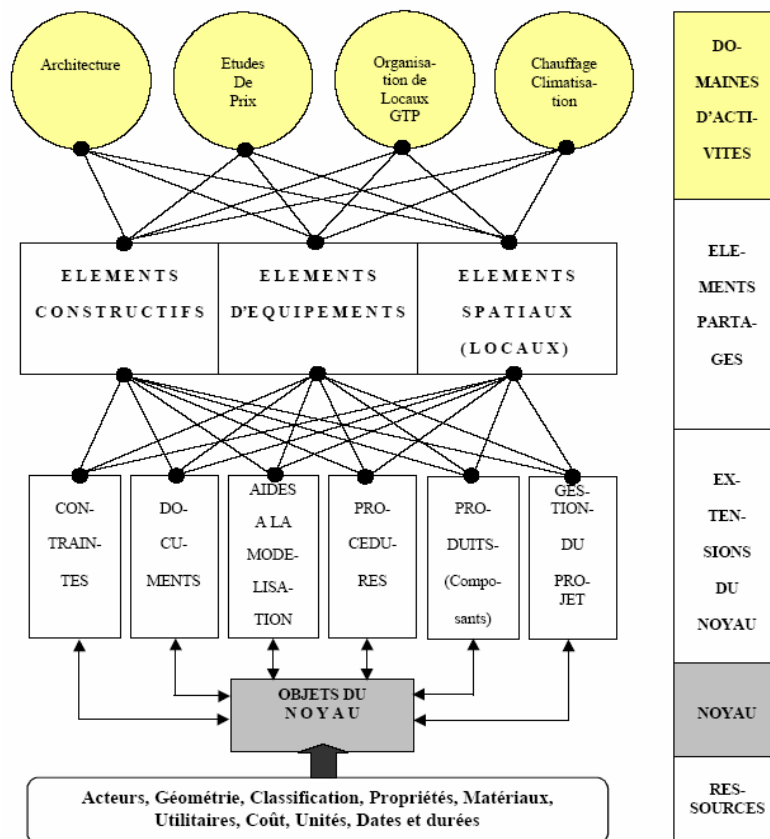


Figure14 : Architecture de la version 2.0 des IFC

Cette version propose : 9 types de ressources, 6 extensions du noyau, 3 types d'éléments partagés et 4 grands domaines d'activités. La version 2x propose elle : 20 types de ressources, 3 types d'extensions, 5 éléments partagés et 5 domaines d'activités.

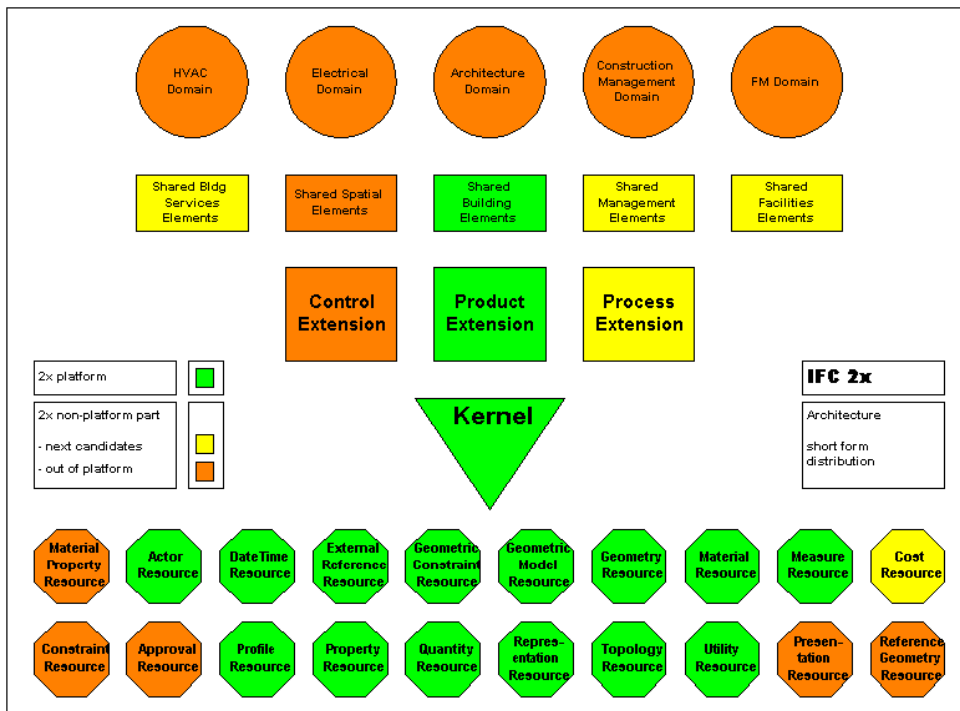


Figure15 : Architecture de la version 2x des IFC

Dans la réalité d'un projet, la représentation statique de la construction imaginée par l'architecte n'apporte pas une information suffisante pour que le modèle soit utile à tous les partenaires. On est obligé de prendre en compte le temps, les durées, les hommes, les outils, les procédures, les contraintes. Les IFC permettent par *extension* de renseigner ces autres aspects de l'étude du projet tout en les mettant en relation avec les composants. En fait, l'aspect purement physique du composant est réduit au concept de « produit ».

Pour identifier l'ensemble des autres concepts abstraits que nous venons d'évoquer, les IFC se servent de la puissance descriptive de l'approche objet. Qu'ils soient matériels ou abstraits, comme par exemple une pièce, un coût unitaire, une durée de réalisation d'un ouvrage, et même un acteur, les IFC décrivent tous ces éléments comme des *objets*. Donc, à chaque fois, on pourra associer à l'entité ainsi définie une classe, des relations, des propriétés.

Par exemple une relation d'un composant pourra à son tour être considérée comme un objet, ce qui permettra de classer cette relation, de la munir à son tour de propriétés et de relations.

Les objets du noyau des IFC admettent souvent des constituants encore plus fins qui appartiennent à des classes communes *les ressources* (figure15). Par exemple les dessins de plusieurs classes d'objets IFC sont souvent constitués de lignes et autres entités graphiques répétitives, les dimensions s'expriment toujours par les mêmes unités.

Ce niveau permet d'établir une correspondance entre les objets IFC des extensions évoquées, avec le niveau le plus spécialisé d'information du modèle IFC, que sont les *domaines d'activités*, dans un autre niveau : le niveau des *éléments partagés*. C'est dans la liste des objets triés et partagés à ce niveau qu'un acteur trouvera ce qu'il cherche en fonction de son domaine d'activité.

C'est pour cette raison aussi que ce niveau est appelé « interface », c'est à dire liaison ou correspondance entre les activités des domaines et la liste des objets IFC (extensions).

Les éléments permettent aux objets IFC d'être « partagés » entre les domaines. Chaque partenaire d'une opération, qui partage les données d'un projet de bâtiment, manipule des éléments qui sont communs à tous, et d'autres qui lui sont réservés.

Le cycle de vie du bâtiment est structuré dans les IFC selon quatre niveaux [Billon 1999]:

- 1^{er} niveau : quatre phases générales sont identifiées : faisabilité, conception, construction et exploitation du bâtiment.
- 2^{ème} niveau : chacune des phases précédentes se décompose en un ensemble de phases secondaires, organisées suivant un ordre chronologique (la phase de conception par exemple se décompose en : programmation, conception schématique, conception détaillée, documents d'exécution, dossier d'appel d'offres).

- 3^{ème} niveau : chacune de ces phases secondaires se décline en une série de processus chaînés, qui correspondent aux différentes actions des concepteurs durant le projet. Ils établissent une continuité dans le cycle de conception.
- 4^{ème} niveau : enfin chaque processus se décompose en un ensemble d'activités. Chacune d'elle est associée à un diagramme, dans lequel sont décrites les tâches à effectuer, désignées également dans le modèle par «méthodes de conception».

L'actualité des IFC aujourd'hui est que des travaux de recherche récents viennent consolider l'alliance internationale pour l'interopérabilité. Ils consistent dans la majeure partie des cas en des enrichissements du modèle par des techniques de *mapping*. Cette technique consiste à traduire un modèle d'un langage à un autre [Bossung 2003]. La plupart de ces travaux ont été suivis dans le développement du mapping d'ISO au standard EXPRESS-X [Hardwick et Denno 2000].

L'IAI a développé ces sept dernières années six versions différentes. Ainsi, [Amor et al. 2002] propose des outils de « mapping » automatique permettant une mise à jour automatique des versions téléchargeables directement depuis le Web. Les travaux de [Ekholm 2004] tentent d'intégrer les descriptions d'ISO 12006-2 [ISO 2002] dans le modèle des IFC. ISO 12006-2 définit un cadre de travail de classes génériques qui s'intéressent au *Facilities Management* (gestion d'équipement). D'autres enrichissements ont été apportés qui proposent de redéfinir l'architecture du modèle IFC selon la nouvelle architecture modulaire de ISO 10303 [ISO 10303 2004].

Au-delà du cadre des IFC d'autres initiatives de modélisation pour le bâtiment sont d'actualité. Ces initiatives, pour la plupart, ne connaissent que des applications expérimentales ou bien encore réduites à un contexte et cas particulier. Nous citons pour les plus marquantes et les plus récentes d'entre elles ce qui suit :

Les travaux de [Katranuschkov et al. 2004] qui proposent un modèle appelé *Matrix*. Il s'agit d'une synthèse de près de cent modèles de processus existant. Le résultat s'appuie sur les avis d'experts (sans démarche scientifique particulière) et met sur la même ligne l'ensemble des processus du cycle de vie reliés à un cycle « d'information requise » et un cycle « de communication requise ».

D'autre part, [Zhang et Tiong 2003] proposent d'utiliser les méthodes de l'ERP (*Enterprise Resource Planning*) en réponse aux problématiques de fragmentation et de linéarité dans l'AEC. Ils ont mené une étude où ils font ressortir les similitudes entre les besoins d'entreprises industrielles et les besoins des entreprises du bâtiment. Aucune application n'est encore envisageable pour cette méthode.

L'ERP est défini comme un système d'information intégré [Dulaga et Marzie 2003]. Il intègre toutes les informations échangées dans une entreprise, incluant les personnes, leurs fonctions et leurs situations géographiques. L'EPR consiste en une suite de modules de logiciel, chaque module remplit une fonction particulière de l'entreprise intégrant : la gestion des comptes, la gestion financière, la gestion des flux, la gestion de production, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et autres [Chalmers 1999].

Le point commun entre ces différents travaux de recherche est qu'ils intègrent tous un nouvel aspect *d'ontologie* liée à la *gestion des connaissances (KM)*. Selon [Lima 2004], une ontologie admise est un outil privilégié de développement de l'interopérabilité dans n'importe quel domaine de connaissance. Des exemples dans le bâtiment ont été initiés comme par exemple dans [Eir 2004]. Il est question dans ce projet d'une architecture de logiciel prenant en charge un processus de conception incrémental. Les propositions sont incrémentées par rapport à une ontologie du produit. La proposition est appliquée à la conception de profil IPN en acier. L'ontologie introduite est relative aux aspects physiques et mécaniques des éléments IPN.

Dans [Beer et al. 2004] l'ontologie de l'objet est décrite selon un modèle standard, reprenant une structure mathématique de quatre sous-ensembles :

- Un ensemble de valeurs « atomiques » indécomposables ;
- Un ensemble « d'objet » chaque composant de cet ensemble est lié à un et un seul autre composant ;
- Un ensemble de « commandes » reliant les objets entre eux ;
- Un ensemble de « relation entre commandes » reliant les commandes entre elles ;

Dans [El-Diraby 2004] l'auteur propose une structure en IDEF0 pour regrouper les concepts de la conception et réalisation de bâtiments. Il spécifie des entrées ainsi que

des sorties du système, une approche descendante partant de l'architecture de IDEF0 vers la réalité de construction.

[Firmenich 2004] propose une nouvelle approche de modélisation pour l'échange d'information entre outils CAO dans le génie civil. C'est une approche basée sur les Workflow. Ces travaux sont réalisés selon la structuration mathématique de [Beer et al. 2004]. Il s'agit de représenter les échanges d'information dans des ensembles mathématiques.

Que se soit donc pour enrichir les IFC ou pour développer de nouveaux modèles, les travaux de recherche actuels évoluent vers une *sémantique de l'objet* représentée par son *ontologie*. L'implémentation de ces modèles permet d'introduire la notion du *Web sémantique* [Owl 2004]. Le Web sémantique reprend des connaissances dites explicites du projet [Davies et al. 2003], [Lai et al. 2002]. Il permet un accès direct à ces connaissances depuis un simple navigateur Web. Cette notion n'est pas une approche en soi, elle résume l'idée de créer une *représentation partageable du produit (sémantique) accessible sur le Web*.

5.3. Implémentation de modèle conceptuel

Dans le projet de l'IAI, le modèle IFC a pour ambition d'être implémenté en fichier de CAO au format IFC. Ce format de fichier se veut être un standard d'échanges entre l'ensemble des éditeurs de logiciels de CAO, par un seul fichier, il pourrait y avoir un ensemble d'informations très différentes : graphiques, textuelles, numériques, supportées par le même format. Des initiatives d'implémentation du modèle IFC voient le jour à cet effet. Nous en donnons ici un exemple (figure16).

La collection d'entités du modèle IFC destinée aux applications logicielles de gestion de projet permet d'automatiser des procédures de calcul de coûts et d'établissement de plannings. Dans [Froese et al. 1999a] et [Froese et al. 1999b], les auteurs montrent un exemple concret d'une telle automatisation (figure16) : des acteurs définissent la géométrie d'un ouvrage (deux parois à structure métallique), des équipes de chantiers, des prix unitaires des matériaux, des méthodes de pose (tâches imparties à chaque équipe et relation temporelle entre leurs interventions). L'application de gestion de

projet, indépendante du modèle IFC mais puisant dans les données qu'il contient, se charge de calculer le coût global et le planning de la pose de ces murs.

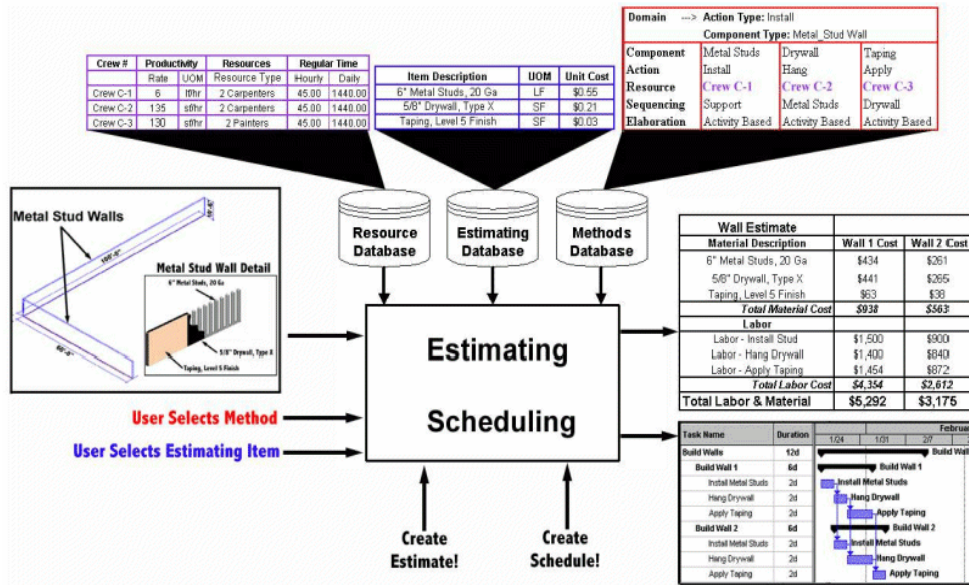


Figure16 : Exemple d'utilisation des IFC dans le calcul des coûts et plannings [Malcurat 2001]

Dans d'autres projets, les modèles conceptuels s'implémentent sous d'autres formes, en particulier en base de données. L'une des libertés qu'a cette forme d'implémentation est que le projet évolue dans une représentation graphique classée échangée entre les différents modeleurs CAO (utilisant les standards d'échange graphique). Cette représentation est ensuite enrichie par une base de données décrivant le bâtiment relativement au modèle conceptuel générique adopté à cet effet [Oumeziane 2004a].

Cette construction du projet autour d'une représentation graphique enrichie d'une base de données et accessible par une pluralité d'acteurs d'une simple interface de CAO, fait intervenir d'autres domaines et technologies informatiques. L'information partagée sur réseau, l'accès filtré à une information spécifique dans la base de données, la communication des informations en temps réel, etc. Nous développons ces aspects dans la troisième partie de ce mémoire (cf. 7.1.).

5.4. Apports, limites et perspectives des travaux actuels

Le secteur AEC évolue et s'oriente vers des pratiques dictées par le contexte actuel : interopérabilité, démarche qualité, répartition de la maîtrise d'œuvre, etc. Vu la précarité du secteur en matière d'informatique, les acteurs de l'AEC se trouvent dépendants d'outils conçus dans d'autres secteurs « adaptés dans une certaine mesure à leurs besoins » et qui, finalement, influencent leurs pratiques et ne correspondent pas à l'évolution vers laquelle l'AEC aspire. Ceci est un aspect de l'impact des outils logiciels sur les pratiques d'acteurs. Inversement, le fractionnement des activités de production du bâtiment influe négativement sur la productivité et l'efficacité des logiciels proposés, dans la mesure où ces derniers prennent pour base de développement des modèles conceptuels limitatifs et non innovants reflète des dysfonctionnements de la réalité.

Ces modèles conceptuels ont longtemps considéré le processus de conception comme « l'implémentation d'une planification hiérarchique » [Visser 2002], ce qui a conduit à l'application de méthodes et d'environnements de conception mal adaptés [Visser et Hoc 1990]. Ils se limitent à reprendre le fractionnement dans la conception dicté par la pratique.

Les dysfonctionnements les plus repris par les modèles conceptuels qui servent de base au développement d'outils, peuvent être résumés en trois principaux points :

- Fractionnement de l'étape de conception en phase amont de conception préliminaire, où l'inter-préparation des exigences du programme, leur classification en terme de priorités et les solutions proposées pour y répondre lui sont propres, et phase avancée d'ingénierie bâtiment (conception avancée) qui vient valider et justifier les solutions proposées dans la première phase ;
- La désignation des solutions est basée sur un savoir-faire unique en phase amont de conception préliminaire (celui de l'architecte), impliquant une répartition arbitraire de la maîtrise d'œuvre ;
- La conception architecturale prend fin avec la fin de l'étape de conception préliminaire.

La (figure17) est une représentation de la *démarche de modélisation* adoptée dans la plupart des projets introduits dans ce chapitre. C'est une démarche basée sur la modélisation du couple « *Objet-Processus* », introduit au début de ce chapitre (cf. 5.1.), qui représente « l'objet » ainsi que son processus de production.

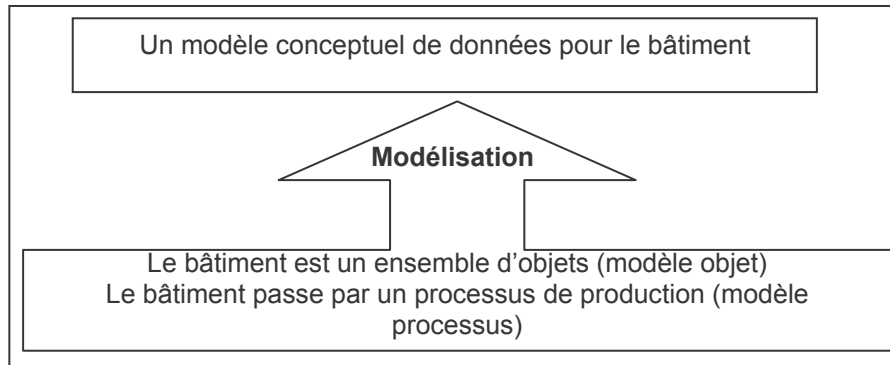


Figure17 : Le couple objets/processus dans la modélisation relative au bâtiment

Cette démarche de modélisation peut être qualifiée de non adéquate. Elle ne prend en compte qu'une partie du processus de conception. Car la spécification des objets et processus n'est relative qu'à une phase du cycle de vie du bâtiment, celle de la conception avancée. Le modèle obtenu ne permet pas de remettre en cause les solutions de la phase de conception préliminaire (elle est exclue du modèle) et introduit le risque de produire des solutions non adéquates et de modéliser des pratiques mal définies.

Un tel schéma implique la production de modèles conceptuels du bâtiment limitatifs dans leur descriptions et qui imposent à l'utilisateur (après implémentation informatique) de concevoir dans l'étape amont (étape exclue du modèle en question) en fonction des objets proposés et modélisés (cas des IFC et de la majorité des modèles produits jusqu'à maintenant). En effet ces modèles qui ne représentent qu'une partie du cycle de vie du bâtiment sont destinés à être utilisés sur l'ensemble du cycle et en particulier en conception.

Ceci implique un changement de la pratique de conception, parfois non volontaire (obligation de concevoir avec les objets disponibles dans le modèle) alors même que l'activité de conception n'a pas été modélisée pour éviter, justement, de perturber les concepteurs. D'où un désintérêt des utilisateurs, qui ne se doutent même pas dans leur

majorité de l'existence de ces modèles. Le développement de modèles conceptuels allant au delà du fractionnement devient nécessaire pour l'édition de logiciels CAO et collecticiels de qualité.

Nous retenons de ces quelques lignes que l'incompréhension de la réalité de la conception et réalisation du bâtiment entraîne la génération de modèles conceptuels mal adaptés, et par conséquent, des outils d'interopérabilité inappropriés. En vue d'améliorer cet état de fait, la modélisation conceptuelle doit passer outre le fractionnement des activités existantes par l'exploration de démarche de modélisation adaptée au secteur de l'AEC telle *l'approche systémique*.

5.5. L'approche systémique de modélisation

La notion d'ontologie du produit vers laquelle évolue la modélisation conceptuelle (cf. 5.3.) est en réalité un aspect parmi d'autres du produit, considéré selon une approche systémique. Le terme ontologie est issu du domaine de la philosophie où il signifie «explication systématique de l'existence».

Dans l'épistémologie structuraliste [Piaget 1968], la connaissance d'un système se fait selon une triptyque de *l'Être*, du *Savoir* et du *Devenir*. De façon plus explicite, le paradigme structuraliste distingue la *structure*, les *activités* (ou fonctions) et *l'évolution* du système.

Cette triangulation fait apparaître respectivement trois pôles [Le Moigne 1977] :

- Pôle *ontologique* : ce que le système est ;
- Pôle *fonctionnel* : ce que le système fait ;
- Pôle *génétique* : ce que le système devient.

La *structure* décrit le principe d'organisation du système considéré. Le terme même de principe indique bien qu'il ne s'agit pas de la description complète du système, mais seulement des données qui permettent de dire comment ce système est organisé [Ricquès 1998]. Sous son aspect *ontologique*, un système comprend trois composants [Durand 1994] :

- Une frontière, physique ou non, qui le sépare de son environnement ;
- Des éléments qui peuvent être identifiés, dénombrés et répartis en classes (tous les éléments d'une même classe étant considérés comme équivalents, du point de vue de leurs comportements dans le système) ;
- Un réseau de relations, de transports et de communications qui véhicule des flux entre ces éléments. Ces flux sont de trois natures : des *matières*, de *l'énergie* et des *informations* sous toutes leurs formes.

Le pôle *fonctionnel* décrit le rôle que joue le système dans son environnement et l'objectif qu'il poursuit. Les activités forment alors l'ensemble des comportements que le système met en œuvre pour remplir sa fonction.

Tout système a enfin, un passé, un présent et un avenir et *évolue* dans le temps. Cette *évolution* est le dernier élément du triptyque systémique. On dissocie cependant l'évolution dynamique du système qui correspond à des changements plus profonds pour s'adapter à son environnement [Meinadier 1998]. Cette dissociation fait intervenir deux aspects dans le pôle génétique de la systémique : le pôle génétique *transformationnel* et le pôle génétique *téléologique*. La téléologie du système versus génétique est pour nous ce que le système génère comme sortie dans son évolution dynamique représentée par l'aspect transformationnel.

L'activité de conception coopérative dans le bâtiment peut être assimilée à un système complexe (cf. 8.1.). Le « système bâtiment » comportant des « acteurs » utilisant des « outils » spécifiques à leurs métiers pour réaliser des « tâches » de conception, peut évoluer vers l'amplification en situation d'interopérabilité ou vers la stabilité en situation séquentielle.

Une analyse systémique de la conception coopérative de bâtiment, selon les quatre pôles introduits permet de présenter ces quatre axes du « système bâtiment » :

- *Axe ontologique ou structurel* : L'axe ontologique représente pour nous les composants du système bâtiment (acteurs, outil CAO, méthode d'acteur, documents administratifs, représentation du projet, etc.), les différentes interactions entre ces composants ainsi que leurs taxinomies (cf. 8.1.) ;

- *Axe fonctionnel* : il représente le processus global de fonctionnement du système complexe de conception (cf. 8.2.) ;
- *Axe transformationnel ou génétique (comment évolue le système, quels sont les états générés)* : il décrit l'aspect dynamique, évolutionnel et génétique (dans le sens de la genèse et non celui de l'hérédité) du comportement du système (cf. 8.3.) ;
- *Axe téléologique ou motivationnel (quels sont l'objectif et la motivation du système)* : la téléologie signifie en philosophie « l'étude de la finalité ». Une analyse de la conception selon l'axe téléologique consiste en une analyse à travers les objectifs du système lors de la conception en général et lors d'une production documentaire en particulier (cf. 8.4.).

L'approche systémique possède un caractère réflexif. La réflexivité réside dans le fait que chacun des quatre axes peut être analysé selon les autres axes et ainsi de suite. Cette caractéristique permet d'aller dans le détail du modèle en adoptant toujours la même approche de modélisation.

Au-delà du cadre de modélisation informelle qu'offre la systémique, une représentation en langage formel est nécessaire pour une implémentation aisée des modèles conceptuels en outils numériques. Il existe une multitude de langages formels spécifiques aux différents aspects de la modélisation (Merise, DFD, EXPRESS, NIAM, etc.). La combinaison des efforts internationaux en matière de modélisation formelle a vu naître un langage devenu un « standard » en la matière, que ce soit pour modéliser des objets, des états, ou des fonctions. Il s'agit d'UML.

5.6. Modélisation UML

UML (Unified Modeling Language, traduit langage de modélisation objet unifié) est né de la fusion des trois méthodes qui ont le plus influencé la modélisation objet au milieu des années 90 : OMT, Booch et OOSE. Issu "du terrain" et fruit d'un travail d'experts reconnus, UML est le résultat d'un large consensus. De très nombreux acteurs industriels de renom ont adopté UML et participent à son développement.

En l'espace de quelques années seulement, UML est devenu un standard incontournable. La presse spécialisée foisonne d'articles exaltés et à en croire certains, utiliser les technologies objet sans UML relève de l'hérésie [Free-UML 2005a].

L'approche objet est pourtant loin d'être une idée récente. Simula, premier langage de programmation à implémenter le concept de type abstrait à l'aide de classes, date de 1967. En 1976 déjà, Smalltalk implémente les concepts fondateurs de l'approche objet : encapsulation, agrégation, héritage. Les premiers compilateurs C++ datent du début des années 80 et de nombreux langages orientés objets "académiques" ont étayé les concepts objets (Eiffel, Objective C, Loops, etc.) [Free-UML 2005b].

Il y a donc déjà longtemps que l'approche objet est devenue une réalité. Les concepts de base de l'approche objet sont stables et largement éprouvés. De nos jours, programmer "objet", c'est bénéficier d'une panoplie d'outils et de langages performants. L'approche objet est une solution technologique incontournable. Ce n'est plus une mode, mais un réflexe quasi-automatique dès lors qu'on cherche à concevoir des logiciels complexes qui doivent "résister" à des évolutions incessantes.

L'approche objet est moins intuitive que l'approche fonctionnelle. Malgré les apparences, il est plus naturel pour l'esprit humain de décomposer un problème informatique sous forme d'une hiérarchie de fonctions atomiques et de données, qu'en terme d'objets et d'interactions entre ces objets.

Rien dans les concepts de base de l'approche objet ne dicte comment modéliser la structure objet d'un système de manière pertinente. Quels moyens doit-on alors utiliser pour mener une analyse qui respecte les concepts objet ? Sans un cadre méthodologique approprié, la dérivation fonctionnelle de la conception est inévitable.

L'application des concepts objet nécessite une très grande rigueur. Le vocabulaire précis est un facteur d'échec important dans la mise en oeuvre d'une approche objet (risques d'ambiguïtés et d'incompréhensions). Beaucoup de développeurs (même expérimentés) ne pensent souvent objet qu'à travers un langage de programmation. Or les langages orientés objet ne sont que des outils qui proposent une manière

particulière d'implémenter certains concepts objet. Ils ne valident en rien l'utilisation de ces moyens techniques pour concevoir un système conforme à la philosophie objet.

Connaître C++ ou Java n'est donc pas une fin en soi, il faut aussi savoir se servir de ces langages à bon escient. La question est donc de savoir « qui va nous guider dans l'utilisation des concepts objet, si ce ne sont pas les langages orientés objet ? ».

Comme UML n'impose pas de méthode de travail particulière, il peut être intégré à n'importe quel processus de développement logiciel de manière transparente. UML est une sorte de boîte à outils, qui permet d'améliorer progressivement les méthodes de travail, tout en préservant leurs modes de fonctionnement [Bourrey 2004].

Intégrer UML par étapes dans un processus, de manière pragmatique, est tout à fait possible. La faculté d'UML de se fondre dans le processus courant, tout en véhiculant une démarche méthodologique, facilite son intégration et limite de nombreux risques (rejet des utilisateurs, coûts...).

Intégrer UML dans un processus ne signifie donc pas révolutionner ses méthodes de travail, mais cela devrait être l'occasion de se remettre en question, en s'inspirant des meilleures pratiques, capitalisées à travers les processus unifiés.

UML fournit un moyen astucieux permettant de représenter diverses projections d'une même représentation grâce aux vues. Une vue est constituée d'un ou plusieurs diagrammes. On distingue deux types de vues [Roques 2004] :

Les vues statiques, c'est-à-dire représentant le système physiquement

- Diagrammes d'objets.
- Diagrammes de classes.
- Diagrammes de cas d'utilisation.
- Diagrammes de composants.
- Diagrammes de déploiement.

Les vues dynamiques, montrant le fonctionnement du système

- Diagrammes de séquence.
- Diagrammes de collaboration.

- Diagrammes d'états-transitions.
- Diagrammes d'activités.

Synthèse

Nous avons présenté dans ce chapitre un état de l'art sur la modélisation conceptuelle dans le bâtiment. Les différentes conclusions que nous tirons se résument à six, relativement aux six titres présentés :

- La modélisation conceptuelle est un *niveau intermédiaire* entre les pratiques réelles et les outils logiciel d'aide ;
- Les différentes typologies de modèles (modèle d'objet, modèle de processus, etc.) ont été intégrées dans l'AEC pour donner naissance aux *modèles conceptuels de données bâtiment*. Le plus important de ces modèles est celui des IFC. Ce modèle compte aujourd'hui une centaine de *classes d'objet* et connaît des mises à jour continues depuis maintenant dix ans ; l'idée étant de modéliser le maximum des informations « *objet-processus* » de l'AEC. Cette approche est pour nous peu adaptée car, plus on modélise d'objet, plus il se créera de nouveaux et plus le modèle grandira ;
- La lourdeur des IFC fait qu'il est difficile d'implémenter ce modèle en format de fichier standard. Il existe néanmoins d'autres formes d'implémentation du modèle en *base de données* venant enrichir une représentation graphique ;
- Les modèles actuels se limitent à une approche de modélisation résumée par le couple « *objet-processus* » réductrice de la réalité de l'AEC. ;
- Il existe dans d'autres secteurs, une approche de modélisation « générique » appelée la *systemique*. Cette approche intègre *l'ontologie* d'objet adoptée dans les approches de modélisation actuelles, et va au-delà de cet aspect vers des descriptions : fonctionnelles, transformationnelles et téléologiques d'un système;
- Le langage *UML* constitue le formalisme privilégié pour la modélisation formelle des données du bâtiment.

Chapitre 6 Méthodologies de conception de bâtiment

Introduction

Le caractère rigide et contraignant pour les acteurs des processus de conception formalisés dans les modèles conceptuels actuels est souvent dû à une incompréhension de la réalité de cette activité (cf. 5.3.). Nous proposons d'explorer dans ce chapitre l'activité de conception depuis ses étapes préliminaires jusqu'aux étapes avancées en vue de produire un « support théorique » de cette discipline modélisable et exploitable pour la coopération d'acteurs.

Cet état de l'art sur les méthodologies de conception dans le bâtiment traite de trois principaux thèmes : l'enseignement de la conception (c'est dans l'enseignement que se développent généralement les méthodes de conception), les différentes méthodes actuelles et la formalisation du produit bâtiment dans un processus de conception.

6.1. Concepteurs et démarches de conception

L'intérêt pour nous d'évoquer la conception relativement aux acteurs est de comprendre le « comment » de cette discipline. La première remarque à soulever à ce niveau est qu'il n'existe pas de méthode unique pour concevoir un bâtiment. L'aspect personnel et non modélisable du processus de conception s'approprie pendant de longues années de métier par les concepteurs. Selon [Ericsson, Krampe et Tesch-Römer 1993] « il faudrait au moins dix années d'expérience professionnelle pour un concepteur afin d'atteindre un niveau dit international dans les domaines de conception » (traduit de l'anglais). Nous intégrons ici la notion de concepteur pour ne rattacher l'acte de concevoir à aucun acteur privilégié du processus de conception.

La notion d'apprentissage de la conception fait intervenir les aspects de concepteurs novices et concepteurs confirmés. Les différences des comportements de concepteurs novices et confirmés ont été longuement étudiés par [Ahmed, Wallace et Blessing

2003]. Dans [Christiaans et Dorst 1992] les auteurs présentent les résultats d'une expérience sur un groupe de concepteurs, novices et professionnels, ils rapportent que « les groupes de concepteurs novices passaient beaucoup de temps dans la collecte de l'information et essayaient de structurer leur problématique du mieux possible pour ne produire ensuite qu'un résultat médiocre vis-à-vis de la conception des professionnels qui ne structuraient pas les problèmes à résoudre et à arriver à produire des conceptions très satisfaisantes ». « Les novices reconnaissaient passer leur temps à collecter des informations à défaut de ne pas savoir par où commencer la conception » [Cross, Christiaans et Dorst 1994].

Cette différence entre concepteurs novices et confirmés n'est la preuve que d'une seule et unique chose : il est très difficile de modéliser, de proposer, ou de spécifier à un concepteur comment concevoir. Des résultats similaires ont été notés dans des travaux de même nature [Atman, Chimka et al. 1999].

Au-delà de la présentation du cadre de conception, du produit à concevoir, des outils de conception et du contexte en général, le concepteur ne peut pas trouver une référence ou une méthode de conception, mis à part celle qu'il développera à titre personnel tout au long de son expérience professionnelle.

D'un autre côté, les objectifs visés lors d'une conception de bâtiment (à la recherche de la forme idéale, de la conception sans faille, etc.) renvoient à des notions de « beauté », « d'harmonie » et de « goût » relatives et spécifiques à chaque concepteur.

On peut lire dans [Gandon 1999] que : « pour forger une théorie lui permettant de concevoir, l'architecte va envisager un certain nombre de thèmes et d'idées parmi lesquels il lui faudra privilégier un sous-ensemble cohérent qui fera l'idée fondatrice de son projet. Ce sont ces idées fondatrices qui, une fois raisonnées et éprouvées, lui serviront de lignes directrices de sa recherche et que nous appellerons le concept. Nous utilisons le terme « concept » malgré les interprétations erronées auxquelles il peut conduire, en explicitant la signification que nous lui donnons...le concept est le lien fédérateur de l'ensemble des constituants de la théorie et la théorie est l'ensemble des déclinaisons, des amendements du concept qui la fédère. La théorie et le concept sont les garants d'une cohésion globale du projet et toute évolution de ce dernier leur est

préalablement confrontée. ». Dans [Delage 1995], un « concept n'est pas un élément isolé et figé mais une partie active du processus intellectuel constamment engagé à servir la communication, la compréhension et la résolution de problème » (traduit de l'anglais).

Boutinet [Boutinet 2001] montre qu'au cours d'une activité de conception, il est impératif de laisser une grande autonomie de décision aux acteurs. Un système (ensemble de méthodes, coordination, outil, etc.) dédié à la conception ne peut donc être administratif ou hiérarchique. L'analyse développée par Boutinet utilise une approche sociologique de l'activité de conception collective, elle fait aussi une critique des systèmes experts (ou prédictifs) populaires au début des années 1990.

Aujourd'hui, les outils d'interopérabilité en vue d'une conception coopérative s'orientent vers des représentations du processus de conception plus souples et plus ouverts, posant le moins de contraintes possibles aux acteurs dans leurs démarches personnelles et spécifiques. La représentation de la conception ne passe plus par la modélisation des processus d'acteurs mais par la modélisation du « produit » évoluant dans ce processus.

6.2. Méthodologies de conception actuelles

L'activité de conception a fait l'objet de nombreuses recherches : cognitivistes, sémiologues, philosophes, sociologues, etc. Les travaux les plus connus datent des années quatre-vingt et quatre-vingt dix [Alexander 1971], [Le Moigne 1997], [Lebahar 1997], [Attali 1994], [Bourdieu 1979] [Qintrand et al. 1985], [Boudon 1992], [Prost 1994]. Ils furent initiés parallèlement aux travaux de recherche sur l'IA (Intelligence Artificielle).

L'idée de modéliser les activités de conception est très présente dans ces littératures qui se sont fortement inspirées des travaux de Simon [Simon 1969], une référence incontournable dans le domaine. Le point de départ de ces différentes initiatives est que l'architecte concevant un bâtiment, le musicien concevant une symphonie ou l'ingénieur concevant un moteur, sont des concepteurs et comme tels mettent en œuvre

un type d'*activité cognitive* susceptible d'être *constitué en objet de connaissance* par des sciences de l'artificiel, d'après [Simon 1969].

Nous distinguons dans ce qui suit deux types de méthodologies relatives à la *conception préliminaire* et la *conception avancée*.

Méthodologies en conception préliminaire

Les modèles suivants (1, 2, et 3) sont des modèles méthodologiques spécifiques de la conception préliminaire de bâtiment. Ils constituent les plus importants modèles de conception initiés durant les années quatre-vingt dix en France. Ils découpent le processus en plusieurs phases.

1) Le modèle de [Grosselin 1997] est composé de trois phases :

- Accumulation : accumuler, récolter les informations, avec ou sans orientation prédéfinie ;
- Construction de concepts : aboutissement d'un processus intellectuel complexe. C'est une élaboration théorique ;
- Mise en forme spatiale : exploiter l'idée aboutie afin de construire un objet architectural.

2) Le modèle de [Lebahar 1997] est divisé en trois grandes phases :

- Diagnostic architectural : étude des besoins du client et les contraintes de réalisation. Résultat : des notes écrites, et un premier dessin sous forme de croquis ;
- Recherche de l'objet par simulation graphique : le moyen graphique est utilisé pour définir ce que seront les formes, dimensions ou la matérialité de l'édifice ;
- Établissement du modèle de construction : introduire de la géométrie et établir le moyen de construction précis et définitif de l'édifice.

3) Le modèle de [Prost 1995] est composé de :

- Définition de problème : énonce le problème concernant le projet (économique, technique, etc.) ;
- Exploration : le concepteur cherche les solutions à ce problème ;
- Critique : critique générale du problème qui ramène à la première étape.

Les modèles de [Grosselin 1997], [Lebahar 1997] et [Prost 1995] ont des points communs. Ils approchent la conception en tant que *formulation/résolution* de problèmes. La résolution de problèmes aboutit normalement à une formulation graphique. On distingue trois phases dans ces modèles : initiale, intermédiaire, et avancée.

Nous assistons durant ces dernières années à une réorientation des travaux de recherche vers un *management* au lieu d'une *capitalisation* des connaissances. Les modèles de conception actuels se construisent sur la base des sciences de *gestion de connaissances*.

Les récentes recherches de [Akin 2004] proposent un modèle de conception basé sur l'*eXtreme Design* ou bien encore *Agile Design* inspiré de l'approche de modélisation *Agile Modelling*. Il s'agit d'une approche qui introduit deux ensembles de valeurs : *principes*, et *pratiques* pour remplacer le processus linéaire classique. Les concepteurs définissent l'ensemble des principes que doit introduire leur conception, et l'ensemble de pratiques permettant de les mettre en œuvre. Cette méthode est spécifique à chaque cas d'étude de conception.

D'autres travaux comme ceux de [Akin 2002] [Tunçer 2002] [Kooistra et al. 2003] et [Stouffs 2004] proposent l'utilisation de *Méta données* en conception. Le point commun entre ces travaux et la volonté d'aller vers des modèles souples et agiles.

L'intérêt dans ces travaux porte sur la modélisation du bâtiment comme « produit », car il s'agit aujourd'hui de rompre avec l'ambition d'une représentation définitive qui libérerait les concepteurs des affres de la conception. Il s'agit au contraire de favoriser les représentations qui seront susceptibles d'inciter les concepteurs à mettre en œuvre une capacité de réflexivité vis-à-vis de leur propre démarche. Dans cette perspective éthique, il n'est pas exclu de profiter des avantages de plusieurs modèles de référence. Pour autant, bien sûr, qu'ils répondent aux mêmes caractéristiques, et pour autant qu'ils puissent jouer le rôle de points de repère tout à la fois descriptifs et prescriptifs. Enfin, en matière de modélisation de la conception, il ne peut s'agir que de baliser, de guider et d'éclairer et non pas de substituer à la responsabilité des concepteurs [Chupin 1998].

Méthodologies en conception avancée

Ces démarches et méthodes de conception initialement conçues pour le secteur industriel sont venues influencer le secteur de la construction. Elles ne sont pas toujours adaptées aux problématiques de ce dernier. Nous présentons ici les plus marquantes d'entre elles (DFM, TQM, Analyse de la Valeur, Démarche qualité, Ingénierie concurrente).

- *Design for manufacturing (DFM)* : « C'est une démarche qui doit être intégrée au niveau du bureau d'études, elle vise à réduire la complexité des produits et des pièces qui le composent. Les ingénieurs études doivent avoir une connaissance assez large des méthodologies et techniques utilisées aux méthodes ainsi que des moyens de production de l'atelier afin de prendre en compte dès la phase de conception les contraintes attachées à ces autres services. L'exemple de Philips qui en 1984 a réduit de 75 % le nombre de composants de ses lecteurs de disques compacts vient illustrer une application du DFM » [Decreuse et Feschotte, 1999].

Cette méthode s'est appliquée sur le bâtiment dans la conception des grands ensembles d'habitations dans les années 50, 60 et 70. Les éléments qui constituent le bâtiment sont fabriqués entièrement en usine (mur porteur, mur de façade, dalle de plancher, etc.) et assemblés comme un jeu de lego sur chantier. Cette méthode implique une forte industrialisation du secteur bâtiment, et permet peu de variété architecturale. De plus elle nécessite des investissements très lourds en argent. De nos jours, cette méthode continue à exister pour la conception des bâtiments à caractère "technique", mais n'est plus utilisée pour la conception d'habitat⁶.

- *Total Quality Management (TQM)* : aussi appelé « Continuous Process Improvement », utilise les concepts développés entre autre par Deming [Deming 1986] afin de fiabiliser les processus d'une entreprise. Cette méthode procède de manière incrémentale en se basant sur les processus existants, améliorés en analysant localement les défauts apparaissant au cours de leur exécution [Davenport 1993]. Il s'agit d'une technique de management de projet appliquée principalement dans le

⁶ Des entreprises spécialisées dans la construction de bâtiment parking, de base de vie dans les endroits difficiles, d'abris techniques pour les services de météo, de télécommunication, de baraques de chantier, etc. continue d'utiliser cette méthode industrielle.

domaine des entreprises manufacturières car elles introduisent des modifications efficaces sur le long terme. Dans le bâtiment le TQM s'est principalement appliqué dans les phases de réalisation mais pas pour les phases de conception [Pheng 2005].

- *Analyse de la Valeur* : La méthode d'analyse de la valeur est apparue après la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis afin de réduire les coûts industriels et s'est répandue dans le reste du monde à partir des années 1960. L'analyse de la valeur a été introduite dans le secteur du bâtiment français, au début des années 1970 sous l'impulsion du «plan construction» lancé par le ministère de l'Équipement. Cette méthode a été appliquée à de nombreux secteurs d'activités et a pour objectif de réduire les coûts de production tout en préservant la qualité ou la performance des produits visés, elle s'applique à la conception de produits nouveaux ou à l'amélioration de produits existants [Hanser, 2003]. Le terme de valeur tel qu'il est entendu dans cette méthode peut concerner des éléments autres que le coût (fiabilité, poids, délais, etc.). Il est par conséquent nécessaire de déterminer les critères pris en compte lors d'une telle analyse, puis la manière dont sera évaluée l'adéquation d'une proposition à ces critères. Cette méthode paraît difficile à appliquer au cours d'une étape de conception d'ouvrages bâtis car elle requiert une connaissance précise des fonctions (techniques ou esthétiques) remplies par l'ouvrage, or, nous savons que dans le cas de la conception, les attentes ne sont jamais formalisées avant le début du projet. Les concepteurs ne disposent donc pas des éléments nécessaires pour l'application d'une telle méthode au cours de la conception d'ouvrages.

- *La démarche Qualité* : [Debaveye et al. 1998] ont traduit ces préoccupations dans les préceptes suivants :

- Préparer avant d'entreprendre : il s'agit d'amplifier le rôle des tâches en amont afin de mieux définir les objectifs, le programme de l'opération, les outils de communication et de dialogue avec la maîtrise d'ouvrage afin d'anticiper plutôt que de subir.
- Réaliser ensemble : considérer l'ensemble des acteurs qui vont progressivement se regrouper autour d'un projet. Cette équipe doit se donner les moyens d'atteindre la qualité requise de l'ouvrage qu'ils ont conjointement la responsabilité de réaliser.
- Vérifier les interfaces : identifier, contrôler et bien transmettre les informations d'un acteur à l'autre. Cette étape peut passer par la mise en place d'un vocabulaire commun

- Améliorer les savoir-faire : tirer des leçons des expériences passées afin d'introduire les facteurs de progrès dans les réflexions futures.

Ce dernier point fait appel au cercle vertueux « préparer-réaliser-vérifier-améliorer », issu des travaux de Deming [Deming 1986].

La démarche qualité doit permettre un renforcement de la communication entre les acteurs et une capitalisation du savoir [Cruchant 1993]. Après une période d'intense activité autour des démarches et des processus 'qualité' les acteurs semblent regretter le manque de moyens permettant de maintenir en place une démarche tout au long d'un projet.

- *Ingénierie concourante ou simultanée* : L'idée de fournir une méthode support aux pratiques concourante date des années 1980 [AFITEP 2003] (nous avons présenté les préceptes de l'ingénierie concourante dans le chapitre 1 (cf. 1.3.)) avec le projet CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support), initié par l'armée américaine et destiné à augmenter la fiabilité de la conception de systèmes d'armes complexes. Ce projet a par la suite trouvé un développement civil et a conduit à la mise en place d'un standard d'échanges utilisé par un grand nombre de concepteurs de logiciels d'ingénierie concourante. Dans le bâtiment, des développements de cette problématique peuvent être retrouvés dans la mise en place des Industry Foundation Classes (IFC), standard d'échanges destiné à fédérer et à rendre interopérables les différents logiciels métier (cf. 5.2.).

Cette méthode semble être la plus adaptée aux besoins du secteur AEC. Elle fait l'objet de plusieurs projets d'adaptation au bâtiment et implique plusieurs éditeurs de logiciels pour le développement d'outils favorisant l'interopérabilité. L'ingénierie concourante est pour nous l'évolution la plus normale et la plus appropriée aux pratiques liées à l'AEC.

6.3. Formalisation du bâtiment dans un processus de conception

Selon [Ross 1996], on est de nos jours appelé à représenter non plus l'objet pour résoudre le problème « problem-solving » mais le problème même « problem-statement ». Nous nous intéressons dans ce qui suit à la formalisation du bâtiment en conception par rapport à deux versants : celui des domaines professionnels, et de l'enseignement (c'est dans l'enseignement qu'il y a cette volonté de formuler une représentation admise et partagée du produit bâtiment en vue de l'inculquer à l'étudiant). Ces deux versants sont à la fois différents et complémentaires.

Formalisation du produit bâtiment dans les pratiques professionnelles (méthodologie d'une opération de construction)

La terminologie du bâtiment comporte des séries de termes propres à chaque intervenant qui désignent différemment le même objet. En France, une liste des métiers nous est fournie par le Répertoire Opérationnel des Métiers et des Emplois (ROME), à partir de laquelle nous pouvons dégager deux grandes catégories de métiers : les métiers de la conception et de la planification, et ceux de la mise en oeuvre et de l'exécution. Ces métiers sont exercés par des acteurs spécialisés ou non dans le domaine du bâtiment [Cavallini et Raffestin 1988].

Cavallini nous explique que les métiers liés au bâtiment sont souvent concurrents même s'ils remplissent des fonctions différentes. «Seul le profane ou la personne étrangère à ce secteur économique parle de « la profession ». En réalité, il existe de multiples fonctions remplies par des hommes de métiers organisés en professions. Celles-ci sont non seulement fort différentes quant à leur structure, leur statut, leur mode d'exercice ou leur déontologie, mais aussi elles sont souvent concurrentes, jalouses de ce qu'elles estiment être leurs prérogatives spécifiques ».

En général, une opération de construction répond aux besoins en locaux (travail, logement ou loisirs) d'un maître d'ouvrage, qui en confie la réalisation à un tiers. Même ainsi simplifié à l'extrême, ce schéma pose cinq questions essentielles [Neufert 2002] :

- Expression des besoins et des possibilités de financement en fonction du site : le programme ;

- Définition des ouvrages : la conception ;
- Choix des constructeurs : les marchés des travaux ;
- Réalisation conformément aux prévisions : la direction des travaux ;
- Livraison des ouvrages et du règlement des litiges éventuels : la réception des ouvrages.

Ce schéma théorique, se complexifie dans la réalité du fait de l'environnement législatif et réglementaire, de l'insertion technique et paysagère dans le site, de l'évolution technologique des équipements et des méthodes de construction.

Un point de vue aujourd'hui admis est d'identifier un « double projet » dans les projets de bâtiments [Bobroff et al. 1993], dans le sens où il nous est possible d'identifier deux étapes distinctes dans la réalisation d'un projet de bâtiment. La première est une étape préparatoire focalisée sur la conception et la préparation du chantier, et la seconde est opératoire consistant en la réalisation du chantier.

Actuellement, un ensemble d'initiatives destinées à réduire l'écart entre ces deux phases voit le jour, notamment dans les pays nordiques et anglo-saxons [Wix et Katranuschkov 2002]. Ces efforts d'intégration se matérialisent par les travaux de recherche introduits dans le chapitre précédent (cf. 5.2.).

En France, deux régimes juridiques organisent les opérations de construction selon la personnalité du maître d'ouvrage : la maîtrise d'ouvrage publique et la maîtrise d'ouvrage privée (cf. 1.2.). Malgré des différences de forme, le processus est généralement celui présenté au schéma ci-dessous [Neufert 2002].

Mise au point du programme « Du contenu du programme de construction dépendront les choix et options fondamentales prises par le maître d'œuvre »

[Bonhomme 1992]

Choix de l'architecte

Etude d'esquisse

Choix de la solution

Etude d'avant projet

Désignation du coordinateur

Accord sur le projet

Avant projet simplifié

Avant projet définitif

Dossier de permis de construire

Dépôt de la demande de permis de construire

Permis de construire

Transmission du permis à l'architecte

Dossier de consultation

Conception

Choix des entreprises consultées

Examen des propositions

Choix des entreprises

Mise au point des marchés

Signature des marchés

Notification ou ordre de service n°

Déclaration d'ouverture des chantiers

Exécution des travaux

Période de préparation

Période d'exécution

Réception des travaux

Déclaration d'achèvement

Certificat de conformité

Réalisation

On peut identifier six types d'acteurs dans ce processus :

Le maître d'ouvrage

C'est la personne pour le compte de qui les travaux sont effectués. Lorsqu'il s'agit de constructions publiques, c'est la personne morale pour laquelle l'ouvrage est construit. Son rôle est de définir le programme et le financement, choisir les participants à l'opération, définir les conditions administratives de la réalisation, recevoir les ouvrages. Le maître d'ouvrage peut se faire assister pour ces tâches par un mandataire en droit privé et dans certaines conditions par un conducteur d'opération.

L'architecte ou l'équipe de maîtrise d'œuvre

Il est responsable de la conception du projet et peut effectuer d'autres missions pour le compte du maître d'ouvrage en fonction du contrat. Son rôle est : dans la maîtrise d'ouvrage privé de fournir au minimum le permis de construire, et dans la maîtrise d'ouvrage publique de fournir au minimum les missions de base définies au décret n°93.1268 du 29 novembre 1993 [Neufert 2002]. Pour ces missions, l'architecte peut se faire assister par des techniciens (B.E.T, ingénieurs conseils, économistes, etc.) avec lesquels il forme une équipe de maîtrise d'œuvre.

Le coordonnateur SPS

Il doit coordonner les mesures de Sécurité et de Protection de la Santé. Il a un contrat distinct avec le maître d'ouvrage. Son rôle est dans le stade de conception, d'élaborer le plan général de coordination (s'il est requis), de constituer le dossier d'interventions ultérieures, d'ouvrir le registre journal de la coordination, de définir les suggestions de protection. Dans le stade de réalisation son rôle est d'organiser les activités simultanées ou successives, de veiller à l'application des mesures définies, de tenir à jour le plan général de coordination, de compléter le dossier d'interventions ultérieures, de communiquer les consignes de sécurité, de présider le CISSCT (collège inter-entreprises de sécurité, santé et condition de travail) et d'en établir le règlement (lorsque le CISSCT est requis). Le coordonnateur doit avoir une qualification (niveau 1, 2 ou 3) suivant l'effectif global du chantier.

Le contrôleur technique

Son intervention est obligatoire dans les cas énumérés aux articles L III-23 à L III-26 et R III-29 à R III-42 [Neufert 2002]. Son rôle est de contribuer à la prévention des aléas techniques. Il est lié au maître d'ouvrage par un contrat spécifique.

Les entrepreneurs

Ils sont chargés de la réalisation matérielle du projet, soit pour l'ensemble de la construction (entreprise générale) soit pour les corps d'état dans lesquels ils sont spécialisés. Responsable de ses ouvrages, l'entrepreneur agit sous la direction générale de l'architecte (également chargé de vérifier la conformité de la réalisation aux documents du marché), mais également du coordonnateur et du contrôleur technique. L'entrepreneur peut également se faire aider par des sous-traitants.

Le sous-traitant réalise pour le compte de l'entrepreneur principal une partie des travaux (interdiction de sous-traiter la totalité). Il n'est en principe lié qu'à l'entrepreneur mais doit être agréé par le maître d'ouvrage. Il peut demander à être payé directement par le maître d'ouvrage des travaux qu'il a réalisés.

Les spécialistes éventuels

Bureaux d'études techniques, ingénieurs conseils, économistes de la construction, architectes d'intérieur, spécialistes divers selon la spécificité de la construction, coordonnateur, pilote, etc., peuvent être indifféremment liés au maître d'ouvrage, à l'architecte ou à l'entrepreneur.

Pour éviter tout litige, il est important que les liens contractuels soient bien établis et que les rôles particuliers et domaines spécifiques soient précisés. Il doit bien être précisé qu'il n'y a pas de hiérarchie ni de subordination entre ces divers intervenants. Le seul donneur d'ordre est le maître d'ouvrage. En conséquence, toute modification aux différents contrats doit faire l'objet d'avenants signés par le maître d'ouvrage. Au cas où des modifications interviendraient -que ce soit sur des points précisés au marché ou non- tous les intervenants devront en être avertis.

Formalisation du produit bâtiment dans l'enseignement

La discipline architecturale est peut être la mieux amenée à représenter l'ensemble des activités de conception dans la vie d'un bâtiment sans toutefois remplacer en aucun cas, l'une d'elles [Oumeziane et al. 2004d]. On peut lire dans le dictionnaire de l'académie française que l'architecture (n. f. XVe siècle, archisseture. Emprunté du latin architectura, « art de construire les maisons », sous l'influence de l'italien architettura.) est l'art de construire, de disposer et d'orner les édifices. [Dictionnaire de l'Académie française 2000]. Nous explorons dans ce qui suit la formalisation du produit bâtiment dans l'enseignement architectural.

Que ce soit en France ou ailleurs dans le monde, l'enseignement de l'architecture s'organise principalement autour de l'acte architectural, mais aussi autour des métiers avec lesquels traite l'architecte (l'ensemble des acteurs de la conception avancée). Nous en avons distingué six dans un travail de synthèse [Oumeziane et al. 2005a] des principaux programmes pédagogiques des vingt-deux écoles d'architecture en France [EAPLV 2005] [EAML 2005] [ESA 2005]. Il s'agit des filières :

D'architecture : pour les arts plastiques, les compositions formelles, les théories conceptuelles, les techniques de représentations, etc.

Sociales : pour l'histoire des civilisations et des arts, la sociologie, la psychologie, etc.

D'organisation et de gestion : pour le management et la gestion de projet de construction, la règlementation et les normes de conception architecturale, etc.

D'ingénierie du bâtiment : pour les techniques de mise en œuvre des éléments constructifs, les calculs des structures, les règlementations techniques et para sismique, etc.

D'ingénierie de production : pour les corps d'état secondaire dans le bâtiment (menuiserie, plomberie, électricité, etc.), les équipements généraux et spécifiques du bâtiment, etc.

De chantier : pour la conception de chantier, le suivi des travaux, l'organisation, coordination et pilotage des tâches, etc.

Ce qui est à noter pour le moment est que le produit architectural retrouve là, sa définition originelle, celle de Vitruve en l'occurrence, qui le considère comme un produit de l'art et de la science à la fois.

Les différents points cités sont les plus marquants dans le domaine du bâtiment, ils constituent dans leur ensemble, le programme pédagogique que doit suivre un architecte pendant ses années d'apprentissage à l'école.

D'autres découpages ou formalisations du produit bâtiment peuvent être proposés. Il ne s'agit pas là d'une vision unique portée sur le produit bâtiment, mais d'une lecture d'un contexte d'enseignement spécifique, en partie à la France.

Vu la nécessité d'une représentation du produit bâtiment par rapport aux domaines intervenants dans son cycle de vie, nous adopterons dans nos propositions *les six filières* identifiées plus haut comme support à la construction d'une sémantique de produit (cf. 10.2.).

Synthèse

Nous avons introduit dans ce dernier chapitre de l'état de l'art la dimension des méthodologies de conception dans l'AEC. L'intérêt étant de créer une représentation de ce qu'est la conception bâtiment en perspective d'ingénierie concourante.

Dans un premier titre nous avons relevé l'aspect spécifique et unique des méthodes de conception relativement à chaque acteur. Nous avons cherché ensuite à représenter la conception non plus par rapport au processus cognitif d'acteur, mais par rapport au « produit » qu'ils génèrent. La formalisation de ce produit a été relativisée à deux contextes : professionnel et d'enseignement. Dans le premier, le produit est fonction d'*étapes chronologiques du cycle de vie*. Dans le deuxième, il est relatif à *des filières métiers*.

Synthèse de la partie II et positionnement

Présenté en trois chapitres, la partie de l'état de l'art concerne les trois principaux domaines auxquels nous faisons appel pour avancer dans notre problématique d'interopérabilité entre acteurs en phase de conception avancée.

Le premier chapitre présente l'évolution des technologies d'information et de communication versus AEC. Il met l'accent sur la nécessité de créer des représentations

fiables (modèles conceptuels) des besoins, mode de fonctionnement des processus et démarche de conception que l'on veut assister par des outils numériques. Il explore aussi les différentes potentialités des NTIC susceptibles d'intéresser l'AEC.

Le deuxième chapitre regroupe : une présentation de la modélisation conceptuelle des données bâtiment suivie d'un constat sur les modèles pour l'interopérabilité existants et la manière de les implémenter. Il introduit aussi la démarche systémique comme approche de modélisation informelle (au sens d'une absence de perspective immédiate à l'implémentation informatique) adaptée à l'AEC, ainsi qu'UML pour la modélisation formelle.

Le dernier chapitre fournit une synthèse spécifique aux méthodologies de conception directement exploitables pour la modélisation de l'activité de conception dans un cadre multi-acteurs. Cette activité y est spécifiée, non pas par rapport aux démarches spécifiques des concepteurs, mais par rapport au produit qu'il en sort en cours de conception.

Relativement aux trois chapitres introduits, nos propositions (dans la troisième partie) se positionnent comme suit (figure18) :

1. Par rapport au travail collaboratif et NTIC : nous construisons notre approche d'une réponse au besoin d'interopérabilité par *une CAO 4D* construite sur une architecture *réseau* exploitant les technologies du *Web*.
2. Par rapport à la modélisation conceptuelle : nous adoptons *l'approche systémique* pour la description informelle du « *système bâtiment* » selon les quatre axes de cette approche (qui inclue l'ontologie de l'objet), et nous utilisons le langage *UML* pour une représentation formelle.
3. Par rapport à la méthodologie de conception : nous nous orientons vers la formalisation d'un *processus* de conception *coopératif*, relativement au « *produit bâtiment* » et non vers les démarches d'acteurs en vue de ne créer aucune contrainte ou direction préférentielle dans un contexte d'interopérabilité.

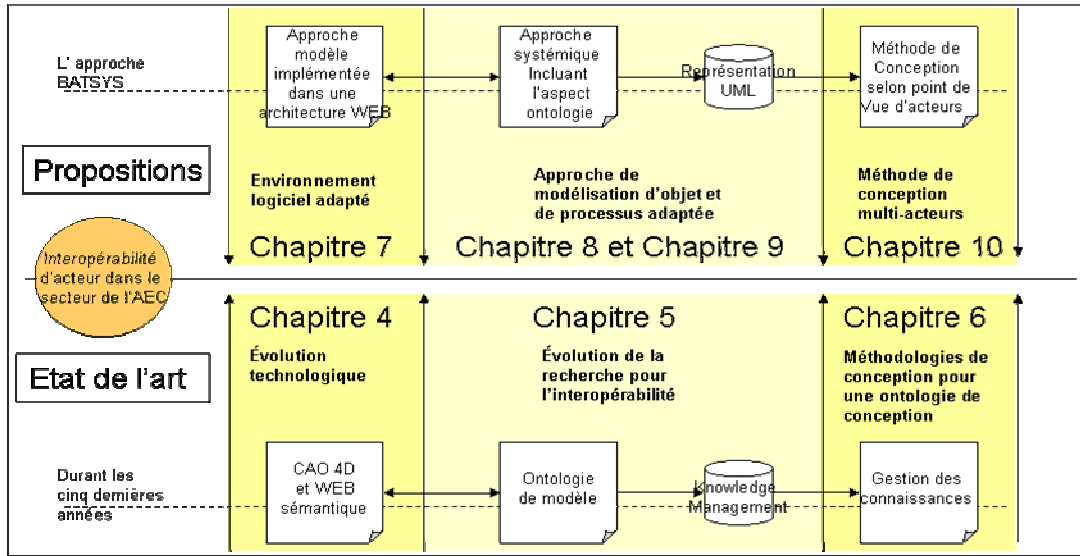


Figure18 : Synthèse de l'état de l'art et positionnement des propositions

Partie III : Une Approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée : BATSYS

Présentation de la partie III

Nous proposons dans cette troisième partie une approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée que nous nommons BATSYS (BATiment SYStème). BATSYS est la réponse que nous proposons à la problématique d'interopérabilité entre acteurs en ingénierie de bâtiment évoquée au début de la thèse.

Avant d'introduire BATSYS, nous développons dans le premier chapitre de cette partie (chapitre 7) un environnement numérique adapté à notre approche. A travers ce chapitre, nous montrons les possibilités du Web à supporter les activités de conception avancées en perspective d'ingénierie concourante en réponse à la problématique spécifique au NTIC présentée dans le chapitre 2.

Les autres chapitres de cette partie sont consacrés au développement de BATSYS qui intègre trois volets dont chacun fait l'objet d'un chapitre. Ces trois volets sont inclus l'un dans l'autre comme illustré dans la (figure19).

Le chapitre 8 est consacré au développement du premier volet dans BATSYS que nous appelons ASMEB (Approche Systémique de Modélisation du cycle de vie du Bâtiment). Il consiste en une représentation du cycle de vie du bâtiment adaptée à l'interopérabilité d'acteurs. ASMEB constitue une réponse à la problématique liée au *cycle de vie* (cf. 2.1.).

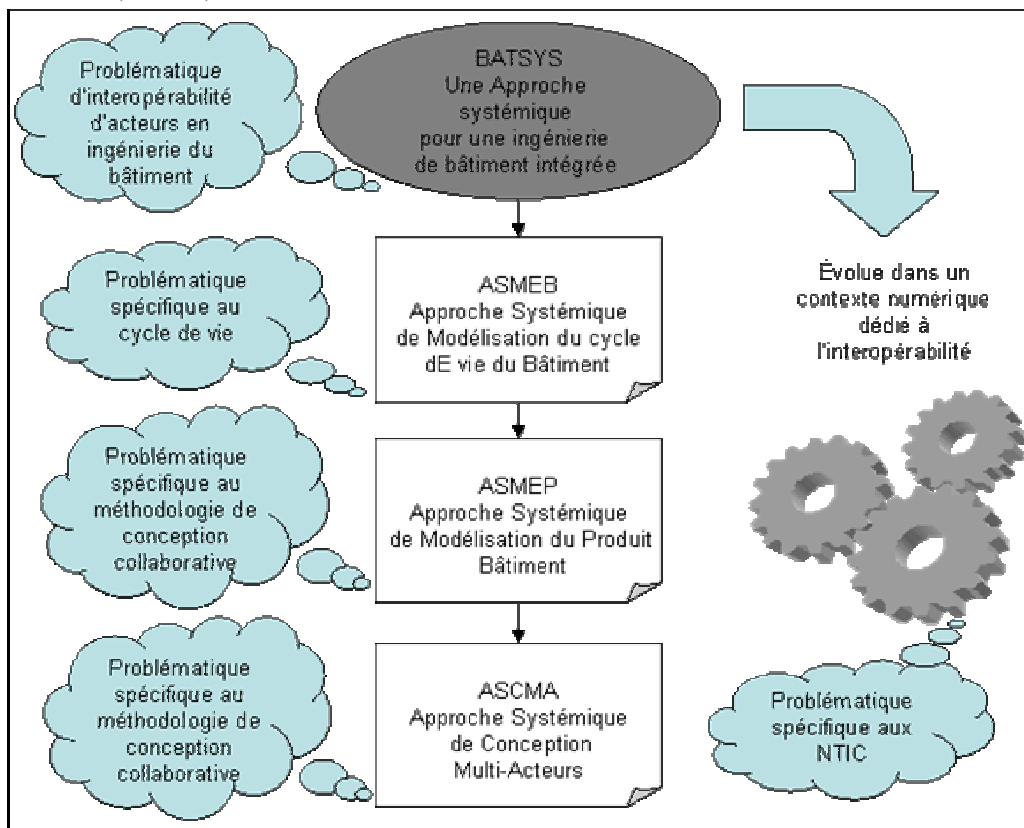


Figure19 : Problématique d'interopérabilité et approche de résolution

Le chapitre 9 est consacré au développement du deuxième volet de notre approche dans BATSYS nommée ASMEP (Approche Systémique de Modélisation du Produit Bâtiment). Nous proposons l'élaboration et l'utilisation des systèmes formels comme moyen d'incorporation des différentes définitions syntaxiques du *produit bâtiment* dans l'approche ASMEB.

Nous présentons dans le dixième chapitre notre troisième volet ASCMA (Approche Systémique de Conception Multi-Acteurs). Cette approche fait intervenir *les acteurs* de l'approche ASMEB autour d'une représentation partageable du processus de conception avancée. Il s'intègre dans l'approche ASMEP pour apporter une définition

sémantique du produit bâtiment synthétisant les différents points de vue d'acteurs. Les Volets ASMEP et ASCMA sont une réponse à la problématique liée aux méthodologies de conception (cf. 2.2.).

Nous adoptons dans ces chapitres 8, 9 et 10 la même structure de présentation articulée autour des aspects : ontologique, fonctionnel, transformationnel et téléologique d'un système (cf. 5.5.).

Le chapitre 11 est une représentation formelle en UML des différents modèles découlant des trois volets de BATSYS : ASMEB, ASMEP et ASCMA. Le chapitre 12 est dédié à la validation des différentes approches développées dans BATSYS par la mise en place d'un système d'information distribué pour le bâtiment.

Chapitre 7 Définition d'un contexte numérique adapté à l'interopérabilité en ingénierie du bâtiment

Introduction

Ce chapitre introduit en trois titres une description d'une architecture de système d'information dédié à l'interopérabilité entre acteurs que l'on adoptera comme support à notre approche BATSYS. Nous présentons en premier lieu le positionnement de notre démarche par rapport à l'état de l'art. En deuxième lieu, nous décrivons un environnement numérique pour l'interopérabilité et nous expérimentons en dernier lieu l'environnement proposé.

7.1. Approche technologique pour l'interopérabilité

Nous avons vu dans le premier chapitre de l'état de l'art que la résolution des problèmes liés à l'interopérabilité entre acteurs repose pour une part sur les choix *d'approche technologique*. Il a été identifié dans l'état de l'art deux approches principales : une approche documentaire (pour la mise en place de collecticiels) et une approche modèle (pour la définition de standards d'échange et l'évolution de CAO 4D).

Il est important de souligner que l'identification d'une approche technologique n'a pas pour objectif direct le développement d'outil logiciel. Elle permet tout simplement de fournir *une base pour l'élaboration de modèles conceptuels dédiés à l'interopérabilité*.

En fonction de ce que nous adoptons comme approche technologique (documentaire ou modèle), les modèles conceptuels que nous développerons seront différents. Dans le cas d'une approche modèle, la représentation du bâtiment doit intégrer des spécifications géométriques, techniques, qualitatives, etc. car les acteurs interviennent sur une même maquette numérique intégrant tous les aspects d'un bâtiment (leurs points de vue constituent une quatrième dimension à intégrer dans une maquette numérique 3D). Dans le cas d'une approche documentaire, la représentation du

bâtiment n'intègre que des aspects de gestion documentaire (document produit par l'architecte, l'acousticien, l'électricien, etc.) indépendamment du contenu de ces documents, car les acteurs interviennent sur des maquettes numériques individuelles n'intégrant que les aspects métiers spécifiques.

A partir des conclusions de la partie précédente, sur l'état de l'art, nous proposons de partir sur une *approche technologique modèle* pour le développement de BATSYS. Nous intégrons néanmoins des spécificités par rapport à l'approche existante relativement à la quatrième dimension d'une CAO 4D. Cette nouvelle dimension dédiée à la conception collaborative est représentée dans notre approche par un *modèle d'ingénierie intégrée* implémenté en *base de données*.

7.2. Un environnement numérique pour l'interopérabilité

Nous proposons dans ce titre un environnement numérique nouveau pour l'interopérabilité reposant essentiellement sur une approche modèle. Notre environnement se définit par les points suivants :

- Regrouper les acteurs autour d'une maquette numérique partagée (approche modèle) ;
- Construire cette maquette sur la base d'un modèle conceptuel (BATSYS) ;
- Implémenter BATSYS en base de données (et non pas en fichier de CAO) ;
- Associer cette base de données à une représentation graphique partagée du projet dans la mesure où les technologies actuelles permettent d'échanger sans difficultés, les représentations graphiques entre outils hétérogènes.

La majorité des outils de CAO sur le marché permettent de sauver les représentations géométriques produites, dans des formats de fichiers visualisables directement sur le Web sans interface particulière. Cet avantage permet de partager de manière spontanée les représentations graphiques des acteurs sur une *plate forme commune* supportée par le Web. Les aspects sémantiques du projet concernant les différents points de vue d'acteurs sont représentés par un modèle (BATSYS) dans une base de données accessible aussi de manière spontanée depuis Internet. L'association des représentations graphiques et «textuelles de base de données» d'un projet permet de définir une maquette numérique *partageable* sur le Web.

Les modèles existants (cf. 5.2.) dédiés aux maquettes numériques partagées, s'implémentent en fichier de CAO et intègrent par conséquent des descriptions géométriques du projet. Dans notre approche, BATSYS est implémenté en base de données que l'on associe à une représentation graphique existante. BATSYS n'intègre donc pas l'aspect « modélisation géométrique ».

Nous proposons donc dans la (figure20), un nouvel environnement logiciel pour le travail collaboratif dans le secteur du bâtiment utilisant une approche modèle intégrant une implémentation en base de données d'un modèle conceptuel. [Oumeziane 2004a].

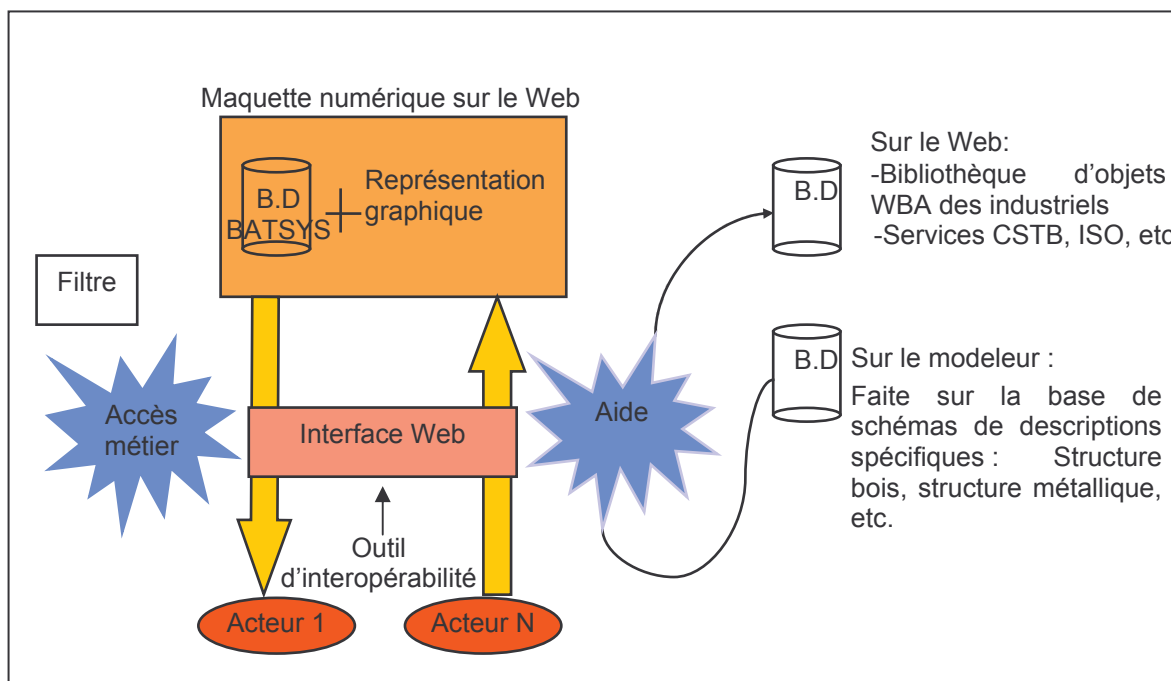


Figure20 : Architecture d'un environnement numérique adapté au travail collaboratif

Dans cet environnement, les acteurs interviennent sur la maquette numérique à partir d'une interface Web afin d'ajouter de nouvelles propositions conceptuelles (forme graphique ou textuelle) ou bien encore, pour consulter tout simplement, au travers d'un filtre métier qui permet de cibler l'information, des données sur le projet. Les bases de données accessibles du Web ou propres au logiciel peuvent être employées comme une aide à la conception par les acteurs.

Techniquement, cet environnement logiciel sera mis en place selon les points suivants:

- Création d'un modèle conceptuel de bâtiment ;

- Implémentation de ce modèle dans un système de gestion de base de données en utilisant le langage SQL ;
- Sauvegarde de la représentation graphique du projet en fichier VRML (ce format est supporté par le Web). Les acteurs n'ont pas besoin d'interface CAO pour l'affichage de ces fichiers, mais juste de plug-in disponibles gratuitement sur le Web ;
- Association du fichier VRML obtenu aux différentes tables de base de données, d'une interface Web.

7.3. Exemple d'application numérique

Pour mieux illustrer l'environnement dans lequel se développe BATSYS, nous présentons dans ce paragraphe une expérimentation de nos propositions. Suivant les spécifications du précédent paragraphe (cf. 7.2.), nous avons créé un modèle conceptuel très simple (pour l'expérience) qui propose différentes descriptions physiques d'un objet bâtiment.

Sept classes d'objets ont été créées avec des attributs spécifiques dans notre modèle expérimental (il s'agit des classes « material properties » existantes dans le modèle IFC : material description, optical, hydroscopic, thermal, extend, general et mechanical). Nous avons utilisé pour la modélisation un logiciel nommé Rational Rose qui nous a permis de reproduire les classes des IFC dans le formalisme UML. Cet outil nous a permis aussi d'implémenter directement notre modèle en base de données dans le Système de Gestion de Base de Données (SGBD) Oracle 8. La fonction « DB implémentation » de Rational Rose permet en effet de passer d'une représentation en modèle objet à une représentation en table de données (figure21).

En utilisant AutoCAD (modeleur de CAO le plus répandu dans le secteur de l'AEC), nous avons créé un modèle géométrique 3D d'une salle de travail (ensemble de murs, dalles, portes et fenêtres) en guise d'exemple de représentation graphique. Nous avons ensuite, à l'aide de l'outil ODBC de Windows, associé à cette représentation une description textuelle des tables de base de données réalisées, comme représenté sur la (figure22).

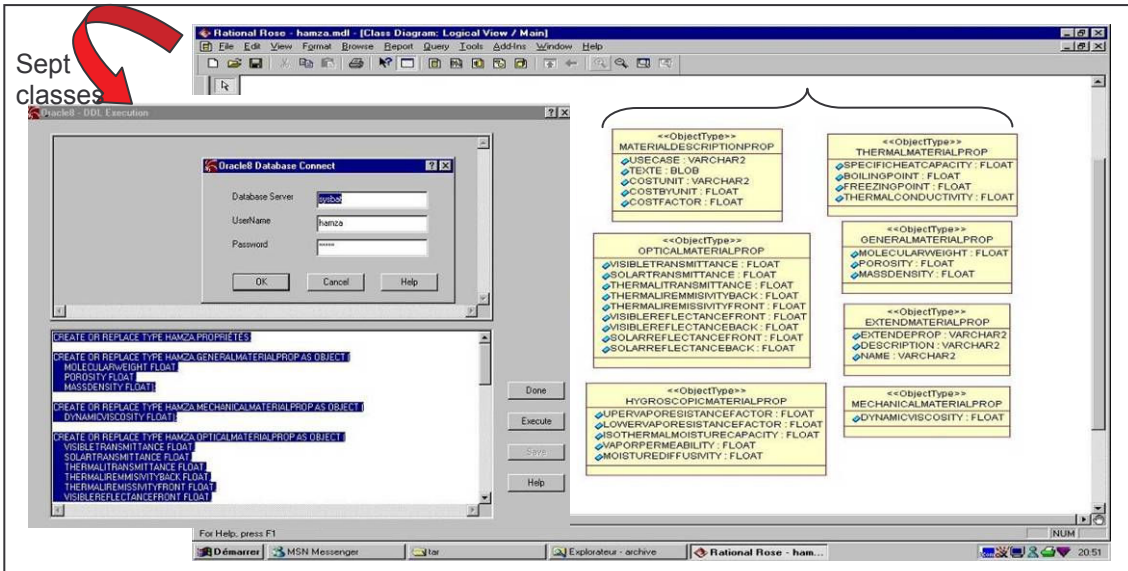


Figure21 : Modélisation conceptuelle et implémentation en base de données

Le *gestionnaire de connexion BD* d'AutoCAD permet un accès aux tables créées dans le SGBD Oracle 8. Un simple clic permet ensuite de lier un objet géométrique 3D à l'une de ces tables. Sur la (figure22) nous associons la table « extend » aux objets géométriques : lampeadaire, aération, fenêtre et porte.

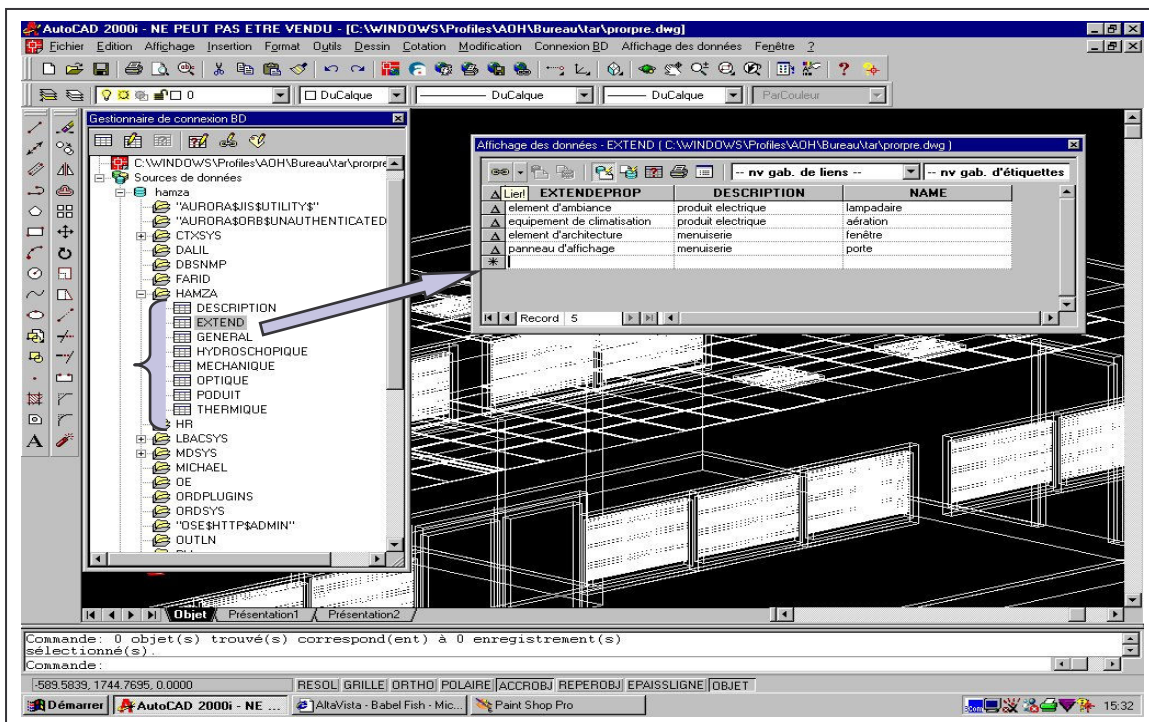


Figure22 : Association d'une représentation graphique a une base de données via AutoCad

Dans le cas où les partenaires d'une opération de construction travaillent sur des outils CAO différents (ce qui est souvent le cas), la représentation créée sur AutoCAD peut être sauvee au format VRML. Ce format de fichier est directement visualisable et accessible depuis un simple navigateur Web. Il suffit alors de créer un site Web pour mettre les différentes représentations graphiques (3D) et textuelles (Base de Données) en partage entre les acteurs. La valeur ajoutée de cette structure de travail est dans la possibilité « d'échange » de représentations graphiques provenant d'outils différents (la plus part des outils actuels permettent de sauver des fichier VRML). Les informations spécifiques aux acteurs sont associées à cette représentation sous forme d'une base de données partagée sur le Web (cf. 7.2.).

Synthèse

Le présent chapitre nous a permis de tirer deux conclusions principales par rapport à notre problématique de thèse relative aux NTIC (cf. 2.3.):

- Notre approche technologique articulée autour d'une représentation 3D maîtrisable (VRML) enrichie d'une sémantique en base de données accessible sur le Net est pour nous l'approche qui servira de base au développement de BATSYS. Elle ne dépend d'aucun outil spécifique et ne nécessite pas pour les acteurs un investissement financier dans l'acquisition de logiciel et collecticiel ;
- L'approche BATSYS ne prend pas en charge par conséquent, la modélisation géométrique du bâtiment. Elle se limite à la sémantique relative aux points de vue d'acteurs que véhicule une représentation graphique.

Chapitre 8 Approche Systémique de Modélisation du cycle de vie du Bâtiment : ASMEB

Introduction

Nous présentons dans ce chapitre le volet ASMEB de l'approche BATSYS. Il se construit en cinq étapes principales. La première étape, est une définition du *système bâtiment*. Elle regroupe les différents *éléments* (humains, matériels et immatériels) *évoluant* dans le *cycle de vie* du bâtiment. Les quatre autres étapes, sont relatives aux *quatre axes* de la systémique nécessaire à la modélisation d'un *système* (cf. 5.5.). Nous terminons le chapitre par un *modèle informel* du système bâtiment évoluant non plus par rapport à un axe linéaire de cycle de vie mais par rapport à une *structure systémique* favorisant une ingénierie concourante.

8.1. Le système bâtiment

ASMEB est une approche qui a pour but de modéliser le cycle de vie du bâtiment en perspective d'ingénierie concourante. Elle s'intègre dans une démarche plus globale BATSYS pour une ingénierie du bâtiment intégrée. Nous utilisons dans ASMEB une approche systémique qui considère le cycle de vie du bâtiment comme étant non plus une multitude d'étapes qui se suivent dans le temps, mais comme un «système» unique intégrant l'ensemble de ces étapes qui interagissent entre-elles. Nous parlerons dorénavant de « système bâtiment » au lieu du cycle de vie du bâtiment.

8.2. Aspect ontologique: définition du système

Le « système bâtiment » est l'ensemble des éléments humains, matériels, et immatériels intervenant dans les activités liées au cycle de vie de son début à sa fin. *Les limites* de ce système sont les bornes caractérisant le début et la fin du cycle de vie (figure23) [Oumeziane 2004b]. La totalité des éléments situés entre ces bornes, sont considérés à titre égal comme des *composants* du système.

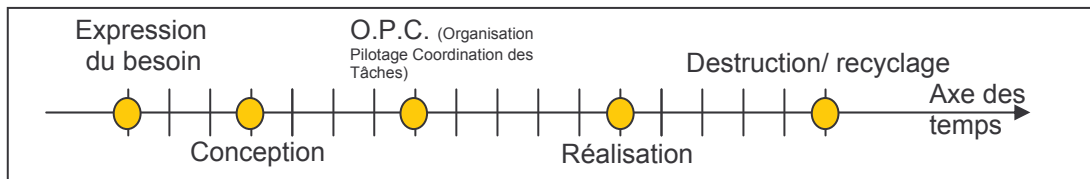


Figure23 : Axe classique du cycle de vie du bâtiment

8.3. Aspect fonctionnel

Le système bâtiment est une *abstraction* du contexte réel de conception et réalisation des bâtiments. Il a pour fonction de représenter l'ensemble des *acteurs* du cycle de vie, leurs *méthodes et outils* de travail ainsi que les *produits* bâtiments qu'ils génèrent.

Le système bâtiment est un niveau intermédiaire entre l'utilisateur (intervenant dans une conception coopérative) que l'on considère comme *observateur*, et le phénomène *observé* dans le monde réel (figure24). Les représentations qu'intègre ce niveau doivent formaliser le phénomène observé le plus proche possible de sa réalité dans une forme directement exploitable par les utilisateurs.

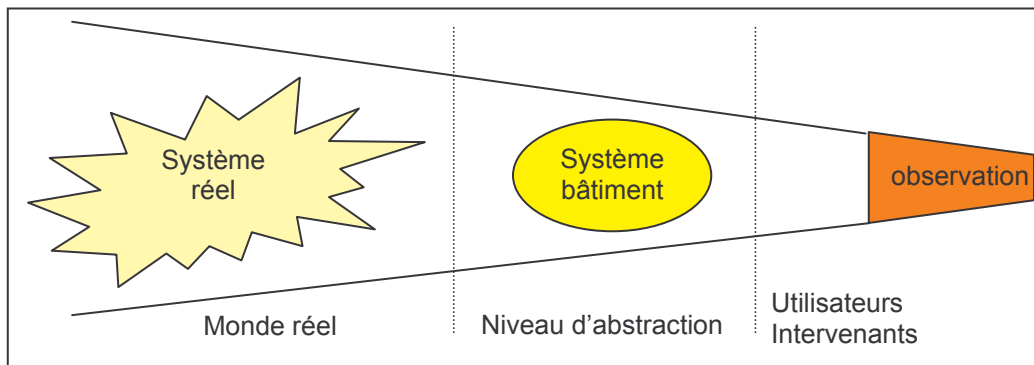


Figure24 : Système bâtiment et niveau d'abstraction

8.4. Aspect transformationnel

Nous introduisons dans ce titre la *notion d'état du système*. Car c'est par rapport à cette notion que le système bâtiment évolue et se transforme. Le système passe d'un état à un autre. Nous définissons dans ce qui suit les différents états relativement aux représentations classiques du bâtiment.

La majorité des modèles, des lois et des démarches existantes définissent le cycle de vie du bâtiment sur un *axe linéaire* ne favorisant aucune parallélisation des tâches (la loi MOP, les IFC, etc. (cf. 1.2. et 5.2.)). Même si le contenu de l'axe change d'une définition à une autre, il existe toujours deux points ou étapes qui ne changent jamais, quelle que soit l'approche adoptée : l'expression du besoin et la destruction/recyclage. Deux points bornes de l'axe exprimant les limites de notre système bâtiment (figure23).

Dans la multitude des étapes réparties sur l'axe du cycle de vie classique (figure23), quelques unes seulement doivent obligatoirement se succéder dans le temps. A titre d'exemple : les étapes d'étude de la stabilité du sol et l'étude des besoins des usagers peuvent se faire en parallèle.

Afin de modéliser un cycle de vie en perspective d'ingénierie concourante nous ressortons de cet axe les étapes qui sont obligatoirement successives pour avoir ensuite une meilleure lisibilité des tâches pouvant être parallélisées. Ces étapes sont pour nous la conception, l'Organisation Pilotage et Coordination des tâches (O.P.C.), la réalisation, l'exploitation et maintenance. Nous ne faisons pas exception en ressortant ces quatre étapes car ce constat existe déjà et constitue le support pour la modélisation du cycle de vie dans les IFC et autres projets de modélisation actuels (cf. 5.2.).

Il est clair dans ce constat, que l'étape d'OPC ne peut se faire avant la conception, et que la réalisation vient obligatoirement à l'aval de ces deux étapes et à l'amont de l'exploitation.

Nous reportons sur la (figure25) ces quatre étapes obligatoirement successives sur un nouvel axe discrétisé par rapport au temps. Les étapes du cycle de vie du système bâtiment que nous n'avons pas repris de l'axe de représentation classique, sont considérées comme pouvant se chevaucher ou s'exécuter en parallèle, et pouvant s'intégrer dans les étapes obligatoirement successives les plus proches.

Les étapes de faisabilité, étude marketing, élaboration du programme, esquisse, etc. sont pour nous des étapes non obligatoirement successives qui peuvent être intégrées dans l'étape de conception de la (figure22) que nous appellerons dorénavant *état de conception*.

On passe d'une *étape* de conception définie classiquement comme fragmentée et distincte des étapes d'ingénierie bâtiment, d'esquisse, faisabilité, etc. à un *état de conception* intégrant et incluant toutes ces étapes en se construisant sur la base de ce que nous appelons un premier *niveau d'interopérabilité*. Ce premier niveau définit une *interopérabilité interne à chaque état du système*.

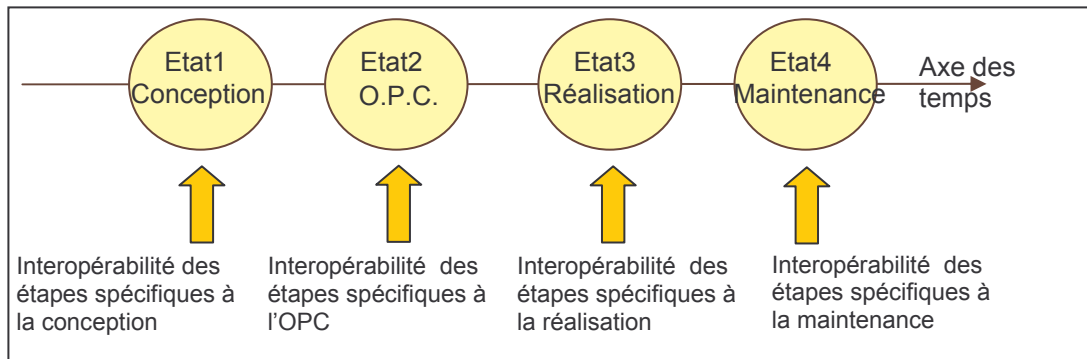


Figure25 : Axe des états obligatoirement successifs

Relativement à l'approche systémique la (figure25) devient caractéristique de l'évolution de tout un système (avec tous ses composants) d'un état donnée à un autre. On passe alors de l'étape caractérisant une évolution dans le temps, à *l'état caractérisant une évolution du système*.

Le système bâtiment se transforme donc d'un état vers un autre. Chaque état intègre un premier niveau d'interopérabilité spécifique mettant en collaboration les différentes activités.

Le passage du système d'un état à l'autre est produit par ce que la systémique définit comme les *variables d'états*. Ces variables sont les composants du système causant un changement d'état. Par exemple : le passage de l'état de conception vers celui de l'OPC est généré par la décision d'acteurs de la complétude et de la validité du Permis de Construire (cf. 6.2.). La complétude de cette tâche constitue donc une variable d'état (figure26).

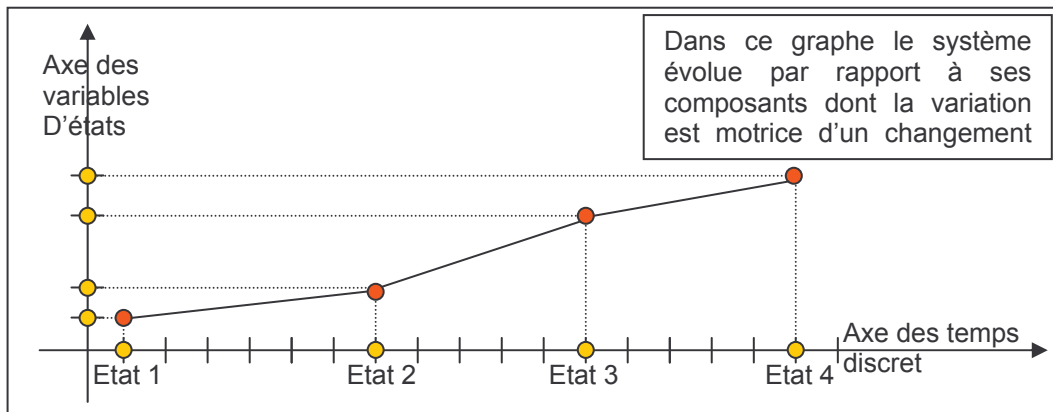


Figure26 : Graphe d'évolution du système bâtiment

8.5. Aspect téléologique

L'aspect téléologique concerne ce que génère le système dans les différents états qu'il prend. Nous nous sommes appuyés pour la spécification des variables de sortie sur les prescriptions de la loi MOP en matière de *livrables* exigés aux acteurs dans les différentes étapes du cycle de vie (cf. 1.2.). Il s'agit des *variables de sortie* (figure27):

- Dans l'état Un (figure25), le système produit comme variable de sortie un *portefeuille de documents* qui constitue un dossier de permis de construire (représentations graphiques et textuelles du produit à mettre en œuvre – plan de situation, plan de masse, plan d'aménagement, etc. – résumé dans un Avant Projet Sommaire, Avant Projet Détaillé, etc.) ;
- Dans l'état Deux, un ensemble de plannings et calendriers prévisionnels de chantier à respecter ;
- Dans l'état Trois, un ensemble d'objets physiques constituant le bâtiment ;
- Dans l'état Quatre, le système produit des schémas de gestion et d'organisation de services assurés par le produit final.

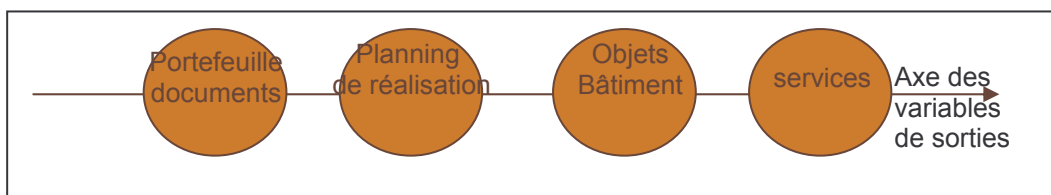


Figure27 : Variables de sortie du système

8.6. Interactions du système

Cet aspect concerne les différents éléments du système que nous voulons faire interagir dans un cadre d'ingénierie concourante. Nous avons défini dans l'aspect transformationnel du système un premier niveau d'interopérabilité qui décrit une interaction spécifique aux états. Nous mettons dans la (figure28) ces états définis du système non plus sur un axe linéaire, mais sur un axe en «V». Ceci nous permet de définir ce que nous appelons le *deuxième niveau d'interopérabilité* qui décrit une interaction entre les différents états du système.

Ce deuxième niveau introduit une correspondance entre les étapes incluses dans les différents états (correspondance entre les étapes de conception préliminaire et réalisation par exemple). Dans cette représentation, nous prenons l'essence même du modèle en V développé dans le génie logiciel : les premières étapes préparent les dernières, le passage peut se faire entre les étapes amonts et avalés, etc. [Jacobson, Booch et al. 1999], [Kruchten 2000].

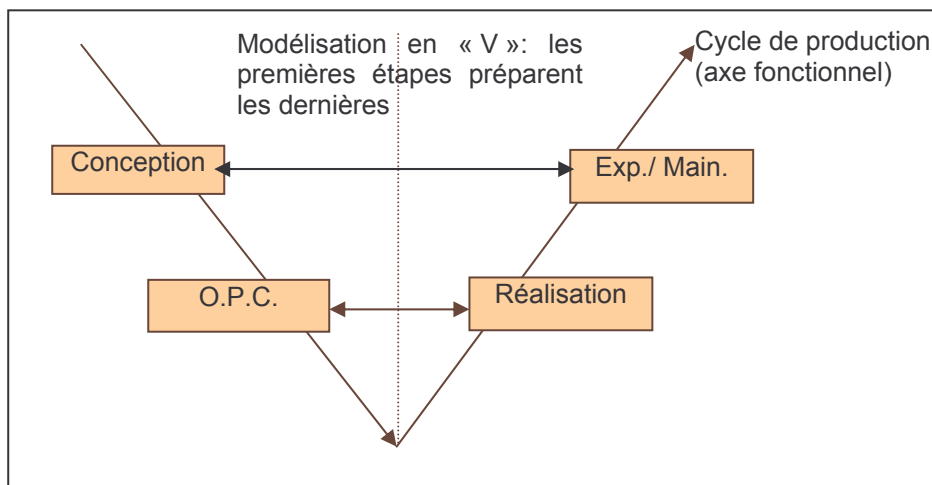


Figure28 : La représentation en V du cycle de vie du système bâtiment

La (figure28) intègre deux niveaux d'interopérabilité :

- Un niveau propre à chaque état qui relève de la *co-conception* pour concevoir et construire un état défini du système. La co-conception est la collaboration (interne) des acteurs se situant dans le même état, (acteurs spécifique à la conception, à l'OPC, etc.) ;

- Un niveau général partagé entre l'ensemble des étapes (parallèles et successives) relevant de *l'ingénierie concourante* et simultanée, pour concevoir et construire un état fini prenant compte de l'ensemble des aspects du système. L'ingénierie simultanée est la collaboration entre des acteurs se trouvant dans des états différents du système.

8.7. Modèle informel du système bâtiment

Les éléments introduits dans ce chapitre permettent de parler dorénavant de cycle d'évolution du système bâtiment. On est passé de la simple représentation du bâtiment (assemblage d'objets) évoluant dans sa composition sur un axe de temps, vers un système bâtiment (interaction de composants) évoluant dynamiquement par rapport à un axe d'états (du cycle de vie du bâtiment à la dynamique du système bâtiment) (figure29) [Oumeziane 2004b].

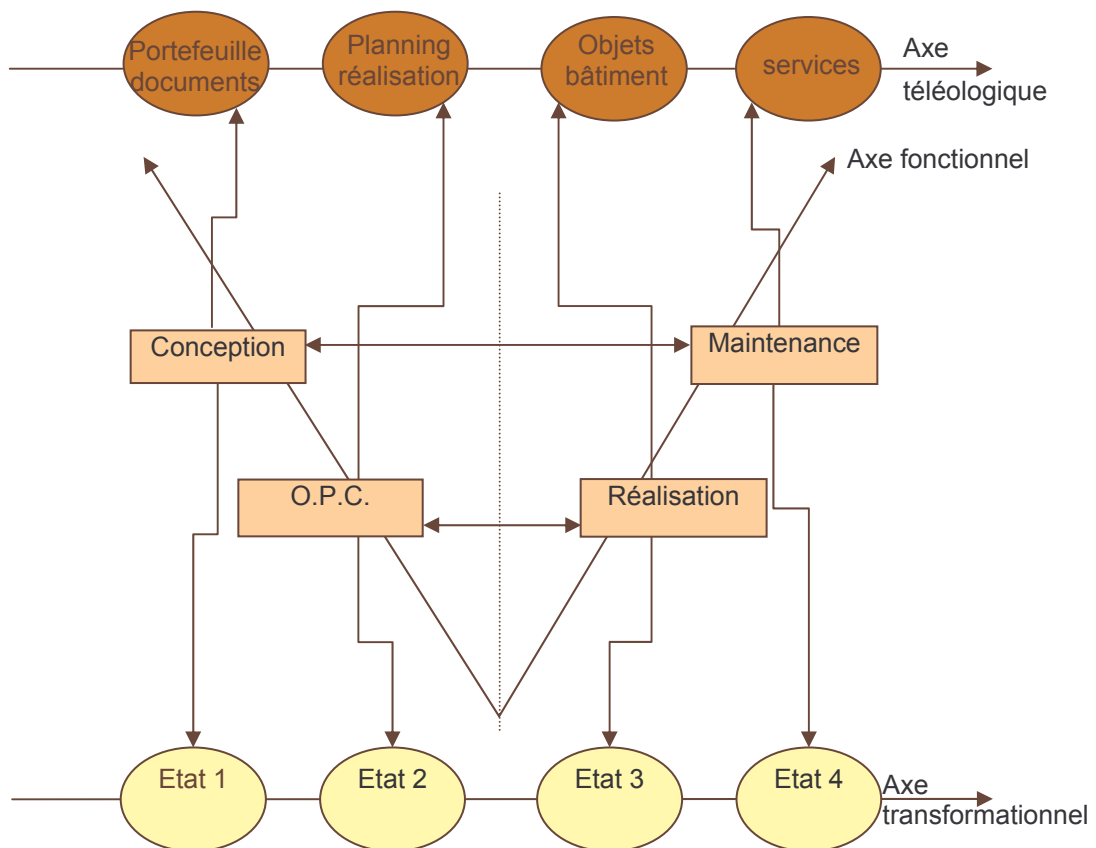


Figure29 : Abstraction de l'évolution du système bâtiment

Synthèse

Au travers d'ASMEB nous avons créé dans ce chapitre une représentation de l'évolution du système bâtiment dédiée à supporter les activités d'interopérabilité et de travail collaboratif entre acteurs.

Le système bâtiment est défini dans ASMEB par :

- Un aspect ontologique spécifiant ses composants et ses limites ;
- Un aspect fonctionnel de représentation des activités de conception et réalisation des bâtiments ;
- Un aspect transformationnel décrivant l'évolution par rapport aux états ;
- Un aspect téléologique de production des acteurs.

L'ensemble interagit en perspective de co-conception et d'ingénierie concourante moyennant des représentations en V développées dans le génie logiciel.

Chapitre 9 Approche Systémique de Modélisation du Produit bâtiment : ASMEP

Introduction

Dans le volet ASMEB du précédent chapitre, le *système bâtiment* génère des *produits bâtiment* par rapport à leurs aspects téléologiques relativement à quatre états. Nous présentons dans ce chapitre le volet ASMEP. C'est une approche systémique de modélisation du *produit bâtiment*. Elle considère le produit bâtiment comme *sous système* du système bâtiment. Etant donné que la *réflexivité de la systémique* (cf. 5.5.) permet d'appliquer à un sous système les mêmes structures de description du système principal, nous présentons le *sous système produit bâtiment* que nous appellerons *SPB* à l'image du système bâtiment dans ASMEB : aspect ontologique, aspect fonctionnel, aspect transformationnel, aspect téléologique, interactions du système et modélisation informelle (figure30).

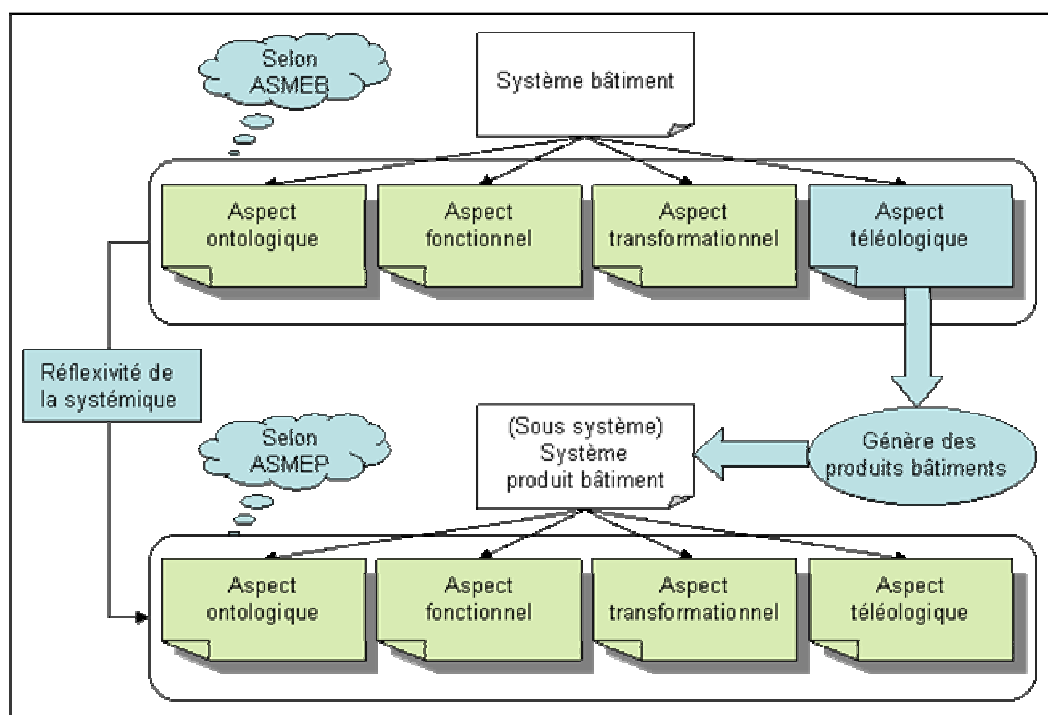


Figure30 : Sous système des produits bâtiment SPB et réflexivité de la systémique

9.1. Aspect ontologique

Relativement à notre problématique, ASMEP ne s'intéresse qu'aux produits bâtiment générés en *ingénierie du bâtiment* ou *conception avancée*. Cette étape du cycle de vie s'intègre dans *l'état de conception* défini dans ASMEB. Le système SPB concerne donc *un portefeuille de documents* correspondant à l'état de conception du système bâtiment (cf. 8.5.). *Les limites* du SPB sont celles *de l'état de conception dans ASMEB*. *Les composants* du SPB sont les différents *produits* représentés dans les documents de cet état.

L'état de conception fait intervenir une pluralité d'acteurs de différentes cultures métiers et de différents états. Chaque acteur porte une vue spécifique sur un même et unique composant du SPB. Autrement dit, chaque acteur associe une *sémantique* particulière au produit. Au-delà de cette *sémantique* il existe une représentation unique et partagée du produit bâtiment qui le définit par rapport à sa *forme et sa nomenclature*. Une poutre par exemple est désignée comme telle par tous les acteurs. Elle est considérée cependant relativement à chaque acteur par rapport à sa : portance, couleur, réflexion sonore, transmissibilité thermique, etc.

L'aspect de définition des composants est rattaché dans l'approche systémique à deux aspects : *syntaxique et sémantique* [Giambiasi 2001]. Dans une *égalité sémantique* il est possible de définir deux éléments semblables dans leurs formes, mais différents dans leurs usages, comme non égaux. Une même poutre est considérée différente selon qu'on lui rattache un point de vue d'acteur différent.

Dans une *égalité syntaxique* on ne considère équivalent que les éléments *semblables* et *similaires* dans leur *formes* indépendamment de leurs usages. Deux poutres de transmissibilités thermiques différentes, de couleurs différentes, ou de textures différents, restent équivalentes. Nous procédons dans ce qui suit à une définition de notre système par rapport à ces deux points de vue.

Définition syntaxique

Nous considérons le SPB dans cette partie d'un point de vue syntaxique seulement. Les systèmes n'intégrant qu'une égalité syntaxique sont dit *systèmes formels* [Giambiasi

2001]. Nous appelons par conséquence les produits bâtiment qui composent le SPB dans cette partie : *produit formel*.

Le système formel le plus usuel est celui de la langue. Dans la langue française les mots « partir » et « quitter » sont définis comme synonymes dans leurs sémantiques mais sont complètement différents d'un point de vue syntaxique. Le mot « partir » ne peut être égal syntaxiquement qu'à lui-même. Dans l'ensemble syntaxique de la langue française, ce mot est *unique*.

Un autre exemple de systèmes formels est celui des nombres mathématiques. Dans la construction d'ensembles en mathématique, un nombre « n1 » est toujours différent d'un nombre « n2 ». Quand le nombre n prend la valeur naturelle 1, il se définit comme appartenant à l'ensemble des nombres réels, rationnels, entiers, ou naturels. Quand il prend la valeur 3/2, il n'est défini que sur les deux premiers ensembles. Quatre ensembles de définition s'imbriquant du plus petit au plus grand, constituant un cadre syntaxique dans lequel est défini le nombre variable « n ».

Par analogie, nous définissons les composants formels du SPB dans des ensembles de produit différents syntaxiquement (les éléments de ces ensembles sont uniques à l'image des mots de la langue française) et s'imbriquant l'un dans l'autre par ordre de grandeur. L'ensemble le plus grand auquel appartient le produit bâtiment formel est celui des *produits de consommation* en général. Cet ensemble confère à ses composants le caractère générique de *produit*. Il peut intégrer : les voitures, les briquets, les brosses à dents, les bâtiments, les fenêtres, etc. Ce niveau *global* regroupe tous les produits différents dans leurs formes et nomenclature. Il ne compte qu'une égalité syntaxique ou le produit est égal à lui-même.

Le deuxième ensemble que nous introduisons et auquel peut appartenir un produit bâtiment formel est celui des produits de même famille. C'est un niveau de *typologie* ou les composants sont différents mais de même type (école, usine, crèche, habitation, etc.).

Le troisième ensemble que nous proposons est celui des produits de mêmes types et de même filière constructive. C'est un niveau de *filière* (habitation en bois, habitation en béton, habitation en charpente métallique, etc.).

Enfin, le dernier ensemble de définition proposé est celui des produits élémentaires qui composent les produits de même type et de même filière constructive (porte, fenêtre, poutre, cloison, etc.). C'est un niveau de *composant*.

Cette construction d'ensembles formels est analogue à celle des systèmes formels mathématiques ou linguistiques dans la structuration et désignation des composants. Néanmoins, la définition de la frontière des ensembles importe beaucoup, car elle a un impacte direct sur la vision que l'on a du système « en incluant ou non un objet, on change le système. ». Figer cette délimitation peut paraître simple, cependant il n'existe malheureusement pas de méthode formelle pour le faire [Perron 2002]. Le seul impératif est de déterminer cette frontière en fonction des objectifs ou projet que l'on attribue au système. Cette détermination est bien souvent un processus itératif.

La (figure31) représente une ontologie du SPB. Elle met en correspondance quatre ensembles de définition s'imbriquant l'un dans l'autre selon une structure de système formel, ou le produit bâtiment est considéré comme formel et variable.

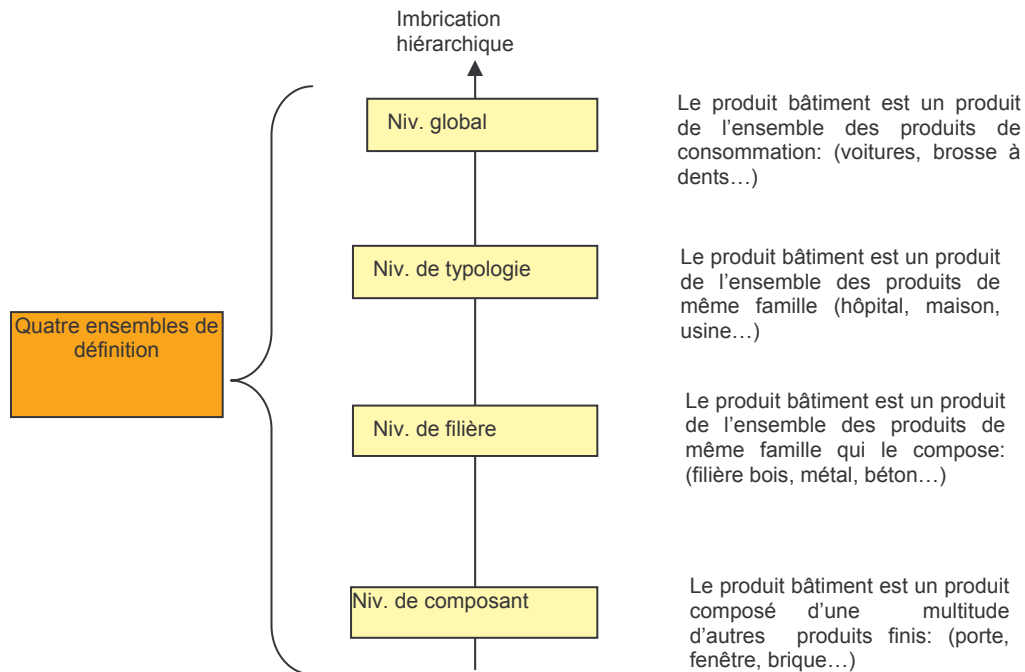


Figure31 : Ontologie du système SPB

Définition sémantique

La sémantique du produit bâtiment est relative aux *points de vue d'acteurs* évoluant dans un état de conception (cf. 7.2.). Il s'agit de la spécification que donne un acteur à un produit formel. Une fenêtre par exemple est définie différemment par rapport à la sémantique des acteurs. Un thermicien la définit comme une source de déperdition thermique, un électricien comme une source de lumière, etc. Cet aspect est plus lié à la *définition transformationnelle* du système qu'à sa définition ontologique. C'est dans la transformation du système qu'interviennent les acteurs qui apportent ces différentes sémantiques.

Nous considérons par conséquent le SPB dans son aspect ontologique comme *un ensemble de produits formels* par rapport à un aspect syntaxique uniquement. Nous définissons dans le titre suivant l'aspect *fonctionnel* du système pour introduire ensuite l'aspect *transformationnel* qui génère de la sémantique d'acteur et donne une définition sémantique au produit bâtiment.

9.2. Aspect fonctionnel

Le SPB a pour fonction de générer les *représentations* graphiques ou textuelles d'un *objet formel* relativement à une sémantique d'acteurs (des dimensions géométriques, des coûts, des moyens de mise en œuvre, des qualités de confort, des coefficients thermiques, acoustiques, etc.). La sémantique des produits générée dépend de la transformation du système. Car les composants du système (produits formels) évoluent d'un état (sémantique) vers un autre relativement aux points de vue d'acteurs.

Le SPB est un ensemble générique de produits différents définissant un bâtiment. Les acteurs en cours de conception donnent une spécificité sémantique à ces composants. Ces spécificités sont uniques et propres à chaque projet. La fonction du SPB se résume à y donner une forme graphique et textuelle.

9.3. Aspect transformationnel

Dans ASMEB, le système bâtiment évolue d'un état vers un état différent. Dans ASMEP *les composants évoluent dans un même état du système bâtiment*, c'est l'état de conception.

Relativement au premier niveau d'interopérabilité défini dans l'état de conception du système bâtiment (cf. 8.4.) le SPB évolue dans un cadre de co-conception. Nous nous limiterons à dire dans ce chapitre que *les composants du SPB évoluent par rapport à une sémantique d'acteur dans un cadre interopérable*. L'illustration de ce cadre est relative à l'approche ASCMA (approche systémique de conception multi-acteurs) que l'on présentera dans le prochain chapitre.

9.4. Aspect téléologique

Le SPB génère des représentations de solutions d'acteurs relatives à un besoin émis. Les caractéristiques des solutions générées sont de deux natures. Perron dans [Perron 2002] définit un aspect téléologique, des systèmes industriels, génériques et applicables à divers systèmes de production. Cet aspect est signifié par des *caractéristiques génériques* que doit intégrer tout produit de consommation et des *caractéristiques spécifiques* relatives aux points de vue d'acteurs du domaine étudié. Dans notre cas, les solutions spécifiques sont fonctions des productions d'acteurs définies dans l'approche ASCMA. Nous les présentons donc dans le prochain chapitre consacré à l'approche ASCMA (cf. 10.7.). Pour ce qui est des solutions génériques, nous reprenons les propositions de [Perron 2002] comme ci dessous.

Ainsi, un produit générique est considéré (selon une approche systémique) par rapport à la *valeur ajoutée* qu'il génère et à sa *qualité environnementale* (aspect téléologique d'un système industriel selon Perron). La valeur ajoutée est relative aux : savoir-faire engagé, délais de réalisation, coût et durée de vie estimée. La qualité environnementale est relative à : la production de déchets envisagée, à la qualité des matériaux, à la consommation énergétique et aux ressources engagées.

Dans son aspect générique le « produit bâtiment » intègre ces deux aspects comme illustré dans la (figure32). Cette même figure montre que le bâtiment intègre des caractéristiques spécifiques que l'on formalisera dans le chapitre 10.

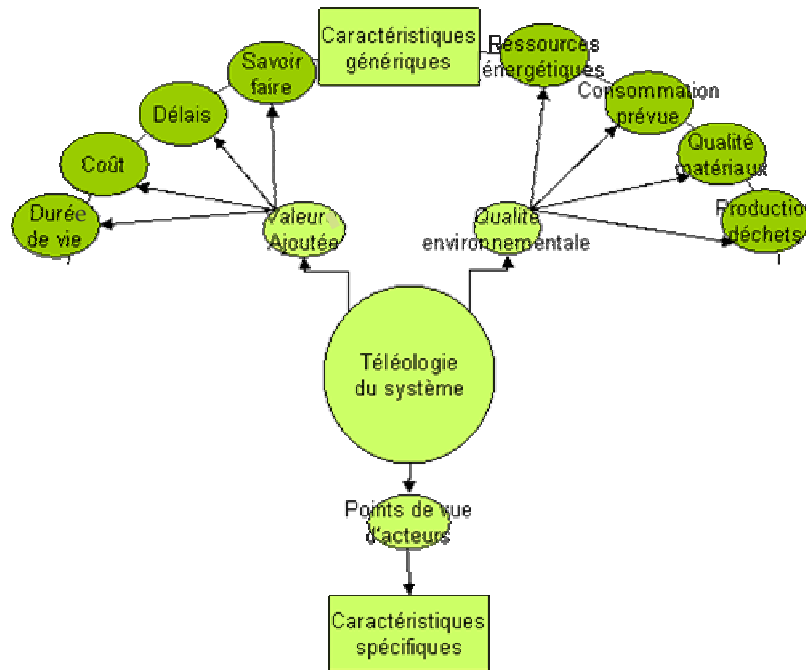


Figure32 : Téléologie du SPB

9.5. Interaction du système

Le SPB se définit dans son aspect ontologique par des composants formels selon une structure syntaxique. Les aspects : fonctionnel, transformationnel et téléologique complètent cette définition par la sémantique des points de vue d'acteurs. La combinaison des aspects syntaxiques et sémantiques d'un composant du SPB donne une définition complète de ce dernier selon la systémique (cf. 9.1.). Pour mieux cerner l'aspect sémantique relatif à la fonction, à la transformation et à la téléologie du SPB nous introduisons ci-après la notion de référentiel.

Cette notion est souvent utilisée pour spécifier des aspects sémantiques dépendant de points de vue d'acteurs [Perron 2002]. Chaque aspect du système est relié à un référentiel donné. Nous obtenons une *structure de référentiels* qui définit la sémantique du produit bâtiment dans notre système (figure33). Les aspects fonctionnel, transformationnel et téléologique prennent une nouvelle définition

respectivement dans les référentiels : normatif, méthodologique et conceptuel [Perron 2002].

La présentation du SPB peut se faire par conséquent relativement aux référentiels comme suit : les composants du SPB évoluent dans un référentiel méthodologique en vue de générer des solutions qualitatives dans un référentiel conceptuel. Les représentations de ces solutions sont prises en charge par un référentiel normatif (figure34). La (figure32) intitulée : téléologie du SPB, devient significative du référentiel conceptuel. Le référentiel méthodologique sera traité dans le chapitre 10. Le référentiel normatif est présenté par la (figure35). Cette figure représente les quatre niveaux syntaxiques de définition ainsi que les descriptions documentaires de ce dernier.

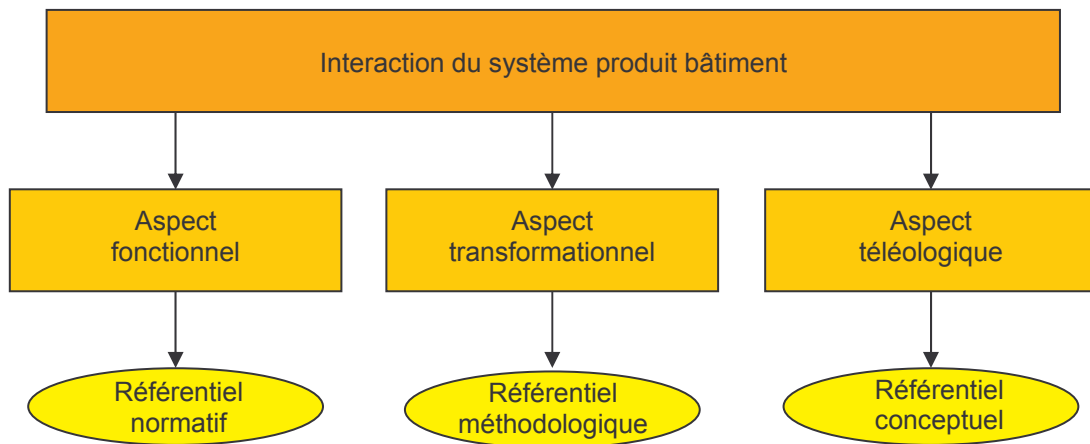


Figure33 : Définition des référentiels d'interaction

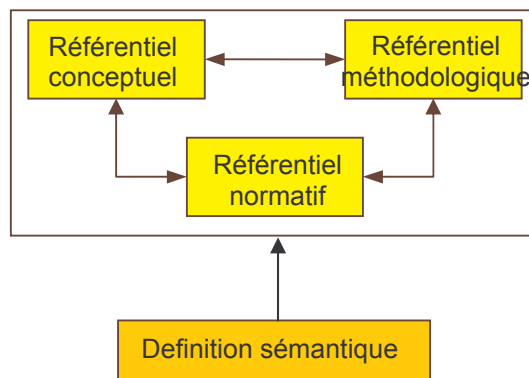


Figure34 : Définition sémantique du produit bâtiment

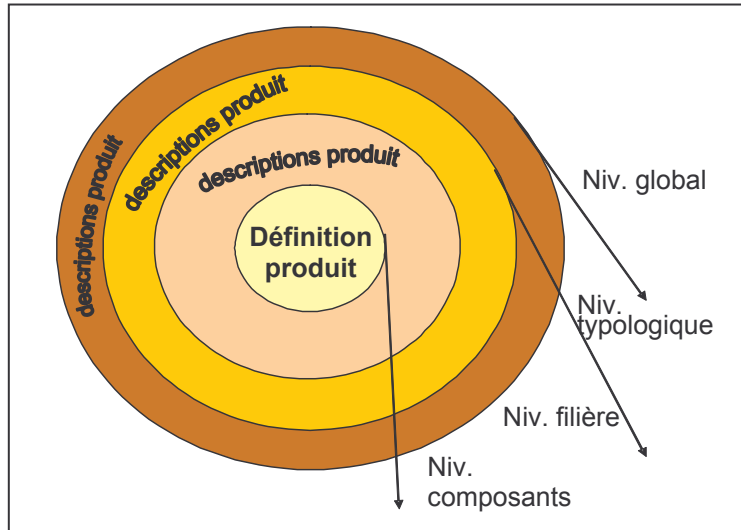


Figure35 : Référentiel normatif du SPB

9.6. Modèle informel du système produit bâtiment

En associant le cadre définitionnel syntaxique de la (figure31) au cadre définitionnel des référentiels sémantiques de la (figure34), nous pouvons caractériser le produit bâtiment dans une définition complète (cf. 9.1.). Pour chaque niveau syntaxique le système introduit une structure de référentiel spécifique (aspect réflexif de la systémique) comme l'illustre la (figure36).

Cette illustration reprend les quatre niveaux syntaxiques du SPB constituant son aspect ontologique. Elle reprend les aspects fonctionnel, transformationnel et téléologique respectivement par les référentiels : normatif, méthodologique et conceptuel. Evoluant sur quatre ensembles, ces structures de référentiels communiquent de manière ascendante et descendante représentée dans la (figure36) par une flèche transversale.

Sur la base du modèle informel obtenu, le système permet de définir des *ensembles de bâtiment* à un niveau global, des *bâtiments spécifiques* à un niveau de typologie, des *structures de bâtiment* à un niveau de filière, ou même des *composants de bâtiment* au niveau composant. Chaque niveau fait intervenir un référentiel méthodologique, un référentiel conceptuel et un référentiel normatif pour donner une sémantique aux composants formels [Oumeziane et al. 2004c], [Oumeziane et al. 2005b].

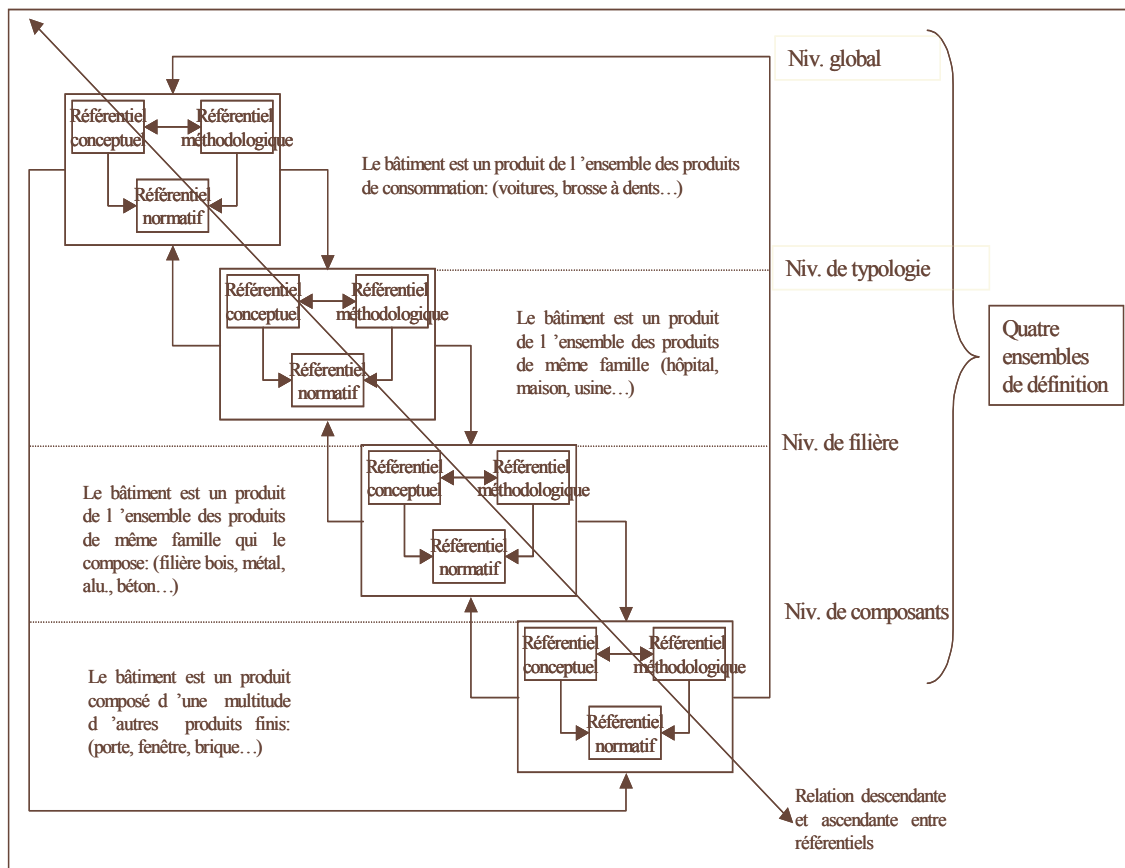


figure36 : Définition du produit bâtiment

Synthèse

L'approche ASMEP s'inscrit dans un cadre plus grand qui est celui de l'approche systémique de modélisation du cycle de vie du bâtiment (ASMEB). Elle permet de modéliser le produit bâtiment généré dans ASMEB. Moyennant l'aspect réflexif de la systémique, ASMEP définit le produit bâtiment comme appartenant au système SPB, sous système du système bâtiment.

Le système produit bâtiment SPB est défini par ses aspects ontologique, fonctionnel, transformationnel et téléologique respectivement comme suit :

- C'est un *ensemble de produits formels* évoluant dans une structure syntaxique de définition ;
- Il a pour fonction de produire des *représentations sémantiques* de ces produits, identifiées dans un *référentiel normatif* ;

- Il se transforme selon un niveau d'interopérabilité de *co-conception* identifié par un *référentiel méthodologique* intégrant l'approche ASCMA ;
- Il génère des représentations de *produits* intégrant des *caractéristiques génériques et spécifiques*.

ASMEP permet d'aller au delà des représentations classiques du produit bâtiment le considérant comme un ensemble d'objets et de processus (cf. 5.2.). La notion de produit variable dans une structure syntaxique permet d'intégrer n'importe quel aspect qui peut concerner le bâtiment dans sa forme. La sémantique générée par les acteurs permet de spécifier un projet particulier et de sortir du cadre générique de cette syntaxe.

Chapitre 10 Approche Systémique de Conception Multi-Acteurs : ASCMA

Introduction

Dans le volet ASMEP du précédent chapitre, le *système des produits bâtiment SPB* (sous système du *système bâtiment*) fait intervenir un niveau de conception coopérative d'acteurs dans son aspect transformationnel (cf. 9.3.) comme schématisé dans la (figure37). Nous présentons dans ce chapitre l'approche ASCMA (Approche Systémique de Conception Multi-Acteurs). C'est une approche systémique de conception multi-acteurs permettant de définir la sémantique des composants formels du SPB. Elle considère les acteurs comme intervenant sur deux niveaux d'interopérabilité qui sont l'état de conception et le sous système du système bâtiment. Le sous système de conception multi-acteurs CMA se définit par la même structure systémique introduite dans ASMEB et ASMEP (réflexivité de la systémique) (figure37) : ontologie, fonction, transformation, téléologie, interaction et modélisation informelle.

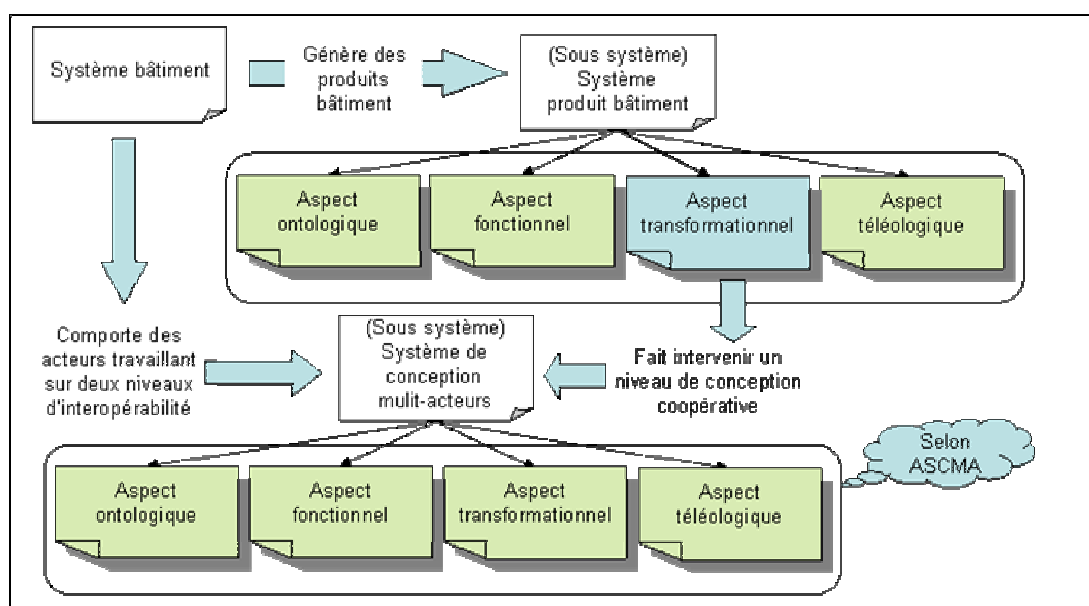


Figure37 : Définition sémantique du produit bâtiment moyennant le sous système CMA

10.1. Aspect ontologique

Le système CMA est l'ensemble des intervenants humains du système bâtiment dans l'état de conception. *Ses limites* sont celles de *l'état de conception*. *Ses composants* sont *les acteurs* intervenant en conception qu'ils soient de l'état de conception (*premier niveau d'interopérabilité* (cf. 8.4.)) ou d'un autre état du système bâtiment (*deuxième niveau d'interopérabilité* (cf. 8.6.)).

La manière la plus logique d'identifier les acteurs composants du système CMA est de les distinguer par rapport à *leurs points de vue métiers et savoir-faire* (cf. 6.2.). Nous avons introduit dans le chapitre 6 de l'état de l'art une identification des points de vue intervenant dans la formalisation d'un produit bâtiment par rapport à deux versants possibles. L'un relatif aux pratiques professionnelles, l'autre relatif à l'enseignement de la conception.

Dans la pratique, la sémantique d'acteur est identifiée par rapport à une production documentaire normalisée liée au cycle de vie classique du bâtiment (recommandations de la loi MOP (cf. 1.2.)). Dans l'étape de conception avancée, ces documents (Avant Projet Sommaire, Avant Projet Détaillé, etc.) sont indépendants de la nature d'acteurs qui les génèrent.

Dans l'enseignement, la sémantique du produit bâtiment fait intervenir *six principaux domaines de connaissance* (cf. 6.2.): l'architecture, les sciences humaines, l'organisation et la gestion, l'ingénierie de bâtiment, le chantier et l'ingénierie de production. Ces domaines de connaissance constituent dans leur union, le programme pédagogique de l'enseignement de la conception de bâtiment le plus courant en France (cf. 6.2.)

La mise en correspondance des pratiques professionnelles d'un côté et des pratiques d'enseignement de l'autre, permet de noter que les documents de la pratique se rattachent à un ou plusieurs domaines de connaissance de l'enseignement (figure38). Ces domaines sont englobants des pratiques d'acteurs et de leurs points de vue.

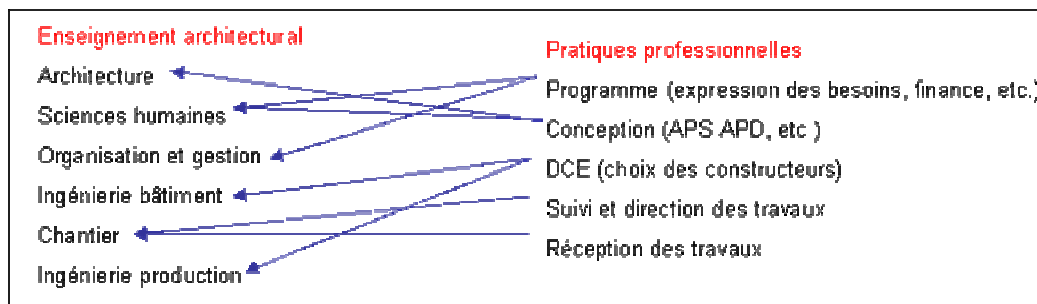


Figure38 : Sémantique du produit bâtiment entre domaines de connaissance et pratique professionnelle

Les acteurs composants du système CAM sont par conséquent définis par rapport à *six domaines de connaissance et une représentation normalisée du produit bâtiment.*

10.2. Aspect fonctionnel

Le produit bâtiment dans ASMEP est défini comme composant variable dans une structure syntaxique de quatre niveaux. La fonction du système CAM est d'attribuer à ce composant une définition sémantique d'acteurs intervenant dans sa conception.

Les six domaines de connaissance qui concernent la définition du produit bâtiment (cf. 6.2.), génèrent six *formes sémantiques* de la manière suivante (figure39) :

- Le domaine *l'architecture* génère une forme *architecturale* du produit bâtiment ;
- *Les sciences humaines* génèrent une forme *référentielle* qui intègre les références sociales, historiques, etc. du produit bâtiment ;
- *L'organisation et gestion* génèrent une forme *fonctionnelle* du produit bâtiment.
- le domaine de *chantier* génère une forme *volumique* ou formelle physique du produit bâtiment ;
- *L'ingénierie de production* génère une forme *structurelle* du produit bâtiment ;
- *L'ingénierie de bâtiment* génère une forme *utilitaire* du produit bâtiment.

Le choix de ces dénominations est influencé par les définitions données à chaque domaine de connaissance dans l'enseignement architectural (cf. 6.2.) [EAML 2005] [ESA 2005] [EAPLV 2005]. Même s'il existe d'autres dénominations des domaines de connaissances intervenant dans la conception du bâtiment ainsi que des *formes*

sémantiques qu'ils génèrent, le sens et la finalité de ces représentations restent proches et similaires. Notre choix des dénominations des *formalisations sémantiques du produit bâtiment* est donc propre et spécifique à ce travail de thèse.

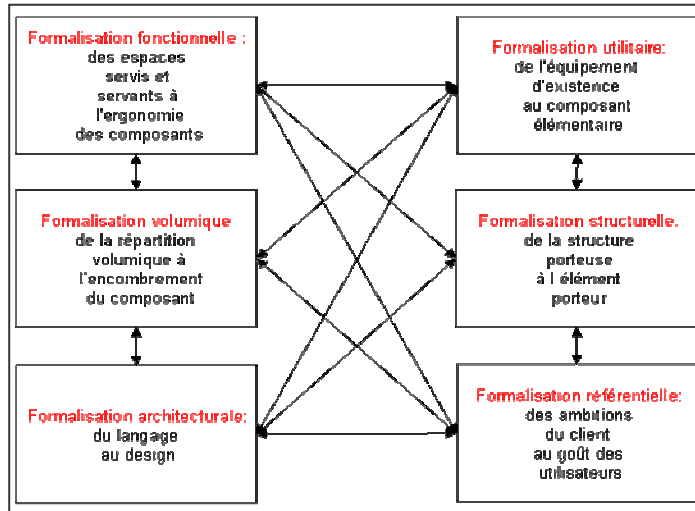


Figure39 : Sémantique du produit bâtiment relativement aux acteurs du système CMA

La (figure39) présente comment ces formalisations interagissent pour constituer une définition sémantique unie du produit bâtiment. On soulignera qu'il n'existe aucun ordre logique ni temporel dans cette construction sémantique. Le produit bâtiment *est à la fois constitué des six formes sémantiques* générées par les composants du système CMA. Etant donné que le produit bâtiment est variable sur quatre niveaux de syntaxe, la sémantique qui lui est attribuée dans ASCMA peut être transposée sur les niveaux définis dans ASMEP: global, typologique, filière et composant (figure40).

| Global | Typologique | Filière | Composant |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| For. fonctionnelle | For. fonctionnelle | For. fonctionnelle | For. fonctionnelle |
| For. volumique | For. volumique | For. volumique | For. volumique |
| For. architecturale | For. architecturale | For. architecturale | For. architecturale |
| For. utilitaire | For. utilitaire | For. utilitaire | For. utilitaire |
| For. structurelle | For. structurelle | For. structurelle | For. structurelle |
| For. référentielle | For. référentielle | For. référentielle | For. référentielle |

Figure40 : Fonction de formalisation sémantique du produit bâtiment dans le système CMA

10.3. Aspect transformationnel

Rappelons à ce niveau que ASCMA est une approche qui concerne la conception multi-acteurs dans l'état de conception du système bâtiment. Le système bâtiment fait intervenir dans son aspect transformationnel un niveau d'interopérabilité propre à chaque état (cf.8.2.). Cette interopérabilité peut être matérialisée par un processus de co-conception mettant les différents points de vue des acteurs sur un même niveau de lecture.

Le système CMA peut donc se transformer dans un cadre multi-acteurs de co-conception et d'ingénierie concourante. La (figure41) est une représentation du processus d'évolution de CMA dans l'état de conception du système bâtiment. On y représente les différents points de vue des acteurs ainsi que les domaines de connaissance qu'ils font intervenir sur un modèle en V.

La représentation en V permet de souligner l'aspect complémentaire des formes sémantiques du produit bâtiment. Il n'existe pas de forme privilégiée ou prioritaire sur les autres. Toutes les formes sont nécessaires à la définition du produit bâtiment.

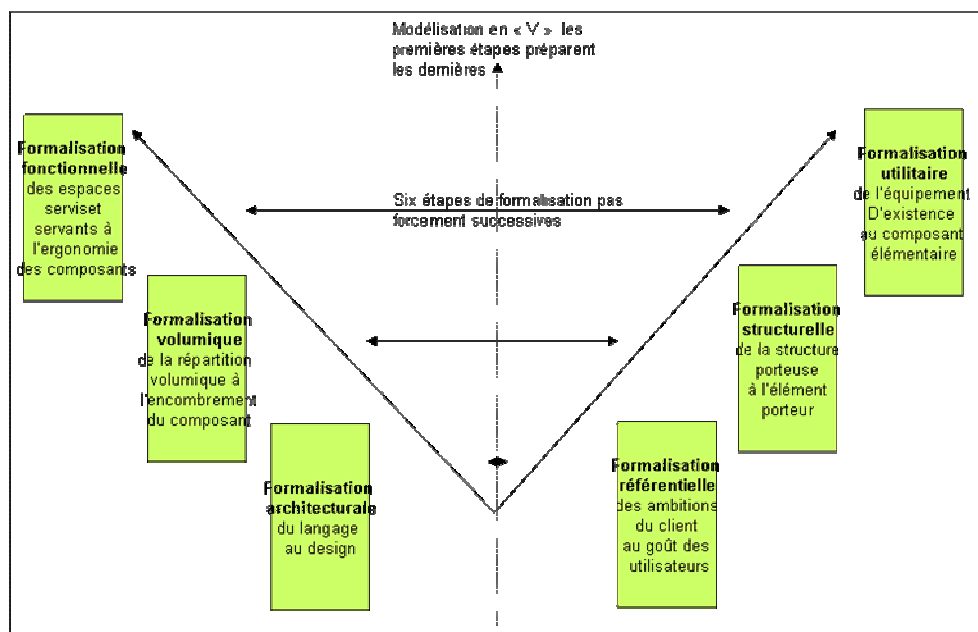


Figure41 : Aspect transformationnel du système CMA

Relativement aux quatre niveaux syntaxiques définissant le produit bâtiment, le système CMA évolue et se transforme de la même manière que dans la (figure41) sur ces quatre niveaux comme cela peut être illustré dans la (figure42) [Oumeziane et al. 2004e].

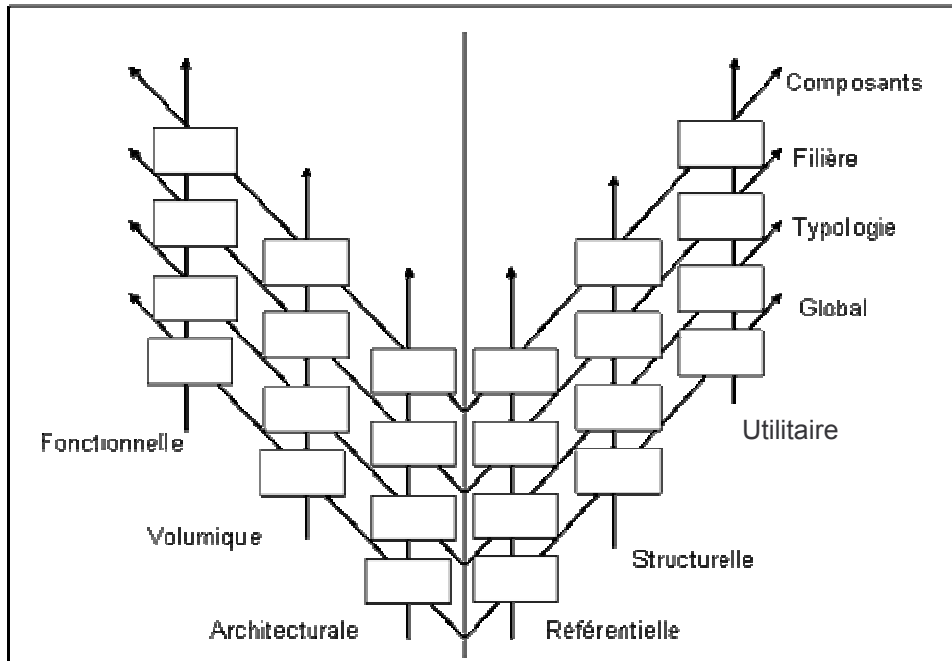


Figure42 : Aspect transformationnel du CMA relativement à la variabilité du produit bâtiment

10.4. Aspect téléologique

L'aspect téléologique du système CMA consiste en *la production des représentations des différentes formes sémantiques du produit bâtiment*. Nous avons défini dans l'aspect fonctionnel du système CMA six formes sémantiques génériques du produit bâtiment. Nous spécifions dans l'aspect téléologique suivant ces six formes sémantiques par rapport aux quatre niveaux de définition syntaxique (introduits dans ASMEP) du produit bâtiment.

En effet, pour chaque niveau de définition syntaxique (quatre niveaux) le produit bâtiment peut prendre six formes sémantiques représentant les points de vue d'acteurs (4 fois 6 formes sémantiques). La (figure40) intitulée : « formalisation sémantique du produit bâtiment dans le système CMA » de l'aspect fonctionnel du CMA met en évidence vingt-quatre occurrences de formes sémantiques génériques du produit bâtiment.

Nous utiliserons pour la définition de ces vingt-quatre formes un procédé de *reverse engineering* qui consiste à remonter de la réalité d'un projet vers sa conceptualisation (figure43). La nécessité d'introduire cette démarche tient au fait qu'il n'existe pas de méthode formelle dans la systémique permettant de déployer une définition sémantique par rapport à des niveaux de syntaxe différents.

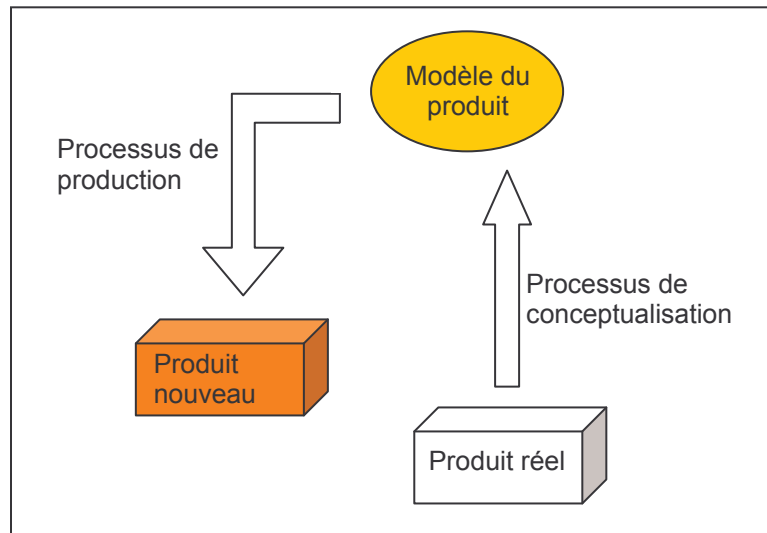


Figure43 : Processus de reverse engineering

Nous allons donc partir de descriptions de projets existants pour voir comment les six formes sémantiques principales peuvent évoluer par rapport aux niveaux de définition syntaxique. Pour entamer cette démarche, nous prenons pour point de départ la (figure40). Cette figure nous servira de tableau de lecture de notre description sémantique.

Dans une première étape, nous allons procéder à la lecture de cette figure de manière horizontale. En d'autres mots nous allons voir comment la formalisation fonctionnelle évolue par rapport au niveau global, typologique, de filière, et de composant. De même pour la formalisation volumique et ainsi de suite.

Définition des formes sémantiques dans la conception du produit bâtiment

A partir donc d'une réalité observée sur le terrain, la *formalisation fonctionnelle* est définie dans un niveau global par la *fonction* du bâtiment qui le rend spécifique par rapport à d'autres produits de consommation, par un *programme* dans le niveau typologique qui le différencie des autres bâtiments, par une *filière constructive* dans le

niveau filière et par son *ergonomie* dans un niveau de composant. La formalisation *fonctionnelle* d'un produit bâtiment serait donc l'ensemble des définitions de (figure 44) :

1. La fonction du bâtiment (école, maison, etc.).
2. Le programme des espaces (ex. d'une maison : séjour, chambre à coucher, cuisine, etc.) ;
3. La filière constructive (filière sèche, filière humide, etc.) ;
4. L'ergonomie de ses composants (ex. forme ergonomique d'une chaise de bureau, d'une table de travail dans une cuisine, etc.).

La formalisation *volumique* est définie respectivement sur les quatre mêmes niveaux par (figure44) :

1. Le parti architectural du projet : il s'agit du mode d'occupation de sol, en une seule entité ou en pavillonnaire (ex. hôpital avec les services réparties sur des étages et hôpital avec les services construits en pavillons indépendants ;
2. La volumétrie : elle est le résultat des manipulations booléennes sur la plastique du projet ;
3. Les composants de structure : poteau, poutre, chevron, etc.
4. L'encombrement du composant : l'espace généré et nécessaire pour chaque composant (cette forme là peut être représentée par les plans du projet à l'échelle du détail) (ex. plan d'exécution d'une cuisine avec les encombrements des différents équipements).

La formalisation *architecturale* est matérialisée par (figure44) :

1. Le langage (styles, tendances et courants d'architecture) (ex. post moderne, organique, classique, etc.) ;
2. La thématique : elle est relative au thème du projet, thème « d'enseignement, de soin, d'habitat, etc. » ;
3. L'architectonique : ce sont les éléments physiques du projet qui composent l'architecture de celui-ci « dans l'architecture néoclassique par exemple, il est question des corniches, décoration florale sur les façades, etc. » ;
4. Le design du composant : qui peut rejoindre les même concepts artistiques de composition d'architecture à une échelle plus petite, qui est celle du composant.

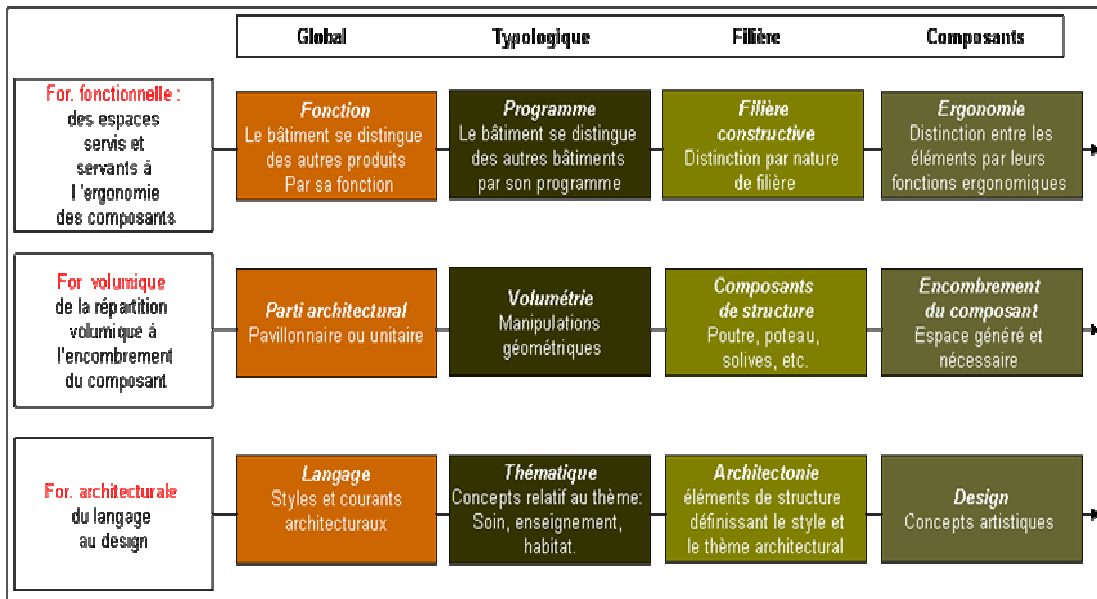


Figure44 : Développement des trois premières formes sémantiques sur la structure syntaxique

De la même manière que pour la définition de ces trois premières formalisations du produit bâtiment, la formalisation *utilitaire* se définit par (figure45) :

1. Les équipements de viabilisation (eau, électricité, évacuation, etc.) ;
2. Les équipements nécessaires à la mise en service du bâtiment. A titre d'exemple il s'agirait pour un hôpital des équipements de soins, d'accueil des malades, de réanimation, etc. ;
3. Les équipements utilitaires, qui permettent de rendre l'atmosphère du bâtiment vivable (chauffage, conditionnement d'air, etc.) ;
4. Composition monolithique : relative à la nature des composants élémentaire du bâtiment (ex. un bureau est composé d'un tablier et de quatre pieds droits).

La formalisation *structurelle* quant à elle se définit dans les quatre niveaux de syntaxe par (figure45) :

1. Une infrastructure qui constitue les fondations du bâtiment ;
2. Une stabilité structurelle relative à la répartition des masses ;
3. Une superstructure qui constitue l'ossature du bâtiment ;
4. Le comportement mécanique des composants de structure (résistance des matériaux, résistance à l'usure, etc.).

La formalisation *référentielle*, enfin, se définit par (figure45) :

1. Les références sociales, historiques, paysagères, etc. qui devront ressortir dans le projet ;
2. Les pratiques de l'espace matérialisées par les organigrammes fonctionnels et les répartitions spatiales des fonctions du programme ;
3. Les commodités fonctionnelles qui reprennent les répartitions spatiales sur des plans détaillés intégrant les éléments de structure, les équipements utilitaires, etc. ;
4. Les goûts d'utilisateur à intégrer dans la conception des composants en contact direct avec ces derniers.

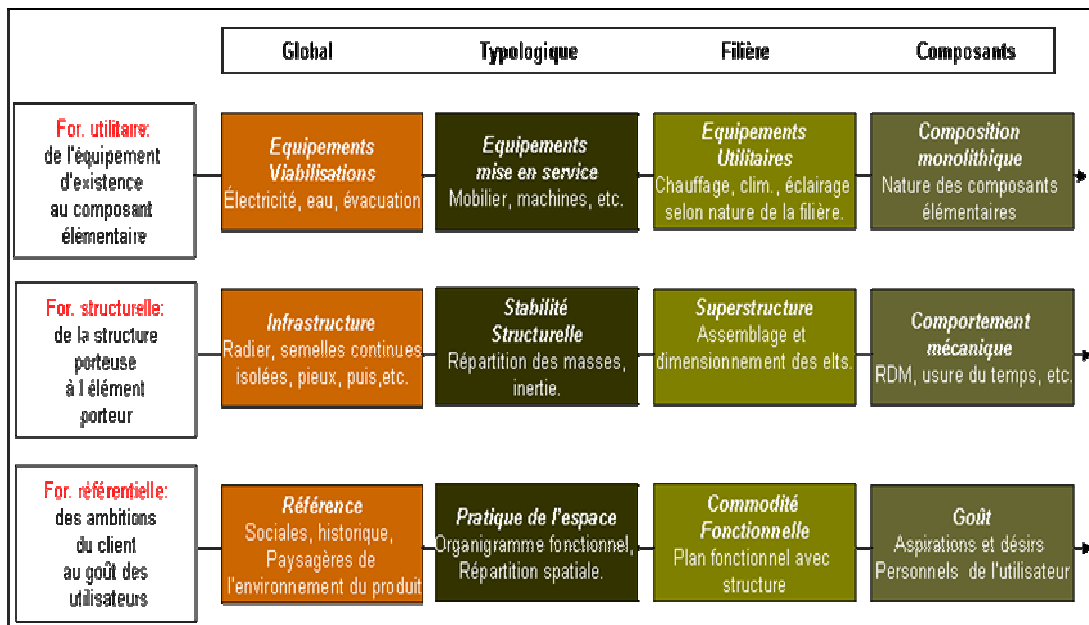


Figure45 : Développement des trois dernières formes sémantiques sur la structure syntaxique

Il existe six formes sémantiques du produit bâtiment. Chaque forme évolue selon une définition allant du niveau global au niveau de composant. Il s'agit d'une première représentation possible des points de vue des acteurs intervenants

Définition du produit bâtiment sur les différents niveaux

Une lecture cette fois-ci verticale de la (figure40) permet de définir non plus des formalisations sémantiques réparties sur des niveaux syntaxiques, mais *des produits bâtiment intégrant les points de vue d'acteurs de différents niveaux* (figure46).

Ainsi, par exemple le niveau global d'un produit bâtiment se définit par (figure46) :

1. Une fonction ;
2. Un parti architectural ;
3. Un langage architectural ;
4. Des équipements de viabilisation (qui le lient au réseau urbain) ;
5. Une infrastructure (qui le lie au sol) ;
6. Des références sociales (qui le lient à la société).

Alors qu'au niveau typologique le même produit se définit par (figure46) :

1. Un programme ;
2. Une volumétrie ;
3. Un thème ;
4. Des équipements de mise en service ;
5. Une stabilité structurelle ;
6. Une pratique de l'espace.

Au niveau filière constructive le même produit bâtiment est défini par (figure46) :

1. Une filière constructive ;
2. Des composants de structure ;
3. Des éléments architectoniques ;
4. Des équipements utilitaires ;
5. Une superstructure ;
6. Des commodités fonctionnelles.

Enfin dans un niveau de composant le produit bâtiment prend définition par rapport à son (figure46):

1. Ergonomie ;
2. Encombrement ;
3. Design ;
4. Composition monolithique ;
5. Comportement mécanique ;
6. Goût d'utilisateur intégré.

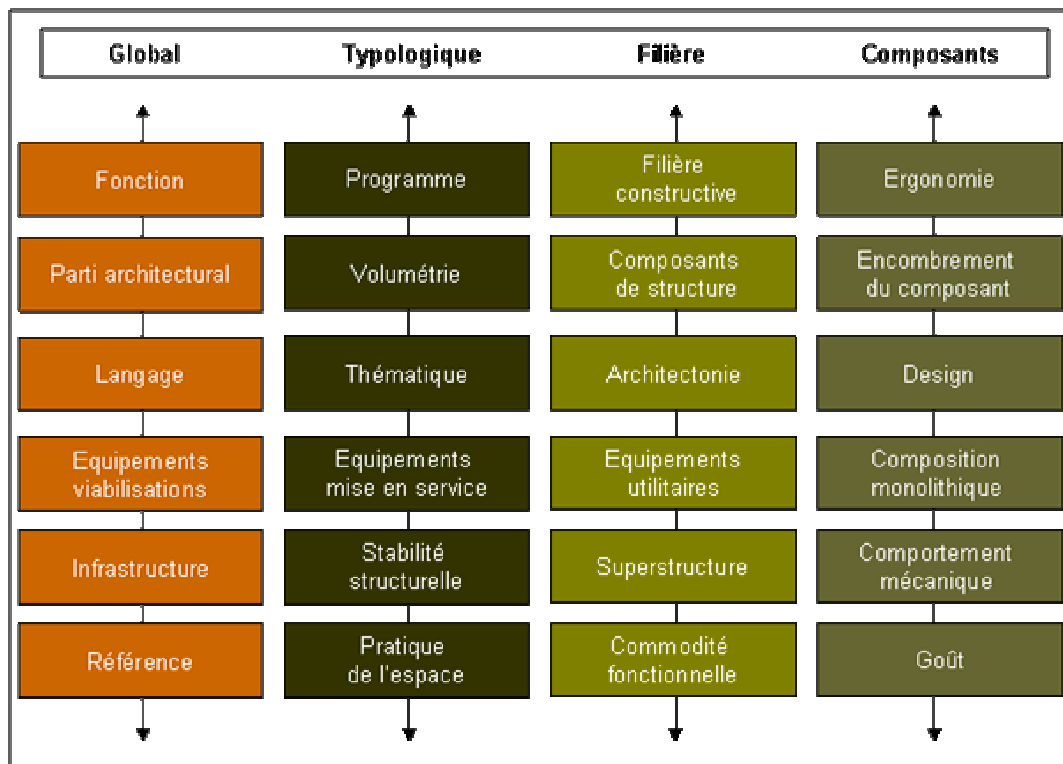


Figure46 : Définition du « produit bâtiment » relativement aux quatre niveaux de syntaxe

10.5. Interactions du système

L'interaction du système CMA est l'ensemble *des règles et codes de communication entre les acteurs* composants de ce système. Nous avons représenté jusque là les acteurs du CMA par les points de vue et formes sémantiques qu'ils font intervenir en cours de conception. Nous présentons dans ce qui suit ces mêmes acteurs non plus par leurs points de vue, mais par leurs *statuts métiers* ou bien encore *professionnels*. L'intérêt de cette représentation est de permettre de formaliser un cadre de travail collaboratif proche d'une situation réelle.

Nous nous appuyons pour la définition des statuts d'acteurs du CMA sur le *trinôme* identifié dans la plupart des références des projets de construction de : *maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprise de réalisation*. Ces trois parties intervenantes se partagent la charge de définir les 24 formes sémantiques du produit bâtiment. Chaque partie fait intervenir un certain nombre d'acteurs. La définition des 24 formes sémantiques est relative à des *groupes d'acteurs* assignés à chaque forme. Dans un

souci de synthèse et de lisibilité nous identifions dans les (figure47) et (figure48) les groupes d'acteurs par un *statut d'acteur privilégié* dédié à une *sémantique* donnée. Si l'on a présenté jusque là des définitions génériques dans le système CMA, les spécifications d'acteurs sont, elles, relatives. Les (figure47) et (figure48) sont pour nous le cas le plus usuel mais pas unique que nous utilisons pour formaliser l'interaction des acteurs dans notre système.

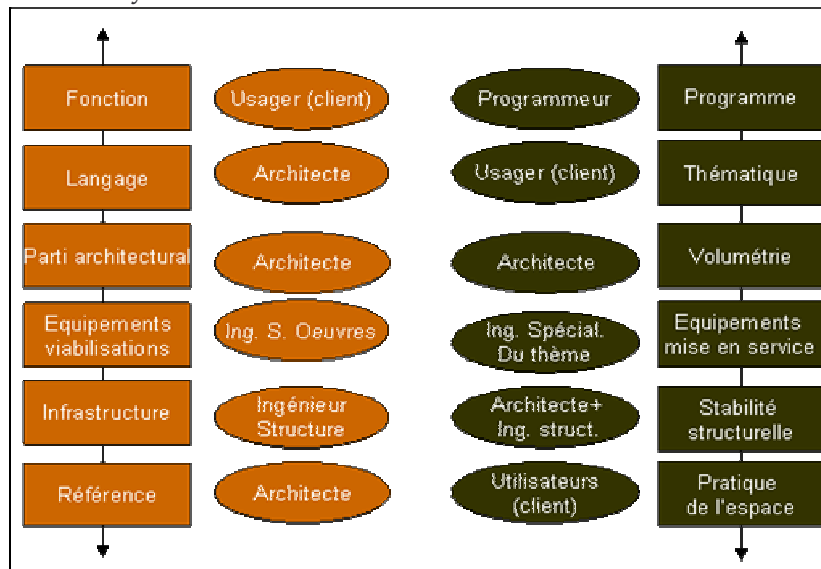


Figure47 : Définition des acteurs intervenants dans la formalisation d'un produit bâtiment (1)

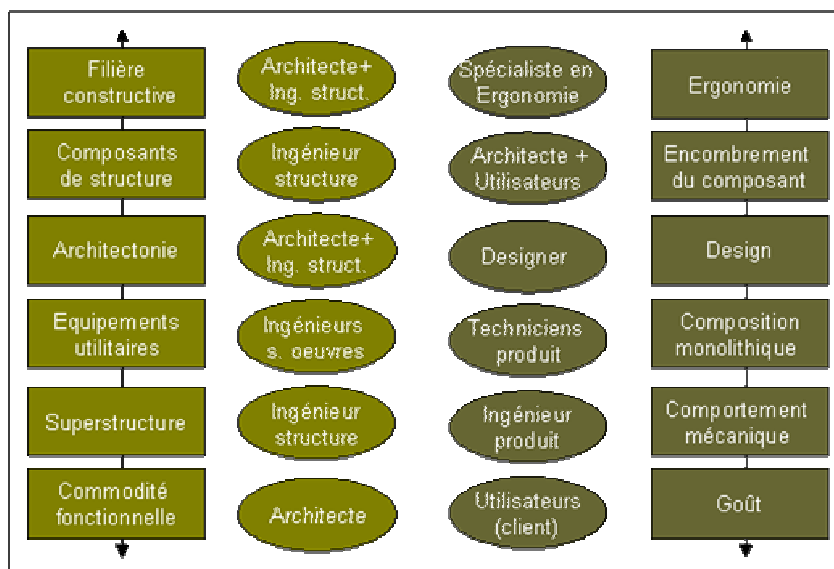


Figure48 : Définition des acteurs intervenants dans la formalisation d'un produit bâtiment (2)

A titre d'exemple, définir *la fonction* du produit bâtiment est une tâche remplie en général par *l'utilisateur* ou *le maître d'ouvrage*, néanmoins ce dernier peut se faire assister ou sous traiter cette tâche à un autre acteur du système bâtiment. *L'utilisateur* est dit, le mieux adapté à répondre à cette question mais n'est pas pour autant le seul à pouvoir le faire. Cette représentation n'est pas unique ni exhaustive. Il pourrait y avoir d'autres types d'acteurs comme il se pourrait que certains n'y figurent plus selon les cas de figures et *les différentes situations de projet*. Chaque projet de construction fait intervenir en effet *une structure de travail* intégrant des *acteurs particuliers*.

Les résultats les plus immédiats de cette association d'acteurs aux formes sémantiques du produit bâtiment peuvent être résumés dans la représentation suivante (figure49). Cette figure situe à quel niveau les acteurs interviennent par rapport aux formes sémantiques et par rapport au niveau syntaxique. On peut voir par exemple que *l'architecte* intervient de manière autonome dans les niveaux « global, typologique et de filière » et ce de manière décroissante.

| | Global | Typologique | Filière | Composants |
|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|
| For. fonctionnelle | Usager | Programmeur | Architecte+ Ing. struct. | Spécialiste en Ergonomie |
| For. volumique | Architecte | Usager | Ingénieur structure | Architecte + utilisateurs |
| For. architecturale | Architecte | Architecte | Architecte+ Ing. struct. | Designer |
| For. utilitaire | Ing. s. oeuvres | Ing. spécial. du thème | Ingénieurs s. oeuvres | Techniciens produit |
| For. structurelle | Ingénieur structure | Architecte+ Ing. Bât. | Ingénieur structure | Ingénieur produit |
| For. référentielle | Architecte | Utilisateurs | Architecte | Utilisateurs |

Figure49 : Interaction des acteurs privilégiés dans la formalisation du produit bâtiment

10.7. Intégration du volet ASCMA dans ASMEP

L'approche ASCMA permet de générer une représentation sémantique du produit bâtiment. Elle propose un système de conception multi-acteurs CMA. Au-delà d'ASCMA le système CMA (figure50) constitue une représentation du *référentiel méthodologique* introduit dans l'approche ASMEP (cf. 9.5.). Il permet aussi de générer un *référentiel conceptuel* et un *référentiel normatif*. Nous avons introduit dans le chapitre précédent (cf.9.5.) une structure de référentiels : méthodologique (figure50), normatif (figure35) ainsi qu'une première représentation du référentiel conceptuel (figure32). Nous présentons ci-dessous les caractéristiques spécifiques du référentiel conceptuel qui manquait dans la (figure32).

Référentiel conceptuel

Le produit bâtiment dans son aspect relatif aux points de vue d'acteurs génère des solutions à *caractéristiques spécifiques* (cf. 6.4.). Les caractéristiques spécifiques au produit bâtiment sont relatives dans notre modèle, aux vingt-quatre formes sémantiques que doit prendre le bâtiment dans le référentiel méthodologique. A chaque forme sémantique correspond une référence qualitative.

L'exemple suivant illustre cette situation : Le produit bâtiment est, d'une part, défini sur un niveau typologique (cf. 10.6.) par un programme, une volumétrie, une thématique architecturale, une pratique de l'espace, une auto stabilité, et des équipements de mise en service, et d'autre part, génère des spécificités respectivement correspondantes à la répartition des services (organigramme fonctionnel), l'intégration urbaine, la construction théorique, l'organisation fonctionnelle, la stabilité à la dynamique du bâtiment (répartition des masses), et la relation équipements utilisateurs.

Les différentes références qualitatives spécifiques de conception sont représentées sur un axe en V de la même manière que les formes sémantiques. Chaque référence correspond à la forme sémantique de la même case sur le référentiel méthodologique. La (figure51) représente le référentiel conceptuel de l'approche ASMEP en associant les caractéristiques générique et spécifique du produit bâtiment.

La définition des vingt-quatre caractéristiques spécifiques du produit bâtiment est fonction tout comme pour les formes sémantiques d'une observation sur le terrain. Nous illustrerons par un exemple réel ces différents aspects (cf. 10.8.).

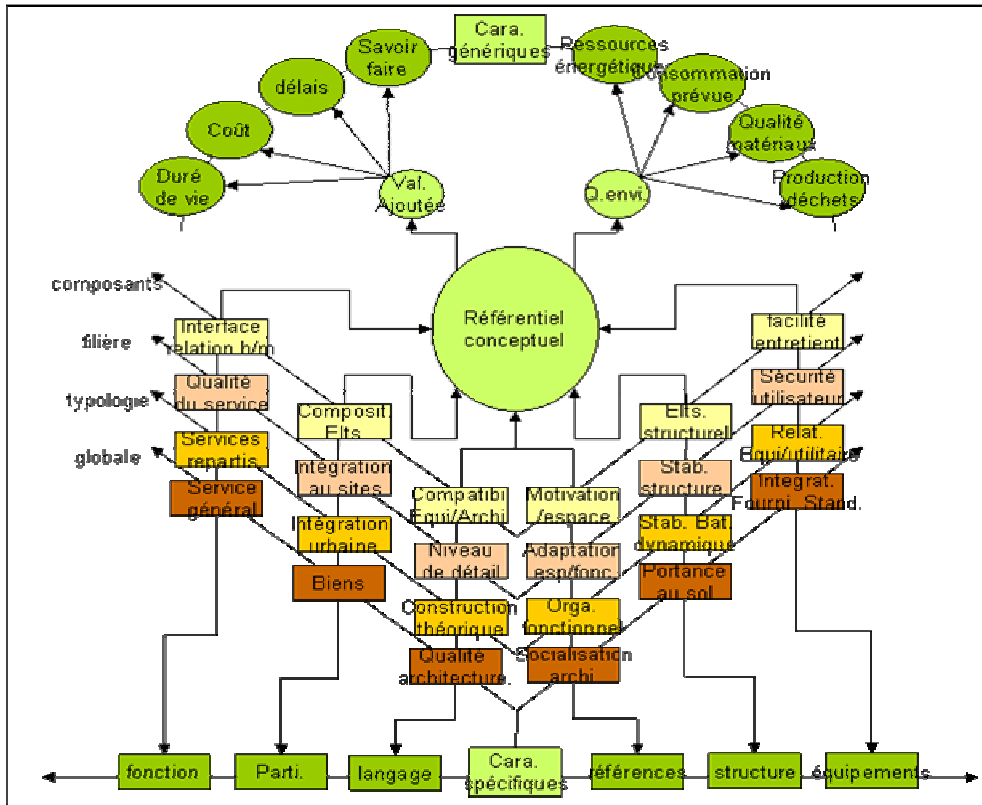


Figure51 : Référentiel conceptuel du système SPB dan ASMEP

Le produit bâtiment est défini dans sa sémantique par une structure de référentiels dans ASMEP (figure34) (cf. 9.5.). L'intégration d'ASCMA dans ASMEP permet de faire évoluer cette représentation (figure34) comme illustré dans la (figure52). La (figure52) met en correspondance les (figure35), (figure50) et (figure51) selon la structure de référentiels de la (figure34)

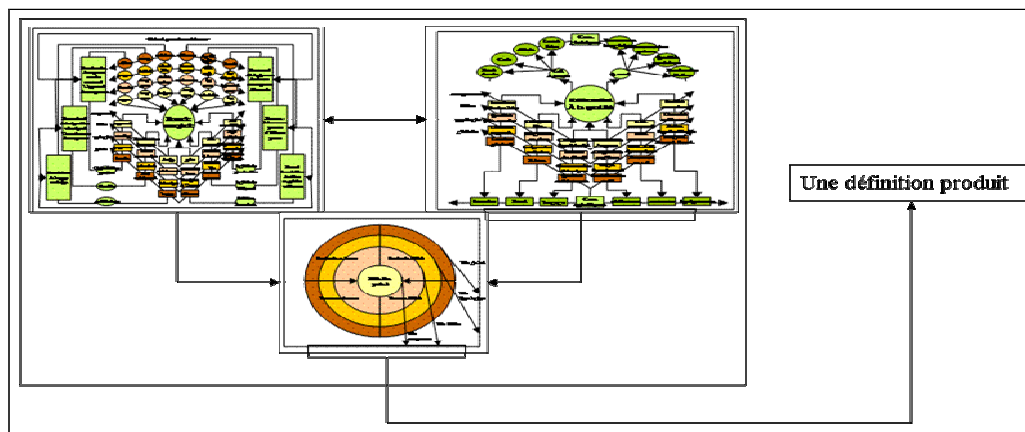


Figure52 : Définition sémantique du produit bâtiment

10.8. Spécification des formes sémantiques du produit bâtiment par un exemple

Nous présentons dans ce qui suit un *exemple de conception* d'un projet basé sur le système CMA de l'approche ASCMA. Le contexte du projet en question est un contexte expérimental d'étude.

Contexte de l'expérimentation

L'expérimentation se déroule à l'Ecole d'Architecture de Marseille Luminy (EAML). Il s'agit pour nous de supporter par le système CMA, la conception d'un projet (TPFE : Travail Personnel de Fin d'Etude) pour l'obtention du diplôme d'architecte DPLG (Diplômé Par Le Gouvernement). Les parties avec lesquelles nous avons traité sont : l'étudiant Benachir Aniss concerné par le TPFE ainsi que le Professeur J.B. Leccia (directeur du Centre Habitat Développement de l'EAML) comme encadreur du projet.

La validation des vingt-quatre formes sémantiques du système CMA dans ce travail se présente sur deux niveaux. Le premier niveau consiste à démontrer que n'importe quel projet de construction existant peut être décrit selon ces vingt-quatre formes. Le deuxième niveau concerne la capacité du modèle CMA à générer de nouveaux projets de construction (figure53).

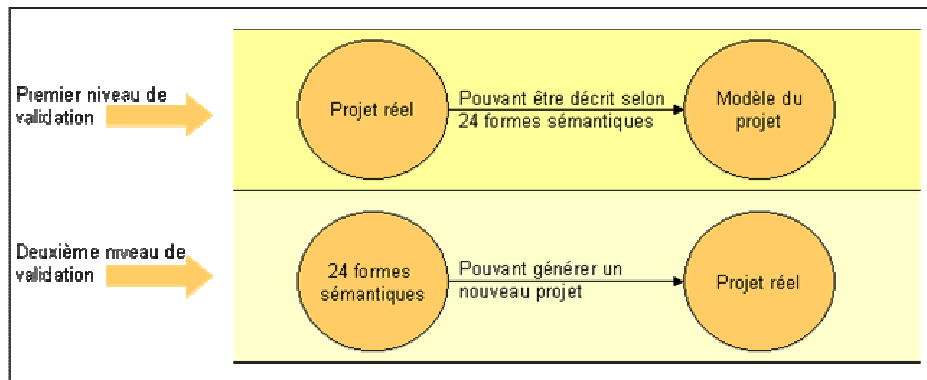


Figure53 : Niveaux de validation de l'approche ASCMA

L'apport de notre modèle informel CMA dans le travail de Benachir Aniss était donc de deux facettes. D'un côté notre modèle a servi de *point de départ* pour la formalisation du projet TPFE et d'un autre côté il a servi comme *moyen de représentation* des éléments qui existaient déjà dans ce projet.

Projet de l'expérimentation

Le site du projet se trouve à Alger [Benachir 2004], au cœur même de la capitale algérienne au quartier du *Hamma*. Le besoin formulé par le maître d'ouvrage était de construire un immeuble de bureaux dans ce qui va être le nouveau quartier des affaires à Alger. Nous présentons dans ce qui suit les solutions conceptuelles proposées par [Benachir 2004] selon les vingt-quatre formes sémantiques du système CMA. L'ordre de présentation de la conception de ce projet est fortuit car le produit bâtiment n'intègre ni ordre logique ni ordre temporel dans l'approche ASCMA. Il est tout à fait possible de commencer la conception de ce projet par un élément de façade, un concept de répartition spatiale, un choix de structure, etc. La présentation de la conception se fera pour une lisibilité meilleure et uniquement pour cette raison dans un ordre de grandeur décroissant de l'échelle globale à l'échelle des composants.

Concevoir dans un niveau global

Cela signifie intégrer les aspects « fonction, langage architectural, parti architectural, équipements de viabilisation, infrastructure et références sociales » (cf. 4.1.2). En considérant ces six aspects comme exigences à satisfaire par le concepteur, Benachir dans [Benachir 2004] y a apporté les réponses suivantes :



Figure 54 : Schéma de structure urbaine

Fonction

La définition de la fonction de notre immeuble s'est faite sur la base d'un schéma de structure (figure 54) du site créé en fonction des « Plans d'occupation de sol et plans directeur d'aménagement urbain » fournis par les collectivités locales. Il a été décidé donc sur la base de ces documents de construire un bâtiment dont la fonction serait d'abriter des bureaux et des services annexes à cette activité.

Le néo-rationalisme

Le mouvement néo-rationaliste italien, dit Tendenza, qui s'est épanoui pendant la dernière décennie est, semble-t-il, une tentative pour sauver l'architecture des contraintes de la consommation, pour l'empêcher d'être complètement minée, en tant que discours, par les forces techniques et économiques envahissantes de la mégalopolis. Tout en soulignant qu'on doit répondre aux besoins quotidiens, l'ergonomie est rejeté, c'est-à-dire le principe que la forme procéderait de la fonction, et au contraire l'autonomie relative de l'ordre architectural est affirmée.

Langage

Le langage architectural dans lequel s'intègre ce projet est le néo-rationalisme. Un autre concepteur aurait choisi un autre mouvement architectural ou bien encore une définition personnelle de l'expression architecturale. Ceci est un choix personnel relatif à la vision d'architecte comme expliqué dans la (figure 55).

Figure 55 : Définition d'un langage architectural

Parti architectural

Comment faut-il occuper le site ? en monobloc ? en pavillonnaire ? la nature du site sur lequel on est intervenu est particulière car il s'agit d'une parcelle traversée par un boulevard principal. Faut-il construire de manière séparée comme dans le premier modèle de la (figure56) ? construire une infrastructure et l'aménager selon les besoins (2) ? construire un bloc uni avec un passage au sol (3) ? ou bien encore construire en fonction de la morphologie urbaine et créer un franchissement entre les deux parties de la parcelle ? Dans le cadre de ce projet, le mode d'aménagement choisi fut le dernier, il est représenté par le modèle (4) de la figure.

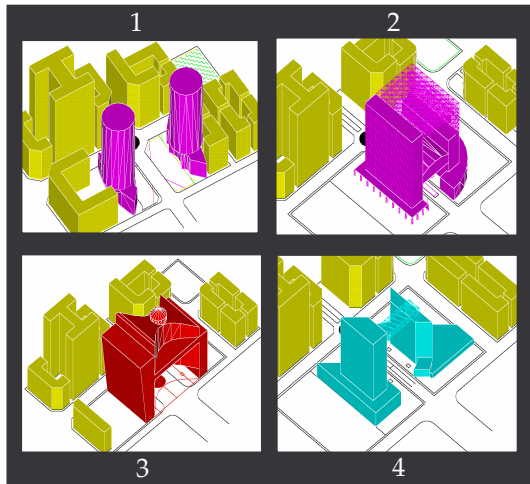


Figure56 : Parti architectural du projet

Equipements de viabilisation

Les équipements de viabilisation constituent le principal lien physique du projet avec son environnement urbain (c'est le lien du projet avec la ville). Ils sont matérialisés dans ce schéma de structure proposé qui illustre les réseaux et voiries divers qui lient le projet au site (les accès, l'alimentation en eau, en gaz, etc.) (figure57).

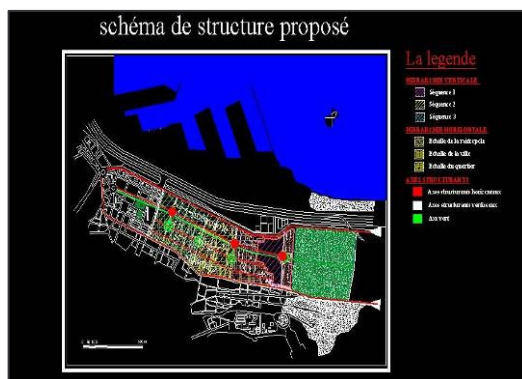


Figure57 : Schéma de structure proposé

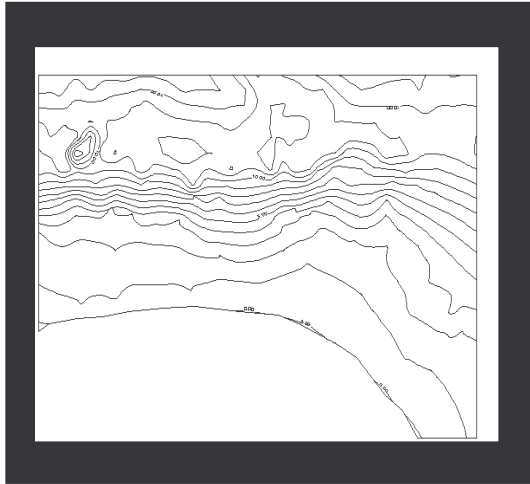


Figure58 : Carte topographique du site

Infrastructure

A ce niveau de conception la définition de la nature des infrastructures de l'immeuble se fait par rapport à la portance du site, représentée ici par une carte topographique (figure58). L'infrastructure représente le lien du projet à son socle. Le site dans lequel on évolue est un site marécageux où l'utilisation de fondation en pieux est vivement recommandée.

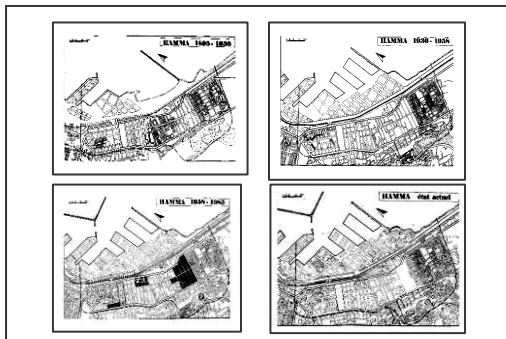


Figure59 : Evolution historique du site

Références sociales

Elles sont liées à ce point d'avancement à l'historique du site et du thème. Elles représentent le lien du projet à la société à laquelle il est destiné. Les cartes à gauche (figure59) représentent l'évolution urbaine du site tout au long de son histoire.

Concevoir dans un niveau de typologie

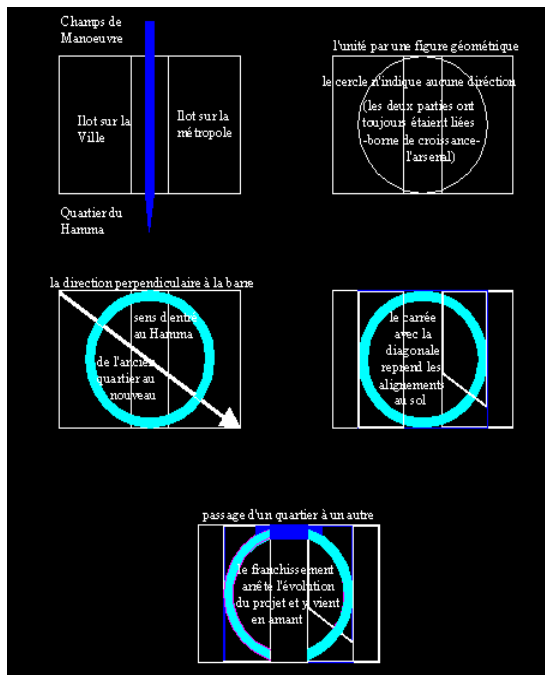
Il est cette fois question de répondre aux exigences suivantes : « programme, thématique, volumétrie, équipement de mise en service, stabilité structurelle, pratique de l'espace ».

Programme quantitatif
L'Immeuble de bureaux :
Le socle :
 Accès publique :
 Total 485m²
 salle de conférence :
 Total 585m²
 Accès V.I.P :
 Total 155m²
 Accès conférenciers :
 Total 155m²
Le volume de base :
 Par plateau 680m² /Total (680x6) 4080m²
Le volume émergent :
 Par plateau 1045m²/Total (1045X6) 6270m²
Partie formation :
Le socle :
 Total 1660m²
Le volume de base :
 Total 3460m²
Partie de traitement d'information :
Bureau d'administration :
 Total 280m²
Archivage de documents :
 Total 225m²
 Surface totale aménagée (17328 +20% de circulation)
20800m²

Programme

Le programme quantitatif et qualitatif est affiné sur la base du cahier des charges fourni par la maîtrise d'ouvrage. Il désigne les fonctions spécifiques du bâtiment et l'espace qu'elles occupent (figure60).

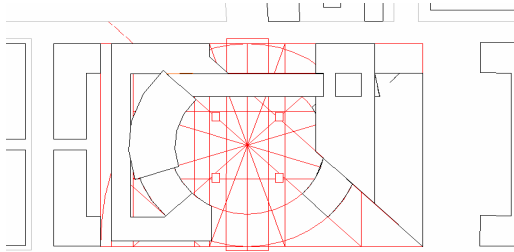
Figure60 : Programme quantitatif du projet



Thématique

le thème retenu pour le projet est celui du « franchissement », le projet se trouvant sur un îlot qui fait le passage vers ce qui est prévu d'être un nouveau centre urbain. Il constitue un îlot porte vers le nouveau centre ville. La (figure61) explique comment nous avons choisi de matérialiser le passage d'un quartier vers un autre par une direction existante et un franchissement entre les deux parties de l'îlot.

Figure61 : Thématique du franchissement



Volumétrie

Sur la base d'un tracé géométrique développé à partir de la thématique et du parti architectural, nous avons dessiné une planimétrie du projet pour ensuite lui attribuer une troisième dimension celle des hauteurs relatives au « sky-line » du site, comme illustré par les deux représentations de la (figure62).

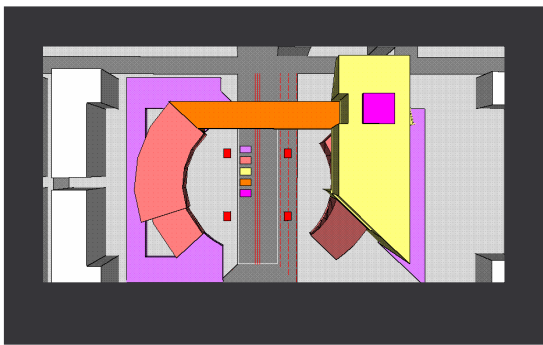
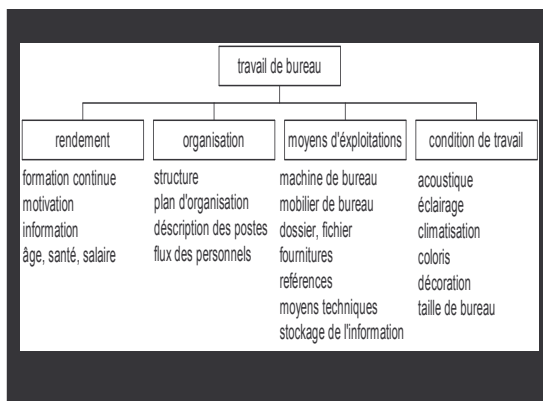


Figure62 : Tracé géométrique et volumétrie



Equipements de mise en service

Dans notre cas, une investigation du « travail de bureau » nous a permis de ressortir une liste d'équipements (figure63) nécessaires à la mise en service du bâtiment (les bureaux, les ordinateurs, photocopieuses, etc.)

Figure63 : Equipements de mise en service

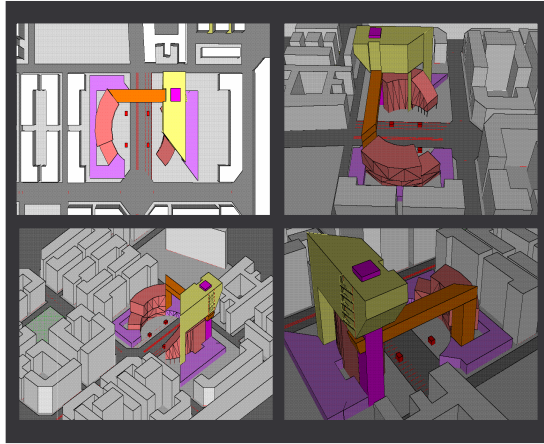


Figure64: Répartition des masses et des blocs

Stabilité structurelle

La stabilité structurelle est relative à la répartition des masses (figure64) dans le bâtiment (cages d'escaliers et ascenseurs, noyaux centraux, etc.). sachant que le site est connu pour son activité sismique, la maîtrise des moments d'inertie engendrés par la liaison des différentes parties du bâtiment, est plus que nécessaire.

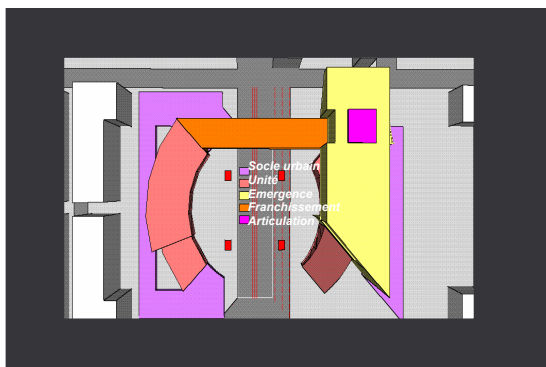


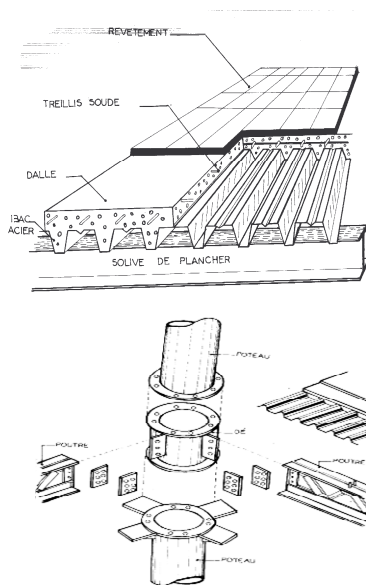
Figure65: Affectation des fonctions par partie dans le bâtiment

Pratique de l'espace

Nous avons affecté à ce stade, une fonction prédominante à chaque partie du bâtiment (figure65), ainsi le socle aura pour fonction de prendre en charge les activités d'accueil, rencontre (salles de conférence, cafés, etc.), la partie gauche du bâtiment abritera les activités d'apprentissage et de formation continue et ainsi de suite.

Concevoir dans un niveau de filière

Relativement aux six filières métier il est question aussi à ce niveau de conception de six exigences à satisfaire « définition de la filière constructive, composants de structure, architecture, équipements utilitaires, superstructure, commodités fonctionnelles ».



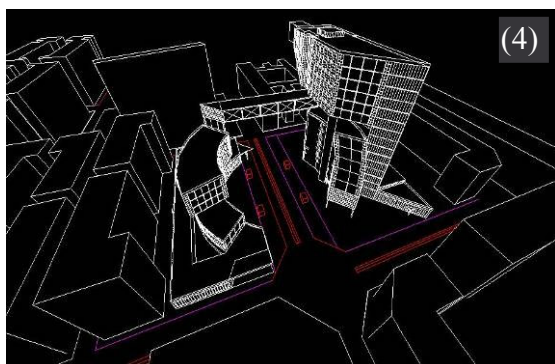
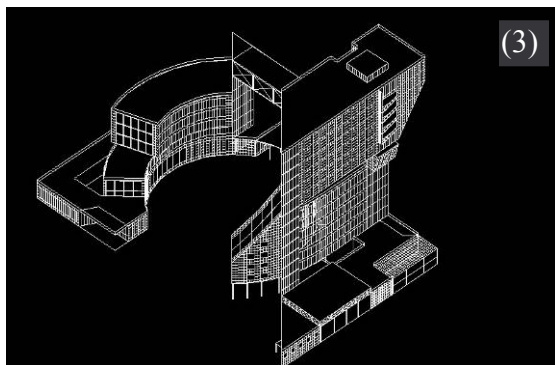
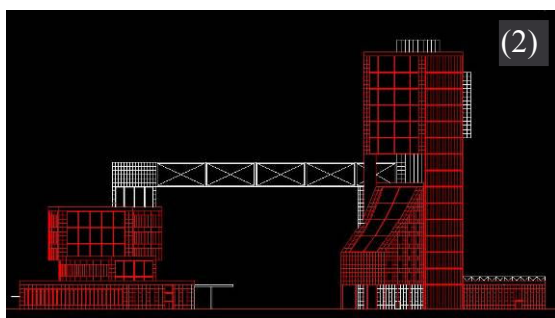
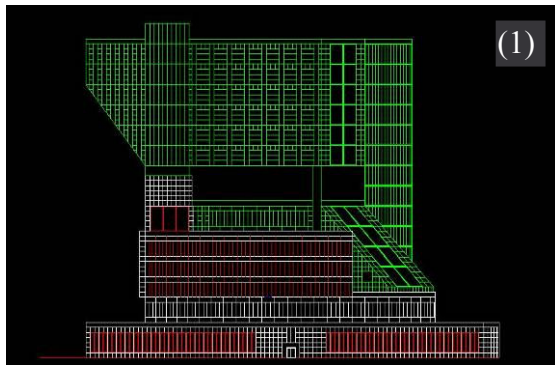
Filière constructive

Sur la base des données recueillies des autres formes conceptuelles notre choix s'est fixé sur les structures tubulaires en acier, et les planchers collaborant.

Composants de structure

Le schéma d'assemblage de la structure (figure66) montre bien les différents éléments qui la composent.

Figure66 : Planchers collaborant et structure tubulaire en acier



Architectonie

A partir d'un élément architectural de façade que nous avons défini, nous avons réalisé les élévations du projet en correspondance avec la volumétrie du projet (1) et (2) de la (figure67). La représentation tri-dimensionnelle du projet prend alors une forme plus proche de la réalité (3) et s'intègre dans le site (4).

Figure67 : Elévations et représentation 3D du projet

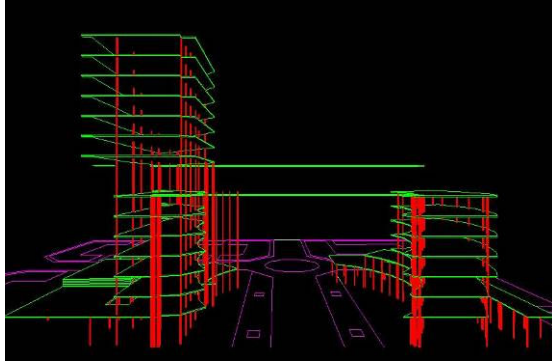


Figure68 : Représentation 3D de la structure porteuse du projet

Equipements utilitaires

C'est l'ensemble des équipements qui sont nécessaires au bon fonctionnement du bâtiment et qui n'ont pas de relation avec la fonction ni le thème du projet. Il s'agit des réseaux électriques, ascenseurs, chauffage, aération, conditionnement d'air, etc.

Superstructure

Il s'agit de déterminer dans la nature de la filière constructive choisie les éléments porteurs du bâtiment, verticaux et horizontaux (figure68).

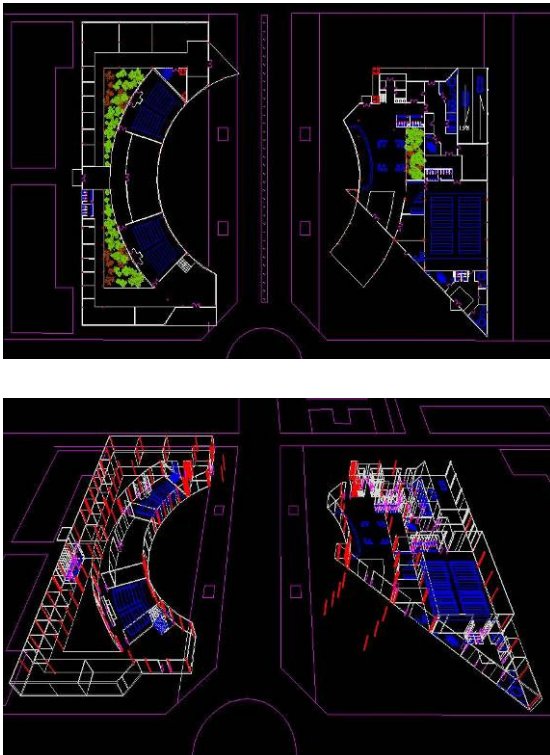


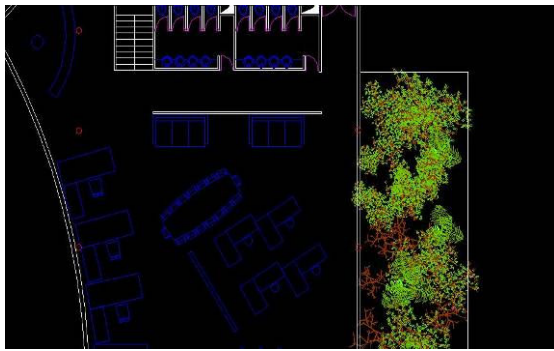
Figure69 : Représentation planimétrique du projet

Commodités fonctionnelles

Elles sont définies par les représentations planimétriques du bâtiment. A ce niveau, le détail d'aménagement n'est pas encore visible, il s'agit des répartitions spatiales des espaces de vie et de circulation comme dans la (figure69).

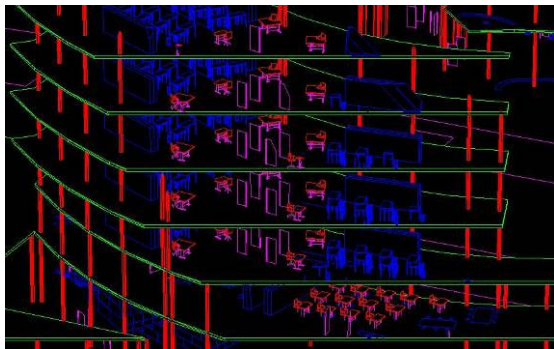
Concevoir dans un niveau de composant

C'est le niveau de conception le plus « bas » du bâtiment. On parle à cette échelle de conception de « l'ergonomie, l'encombrement du composant, design, comportement mécanique, composition monolithique et de goût d'utilisateur ».



Ergonomie

L'ergonomie d'un composant est pour nous le niveau de fonctionnalité et de facilité d'utilisation qu'offre un composant du bâtiment pour sa mise en œuvre son exploitation ou son entretien. Il peut s'agir d'un composant de structure ou bien encore d'un mobilier de bureau.



Encombrement du composant

C'est un niveau de commodités fonctionnelles plus détaillé et plus affiné. Il est question de déterminer les répartitions spatiales relativement à l'encombrement engendré par le mobilier ainsi que par les composants de structure ou d'enveloppes apparents du bâtiment (figure70).

Figure70 : Plan et axonomie détaillés du projet

Design, comportement mécanique, composition monolithique et goût d'utilisateur

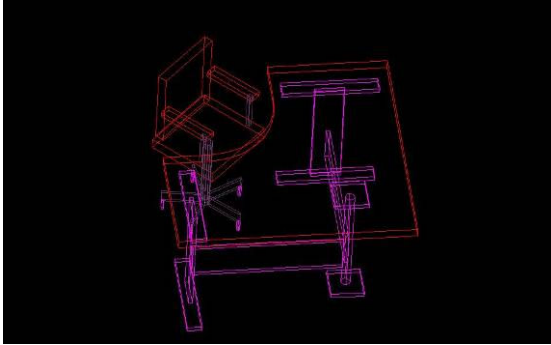


Figure71 : Représentation détaillée d'un élément de bureau

Ce sont des éléments relatifs au composant même. A titre d'exemple nous avons pris un mobilier de bureau (figure71), il est clair que ce mobilier est conçu selon un design donné, répondant à des contraintes mécaniques (de par son utilisation). Ce mobilier se compose aussi d'éléments monolithiques indécomposables (tablier, pieds droit, dossier de la chaise, etc.) chacun de ces éléments de par sa couleur, sa texture, son poids, etc. intègre des goûts différents relatifs à l'utilisateur direct.

10.9. Synthèse

ASCMA est une approche systémique de conception multi-acteurs. Elle fait intervenir un système de conception multi acteur CMA, sous système du système bâtiment. Le système CMA est défini par les quatre aspects de la systémique :

- Il est l'ensemble des acteurs intervenant dans l'état de conception du système bâtiment ;
- Il a pour fonction de rattacher les points de vue d'acteur à une structure générique de définition syntaxique du produit bâtiment ;
- Il se transforme selon un niveau d'interopérabilité de co-conception spécifique à l'état de conception ;
- L'interaction de ses composants permet de générer une représentation du produit bâtiment liée à six domaines de connaissance particuliers et à vingt quatre formes sémantiques complémentaires.

L'intégration du sous système CMA dans le système bâtiment permet de compléter la définition du système produit bâtiment SPB. Cette intégration définit par conséquent un modèle générique informel du produit bâtiment regroupant les différents intervenants dans un processus de conception multi-acteurs. Les différents acteurs de

conception sont représentés par leurs domaines de connaissance ainsi que par un statut de métier privilégié.

La spécification des différentes formes sémantiques s'est appuyée sur une investigation du terrain par un processus de reverse engineering ainsi que par une expérimentation sur un cas d'étude.

La résolution de problématiques locales dans les approches ASMEB, ASMEP et ASCMA relatives au cycle de vie, à la définition produit et à une démarche de conception est une réponse à une problématique plus grande, d'interopérabilité entre acteurs, introduite au début de cette partie. Nous arrivons donc au terme de ce chapitre à une définition informelle de l'approche globale BATSYS intégrant l'ensemble de ces trois problématiques locales.

Chapitre 11 Modélisation UML

Introduction

Les modèles informels définis dans BATSYS par les approches ASMEB, ASMEP et ASCMA ont été présentés dans un *langage naturel*, et synthétisés dans les représentations (figure29), (figure36) et (figure50) intitulées respectivement : Abstraction de l'évolution du système bâtiment, Définition du produit bâtiment, et Modèle informel du système CMA. L'exploitation de ces modèles dans le génie logiciel nécessite une reformulation dans un langage adapté à l'implémentation informatique. UML (Unified Modelling Language) est l'un des langages qui permet de formaliser des modèles en langage compris à la fois par l'Homme et par la machine. (cf. 5.6.).

Notre choix d'UML est justifié par l'aspect multi référentiels de ce langage permettant de modéliser les différents vues : ontologique, fonctionnelle, transformationnelle et téléologique d'un système. Nous retiendrons des diagrammes utilisés dans UML pour cet effet, cinq diagrammes, il s'agit des *diagramme des cas d'utilisation, diagramme de package, diagramme de classe, diagramme de séquence et diagramme objet*. Ces différents diagrammes ont été présentés dans l'état de l'art (cf. 5.6.).

Ce chapitre est donc une présentation des modèles de l'approche BATSYS développés dans les chapitres 8, 9 et 10, en langage UML. Il se compose de cinq titres. Chaque titre décrit une partie des représentations informelles de BATSYS selon un diagramme UML.

11.1. Diagramme des cas d'utilisation de BATSYS

Le diagramme des cas d'utilisation (figure72) est une représentation des différentes tâches ainsi que des différents acteurs assignés à BATSYS. Les ellipses du diagramme représentent les cas d'utilisation possibles du modèle et par là même ses fonctions principales. Les flèches désignent les acteurs liés à ces fonctions du système.

Les liens privilégiés entre les acteurs et les cas d'utilisation de la (figure72) ont été définis sur la base du modèle informel du système CMA (cf. 10.6.). Ainsi nous sommes passés d'une représentation informelle à une représentation formelle des cas d'utilisation de l'approche BATSYS.

L'ensemble des acteurs ainsi que les cas d'utilisations présentés seront définis, détaillés et modélisés dans les autres vues du formalisme UML (diagramme de classe en l'occurrence) (cf. 13.3.).

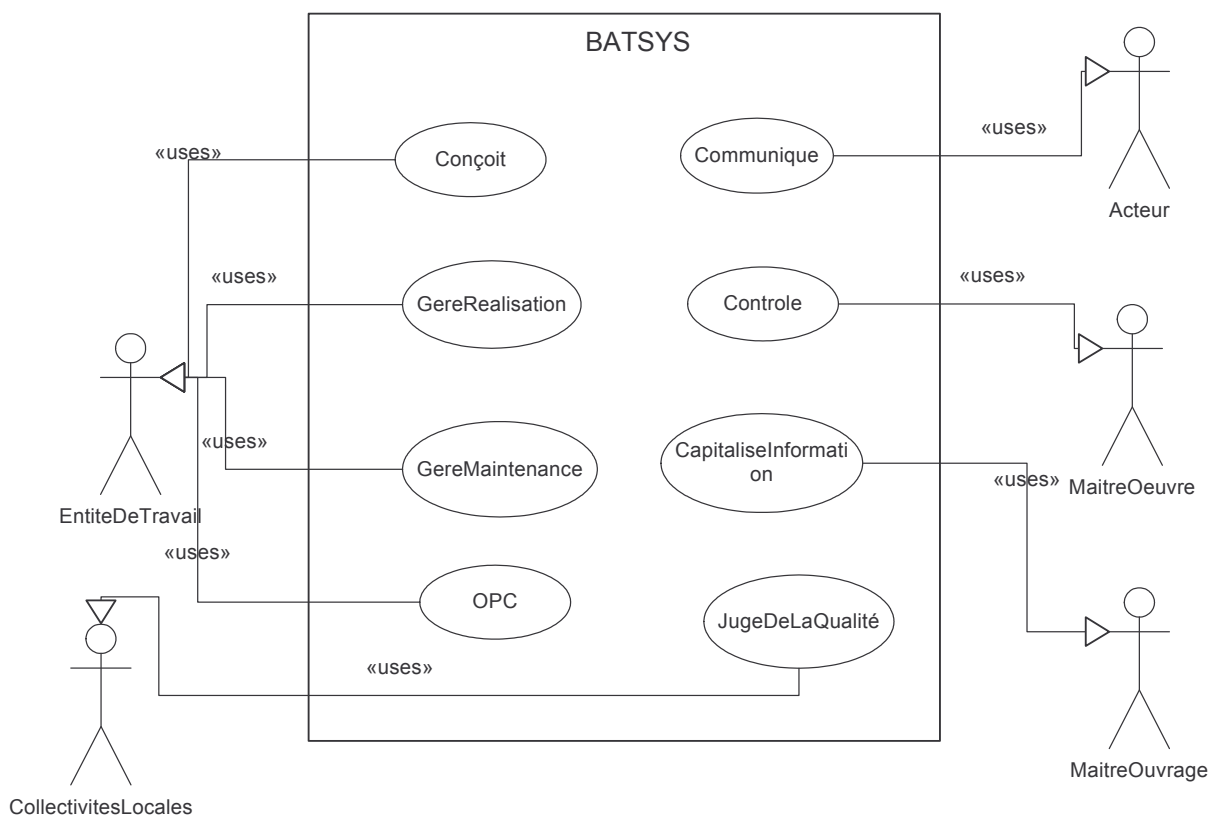


Figure72 : Diagramme des cas d'utilisation de BATSYS

11.2. Package

Nous définissons dans BATSYS quatre types de package qui vont contenir les différentes classes d'objet (figure73) :

- Le package *acteur* contient les classes relatives aux entités de travail (définis dans ASCMA), aux différents intervenants et aux domaines de connaissance de ces intervenants ;

- Le package *systeme bâtiment* contient les classes relatives à l'évolution du système : les états du système, la nature des tâches à réaliser et les documents administratifs à fournir pour l'évolution du projet (définis dans ASMEB) ;
- Le package *production documentaire* enveloppe tout ce qui est relatif à la capitalisation d'information du projet de tous les états du système (défini dans ASMEP) ;
- Le package *outil* est le plus gros de tous les packages. Il modélise les outils d'aide identifiés dans BATSYS et utilisés par les intervenants en état de conception, OPC, réalisation et maintenance. Nous y trouvons nos différents référentiels de conception des approches ASMEP et ASCMA (cf. 9.5.).

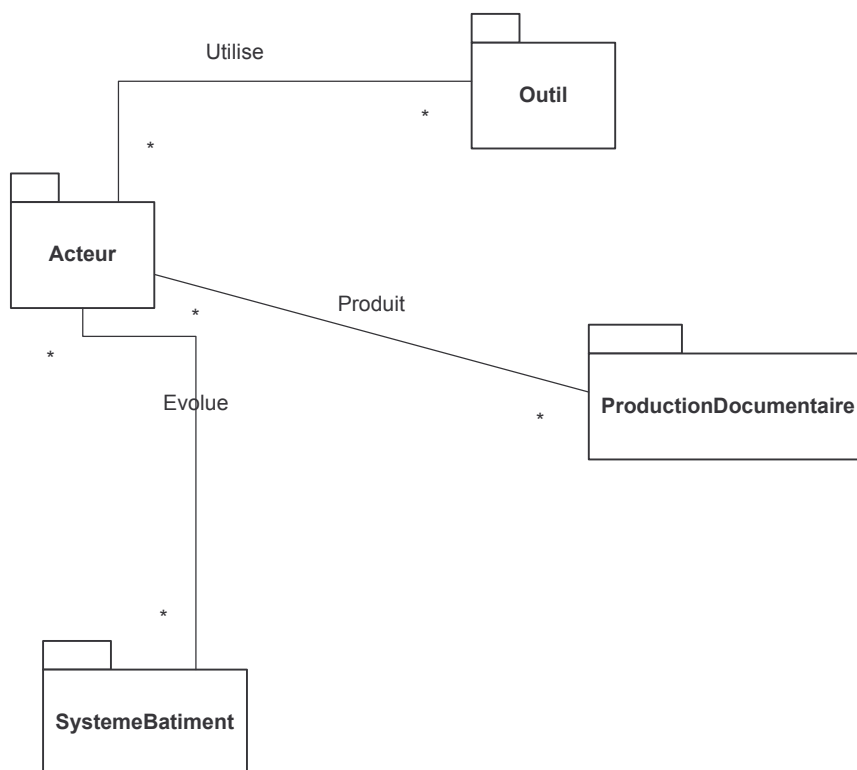


Figure73 : Diagramme des packages

Les packages nous permettent de lire de façon sommaire comment fonctionne notre système, sans pour autant être obligés de consulter toutes les classes du modèle. Le package *acteur* utilise le package *outil* pour produire des documents significatifs du projet dans le package *production documentaire* tout au long de son évolution dans le package *systeme bâtiment*.

11.3. Diagramme de classes

Pour une meilleure compréhension nous procédons à la modélisation de BATSYS par *package*. Une fois les différents packages modélisés nous mettons l'ensemble des classes en correspondance sur la même planche.

Le package « acteur »

Relativement à la représentation informelle du système MCA dans ASCMA (figure50) nous avons créé un modèle formel UML des acteurs intervenants (figure74). Dans ce diagramme *l'Entité de travail* est la classe à qui on va assigner une tâche. Elle est composée de plusieurs acteurs, définis dans notre modèle non pas par leurs professions, mais par le domaine de connaissances dans lequel ils évoluent.

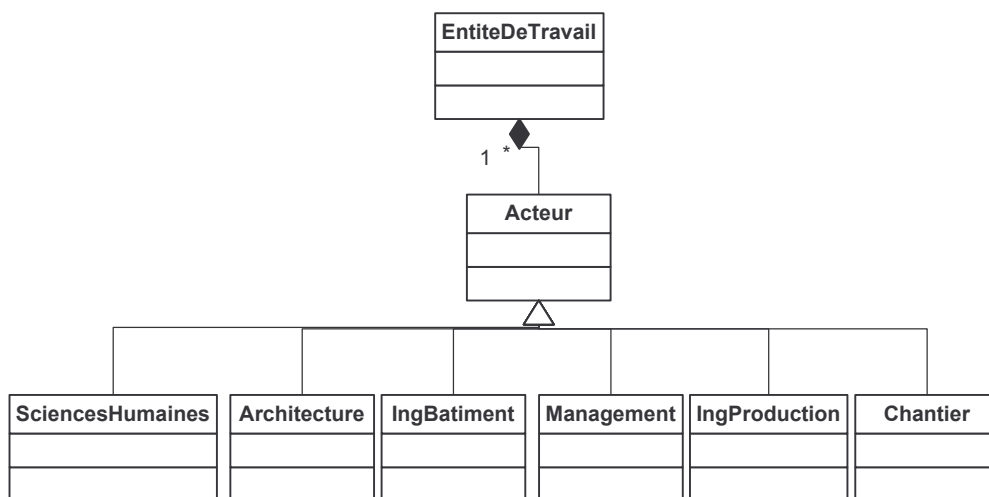


Figure74 : Diagramme de classe du package « acteur »

Chaque entité de travail peut être composée d'au moins un ou de plusieurs acteurs. Ces acteurs peuvent appartenir à une ou à différentes filières métier. On pourrait avoir une entité de travail avec des acteurs de la filière architecture seulement à titre d'exemple. Tous les cas de figure sont possibles et imaginables.

Le package « système bâtiment »

Ce package est composé de deux classes principales : la classe *état du système* et la classe *produit*. C'est une transcription intégrale du modèle informel du système

bâtiment dans ASMEB au formalisme UML. La relation de généralisation définie dans la (figure75) par une flèche blanche signifie que la classe *état du système* peut prendre les différents états de *conception*, *OPC*, *réalisation* et *maintenance*. La classe produit peut elle aussi prendre la forme de *permis de construire*, *planning*, *bâtiment* et *service*.

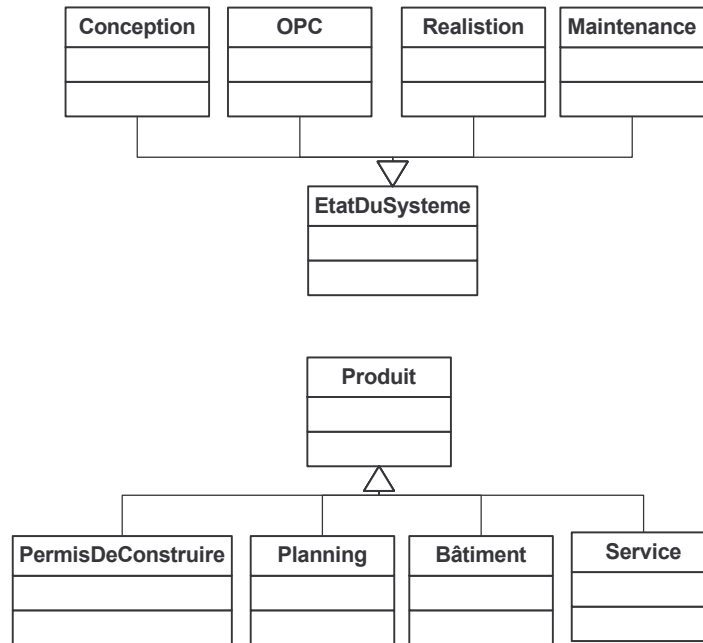


Figure75 : Diagramme de classe du package « système bâtiment »

L'évolution de la classe *produit* est relative à l'évolution de la classe *état du système*. Quand le système est en état de *conception*, le *produit* à fournir est un *permis de construire*. Quand le système est en état de *réalisation*, le *produit* à fournir est un *bâtiment*.

Le package « production documentaire »

Ce package est composé de deux classes principales (figure76) :

- *Document* : qui peut être de forme *graphique* pour toutes les représentations 2D et 3D ou *texte* pour les documents écrits et les notes de calcul ;
- *Capital de données* : qui a un lien avec la classe *document*. C'est un lien de capitalisation des documents produits dans tous les états du système qu'ils soient graphiques ou textuels. Cette classe est une sous-classe de la classe du référentiel normatif.

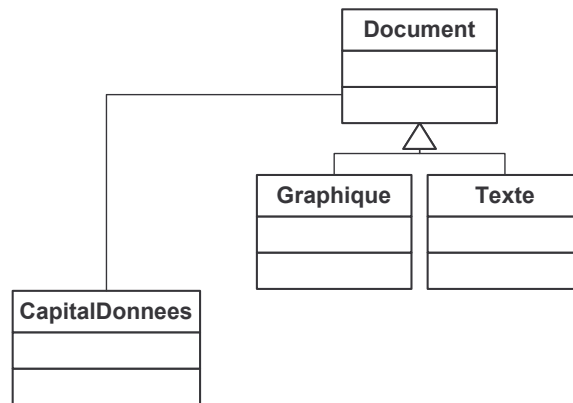


Figure76 : Diagramme de classe du package « production documentaire »

Le package « outil »

Ce package est le centre d'intérêt par excellence de BATSYS. Nous y représentons les différents outils d'aide (ASCMA et ASMEB) utilisés par les intervenants relativement à l'évolution du système (cf. 11.2.). Nous nous sommes limité néanmoins au développement des outils d'aide pour l'état de *conception* du système (approche ASCMA). Les outils relatifs aux états *d'OPC, de réalisation et de maintenance* ne nécessitent pas un développement particulier, ils sont respectivement matérialisés par les classes d'objets : *planning, suivi des travaux* et *cahier d'entretien* directement liées à la classe : *capital de données* (figure77). Ces outils sont pris en charge dans notre système seulement pour la gestion documentaire (on ne gère que la documentation produite par ces outils et non pas les méthodes qui permettent de les générer).

L'outil d'aide relatif à l'état de *conception* dans la (figure74) n'est ni plus ni moins que la *structure des référentiels* du système CMA dans ASCMA (cf. 9.5.) (figure33). Cette structure est composée de trois référentiels : *méthodologique, conceptuel et normatif* (cf. 9.5.) (figure34). Les trois classes qui représentent ces référentiels (figure77) sont reliées par des liens d'association qui définissent la dépendance de chaque classe des deux autres.

A l'image de l'illustration des différents référentiels dans les chapitres 9 et 10, nous présentons ici et sur la base des modèles informels de ces référentiels une représentation formelle en UML. Ainsi le référentiel méthodologique dans UML (figure78) est composé des vingt quatre formes sémantiques du CMA dans ASCMA,

relativement à quatre classes définissant la structure syntaxique du SPB dans ASMEB (cf. 10.6.).

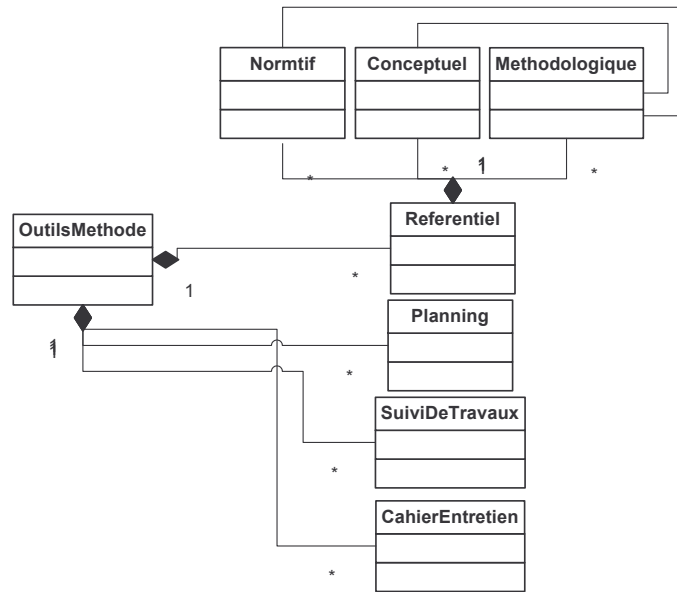


Figure77 : Diagramme de classe du package « outil »

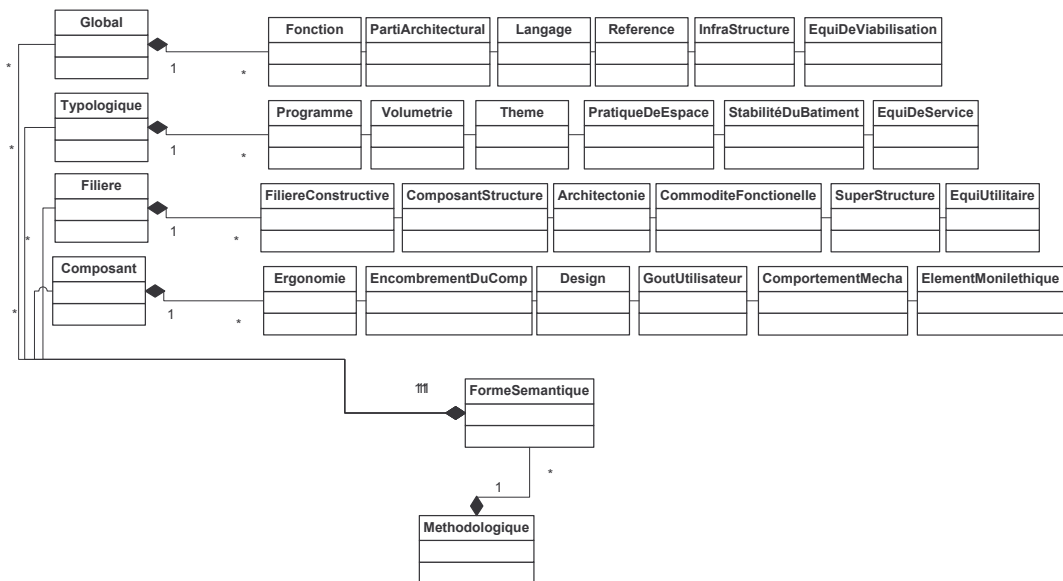


Figure78 : Diagramme de classe du « référentiel méthodologique »

Le référentiel conceptuel est lui aussi composé de vingt quatre classes du système CMA relativement aux *caractéristiques spécifiques* (cf. 10.7.), (figure51). Il est composé aussi d'autres classes définissant les *caractéristiques génériques* dans le système SPB

(figure79). La partie supérieure de la (figure79) reprend les classes relatives aux caractéristiques spécifiques, tandis que la partie inférieure reprend les caractéristiques génériques.

Le référentiel normatif, lui, se rattache à la classe *capitalisation de données* du package *production documentaire* où toute la production du système est capitalisée et enregistrée sous forme documentaire. Comme indiqué dans les diagrammes (figure78) (figure79), chaque référentiel peut faire appel à au moins une ou plusieurs classes qui le compose.

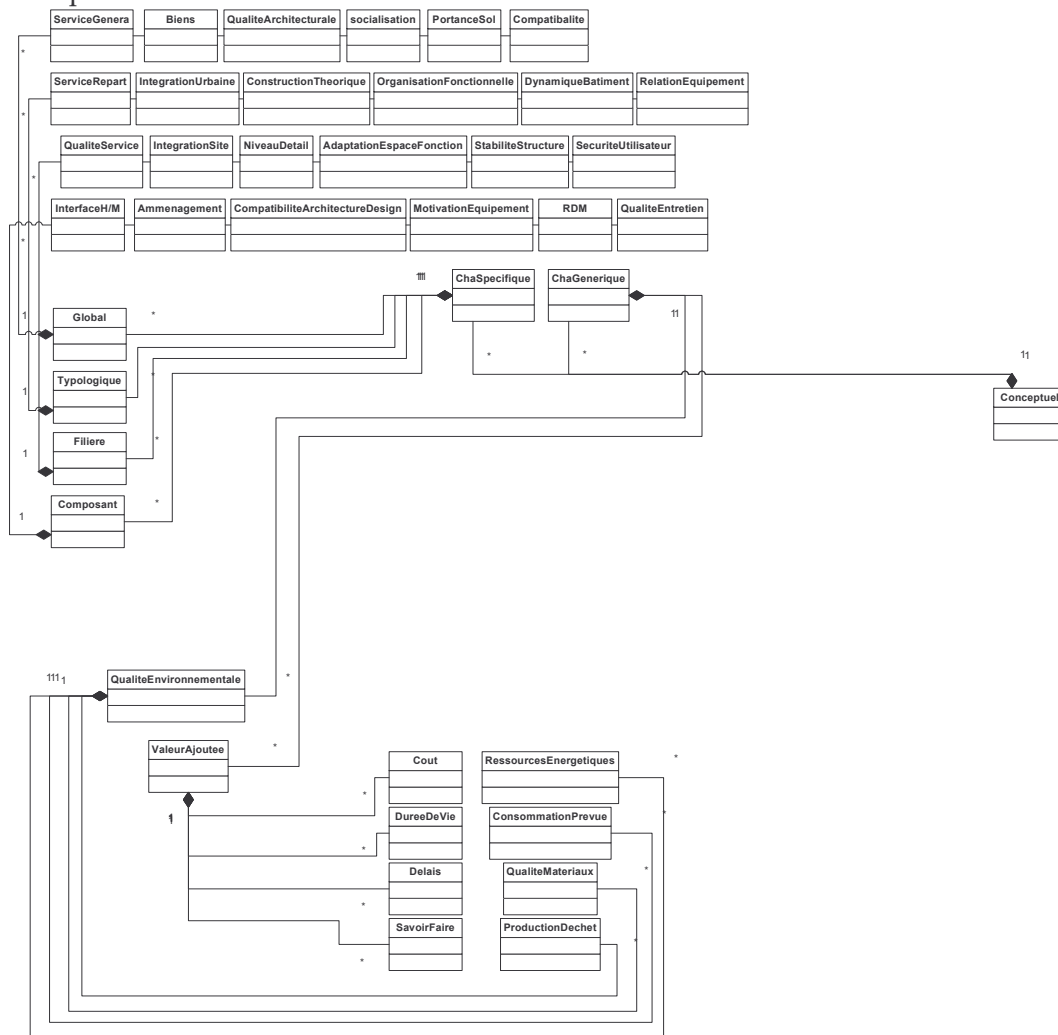


Figure79 : Diagramme de classe du « référentiel conceptuel »

La mise en correspondance des différents diagrammes de classe des (figure74), (figure75), (figure76), (figure77), (figure78) et (figure79) donne lieu à la représentation suivante (figure80). On y voit comment une *entité de travail* composée

des *documents* et validera cette opération avec le *superviseur*. Suite à cette validation le *superviseur* envoie un nouveau message d'*OPC* à une autre entité de travail qui produira des *plannings* et ainsi de suite.

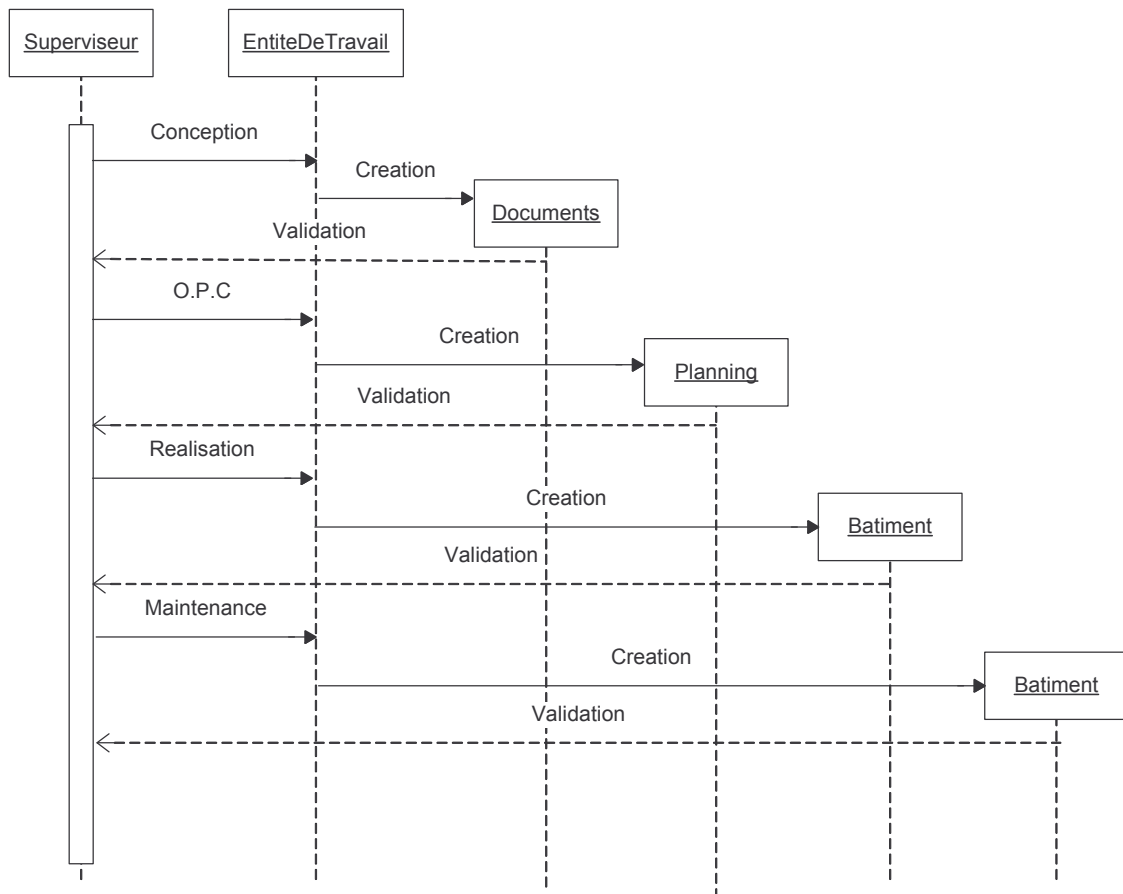


Figure81 : Diagramme de séquence dans l'approche BATSYS

11.5. Diagramme d'objets

Le diagramme d'objet est une instanciation du diagramme de classe en *objet réel*. Les classes prennent une valeur unique et définitive relative à la situation modélisée.

Synthèse

Le formalisme UML nous a permis de créer une représentation formelle de l'approche BATSYS adaptée à l'implémentation informatique. Des outils comme Rational Rose permettent de nos jours de passer d'un modèle UML à un codage informatique en C++, Java, SQL ou autre (cf. 7.3.). Cette fonctionnalité montre à quel point le codage devient

maîtrisable et comment la difficulté dans le génie logiciel est passée du *codage* en langage machine à la *modélisation conceptuelle* pour la bonne formalisation des problèmes et solutions attendus.

Chapitre 12 Validation et apports de l'approche systémique BATSYS

Introduction

Ce chapitre est une proposition d'implémentation des modèles UML développés dans BATSYS. Il reprend en trois parties une proposition d'un *Système d'Information* distribué pour une ingénierie de bâtiment intégrée *SI-BATSYS*, une présentation de la mise en route de ce système d'information, et enfin une simulation d'utilisation.

12.1. Un système d'information pour une ingénierie de bâtiment intégrée : SI-BATSYS

La (figure20) du chapitre 7 intitulée : Architecture d'un environnement numérique adapté au travail collaboratif, constitue la structure sur laquelle nous développons le Système d'Information SI-BATSYS. Les modèles UML du chapitre 11 permettent de construire la base de données décrite dans la (figure20). Sur la base du modèle UML des *cas d'utilisation* nous introduisons ci-après un cahier des charges pour le développement de SI-BATSYS (cf. 11.1). Les modèles *de classes* UML (cf. 11.3.) permettront par la suite de définir les différents modules de SI-BATSYS.

Un cahier des charges

Les acteurs pour lesquels est destiné SI-BATSYS, sont de cinq natures différentes (cf. 11.1.). Il s'agit des :

- Acteur : considéré comme individu ;
- Entités de travail : défini par un ensemble d'acteurs travaillant en collaboration pour la réalisation d'une tâche assignée ;
- Maîtrise d'œuvre : responsable du bon déroulement des activités tout au long du projet ;
- Maîtrise d'ouvrage : propriétaire et initiateur du projet ;
- Collectivités locales : responsable du respect de l'environnement (naturel, urbain, social, etc.) direct et indirect du projet.

Les principales fonctions assignées à l'outil sont de permettre à :

- L'acteur comme individu de communiquer avec les autres acteurs de la même entité de travail ou d'une entité de travail différente ;
- Aux entités de travail de : concevoir, planifier le chantier, suivre la réalisation et gérer la maintenance du bâtiment ;
- A la maîtrise d'œuvre : de contrôler et de suivre l'évolution du projet ;
- A la maîtrise d'ouvrage : de capitaliser tout l'historique du projet en vue de juger de la qualité, de contrôler les comptes, de prévoir la maintenance, et de garder une traçabilité du bâtiment ;
- Aux collectivités locales : de juger de la qualité du bâtiment dans son contexte et environnement direct et indirect.

Il s'agit là d'une description des *fonctionnalités* que nous donnons à SI-BATSYS ainsi que la *population de professionnels* que nous ciblons par ce dernier.

Le codage

Nous avons consacré le troisième chapitre de la deuxième partie à l'étude de l'implémentation des modèles conceptuels en outils informatiques. Nous avons conclu que le Web est le meilleur support aux activités collaboratives, et présenté une architecture d'environnement logiciel adaptée au travail collaboratif dans le secteur bâtiment.

Nous avons donc décidé de développer à partir de nos modèles UML, un outil supporté par le Web, mais adaptable néanmoins à un réseau interne d'entreprise.

L'architecture globale de notre outil est celle d'un site Internet normal composé de plusieurs pages Web. Dans une logique simple nous allons essayer de faire concorder les besoins d'utilisateurs définis plus haut (cinq natures d'acteur) avec un module dans notre outil à développer. Pour chaque nature d'utilisateur il sera donc créé un module informatique dans la plateforme projetée.

On pourrait retrouver plusieurs modules sur la même page et plusieurs fois, ou bien encore un seul module par page, ou bien encore une combinaison des deux. Ce souci

d'ordre est relatif au développement de l'interface que l'on traitera plus bas dans ce chapitre.

Le code utilisé pour le développement de nos modules sera le langage PHP qui permet la création de pages Web dynamiques (cf. 12.2.). Le choix de ce langage de programmation est motivé par la disponibilité sur le Web de *plates formes de communication* personnalisables et gratuites. Ces plates formes (*PHPnuke* par exemple), proposent plusieurs modules que l'on peut directement exploiter (programme de *messagerie électronique* par exemple). Mais avant d'aller plus loin dans notre réflexion nous présenterons d'abord les outils similaires existants sur le marché.

Les outils existants

On ne peut pas vraiment parler d'outils existants dans la mesure où les développeurs de la gestion de projet en ligne dans le bâtiment ne se font pas nombreux. Le plus connu et le plus important en matière de part de marché en France est la société de service PROSYS.

Projecteo est l'outil vedette de PROSYS même si ses fonctions se limitent à une messagerie électronique et à une armoire à plans qui capitalise les documents. Au cours d'entretiens avec l'entreprise PROSYS nos interlocuteurs nous ont affirmé clairement que « les outils de gestion de projet en ligne disponibles actuellement portaient un nom inadéquat car il s'agit tout simplement d'armoire à plans (cf. 5.2.) et pas de gestion de projets ».

On peut voir dans la (figure82) suivante l'interface d'un autre outil développé par Architecture-s-concepts. Il s'agit dans ce cas aussi d'un outil ayant pour principale fonction une messagerie électronique et une gestion des documents techniques.

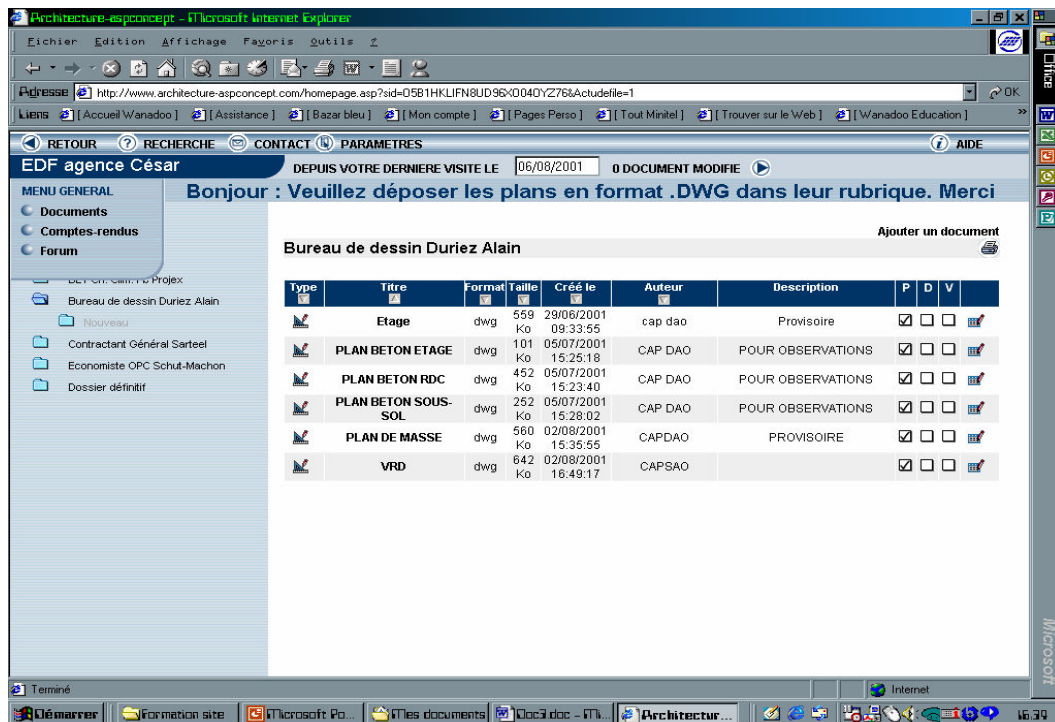


Figure82 : Exemple de l'interface de l'outil de gestion de projet Architecture-spconcepts

Les modules de SI-BATSYS

L'architecture globale de SI-BATSYS est celle d'un site Internet classique composé de plusieurs page Web. Nous concordons dans ce qui suit les besoins d'utilisateurs définis plus haut (cinq natures d'acteur) avec les modules à développer dans SI-BATSYS. Pour chaque nature d'utilisateur il sera donc créé un module informatique dans la plate forme projetée.

Le code utilisé pour le développement de nos modules sera le langage PHP qui permet la création de pages Web dynamiques.

SI-BATSYS est conçu de telle manière à ce que les acteurs puissent naviguer d'un état du système à l'autre sans ordre prédéfini en vue de favoriser le travail collaboratif. Dans la même optique, tous les acteurs intervenant dans le projet depuis le début et jusqu'à la fin, auront le droit d'ajouter de l'information dans la base de données même pour soumettre des propositions conceptuelles qui ne concernent pas directement leur métier. Libre ensuite au maître d'œuvre de prendre ou de laisser ces propositions.

A titre d'exemple : un architecte du projet ayant un avis à émettre sur la mise en œuvre d'un coffrage (tâche assignée préalablement à un ingénieur) peut ajouter une proposition conceptuelle dans la base de données en spécifiant bien qu'il est architecte et qu'il intervient dans la filière *ingénierie de production* et au niveau *composant* correspondant à la forme conceptuelle *composition monolithique*.

L'accès au champ des tables par les acteurs sera filtré par un système de mots de passe donnant des droits différents aux acteurs définis au lancement du projet (à titre d'exemple : un maître d'œuvre aura le droit de consulter toutes les tables, un intervenant spécifique à une tâche donnée n'aura pas ce droit).

Nous définissons pour notre outil 4 principaux modules :

- Un module de communication avec une messagerie électronique pour l'envoi et la réception de messages pour tous les acteurs, un forum, un chat, un agenda, et d'autres fonctionnalités ;
- Un module d'alimentation des bases de données établi selon nos modèles de définition du produit bâtiment pour les *acteurs* et les *entités de travail* : il servira de portail pour le dépôt de tout les documents d'acteurs ;
- Un module de consultation et de gestion de ces bases de données pour la *maîtrise d'œuvre* et la *maîtrise d'ouvrage* qui servira de back office du site ;
- Un module d'information en temps réel pour mettre les dernières informations en ligne.

La base de données

La base de données de BATSYS comporte quatre tables relatives aux états du système bâtiment (état de conception, d'O.P.C, de réalisation et de maintenance) destinées à être instanciées par les acteurs et entités de travail, et contrôlées par la maîtrise d'œuvre, la maîtrise d'ouvrage et les collectivités locales. Elle comporte aussi deux tables de références : sur la qualité dans la conception et sur les normes.

La table *état de conception* est construite sur la base de notre modèle UML de gestion de production. Elle fournit des champs de saisie relatifs à :

- L'intervenant (nom, fonction, métier, date) ;
- La filière dans laquelle intervient l'acteur ;

- La forme conceptuelle rattachée à la proposition de l'acteur ;
- Information sur le fichier joint (nom, taille, date) ;
- L'outil de conception utilisé ;
- Les références utilisées par l'acteur.

Les informations de la table peuvent être extraites de manière à reconstituer le projet par rapport aux vingt-quatre formes conceptuelles identifiées dans notre modèle UML.

La table *état d'OPC* offre des champs de saisie d'information relatifs à :

- L'intervenant (nom, fonction, métier, date) ;
- Les agendas des travaux déposés par les acteurs (lien dynamique vers les plannings) ;
- La filière dans laquelle s'identifie l'acteur.

La table *état de réalisation* permet de saisir des informations de :

- L'intervenant (nom, fonction, métier, date) ;
- La filière dans laquelle s'identifie l'acteur ;
- L'évolution des plannings de chantier (lien dynamique vers les plannings) ;
- La capitalisation des procès verbaux de chantier (lien dynamique vers les plannings) ;
- L'identification des tâches réalisées par rapport aux vingt-quatre formes conceptuelles qui définissent notre produit bâtiment.

La table *état de maintenance* est une table qui prendra en compte tout l'historique du projet de la conception à la réalisation. Elle comporte les champs de saisie suivants :

- L'intervenant (nom, fonction, métier, date) ;
- La filière dans laquelle s'identifie l'acteur ;
- Les agendas des travaux déposés par les acteurs (lien dynamique vers les plannings) ;
- La forme conceptuelle rattachée à la proposition de l'acteur ;
- Information sur le fichier joint (nom, taille, date) ;
- L'outil de conception utilisé ;
- Les références utilisées par l'acteur (depuis les tables précédentes qui constituent l'historique du produit bâtiment).

12.2. Technologies de développement de SI-BATSYS

Nous avons développé la plateforme SI-BATSYS avec le langage de script PHP (Personal Home Page et officiellement PHP Hypertext Preprocessor) comme indiqué dans le titre (4.3.1). Ce choix est justifié par le fait que le langage PHP supporte un grand nombre de bases de données. Cela veut dire que réaliser une page Web dynamique interfaçant une base de données est extrêmement simple avec PHP.

PHP est aussi un logiciel Open Source (Logiciel Libre) dont les scripts sont embarqués dans les pages HTML et exécutés du côté serveur et non du côté client (le code PHP est exécuté sur le serveur, donc le client ne reçoit que le résultat du script, sans aucun moyen d'avoir accès au code qui a produit ce résultat.). Il supporte pratiquement tous les standards du Web et offre une panoplie de bibliothèques et de modules.

PHP peut s'interfacer à la quasi totalité des Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD) du marché, qu'ils soient commerciaux ou qu'ils viennent du monde du Free Software. Exemples de bases de données supportées par PHP :

- Adabas D
- dBase
- Empress
- FilePro (lecture seule)
- Hyperwave
- IBM DB2
- Informix
- Ingres
- InterBase
- FrontBase
- mSQL
- Direct MS-SQL
- MySQL
- ODBC
- Oracle (OCI7 et OCI8)
- Ovrimos
- PostgreSQL

- Sesam
- Solid
- Sybase
- Velocis
- Unix dbm

La Genèse de PHP

Le langage PHP a été conçu durant l'automne 1994 par Rasmus Lerdorf [Lerdorf 2005]. Les premières versions (qui restèrent privées) étaient utilisées afin de savoir qui venait consulter son CV en ligne. La première version publique fut disponible au début de l'année 1995. Elle fut connue sous le nom de "Personal Sommaire Page Tools". Elle était composée d'un analyseur extrêmement simple qui ne reconnaissait que quelques macros spéciales et un petit nombre d'utilitaires couramment utilisés dans les pages web, un livre d'or, un compteur, etc.

L'analyseur fut réécrit durant l'été 1995 et fut appelé PHP/FI Version 2. FI étaient les initiales d'un autre package que Rasmus avait écrit, qui interprétait les formulaires HTML. C'est alors qu'il combina le "Personal Sommaire Page tools" avec le "Form Interpreter" et il y ajouta le support de mSQL: c'est comme cela que naquit PHP/FI.

PHP/FI grandit de manière spectaculaire et de nombreuses personnes commencèrent à contribuer à son amélioration. Il est relativement peu aisé de donner des statistiques, mais on estime que PHP/FI est utilisé sur 15 000 sites Web dans le monde entier, fin 1996. Ce chiffre atteint 50 000 durant l'été 1997.

L'analyseur fut de nouveau réécrit par Zeev Suraski et Andy Gutmans [JDNet 2005] et ce nouvel analyseur forma la base de la version 3 de PHP. Une grande partie du code de PHP/FI fut complètement réécrite alors que l'autre partie fut portée pour donner le PHP Version 3.

La dernière version de PHP (PHP 4) utilise le moteur d'analyse Zend pour atteindre de nouveaux niveaux de performance, et supporter un nombre encore plus grand de bibliothèques et d'extensions. Il tourne de manière native sur tous les serveurs Web les plus répandus.

Aujourd'hui, PHP 4 est distribué avec de nombreux produits commerciaux comme "C2's StrongHold web server" et "RedHat Linux" et il est admis (d'après les chiffres de NetCraft et leurs statistiques Netcraft Web Server Survey) que le PHP est utilisé sur 5.100.000 sites web dans le monde entier.

Performances et Installation de PHP

PHP est l'outil idéal pour tout site Internet ou Intranet de taille moyenne, ou de grande taille. Il est capable de servir plus de 450.000 pages par jour sur une machine dont la configuration est la suivante : Dual PII-333, 512Mb RAM, 2x9Go SCSI.

Les performances de PHP installé en module d'Apache offre des performances comparables au fameux mod_perl. Nous avons ainsi décidé de faire tourner la plateforme SI-BATSYS sous le serveur Apache, qui constitue à l'heure actuelle le serveur le plus performant et le plus utilisé au monde (presque 63% en juillet 2000) et présente un grand nombre d'avantages (logiciel libre, très portable, tourne sur la plupart des plateformes, extensible, modulaire, etc.).

Le langage PHP offre de meilleures performances lorsqu'il est installé sur une machine fonctionnant sous une version x86 de Linux. Il est aussi possible d'utiliser PHP sur des machines Linux non x86, ou sur des stations Unix, mais dans ce cas, une recompilation des codes sources est obligatoire.

Présentation d'Apache

Apache est un serveur HTTP maintenu par l'Apache Group. Apache est le fruit de l'effort de webmasters qui développèrent chacun des extensions au serveur le plus populaire de l'époque (le serveur HTTP du NCSA), puis décidèrent de former l'Apache Group afin de mettre en commun leurs efforts et de produire le serveur HTTP le plus robuste et le plus stable jamais connu.

Le nom Apache vient de "a patchy server", en raison du mode de développement par patches de ces premières versions. Ses performances, sa robustesse, son utilisation aisée, et sa licence en font le serveur Web le plus populaire au monde depuis mars 1997.

Apache est conforme au protocole HTTP (utilisé pour la communication entre les navigateurs et le serveur), et reconnaît également les requêtes HTTP/1.1, dernières extensions à HTTP.

Apache intègre le concept de modules, ce qui rend facile le développement d'extensions par la communauté du logiciel libre. Cette facilité donne à Apache un grand nombre de fonctionnalités uniques.

Systeme requis par Apache

Apache a été porté avec succès sur énormément de plates-formes. Aucun logiciel n'est vraiment requis pour faire fonctionner le serveur, hormis un compilateur C dans le cas d'une installation à partir de sources.

Présentation de MySQL

MySQL, le plus populaire des serveurs de bases de données SQL Open Source, est développé, distribué et supporté par MySQL AB, une société commerciale fondée par les développeurs de MySQL, qui développent leur activité en fournissant des services autour de MySQL.

MySQL est un véritable serveur de base de données SQL multi-utilisateur. SQL est le plus populaire langage de base de données dans le monde. Sa standardisation rend facile le stockage, la mise à jour et l'accès à l'information. Par exemple, on peut utiliser le SQL pour récupérer des informations sur un apprenant ou stocker des informations client sur un site web. MySQL est suffisamment rapide et flexible pour gérer des historiques voire même des images.

La Configuration du serveur PHP/APACHE/MYSQL

Pour interfacer les technologies utilisées pour le développement de la plateforme SI-BATSYS, il est nécessaire de procéder à une installation et à une configuration des différentes composantes. Pour ce faire, nous avons retenu l'utilisation du logiciel EasyPHP vu la complexité de la tâche en question (figure83).

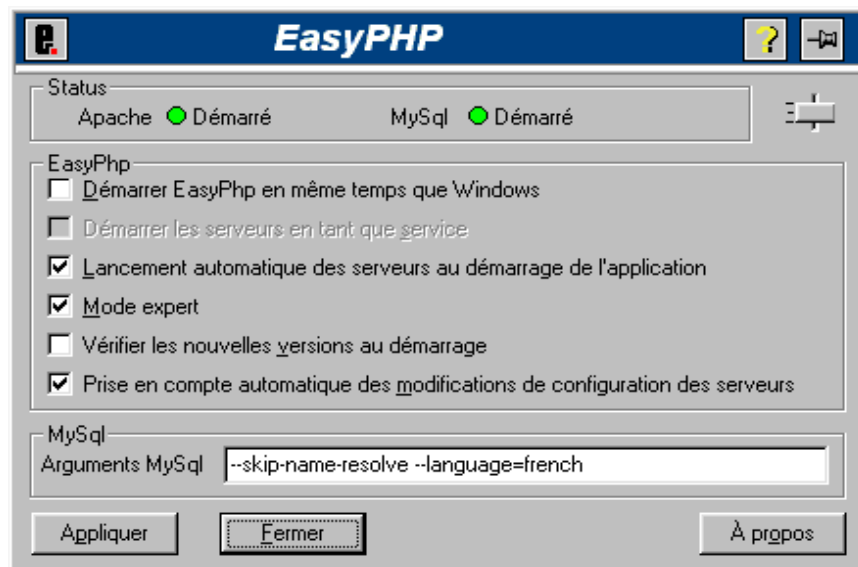


Figure83 : Lancement de EasyPHP

Ce logiciel, en version 1.6 regroupe : Apache 1.3.24, PHP 4.2.0 et MySQL 3.23.49. EasyPHP intègre aussi une interface graphique « phpmyadmin 2.2.6 » dont le but est de faciliter la gestion de la base de données (figure84).



Figure84 : Gestion de base de données depuis EasyPHP

Macromedia Fireworks MX

Le côté graphique de la plateforme a été réalisé avec le logiciel Fireworks, qui est un éditeur graphique vectoriel spécialisé dans la production d'éléments graphiques pour le Web.

Macromedia Fireworks MX possède tous les outils nécessaires regroupés dans un espace de travail unique et axé sur le Web. Une interface rationalisée facilite la création de tout un éventail de graphiques et d'interactivité, de simples boutons aux effets de survols, en passant par les menus cascades. Ce logiciel permet de manipuler et d'intégrer facilement les fichiers source des principaux formats graphiques, pour les exporter vers d'autres projets Flash ou Dreamweaver [Aissa 2003].

Fireworks MX offre aussi une panoplie d'outils graphiques et un environnement facilitant le travail. Il possède de nombreux outils et de robustes fonctions de manipulation des graphiques bitmap, il permet un contrôle précis du texte et supporte tous les principaux formats graphiques et éditeurs HTML ce qui a facilité notre travail de design et de développement.

Macromedia Dreamweaver MX

Pour le développement de la plateforme BATSYS, nous avons eu recours à un éditeur de sites Web : Macromedia Dreamweaver. Il compte parmi les meilleurs outils de développement d'applications dynamiques pour Internet. Ses multiples fonctions telles que les conseils de code, les éditeurs de balises, la mise en couleur de la syntaxe, le sélecteur de balises, la validation du code, etc. nous ont permis de rédiger du code plus rapidement et plus facilement, ce qui a accéléré le développement de l'application.

Macromedia Dreamweaver MX constitue un environnement de développement pour plusieurs technologies. Il comporte des bibliothèques de code pour serveurs et permet une conception visuelle des sites dynamiques pour les principales technologies côté serveur, telles que ColdFusion MX, ASP, ASP.NET, JSP et PHP.

Grâce à Dreamweaver, nous avons augmenté notre productivité grâce à son espace de travail complètement intégré avec Macromedia Fireworks, ce qui nous a facilité la manipulation des objets graphiques utilisés au niveau de la plateforme.

12.3. SI-BATSYS : simulation d'une mise en route et intégration

SI-BATSYS est une plate forme accessible depuis le Web de manière sécurisée par un identifiant et un mot de passe (attribués aux différents intervenants) offrant des accès restreints et ouverts selon la fonction de l'intervenant. Il est possible d'y accéder depuis un site partenaire (figure85).

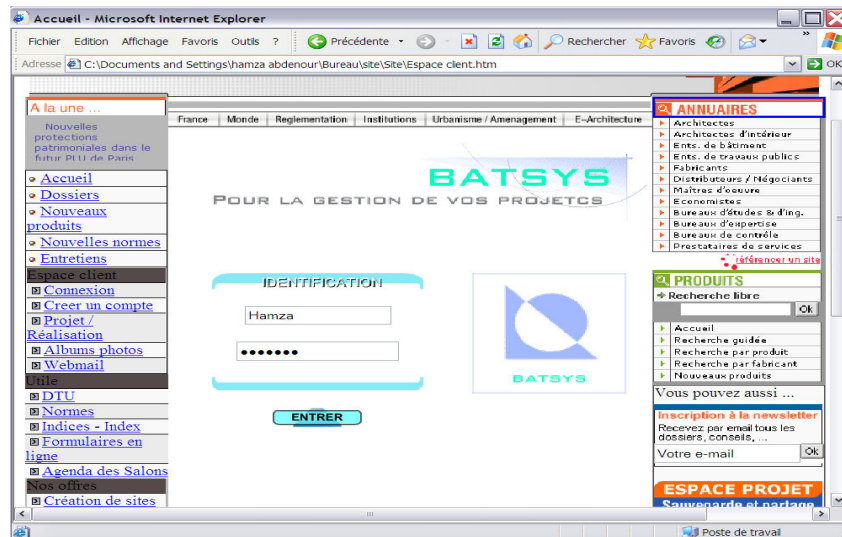


Figure85 : Accès à la plateforme par un lien publicitaire

La plateforme BATSYS offre dès la page d'accueil une lecture intuitive des différentes fonctionnalités (figure86). Un menu principal propose « d'intervenir » ou de « communiquer » une information dans l'un des quatre états que peut prendre le système bâtiment.

La page d'accueil affiche aussi un lien vers notre module « communication » (boîte de réception, messages reçus, etc.) ainsi que vers le « capital des données » enregistrées durant toute la vie du projet.

On peut voir aussi sur la page d'accueil une représentation graphique en VRML du projet mis à jours par le « back office » de la plateforme.



Figure86 : Page d'accueil de IS-BATSYS

Un accès à l'état de conception depuis la page d'accueil permet à l'acteur de communiquer avec les acteurs de cet état par un « chat » (figure87) ou d'intervenir dans une filière métier à un niveau de description précis (donc dans une forme sémantique particulière). Un menu principal dans cette page reprend les six filières métier ainsi que les quatre niveaux de définition de notre modèle UML de BATSYS.

Dans l'exemple de la (figure88) l'acteur intervient en filière « architecture » dans un niveau de « filière » pour spécifier la forme conceptuelle « architectonie ». Le système lui propose de télécharger une représentation graphique où textuelle.

Chaque acteur peut s'identifier par la « filière métier » ou dans le « niveaux » qu'il veut, il n'existe pas de restriction des propositions conceptuelles. L'administrateur aura ensuite le libre choix de retenir les propositions qu'il veut (cf. 11.5.).



Figure87 : Page de l'état de conception pour une communication directe entre acteurs

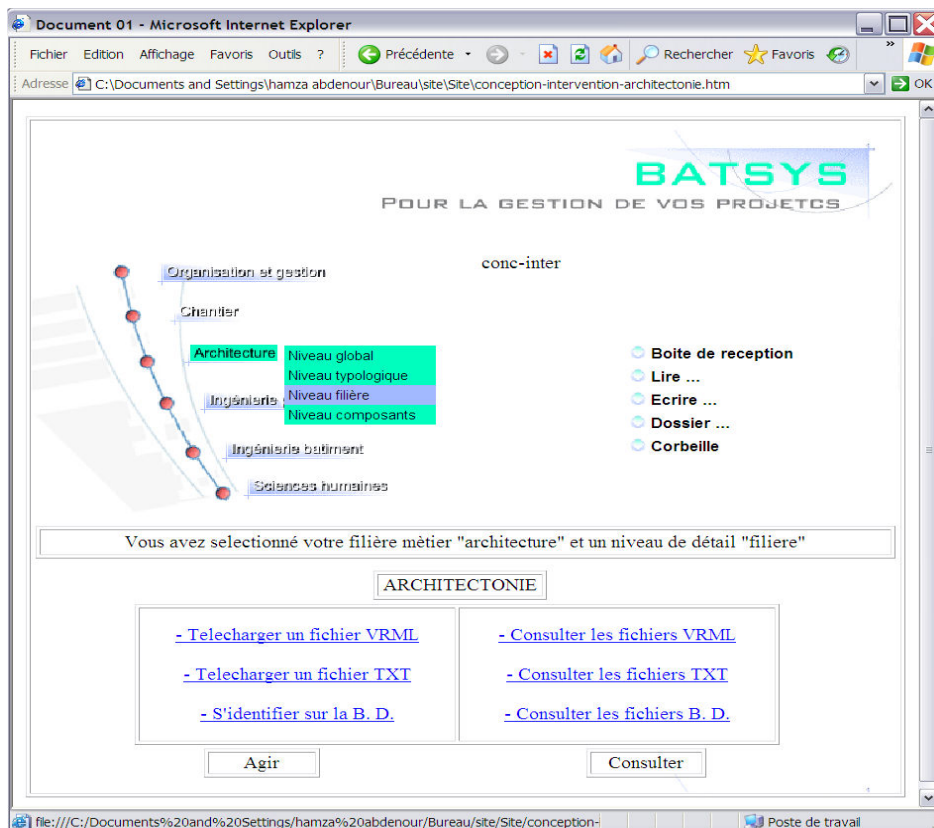


Figure88 : Page de l'état de conception pour une intervention de l'acteur

L'accès aux bases de données produites au cours du projet est possible depuis toutes les pages de la plate-forme. A titre d'exemple, la table relative à l'état de conception permet de voir les intervenants ainsi que toutes les informations qui leur sont relatives. Elle s'illustre sur la plateforme BATSYS comme dans la (figure89).

| Nom de l'intervenant | Fonction de l'intervenant | Metier de l'intervenant | Date d'intervention | Filiere d'intervention | Forme conceptuelle | Information sur le fichier joint | Outil de conception utilisé | référence utilisées par l'acteur |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| HAMZA | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Figure89 : Consultation de la base de données de l'état de conception

Synthèse

Nous avons développé dans ce chapitre un système d'information pour une ingénierie du bâtiment intégrée. Notre système SI-BATSYS prend appui sur une architecture numérique dédiée à l'interopérabilité développée dans BATSYS. Les informations que gère SI-BATSYS sont construites sur la base des représentations UML de BATSYS.

La plate forme de SI-BATSYS propose différentes fonctionnalités en réponse aux besoins des acteurs identifiés par cinq principaux modules. La non maturité du terrain relativement à ce que nous proposons comme fonctionnalité a rendu la tâche d'expérimentation inabordable.

Synthèse de la partie III

La troisième partie de ce mémoire a été consacrée à la présentation de l'approche BATSYS : une approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée. Nous avons présenté dans le chapitre 7 l'environnement numérique destiné à supporter l'approche BATSYS. Il a pour caractéristique principale de permettre d'associer à une représentation graphique du bâtiment, une base de données intégrant les descriptions de l'approche BATSYS.

Dans le chapitre 8 nous avons présenté l'approche ASMEB : approche systémique de modélisation du cycle de vie du bâtiment. Cette approche s'intègre dans BATSYS et décrit une évolution du *système bâtiment* en perspective d'ingénierie concourante.

Le chapitre 9 a concerné l'approche ASMEP : approche systémique de modélisation du produit bâtiment. ASMEP décrit le produit bâtiment qui évolue dans le cycle de vie défini dans ASMEB.

Le chapitre 10 introduisait une approche systémique de conception multi-acteurs ASCMA, dédiée à générer le produit bâtiment défini dans ASMEP. Nous avons présenté aussi dans ce chapitre un exemple de conception faisant intervenir l'approche BATSYS. Il était question d'un projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'architecte DPLG.

Dans le chapitre 11 nous avons formalisé nos résultats de l'approche BATSYS en langage UML apte à l'implémentation informatique. Cette étape permet de synthétiser notre travail dans un formalisme admis et accepté par la communauté du développement d'outils numériques pour l'interopérabilité.

Enfin, le chapitre 12 a permis d'instancier et d'implémenter nos modèle UML en système d'information SI-BATSYS. L'outil SI-BATSYS a été développé à l'image d'une plateforme d'échange entre acteurs de l'AEC selon les préceptes définis dans les approches ASMEB, ASMEP et ASCMA de BATSYS.

Partie IV : Conclusions et perspectives

Synthèse générale

Les étapes de conception dans le secteur de l'AEC font intervenir de nos jours, de plus en plus d'acteurs de différents domaines de connaissances. Cet aspect pluridisciplinaire pose le problème de la mise en oeuvre d'outils d'interopérabilité entre les acteurs. Cependant, le caractère sectoriel et fragmenté de l'AEC constitue un réel handicap à l'interopérabilité d'acteurs. La linéarité des processus ainsi que la disparité des étapes génèrent des délais longs et des coûts élevés de construction.

Nous présentons dans la (figure90) une synthèse illustrée de nos travaux. Ainsi, nous avons relevé au cours de la première partie, le constat sur le besoin d'interopérabilité en phase de conception avancée du bâtiment. Nous avons affiné aussi notre problématique relativement au contexte actuel et aux disciplines que nous faisons intervenir. Au cours de notre état de l'art nous avons illustré les différentes orientations actuelles en réponse au besoin d'interopérabilité. Il est question de la CAO 4D et du Web sémantique, de l'ontologie d'objet, et du *Knowledge Management* ou gestion de connaissances. La troisième partie de notre document était consacrée à nos propositions conceptuelles qui consistent en une approche systémique pour une ingénierie de bâtiment intégrée BATSYS, formalisée en UML et implémentée en un système d'information nommé SI-BATSYS.

Le contexte dans lequel s'est effectué notre travail est un contexte académique imposé par la précarité de l'AEC en matière de méthode et outil d'interopérabilité. La problématique de notre mémoire, constitue en effet un thème d'actualité mais ne connaît pas encore de vulgarisation des outils qui y répondent. Les classes d'objets IFC développées par plus de 600 partenaires à travers le monde attendent toujours d'être intégrés dans les coutumes de travail des acteurs de l'AEC.

Aujourd'hui, l'évolution vers les pratiques interopérables dans la conception de bâtiment passe certainement par un effort dans la recherche et la mise en œuvre d'outils logiciels adaptés à cet effet. Néanmoins, cette évolution nécessite l'implication des acteurs directement concernés qui, au final, sont les seuls à pouvoir décider de faire l'effort de changer leurs méthodes de travail. Le constat actuel est que cet effort là tarde à venir selon le témoignage de l'IAI qui se donne pour objectif immédiat la sensibilisation aux problématiques de travail interopérable dans l'AEC. Il s'agit là du principal frein à l'application de démarches nouvelles dans le secteur bâtiment.

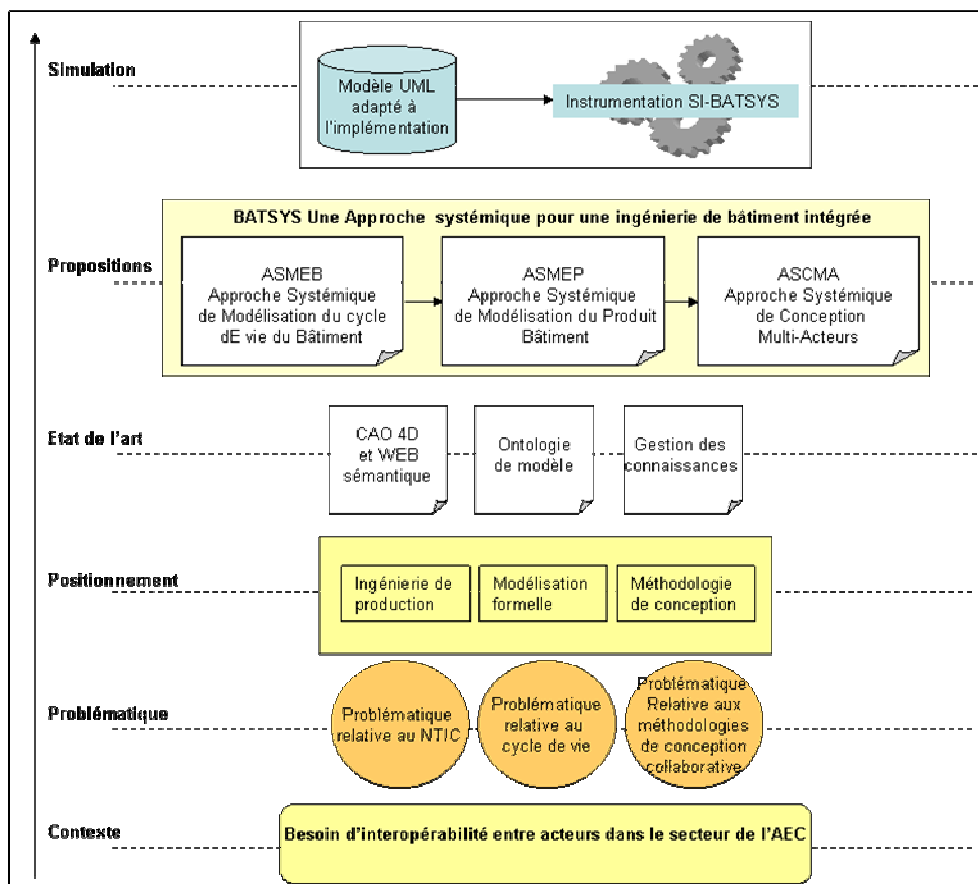


Figure90 : Synthèse générale des travaux

Perspectives et discussions

D'un point de vue *académique* notre travail compte une caractéristique singulière qui peut susciter d'autres problématiques dans le secteur AEC. Il s'agit de *l'approche systémique* adoptée. En effet la robustesse de cette approche permet de générer des modèles qui traitent des différents aspects que peut prendre un système.

Relativement aux domaines de référence disciplinaires que nous avons fait intervenir, nos travaux de recherches ont conduit à des contributions réparties sur trois niveaux :

- En *ingénierie de production* le volet ASMEB de BATSYS a permis de modéliser le cycle de vie du bâtiment en perspective d'*ingénierie concourante*. Le modèle du cycle de vie identifie les différentes étapes d'interopérabilité et favorise la parallélisation des tâches ;
- En méthodologie de *conception coopérative* les volets ASMEP et ASCMA de BATSYS ont permis de mettre en place un *modèle* de conception coopérative partagé entre acteurs. Ce modèle intègre les domaines de connaissance intervenant, ainsi que les acteurs qui les représentent ;
- En *modélisation conceptuelle* nous avons utilisé les capacités d'interopérabilité des *cycles en V* développés dans le génie logiciel pour une représentation informelle de nos modèles. Pour la représentation formelle, nous avons fait appel aux possibilités multi-référentiels d'*UML* (Unified Modeling Language).

D'un point de vue *applicatif*, BATSYS est à notre sens intégrable sur trois niveaux. D'abord à un niveau de *gestion d'entreprise*, ensuite à un niveau de *gestion de conception coopérative en situation de projet* et enfin à un niveau *d'enseignement*.

En *entreprise*, l'intérêt de BATSYS serait de :

- Décrire le projet en vue de capitaliser son historique et de le réutiliser en maintenance. Il s'agit de ré-intervenir dans le projet avec une parfaite connaissance de sa mise en œuvre (ex : intervenir sur une ancienne bâtisse avec un nouveaux langage en respectant le même parti architectural) ;
- Intégrer dès la conception les multiples facettes que peut prendre un projet architectural durant son évolution dans le temps (traiter le projet sur tous les niveaux de détail en correspondance avec tous les savoirs-faire intervenant) ;

- Offrir un point de départ aux concepteurs dès la conception (les vingt-quatre formes sémantiques du produit bâtiment constituent des portes d'entrée au projet).

En *gestion de conception coopérative en situation de projet* BATSYS permet par son implémentation de créer des outils d'échange et de capitalisation d'information à l'image de SI-BATSYS.

Enfin, dans *l'enseignement architectural* BATSYS ouvre des perspectives à l'image de l'exemple présenté dans le chapitre 10 (cf. 10.8.) qui a permis de mener un exercice pédagogique au sein d'un atelier d'architecture de l'école d'architecture de Marseille Luminy. L'approche systémique que nous avons adopté pour modéliser BATSYS fait intervenir les différents domaines de connaissances devant être inculqués aux étudiants et permet de la sorte de constituer un référentiel pédagogique pour l'enseignement de la conception architecturale.

Bibliographie

- **[AFITEP 2003]** AFITEP. Le management de projet : principes et pratique, *AFNOR*, Paris.
- **[Ahmed, Wallace et Blessing 2003]** W. Ahmed, F. Wallace, T. Blessing. Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks, *Journal of Research in Engineering Design*, Vol. 14, 1-11.
- **[Aissa 2003]** A. Aissa. E-CAMPUS Plateforme d'enseignement à distance, Projet de fin d'études, *HEC Carthage*, Tunisie.
- **[Akbas 2004]** O. Akbas. Geometry based modelling and simulation of construction processes, *PhD Thesis, Stanford University*, Stanford.
- **[Akin 2004]** O. Akin. Extreme design, *the 3rd International Workshop on Construction Information Technology in Education*, Istanbul, Turkey.
- **[Akin 2002]** O. Akin. Case-based instruction strategies in architecture, *Journal of Design Studies*, Vol. 23, 407-431.
- **[Akinci 2002]** B. Akinci. Automated generation of work spaces required by construction activities, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol.128.
- **[Alexander 1971]** Ch. Alexander. La ville n'est pas un arbre, *revue AMC*, Paris.
- **[Ameziane 1998]** F. Ameziane. Structuration et représentation d'information dans un contexte coopératif de production du bâtiment, *Thèse de doctorat en sciences*, Université Aix-Marseille III, France.
- **[Amor et al. 2002]** R. Amor. Mapping IFC versions, *Proceedings of the ECPPM Conference on eWork and eBusiness in AEC*, Portoroz, Slovenia.
- **[André et Vailly 2001]** P. André. Conception des systèmes d'information, panorama des méthodes et des techniques, *Ellipses*, Paris.

- **[Appelt 2001]** W. Appelt. What groupware functionality do users really use? *Proceedings of the 9th Euromicro Workshop on PDP*, Mantua, Los Alamitos, <http://bscw.fit.fraunhofer.de/Papers/PDP2001/PDP2001.pdf>
- **[Atlas 1992]** Architecture methodology and Tools for computer Integrated Large Scale engineering. – *ESPRIT 7280 project – general project overview – Technical annex.*
- **[Atman, Chimka et al. 1999]** M. Atman et Chimka. A comparison of freshman and senior engineering design processes, *Journal of Design Studies*, Vol. 20. 131-152.
- **[Ashby 1965]** W. R. Ashby. An introduction to cybernetics, *Hall*, London.
- **[Attali 1994]** J. Attali. Les expressions mouvantes du travail de conception in *Concevoir ouvrage collectif*, sous la direction de Jacques Sauterau, *Collection les cahiers de la recherche architecturale*, Editions parenthèses, France.
- **[Augenbroe et Owen Lewis 1991]** G. Augenbroe et J. Owen Lewis. – *Plaquette de présentation du projet COMBINE – Technical University of Delf (Pays-Bas) et University College Dublin.*
- **[Autodesk 2002]** Autodesk. Tutorial AutoCad, *version électronique 2002 livrée avec logiciel.*
- **[Bannon 1991]** L. J. Bannon. From human factors to human actors: The role of psychology and human-computer interaction studies in system design, *Design at work: Cooperative Design of Computer Systems*, Edition L. Erlbaum, Hillsdale NJ.
- **[Batibase 1996]** Répertoire général du bâtiment. *Institut Technique du Bâtiment (ITB)*, Paris.
- **[Batimat 1997]** Batimat. Catalogue officiel, *21e Salon International de la construction*, Miller Freeman, Paris.
- **[Batiprix 1999]** Batiprix. 16eme édition, *Groupe Moniteur*, Paris.
- **[Beer et al. 2004]** D.G. Beer, B. Firmenich, T. Richter. A Concept for CAD Systems with Persistent Versioned Data Models, *Digital Proceedings of the Tenth International Conference (LCCCBE-X)*, Bauhaus-University, Weimar.
- **[Belaud 2002]** P. Belaud. La plateforme .net. <http://rangiroa.essi.fr/cours/internet/02-plateforme-dotNET.pdf>
- **[Ben-Ahmed 2004]** W. Ben-Ahmed. SAFE-NEXT une approche systémique pour l'extraction de connaissances de données : Application à la construction et

- à l'interprétation de scénarios d'accidents de la route, *Thèse de doctorat en Génie Industriel*, Ecole Centrale Paris.
- **[Benachir 2004]** A. Benachir. Définition d'un nouveau centre urbain, *Travail personnel de fin d'étude*, Ecole d'Architecture de Marseille Luminy.
 - **[Bertalanffy 1967]** L.V. Bertalanffy. General system theory: foundations, development, applications, *George Braziller*, New York.
 - **[Billon 1999]** R. Billon. Comprendre les IFC, *cahier du CSTB*, Paris.
 - **[Björk 1995]** Bo-C. Björk. Requirements and information structures for building product data models, *dissertation for the degree of doctor of technology*, VTT publications, Espoo, Finlande.
 - **[Bobroff et al. 1993]** J. Bobroff, C. Caro, C. Divry, C. Midler. Les formes d'organisation des projets. in V. Giard, C. Midler (eds), ECOSIP. Pilotage de projets et entreprise, diversités et convergences, *Economica*, 35-79. Paris
 - **[Brown et al. 1996]** A. Brown, Y.Rezgui, G.Cooper, J. Yip, P. Brandon. Promoting computer integrated construction through the use of distribution technology, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, Vol.1.
 - **[Bossung 2003]** S. Bossung. Semi-automatic discovery of mapping rules to match XML Schemas, *Department of Computer Science*, The University of Auckland, New Zealand.
 - **[Boudon 1971]** P. Boudon. Sur l'espace architectural, *Dunod*, Paris.
 - **[Boudon 1992]** P. Boudon. Introduction à l'architecturologie, *Dunod*, Paris.
 - **[Boudon 1994]** P. Boudon. Enseigner la conception architecturale, *La villette*, Paris.
 - **[Bourdieu 1979]** P. Bourdieu. Raisons pratiques sur la théorie de l'action, *Edition du seuil*, Paris.
 - **[Bourrey 2004]** J.P. Bourrey. UML, *support de cours UML*, version .pdf, Ecole Centrale Lille.
 - **[Boutinet 2001]** J. P. Boutinet. Anthropologie du projet, *Presses Universitaires de France*, 6eme édition, Paris.
 - **[Cated 1985]** Cated. Répertoire général du bâtiment, *Institut technique du bâtiment et des travaux publics*, Compagnie de documentation, Paris.
 - **[Cavallini et Raffestin 1988]** C. Cavallini, Y. Raffestin. Le guide de la construction, les hommes, les moyens, les méthodes, *Le Moniteur*, 3ème édition, Paris.

- **[Chalmers 1999].** , R.E. Chalmers. Small manufacturers seek best ERP fit, *Journal of Manufacturing Engineering*, Vol.16, 4-24.
- **[Christiaans et Dorst 1992]** Christiaans et Dorst. Cognitive models in industrial design engineering, *Design Theory and Methodology Conference DTM92*, American Society of Mechanical Engineers, New York, USA.
- **[Chupin 1998]** J.P. Chupin. Le projet analogue : les phases analogiques de projet d'architecture en situation pédagogique, *Thèse de doctorat*, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal.
- **[Cicognani et al. 1997]** A. Cicognani, M.-L. Maher. Models of collaboration for designers in a computer mediated environment, *Proceedings of the Third International IFIP WG5.2, Workshop on Formal Aspects of Collaborative CAD*, Sydney.
- **[Cross, Christiaans et Dorst 1994]** Cross, Christiaans et Dorst. Design expertise amongst Student Designers, *Journal of Art and Design Education*, Vol.13, 39-56.
- **[Cruchant 1993]** L. Cruchant. La qualité, *Presses Universitaires de France*, Paris.
- **[D'A 2000]** D'A. La loi MOP mode d'emploi, *numéro hors série du magazine d'architectures*, SEA éditions, Paris.
- **[Davenport 1993]** T. H. Davenport. Process innovation, *Harvard business school press*, Boston.
- **[David 2001]** B. David. IHM pour les collecticiels : Réseaux et systèmes répartis, *Hermès*, Paris.
- **[Davies et al. 2003]** J. Davis, O. Fensel, F. Van Harmelen. Towards the semantic web : ontology-driven knowledge management, *John Wiley & Son Ltd*.
- **[Debaveye et al. 1998]** H. Debaveye, F. Pellegrin, J-J. Terrin. 10 outils pour la qualité dans le bâtiment, *Collection méthodes*, Le Moniteur, Paris.
- **[Debras 1996]**] P. Debras et Y. Rezgui. Software systems for the Integration of Documentary Engineering within a Construction project, *CIB W78 conference*, Helsinki, Finland.
- **[Dechaume 1997]** A.-F. Dechaume. L'EDI, dans la construction : les pratiques se conjuguent, *Plan Construction et Architecture*, recherche n°81, Paris.
- **[Decreuse et Feschotte 1996]** C. Decreuse et D. Feschotte. Ingénierie simultanée, *Traité Génie Industriel, édition Techniques de l'Ingénieur*, France.

- **[Delage et al. 1995]** C. Delage et N. Marda. Concept Formation in a Studio Projet, *Educating architects*, Academy Edition, New York.
- **[Deming 1986]** W. E. Deming. Out of the crisis, *the Massachusetts Institute of Technology*, USA.
- **[Dictionnaire de l'Académie française 2000]** L'Académie française, 9ème édition, Editions Fayard, Paris.
- **[Dong et al. 1995]** A. Dong, F. Moore, C. Woods, A. Agogino. Managing design knowledge in enterprise-wide CAD, *Proceedings of IFIP WG5.2 Second Workshop on Formal Design Methods for CAD*, Mexico.
- **[Dubois 1993]** A.M. Dubois. Le projet JOULE/COMBINE, Les échanges de données informatisées dans la construction, *CSTB*, Sophia-Antipolis, France.
- **[Dugelay 1993]** M. Dugelay. Format d'échange, Le projet MOB, Les échanges de données informatisés dans la construction, *France Télécom*, France.
- **[Dulaga et Marzie 2003]** Dulaga et Marzie. Implementing EPR in manufacturing, *Journal of Information System Management*, Vol.20, 68-75.
- **[Dunyach et Moore 2001]** J. C. Dunyach, R. Moore. La démarche Concurrent Engineering dans un contexte Européen d'entreprise étendue pour le secteur Aéronautique, Le projet ENHANCE, *Actes de la conférence MICAD 2001*, Paris.
- **[Durand 1994]** Durand. La systémique, *Que sais-je ?* Presse Universitaire de France.
- **[EAML 2005]** Ecole d'Architecture de Marseille Luminy. Guide de l'étudiant, *version .pdf*, http://www.marseille.archi.fr/pages/scolarite/livret/guide_etudiant2005.pdf
- **[EAPLV 2005]** Ecole d'Architecture de Paris La Villette. Programme d'enseignement, *Version électronique*, <http://www.paris-lavillette.archi.fr/enseignements.htm>
- **[EDICONSTRUCT 1995]** EDICONSTRUCT. SUC système unitaire de communication, *Plan Urbanisme Construction et Architecture*, Paris.
- **[Eir 2004]** A. Eir. Construction Informatics: issues in engineering computer science and ontology, *PHD. Thesis*, Technical University of Denmark.
- **[Ekholm 2004]** A. Ekholm. Harmonization of ISO 12006-6 and IFC – a necessary step towards interoperability, *Proceedings of the ECPPM Conference on eWork and eBusiness in AEC*, Istanbul, Turkey.

- **[El-Diraby 2004]** T.E. El-Diraby. Supporting ontology management through self-describing concepts, *Proceedings of the ECPPM Conference on eWork and eBusiness in AEC*, Istanbul, Turkey.
- **[Ericsson, Krampe et Tesch-Römer 1993]** Ericsson, Krampe et Tesch-Römer. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance, *Psychological Review*, Vol.100, 363-406.
- **[ESA 2005]** Ecole Spéciale d'Architecture. Pédagogie des études, <http://www.esa-paris.fr/esaschool/pedagogie/pedag.html#cinq>
- **[Firmenich 2004]** B.Firmenich. Product models in network based co-operation in structural engineering, *Proceedings of the Tenth Conference on Civil and Building Engineering (ICCCBE-X)*, Bauhaus-University, Weimar.
- **[Free-UML 2005a]** Cours UML sur <http://uml.free.fr/cours/i-p6.html>
- **[Free-UML 2005b]** Cours UML sur <http://uml.free.fr/cours/i-p10.html>
- **[Froese et al 1999a]** T. Froese, K.Q. Yu. Industry Foundation classes modelling for estimating and scheduling, *8th International Conference on Durability of Building, Materials and Components*, Canada.
- **[Froese et al. 1999b]** T. Froese, M. Fischer, F.Grobler, J. Ritzenthaler, S. Sutherland, S. Staub, B. Akinci, R. Akbas, B. Koo, A. Barron, J. Kunz. Industry Foundation Classes for project management – A trial implementation. *Electronic Journal for Information Technology in Construction (ITCON)*, Vol. 4, Bo-Christer Björk edition.
- **[Gehre et al. 2004]** A. Gehre, P. Katranuschkov, R.J. Scherer. Agent-enabled Peer-To-Peer infrastructure for cross-company teamwork, *Proceedings of the ECPPM Conference on eWork and eBusiness in AEC*, Istanbul, Turkey.
- **[Ginsburg et Kambil 1999]** M. Ginsburg, A. Kambil. Annotate: A Web-based knowledge management support system for document collections, *Actes de la conférence HICSS-32*.
- **[Graphisoft 2004]** Graphisoft. Tutorial ArchiCad, *version électronique 8.0 livrée avec logiciel*.
- **[Grosselin 1997]** M. Grosselin. Un objet médiateur en conception architecturale : le cahier créatif, les objets en conception, *Acte de 01Design'97 Cinquième Table Ronde Francophone sur la Conception*, Europia Productions, Paris.

- **[GSD 1991]** Groupe Structuration de Données. Synthèse des modèles conceptuels développés dans le cadre de la recherche bâtiment en France, *Plan Construction et Architecture*, Collection Recherche N°10, Ministère de l'équipement du logement et des transports, France.
- **[Gu et al. 1995]** P. Gu, K. Chan. Product Modelling using STEP, *Computer-Aided-Design review*, Vol.27, 163-179, Elsevier Sciences.
- **[Habitat 1997]** Catalogue Habitat des produits du bâtiment, sélection 1997. *Les cahiers techniques du bâtiment*, Le Moniteur, Paris.
- **[Halin 2004]** G. Halin. Modèles et outils pour l'assistance à la conception : Application à la conception architecturale, *Habilitation à Diriger des Recherches en Informatique*, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- **[Hanser 2003]** D. Hanser. Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception : Application au domaine du bâtiment, *Thèse de doctorat en sciences de l'architecture*, l'Institut National Polytechnique de Lorraine.
- **[Hardwick et Denno 2000]** Hardwick et Denno. The EXPRESS-X Language, Reference Manual, ISO TC184/SC4/WG11 N117.
- **[Heesom 2003]** Heesom. Dynamic interactive visualization of construction space using 4D techniques. *3rd International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment*, Lisbon, Portugal.
- **[Hellmuth 1993]** T.W. Hellmuth. Concurrent engineering enabled by generic product models, *Proceedings of International Manufacturing Productivity Symposium*, IBM, East Fishkill, USA.
- **[Heylighen 1993]** F. Heylighen. Selection criteria for the evolution of knowledge, *Proceeding of the 13th International Congress on Cybernetics*, Association Internationale de Cybernétique, Namur.
- **[Heylighen 2003]** F. Heylighen. *Web Dictionary of Cybernetics and Systems*.
- **[Huovila 1993]** P. Huovila. Systèmes techniques, Le projet RATAS, *VTT center*, Finlande 1993.
- **[Huyghe, Rudel et al. 1970a]** R. Huyghe, J. Rudel et al. L'Art et le Monde moderne: de 1880à1920, Vol.1, *Larousse Edition*, Paris.
- **[Huyghe, Rudel et al. 1970b]** R. Huyghe, J. Rudel et al. L'Art et le Monde moderne: de 1920 à nos jours, Vol.2, *Larousse Edition*, Paris.
- **[IAI 2003]** International Alliance for Interoperability. IFC 2X Edition 2. Model Implementation Guide, Version 1.6., *Liebich edition*.

- **[IAI 2005]** International Alliance of Interoperability. Qu'est-ce qu'un modèle ?
<http://www.iai-france.org/>
- **[IFC 2003]** IFC. Object Model Guide, *Specifications Vol.2*, Final Release.
- **[Indrusiak et al. 2001]** L. S. Indrusiak, J. Becker, M. Glesner, R. Reis. Distributed collaborative design over cave2 framework, *Proceeding of the 11th IFIP International Conference on Very Large Integration*, Montpellier.
- **[ISO 2002]** International Organisation for Standardization. Standard SS-ISO 12006-2, Building construction – Organization of information about construction works – part 2: *Framework for classification of information*, Geneva.
- **[ISO 10303 2004]** International Organisation for Standardization. Standard for Exchange of Product Data (STEP), *ISO TC184/SC4*, Parts 1, Application Modules.
- **[JDNet 2005]** JDnet. Conférence Php : Hier, Aujourd'hui, Demain,
http://developpeur.journaldunet.com/news/011128_phpforum.shtml
- **[Jouini et Midler 1996]** S. Jouini, C. Midler. L'ingénierie concourante dans le bâtiment, Synthèse des travaux du GREMAP, *Plan urbanisme construction et architecture*, recherche n°75, Paris.
- **[Kam et al. 2003]** Kam, Fischer, Hänninen, Karjalainen, Laitinen. The Product Model and fourth dimension project, *Electronic Journal of Information technology in Construction*, Vol.8, 137-166.
- **[Katranuschkov et al. 2004]** Katranuschkov, Tomas. User requirements capture in distributed project environments : a process-centred approach, *10th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, Weimar.
- **[Krakowiak 2004]** S. Krakowiak. Composants logiciels – introduction aux composants, *Université Joseph Fourier*, Projet Sardes, <http://sardes.inrialpes.fr/people/krakowia/Enseignement/M2R-SL/CR/Flips/CR3-Composants-1.pdf>
- **[Koo 2003]** Koo. Formalizing construction sequencing constraints for rapid generation of schedule alternatives, *Center for Integrated Facility Engineering*, Stanford University, Stanford.
- **[Kooistra et al. 2003]** Kooistra, Stouffs et Tunçer. Metadata as a means for correspondence in design analysis, E-Activities, *Design and Design Education*, Europia, Paris.
- **[Lai et al. 2002]** Lai et al. IT in collaborative building design (IT-CODE), *Proceeding of the European Conference on Information and Communication*

Technology Advances and Innovation in the Knowledge society, eSM@RT 2002 in collaboration with CISEMIC 2002, University of Salford, UK.

- **[Lasserre 2002]** S. Lasserre. Support de cours de modélisation géométrique, DEA MCAO *Modélisation et Conception des Processus Assisté par Ordinateur*, Ecole d'Architecture de Marseille Luminy.
- **[Lebahar 1987]** J.-Ch. Lebahar. Les dessins d'architecte, simulation graphique et réduction d'incertitude, *Parenthèse*, Marseille.
- **[Léglise 1995]** M. Légglise. Art under constraint – preserving the creative dimension in computer- aided architectural design, *languages of design review*, Vol.3, 55-72, Elsevier, Amsterdam.
- **[Le Moigne 1977]** J.-L. Le Moigne. La théorie du système général, théorie de la modélisation, *Presses Universitaires de France*.
- **[Le Moigne 1999]** J.-L. Le Moigne. La modélisation des systèmes complexes, *Dunod*, Paris.
- **[Lerdof 2005]** R. Lerdof. Page Web personnelle de Lerdof, *www.lerdorf.com*
- **[Li 2003]** Li. Virtual experiment of innovative construction operations, *Automation in Construction Review*, Vol.12 , 516-575.
- **[Lima 2004]** Lima. Final draft CWA4 proposal, European eConstruction Ontology, *Workshop on eConstruction N083*, Netherlands.
- **[Malcurat 2001]** O. Malcurat. Spécification d'un environnement logiciel d'assistance au travail coopératif dans le secteur de l'architecture et du BTP, *Thèse de doctorat en sciences pour l'architecture*, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- **[Mallasi 2002]** Mallasi. Registering space requirements of construction operations using Site-PECASO Model, *Proceeding of the CIB w78 conference– Distributing Knowledge in building*, Aarhus School of architecture, Denmark.
- **[Mayeur 2003]** A. Mayeur. Les espaces numériques de travail, *JRES – Les Journées Réseaux*, Cru Renater & Urec, <http://2003.jres.org/actes/paper.84.pdf>.
- **[Menadier 1998]** J.P. Menadier. Ingénierie et Intégration des systèmes, *Hermès*, Paris.
- **[Mesquita 2002]** Mesquita. E Concurrent engineering in construction: studies of brief-design integration, *Proceeding of IGLC-10 conference*, Gramado, Brazil.
- **[Midler 1993]** C. Midler. L'auto qui n'existait pas, *Inter éditions*, Paris.

- [MOB 1994] Modèle partagé des Objets du Bâtiment. *rapport final PUCA*, France.
- [Morin et Le Moigne 1999] E. Morin et J. L. Le Moigne. L'intelligence de la complexité, *L'Harmattan*, Paris.
- [Nam 1998] T.-J. Nam. An investigation of multi-user design tools for collaborative 3-D modelling, *The 1998 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (Doctoral Colloquium)*, Seattle.
- [Neufert 2002] E. Neufert. Les éléments des projets de construction, 8ème édition, *Dunod*, Paris.
- [Oumeziane et al. 2004a] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. An adapted software environment for building design and manufacturing, using model approach and actors interoperability, *Proceeding of IDMME conference*, Bath.
- [Oumeziane et al. 2004b] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. Systemic approach for building design modelling, *Proceeding of the 3rd International Workshop on Construction Information Technology in Education*, Istanbul, Turkey.
- [Oumeziane et al. 2004c] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. Product definition in collaborative building design and manufacturing environment, *Proceeding of the European Conference on Product and Process Modelling*, Istanbul, Turkey.
- [Oumeziane et al. 2004d] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. Modelling beyond informational fractionation for exchange normalisation in the building design process, *Proceeding of the Building for a European Future conference*, Maastricht, Holland.
- [Oumeziane et al. 2004e] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. An information system for the building design technical process the building design process, *Proceeding of the Building for a European Future conference*, Maastricht, Holland.
- [Oumeziane et al. 2005a] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. Formalisation du produit architectural en processus de conception : vers une démarche intégrée, *6ème Congrès International de génie Industriel*, France.
- [Oumeziane et al. 2005b] H. Oumeziane, P. Deshayes, J-C. Bocquet. A standard design process for the building sector, *Proceeding of the International Conference on Engineering Design ICED2005*, Melbourne.

- [Owl 2004] Owl. web ontology language reference, <http://www.w3.org/TR/2004//REC-owl-ref-2004210/>
- [Perron 2002] S. Perron. Analyse et synthèse des contraintes et des coûts d'exploitation et de maintenance du Hall d'Expérience de la Ligne d'Intégration du Laser-Mégajoule, *Thèse de doctorat*, Ecole Centrale Paris.
- [Pheng et al. 2005] L.S. Pheng et S.H. Hong. Strategic quality management for the construction industry, *The TQM Magazine*, Vol.7, 35-53.
- [Piaget 1968] Piaget. Le structuralisme, *Que sais-je ?* Presse Universitaire de France.
- [Prost 1995] R. Prost. Concevoir, Inventer, Créer, *l'Harmattan*, Collection villes et entreprises, Paris.
- [Poyet 1997] P. Poyet. Les classes d'objets IFCs : Mode d'emploi, *Cahier du CSTB*, Paris.
- [Quintrand et al. 1985] P. Quintrand, J. Aufrant, M. Florenzano, M. Frégier et J. Zoller. La conception Assisté par Ordinateur en architecture, *Traité des Nouvelles Technologies, Série Assistance par ordinateur XAO*, Edition Hermès, Paris.
- [Recueil du séminaire 26 février 2003] Management de la qualité dans la construction, *Ecole Centrale Paris*, www.seminaire26fevrier.com
- [Ricquès 1998] Ricquès. Structure et fonction, *Article de l'Encyclopedia Universalis*, édition électronique version 4.0.
- [Roques 2004] P. Roques, UML par la pratique : Etudes de cas et exercices corrigés, 2e édition, *Eyrolles*, Paris.
- [Sahnouni 1999] Y. Sahnouni. Modèles et échanges de données informatiques appliquées à la conception technique dans le bâtiment, *Thèse de doctorat en sciences pour l'architecture*, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [Schapke et al. 2002] Schapke, Menzel et Scherer. Towards organisational memory systems in the construction industry, *eSM@RT and CISEMIC Conference*.
- [Scoffier 1994] R. Scoffier. Entretien avec Portzamparc, Hauvette et Tschumi, dans *CONCEVOIR* ouvrage collectif, sous la direction de Jacques Sauterau, Collection les cahiers de la recherche architecturale, *Editions parenthèses*, France.
- [Segers et al. 2001] Segers, Nicole, Vries, Bauke, Achten, Henri et Timmermans, Harry. Towards computer-aided support of associative

reasoning in the early phase of architectural design, *Proceeding of the CAADRRIA2001 conference*.

- **[SIGMA 1995]** Modélisation des données du bâtiment, compte-rendu du GE4, AFNOR, Paris.
- **[Simon 1969]** H. Simon, Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel, *Dunod*, Paris. Traduction française de J.L. Le Moigne de : The sciences of the artificial, *MIT Press*, Cambridge.
- **[Simon 1984]** H. A. Simon. The Structure of Ill-Structured Problems, *N. Cross editions*, Developments in Design Methodology, Chichester, Wiley.
- **[Stouffs 2004]** Stouffs. Metadata as a means for correspondence on digital media, *Information technology in Construction review*.
- **[Tunçer 2002]** Tunçer. A toolkit for modelling architectural analyses in a design studio context, In D. Rebolj, Construction Information technology in Education, 59- 64, *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, Rotterdam, Netherlands.
- **[Visser 2002]** W. Visser. Conception individuelle et collective, Approche de l'ergonomie cognitive, *Mardaga*, Paris.
- **[Visser et Hoc 1990]** W. Visser, J. M. Hoc. Expert software design strategies, in J. M. Hoc, T. Green, R. Samurçay, D. Gilmore, psychology of programming, 235-250, Academic press, London.
- **[Wiener 1948]** N. Wiener. Cybernetics or control and communication in the animal and the machine, 2nd Edition, *MIT Press*, Cambridge, MA.
- **[Wix et Katranuschkov 2002]** J. Wix, P. Katranuschkov. Defining the matrix of communication Processes in the AEC/FM industry: Current developments and gap analysis. *Proceeding of the CIB W78 Workshop*. Aarhus, Denmark.
- **[Zhang et Tiong 2003]** Zhang and Tiong. Integrated electronic commerce model of the construction industry, *the ASCE Journal of Construction Engineering*.