UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Institut
National
Polytechnique
De Lorraine

Ecole Doctorale IAE M Lorraine

Assistance à la conception coopérative fondée sur la sémantique des ouvrages

Application au domaine du bois

THESE

pour l'obtention du

Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine

Discipline : Sciences de l'architecture

Formation doctorale : Informatique

Présentée et soutenue publiquement

par

Mohamed Bouattour

le 18 Octobre 2005

Directeur de Thèse :

M Pascal Triboulot

Ingénieur ENIM, Professeur des universités – Directeur de l'ENSTIB (Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois)

Composition du jury :

Rapporteurs :	
M François Guena	Architecte D.E.S.A. - Professeur à l'école d'architecture de Paris La Villettes.
M Eric Dubois	Professeur de l'université de Namur - Belgique, Directeur de CITI (Centre for IT Innovation- Henri Tudor) - Luxembourg.
Examinateurs :	
M Jean Claude Bignon	Architecte DPLG, Professeur à l'école d'architecture de Nancy. (co-directeur)
M Gilles Halin	Maître de conférence en Informatique à l'université de Nancy 2.
M Bernard Ferries	Ingénieur, Gérant de la Société Laurenti, Coordinateur de l'IAI 'International Alliance for Interroperability' France.

Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie – UMR MAP 694 – Ecole d'Architecture de Nancy

Remerciements

Tout d'abord, je présente tous mes remerciements (et plus) à Julie et à mes parents pour leur soutien et leur patience au cours de ces quatre années de travail.

Je tiens à remercier M. François Guena et M. Eric Dubois pour avoir participé à ce travail en qualité de rapporteurs. Merci à M Bernard Ferries de m'avoir aidé à rassembler certains documents, d'avoir accepter examiner ma thèse et de participer à mon jury.

Je souhaite remercier également les personnes qui ont participé à ce travail de recherche par leur aide et les enseignements qu'ils ont su m'apporter, en particulier :

- M. Pascal Triboulot, mon directeur de thèse, sans qui cette thèse n'aurait pas démarré, ni abouti ;
- M. Jean Claude Bignon, mon co-directeur de thèse, qui n'a cessé de m'encadrer, et de m'éclairer par ses conseils et son savoir ;
- M. Gilles Halin pour le regard avisé qu'il a porté sur mon travail.

Un grand merci aux architectes et professionnels que j'ai eu l'occasion de côtoyer au cours de cette thèse, parmi lesquels : V. Lemarquis, F. Lausecker, J. Anglade, B. Reitz, G. Duchanois, B. Benoit, au contact desquels j'ai pu trouver un terrain d'expérience privilégié.

Merci aux personnes que j'ai côtoyées dans l'équipe MédiaConstruct, et à l'IAI France, et qui m'ont aidé à avancer techniquement, scientifiquement et intellectuellement.

Merci à Julien Lemale (stagiaire informaticien) pour l'aide déterminante qu'il m'a apporté lors du développement informatique de l'interface présentée dans cette thèse. Je lui souhaite beaucoup de réussite dans ses activités futures. Je remercie également Jérôme Thibaut (étudiant DEA) avec qui j'ai 'parcouru des montagnes' (dans les Vosges) pour réaliser nos questionnaires.

Merci également aux membres du MAP-CRAI et de l'EAN, Alain, Sabrina, Sylvain, Damien, Vincent, Daniel, Eric et tous les autres avec qui j'ai eu le plaisir de travailler durant ces années.

Je remercie enfin le Centre National de la Recherche Scientifique, l'UMR Modélisation pour l'Architecture et le Paysage, son directeur, M Michel Florenzano, le Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, son directeur, M Jean Pierre Perrin, l'ENSTIB (Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois) et le Conseil Régional de Lorraine pour le soutien matériel qu'ils ont apporté à mes travaux.

Nancy, le 31 Aout 2005

Sommaire

Remerciements----------03
Sommaire----------05
Introduction----------07

Première partie : Activités coopératives, contexte de la construction en bois et expression des besoins ----------13

Chapitre 1
Le projet de conception de bâtiment et le contexte de la construction en bois--15

1.1 Le projet, une notion structurante dans le domaine du bâtiment----------17
1.2 La conception architecturale, une phase spécifique dans le domaine du bâtiment-----22
1.3 La conception dans le domaine du bois : une activité coopérative exigeante----------28
1.4 Identification des acteurs du domaine du bâtiment----------35
1.5 Les contraintes et les problématiques inhérentes à la conception et à la coopération dans le domaine du bâtiment----------41
Conclusion partielle ----------47

Chapitre 2
Le travail collectif : approche sociale et développement de systèmes coopératifs d'aide à la conception----------49

2.1 Coordination, Collaboration et Coopération----------50
2.2 Activité de groupe et relations sociales ----------58
2.3 Analyse des outils du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) ----------66
2.4 Expérimentation de systèmes coopératifs dans une situation de conception coopérative ---------- 77
Conclusion partielle----------81

Chapitre 3
La coopération dans le domaine du bâtiment, notamment dans le domaine du bois, comparaison avec les secteurs automobile et aéronautique----------83

3.1 La coopération dans le secteur du bâtiment----------84
3.2 Identification des pratiques réelles de la coopération dans le domaine de la construction en bois ----------93
3.3 La co-production dans les secteurs automobile et aéronautique----------99
3.4 Etude comparative de la coopération dans les secteurs du bâtiment, de l'automobile et de l'aéronautique ---------- 110
Conclusion partielle----------115

Chapitre 4
La maquette numérique et le modèle IFC----------117

4.1 Les objets sémantiques et la notion de maquette numérique----------118
4.2 Le modèle IFC----------123
4.3 Les outils actuels utilisant la maquette numérique IFC----------135
4.4 De la maquette au projet numérique----------137
Conclusion partielle ----------139

Deuxième partie : Spécification d'un modèle utilisant la sémantique des ouvrages et mise en place d'un système coopératif ----------141

Chapitre 5
De la modélisation conceptuelle des ouvrages au Projet Virtuel Coopératif---143

5.1 La modélisation du contexte du projet de bâtiment----------144
5.2 Le 'méta-modèle' de coopération----------147
5.3 Le Projet Virtuel Coopératif ----------150
Conclusion partielle ---------- 173

Chapitre 6
Conception et expérimentation d'une interface contextuelle d'un système coopératif orienté 'ouvrage' ----------175

6.1 Mise en place d'une visualisation interactive pour le projet virtuel coopératif--------176
6.2 Evolution de Bat'Map---------- 180
6.3 La mise en œuvre de Bat'Map V4----------182
6.4 Confrontation de Bat'Map avec le domaine de la conception coopérative ----------202
6.5 Validation de Bat'Map V4----------212
Conclusion partielle ---------- 216

Conclusion générale----------219

Liste des références bibliographiques----------223

Table des matières---------- 241

Liste des illustrations----------245

Liste des tableaux---------- 247

Introduction

Le secteur du bâtiment est, depuis très longtemps, une production fortement collective. De la conception à la maintenance en passant par la construction, le bâtiment est un cadre d'activité où agissent de nombreux intervenants. Ces derniers, loin d'être de simples acteurs indépendants, entretiennent des relations constantes, ce qui donne à ce secteur non seulement sa dimension collective mais également sa dimension collaborative.

Plus spécifiquement, la phase de conception d'un bâtiment qui constitue le cadre général de réflexion de notre travail, est à elle seule le fruit du travail collectif de tout un système d'acteurs désignés sous le terme général de maîtrise d'oeuvre. La complexité d'un bâtiment, les responsabilités qu'il induit comme la diversité des expertises mises en œuvre, sont autant de paramètres qui invitent à une distribution coordonnée des tâches. Les points de vue nombreux sont souvent partagés par les acteurs, et les décisions sur les divers aspects du projet sont soumises à l'approbation collective.

Loin de remettre en cause cette situation, l'évolution actuelle du secteur du bâtiment ne fait que renforcer cette tendance. L'émergence de nouveaux acteurs (assistants à la maîtrise d'ouvrage, conseillers environnementaux, coordinateurs SPS[1], etc.) liée à une demande croissante de qualité, comme l'exacerbation de la concurrence ou la diminution des temps de production, ne peuvent que renforcer la nécessité de mieux gérer la coopération entre les différents acteurs et imposent de repenser de manière significative les démarches d'un projet.

Dans ce vaste ensemble du secteur du bâtiment, nous nous sommes intéressé plus particulièrement au domaine de l'architecture conçue et construite avec le bois. Nous verrons que le renouveau de cette technique en France et la place particulière qu'elle occupe en Lorraine justifient pleinement notre intérêt pour ce domaine. Les techniques de construction en bois présentent en effet cette particularité de nécessiter le développement d'une ingénierie fortement coopérative afin que les singularités du matériau soient prises en compte dès l'amont de la conception. De nombreux acteurs de cette filière s'accordent pour

[1] Sécurité, Protection de la Santé

reconnaître que le bois nécessite une approche maîtrisée dans le cadre d'une coopération concertée. Les acteurs du domaine du bois doivent donc oeuvrer de façon à intégrer le plus en amont possible dans la conception les contraintes qui interviendront en aval afin de proposer des solutions performantes qui répondent aux attentes contemporaines en terme de confort, de sécurité et de fiabilité. Leurs interventions doivent être compatibles, complémentaires et coordonnées.

Dans un tel environnement, le travail coopératif assisté par ordinateur « TCAO » apparaît comme un enjeu fort pouvant potentiellement contribuer à apporter des éléments de réponses aux défis évoqués. Il faut pourtant convenir qu'une telle approche reste aujourd'hui encore bien étrangère aux principaux acteurs du bâtiment. Et il faut bien constater la faible acceptation par leurs utilisateurs potentiels des outils comme les collecticiels, les systèmes de gestion de flux et de projets ou même l'idée de maquette numérique partagée. Plusieurs hypothèses sont avancées pour tenter d'expliquer cette situation comme le présumé archaïsme du secteur du bâtiment. Outre qu'elles ne sont pas véritablement fondées, ces explications ont pour effet de ne pas encourager la recherche de solutions innovantes. JC Bignon (2004) avance pour sa part une autre hypothèse qui nous paraît de nature à davantage inviter les professionnels du bâtiment comme les chercheurs à aller de l'avant [Bignon 2004] : « Si nombre de tentatives d'importations d'outils des secteurs de l'industrie manufacturière n'ont pas atteint les effets escomptés, c'est largement parce que ces outils restent peu adaptés aux besoins spécifiques et aux besoins collectifs des différents acteurs du bâtiment ».

Si l'on veut aujourd'hui que les outils de TCAO permettent une amélioration de la conception coopérative, ils doivent donc prendre en compte les formes spécifiques de la coopération des acteurs et s'adapter à l'organisation du travail dans le bâtiment.

La plupart des avancées dans le domaine de recherche du TCAO ont été fondées sur des résultats empiriques obtenus grâce à des interactions entre des informaticiens, des chercheurs en sciences humaines et des professionnels [Bourguin 2000]. Cette démarche pluridisciplinaire, s'intéressant de plus en plus à l'utilisateur final ainsi qu'à son contexte de travail, a permis de mettre en exergue les problèmes fondamentaux posés par les besoins de l'utilisateur émergeant au cours de l'activité de travail coopératif.

C'est l'objet de notre recherche que de tenter de comprendre les fondements du travail coopératif et de l'activité de conception de bâtiments, de manière à pouvoir les modéliser, et ainsi développer un outil informatique prenant en compte les particularités de ce secteur.

L'apport de notre proposition va ainsi consister à :

- mettre en concordance le projet de bâtiment avec le cadre général des théories sociales sur le travail coopératif ;
- distinguer les spécificités du travail coopératif dans un domaine tel que celui de la construction en bois ;
- établir une analogie avec l'utilisation des maquettes numériques dans les secteurs industriels précurseurs ;
- en déduire un modèle de coopération reposant sur la sémantique des ouvrages, capable de décrire les situations interactives de conception ;
- instancier ce modèle dans un outil habilité à assister les concepteurs dans leur travail coopératif.

Contexte de l'étude

Cette thèse a été effectuée dans le cadre du projet CoCAO[2] (un environnement logiciel coopératif pour les acteurs de l'architecture et du BTP) mené dans le laboratoire MAP-CRAI. Le projet CoCAO a pour but d'analyser les pratiques de coopération lors de la conception d'un projet architectural, puis de spécifier et développer des outils et des environnements logiciels principalement destinés à assister l'activité coopérative.

Ce travail de thèse se place dans la continuité de trois travaux de thèse :

- Le premier travail (1995-2000), mené par Y. Sahnouni, a consisté à conduire une réflexion sur la modélisation des données du bâtiment pour le développement d'outils informatiques d'assistance à la conception technique. Ce travail a permis de spécifier un modèle nommé 'arTec'.
- Le deuxième travail (1998-2002), mené par O. Malcurat, s'est également inscrit dans le processus de conception d'un projet architectural et a consisté à analyser les pratiques de coopération, puis à spécifier et développer un collecticiel à l'usage des acteurs du projet. Cet outil est principalement destiné à assister ces derniers dans les activités coopératives de création de documents.
- Le troisième travail (2000-2003), mené par D. Hanser, a consisté à mettre en relation trois concepts (les acteurs, les activités et les documents) afin de proposer un modèle de coopération capable d'exprimer, dans un formalisme standardisé, les situations d'interaction rencontrées au cours du travail coopératif des concepteurs.

[2] Le projet CoCAO a démarré en 1998. Il est réalisé en partenariat avec l'équipe ECOO (Environnements pour la COOpération) du LORIA (Laboratoire Lorrain de Recherche en informatique et ses Applications)

Mon travail fait suite plus particulièrement à celui de D. Hanser (2003) et vise à approfondir la recherche sur l'assistance à la conception coopérative au moyen d'un quatrième concept : les 'objets' du bâtiment (ouvrages ou espaces). En effet, dans les travaux de D. Hanser, l'étude des échanges aux moyens de documents a montré certaines limites quant à la gestion des informations relatives au bâtiment, la dispersion de données sur plusieurs documents et leurs représentations quelques fois inadéquates.

Le regroupement de ces informations échangées durant le processus de conception de bâtiments, et plus précisément la structuration sémantique des données relatives aux 'objets' du bâtiment dans des maquettes numériques, sont certainement des pistes à suivre pour faciliter le travail coopératif et offrir aux acteurs une représentation complète du contexte du projet de bâtiment.

La démarche que nous avons suivie a été la suivante :

- Nous avons commencé par analyser l'activité de conception coopérative dans le domaine du bâtiment. Aujourd'hui, il est 'trivial' d'énoncer que la conception est une activité complexe et difficile [Forest 1999]. Cette complexité résulte de plusieurs problèmes liés au travail collectif de concepteurs appartenant à des structures hétérogènes et de cultures très diverses, ainsi qu'au contexte même de la coopération dans le domaine du bâtiment (éphèmérité des équipes, difficultés d'échanges des informations du projet, décentralisation des décisions…).
- Nous nous sommes ensuite intéressés au contexte de déroulement de cette activité dans :
    - le domaine de la construction en bois, parce que cet environnement est propice à une telle étude. En effet, la conception dans les filières sèches exige une coopération efficace et un relationnel fort entre les concepteurs [Water 1997] ;
    - les secteurs industriels de l'automobile et de l'aéronautique, où la conception coopérative est assistée grâce à l'utilisation de maquettes numériques.
- Enfin, nous avons œuvré à mettre en place un modèle tenant compte des observations constatées et des besoins exprimés afin de le transposer dans un outil informatique permettant aux concepteurs de répartir leurs actions et de partager l'ensemble des connaissances liées au projet.

Nous limiterons notre étude à la phase de conception afin de nous concentrer sur la coopération qui, dans cette étape, est riche en échanges de données et activités de coordination, et ce spécifiquement en utilisant la notion de maquette numérique. Nous faisons l'hypothèse que les classes des objets IFC (créées par l'IAI 'International Alliance for Interoperability' dans le but d'harmoniser et de normaliser les échanges de données du

domaine du bâtiment) sont actuellement les plus abouties pour constituer les briques de base de la réalisation de maquettes numériques dans le domaine du bâtiment. Ceci n'exclue pas la mise en question de leur validité.

Plan de ce mémoire

En parcourant cette étude, le lecteur pourra découvrir les parties qui structurent notre proposition. La première, constituée des chapitres un à quatre, a pour objectif de caractériser les activités coopératives en théorie, dans le domaine du bâtiment, spécifiquement dans le domaine de la construction en bois, et de formuler les besoins relatifs à la conception basée sur l'utilisation de la maquette numérique.

- Le chapitre un présente le projet comme une notion structurante dans le domaine du bâtiment. Ce chapitre rend compte également des différents acteurs intervenant conjointement dans un projet et énonce les contraintes et les problématiques inhérentes à la conception et la coopération dans le domaine du bâtiment.
- Le chapitre deux est consacré, dans un premier temps, à la présentation des théories qui nous serviront de base pour comprendre les modes d'interaction dans une activité de groupe. Dans un deuxième et troisième temps, ce chapitre expose une analyse des outils du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur et l'expérimentation de certains d'entre eux dans une situation de conception coopérative.
- Le chapitre trois poursuit l'analyse de l'activité coopérative dans le domaine du bâtiment, en identifiant des pratiques réelles de conception dans le domaine de la construction en bois. La co-production est ensuite étudiée dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, afin de réaliser une étude comparative de la coopération entre le bâtiment et ces secteurs 'leaders' de l'industrie, et ainsi mettre en évidence l'utilisation des maquettes numériques.
- Le chapitre quatre a pour objectif d'approfondir la notion de maquette numérique et les divers travaux de recherche portant sur la modélisation des données du bâtiment en format d'objets. Nous nous sommes intéressés en particulier aux travaux de normalisation de l'IAI et à l'étude du modèle IFC vis-à-vis de la structuration de l'activité coopérative. Cette partie s'achève par une expression des besoins.

La seconde partie de ce mémoire concerne la définition de modèles dédiés à la conception coopérative et la mise en place d'une interface pour un système coopératif. Il se compose de deux chapitres :

- Dans le chapitre cinq, nous formalisons les concepts définis auparavant, à travers la modélisation du contexte du projet de bâtiment, au moyen de la construction d'un 'méta-modèle' de coopération, et la définition d'un Projet Virtuel Coopératif fondé sur l'utilisation de la sémantique des 'objets' du bâtiment.

- Dans le chapitre six, nous utilisons les modèles définis pour mettre en oeuvre une interface d'un système coopératif dédié à la représentation du contexte coopératif de bâtiment. Ensuite, nous nous intéressons à sa validation, à travers des scénariis et des projets expérimentaux de conception coopérative de bâtiments en bois.

Pour terminer, nous concluons ce document en esquissant les perspectives possibles qu'il pourrait être intéressant de conduire pour la poursuite de ce travail.

Le travail présenté dans cette thèse est orienté sur l'utilisation de la sémantique des ouvrages dans le bâtiment afin de mieux adapter des systèmes coopératifs. Nous ne prétendons pas résoudre tous les problèmes liés au Travail Coopératif Assisté par Ordinateur. L'apport de cette recherche est de poursuivre et de faire avancer les travaux entrepris au MAP-CRAI depuis quelques années en proposant un modèle de coopération intégrant le concept des 'objets' du bâtiment et l'utilisation des maquettes numériques. Les études que nous avons menées au cours de ces années de recherches ont permis de mettre en oeuvre une interface intégrant les concepts proposés par D. Hanser et moi-même, offrant une vision alternative du contexte de conception du projet de bâtiment, notamment dans le domaine du bois.

Première partie :

Activités coopératives, contexte de la construction en bois et expression des besoins

Chapitre 1

Le projet de conception de bâtiment et le contexte de la construction en bois

Le façonnement d'un espace d'habitation a de tout temps fait partie des activités humaines nécessaires à l'existence de l'Homme, ainsi qu'à son développement. Les traces des constructions les plus anciennes représentent un héritage riche d'enseignement quant à l'émergence de la vie communautaire des premières civilisations. Parallèlement aux techniques, l'Homme a fait évoluer son cadre de vie. La voie de l'urbanisation, ainsi que la construction d'espaces et d'édifices particuliers, favorisent une organisation sociale qui se complexifie à travers, notamment, l'établissement d'une société politique, d'institution et de moments de vie publique.

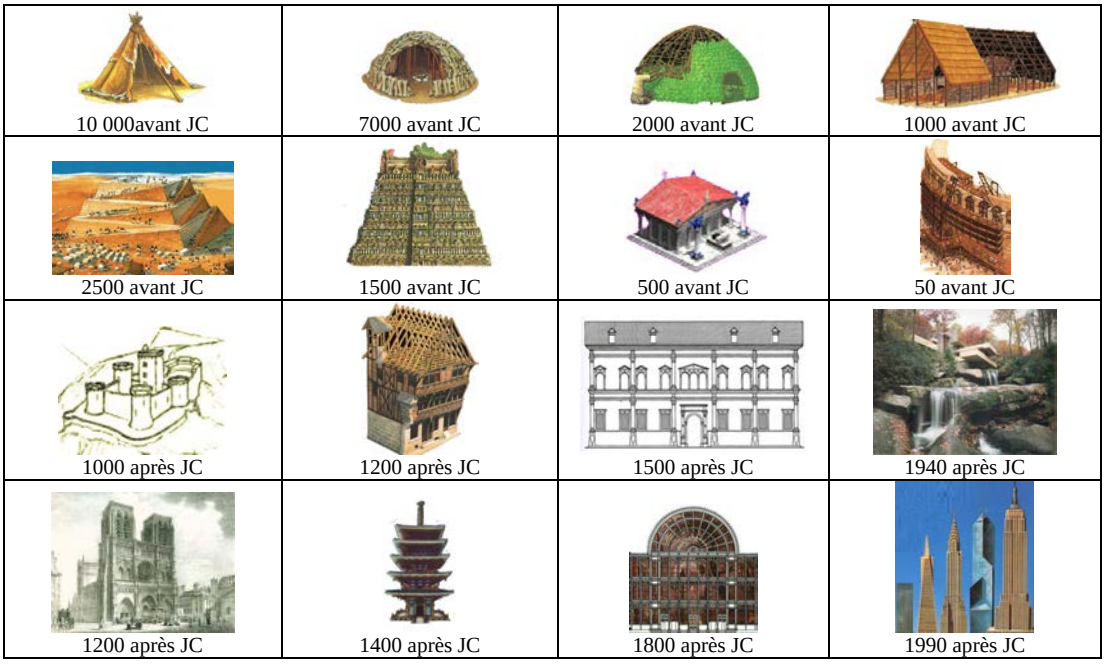
En effet, depuis les temps les plus reculés, l'Homme a su, et avec peu de moyens, utiliser un éventail de matériaux (boue, fougères, glace, peaux) pour dompter puis construire des espaces qui le protègent du froid, de la chaleur, des prédateurs. Avec le développement des méthodes de construction et l'utilisation de nouveaux matériaux, les cabanes ont fait place à des constructions plus pérennes. Aux IVème et IIIème millénaire avant JC, tandis que la maison rurale, faite de boue, de roseaux et de paille, est vouée à une détérioration rapide, l'édification du temple, du palais et de la maison 'urbaine' exige l'utilisation de matériaux plus durables [D'alfonso et Samsa 1995]. Avec l'essor de la brique, la construction devient une activité spécialisée et la production de ces matériaux une affaire d'Etat (voir figure 1).

Avec la terre et la pierre, le bois représente l'un des plus vieux matériaux de construction. En Europe, les premières fermes assemblées aux alentours du Xème siècle, puis le développement des structures à colombages, marquent les débuts du patrimoine rural bâti qui, jusqu'au XXème siècle, caractérise l'Europe forestière. L'utilisation du bois se répand progressivement, recouvrant aujourd'hui encore une large gamme de constructions, bâtiments publiques comme civils, culturels, agricoles et industriels, ou encore ouvrages

d'art. Le bois est également le matériau à l'origine du génie maritime, de l'aéronautique, de la mécanique, etc.

L'ère industrielle a révolutionné les modes de construction en apportant de nouveaux matériaux tels que le béton, l'acier, l'aluminium. Après avoir laissé place à ces nouveaux matériaux (qui ont dépassé sa portée et sa rigidité) le bois a, ces dernières décennies, été l'objet d'une redécouverte, ses propriétés et ses qualités constructives étant pertinentes. « Face à une évolution tant de l'offre forestière et industrielle que de la demande dans le domaine du bâtiment, le bois a été constamment réinventé » [Bignon 1999]. Ce matériau a effectivement emprunté de multiples chemins, passant par une utilisation sous la forme de nombreux produits dérivés, il est aujourd'hui mis en œuvre selon de nouveaux assemblages et de nouveaux concepts structuraux.

Ainsi, au fil du temps, les Hommes ont développé des techniques qui leur ont permis de réaliser des bâtiments de plus en plus complexes, et qui affirment, entre autres, l'évolution de la civilisation. Aujourd'hui l'Homme utilise une technologie développée et ne cesse d'inventer des matériaux et des méthodes constructives qui nécessitent une logistique pointue et innovante dans la gestion des nombreux acteurs intervenants dans la construction des bâtiments.



Figures 1- Aperçu de l'évolution de l'art de construire [D'alfonso et Samsa 1995]

Parallèlement aux matériaux, les méthodes constructives ont évolué et avec elles les processus de conception qui sont à la base de tout projet de bâtiment.

1.1 Le projet, une notion structurante dans le domaine du bâtiment

Par définition, le bâtiment désigne tout ouvrage édifié au-dessus du niveau du sol et ayant une fonction d'abri. Par extension de cette définition il désigne aussi l'ensemble des activités et des métiers[3] qui se consacrent à sa mise en œuvre à travers un projet. Aujourd'hui, il est convenu de dire que ces activités s'organisent suivant quatre étapes qui constituent le cycle de vie d'un bâtiment :

- la maîtrise d'ouvrage qui englobe la programmation et l'expression des objectifs ainsi que des enjeux légitimes ;
- la conception et l'ingénierie qui englobe la conception de l'ouvrage et la passation de marchés ;
- la construction qui englobe la réalisation de l'ouvrage ;
- l'exploitation qui englobe l'utilisation et la maintenance jusqu'à la démolition éventuelle du bâtiment.

La notion de projet est inhérente au domaine du bâtiment. L'activité de construction est d'ailleurs largement orientée 'projet'. A l'aide d'une organisation par phases et par tâches, le projet représente une unité structurante du cycle de vie des bâtiments.

1.1-1 Le concept de Projet

Le projet représente l'ensemble des actions à réaliser pour satisfaire un objectif défini, dans le cadre d'une mission précise, et pour la réalisation desquelles on a identifié non seulement un début, mais aussi une fin. Il s'agit donc de l'image d'une situation ou d'un état que l'acteur d'un projet pense atteindre. « Un projet se définit comme une action spécifique, nouvelle, qui structure méthodiquement et progressivement une réalité à venir pour laquelle on n'a pas encore d'équivalent exact » [AFITEP 2000]. Le concept de projet articule les diverses dimensions par lesquelles l'action est définie : le rapport entre pensée et action, le rapport entre fin et moyen, le rapport au sens et le rapport au temps. « Le projet est un concept difficile, qui comporte des oppositions mais rationalise l'action » [Boutinet 1990].

[3] Un métier est une notion identitaire complexe qui fait référence à un savoir-faire attribué à une organisation. « Ce savoir peut être de type relationnel ou d'évaluation » [Midler-a 1996]. Un métier se forge une unité et une identité autour de pratiques et de connaissances partagées.

Dans le domaine du bâtiment, le projet est un ensemble de processus qui se déploient de la formation d'une demande de nouveau bâtiment au démarrage de l'exploitation de celui-ci. Il est indissociable de trois notions :

- la notion d'action (concevoir, construire, œuvrer individuellement et collectivement). Plus particulièrement, le projet est lié empiriquement à l'action collective. D'après Brechet, « l'action collective ne peut se comprendre sans le recours au projet qui la fonde en tant qu'effort d'intelligibilité et de construction de l'action » [Brechet et Desreumaux 2004].
- la notion de procédé (diverses étapes dans le cycle de vie, diverses phases, une dimension intentionnelle et réaliste) ;
- la notion de contrainte (délais, articulation autour de règles urbaines, techniques, de sécurité, paysagères, problèmes à éviter).

H.A. Simon a travaillé sur la compréhension des processus cognitifs dans un projet, intervenant dans la formalisation de problèmes de la 'conception de solution'. Dans son modèle de 'compréhension et résolution' de problèmes, trois phases ont été identifiées [Newell et Simon 1976] :

- La phase d'intelligence : elle correspond à une étape de diagnostic de la situation, d'interprétation. C'est une phase de compréhension qui sert à analyser des besoins et à identifier des dysfonctionnements qui pourraient se manifester.
- La phase de conception de solutions : où les acteurs concernés élaborent des plans d'actions, qui visent à répondre aux besoins formulés au cours de la phase d'intelligence. Ces actions peuvent être prédéfinies (une méthode existe); dans le cas contraire il faudra les imaginer.
- La phase de sélection : au cours de cette phase, les acteurs du projet comparent les différentes alternatives élaborées lors de la conception afin de choisir parmi les faits de :
  - décider d'une action à mener après évaluation des conséquences des différentes actions envisagées ;
  - décider de s'informer à nouveau (aucune alternative ne satisfait, ou les critères d'évaluation sont insuffisants) ;
  - décider de rechercher d'autres solutions plus adéquates.

Ce processus proposé par H.A Simon part de l'évaluation des besoins, passant par la conception des solutions pour arriver à un résultat. Ce procédé peut être utilisé en boucle jusqu'à ce qu'il y ait satisfaction des alternatives envisagées.

Midler pense que la gestion de la convergence des activités dans un projet représente un enjeu important. En fait l'acteur, au début du projet, peut 'tout faire' mais 'ne sait rien'

(beaucoup de degrés de liberté); et à la fin du projet, il ‘sait tout’ mais a épuisé toutes ses capacités d'action [Midler-a 1996] (voir figure 2).

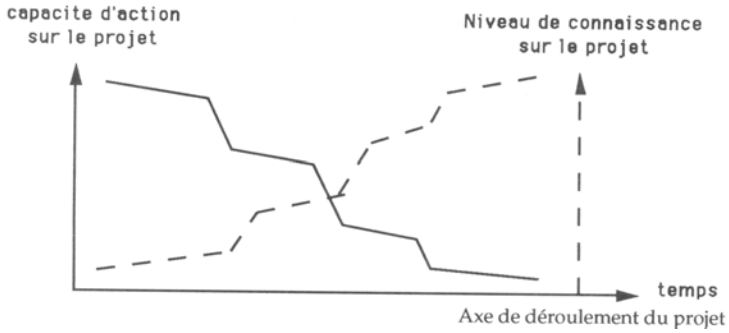


Figure 2- La dynamique de la situation de projet

Dans la figure n°2, la courbe en pointillés représente la connaissance qui s'accumule au fur et à mesure que le processus de ‘conception-production’ du projet progresse. Celle en trait plein représente les degrés de liberté disponibles, qui se réduisent à mesure que les choix sont faits. Ce modèle montre que ‘le processus de sélection’ de H.A Simon va converger vers des décisions d’action bien ciblées en même temps que le projet avance.
Dans le domaine du bâtiment, les projets sont souvent organisés suivant un ensemble de phases et de tâches à relever par les acteurs.

1.1-2 L’organisation des activités dans le projet de bâtiment : en phases et en tâches

L’organisation et la planification des activités du bâtiment consistent à établir des références pour le projet, en ce qui concerne son contenu et les processus à suivre durant le cycle de vie d’un bâtiment. Cette organisation varie selon la complexité technique et contractuelle du projet. Plus particulièrement, les phases et les tâches représentent des références propices au contrôle du projet de bâtiment. Ils participent à l’enchaînement des processus et des activités jusqu’à la concrétisation de l’idée fondatrice du projet.

a- Les phases dans un projet

D’après le Petit Robert une phase est définie comme « Chacun des états successifs d'une chose en évolution ». Le phasage permet de faire progresser le projet depuis le point initial, où il n’est qu’une idée plus ou moins vague, jusqu’au moment où l’ouvrage peut être utilisé. Ainsi dans une phase, on parle par exemple : de point de départ et d’arrivée, de progression, de périodes, d’épisodes, d’objectifs et de la notion d’état. Chaque projet passe par un certain nombre de phases successives, aux objectifs bien définis. A chaque phase

correspond un travail à effectuer, des décisions à prendre. De ce fait, un changement d'objectifs peut restructurer les phases d'un projet.

Dans le bâtiment, la loi MOP[4], relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, définit les obligations pour chaque type de missions des acteurs. Toutefois, elle catégorise les prestations à fournir suivant des phases détaillées et précises (voir tableau 1) :

Phase	**Les missions à relever**
EPR. Etudes Préliminaires	- Elaboration du programme, étude de faisabilité, etc.
ESQ. Etude d'Esquisse	- Analyse du programme - Définition d'un parti architectural - Elaboration de notices explicatives, descriptives
APS. Etude d'Avant Projet Sommaire	- Composition du plan volume - Elaboration de notices explicatives, descriptives, estimatives
APD. Etudes d'Avant Projet Détaillé	- Vérification du respect des diverses réglementations - Elaboration des plans cotés de l'ouvrage - Elaboration des notices explicatives, descriptives, de surfaces détaillées - Estimation définitive du coût prévisionnel des travaux - Dépôt du dossier de permis de construire
PRO. Etudes de Projet	- Elaboration d'un dossier de conception générale - Elaboration d'un dossier détaillé - Obtention du permis de construire. Le cas échéant complément
ACT. Assistance pour la passation des Contrats de Travaux	- Préparation de l'appel d'offres - Analyse des offres
EXE. Etudes d'Exécution et de Synthèse	- Etudes d'Exécution et de Synthèse pour les lots concernés
ECE. Examen de la conformité au projet des études d'exécution	- Vérification du respect des dispositions dressées par le maître d'oeuvre dans les documents établi par l'entrepreneur - Signature des ordres d'exécution des travaux
OPC. Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier	- Analyse des tâches élémentaires portant sur les études d'exécution, la détermination de leurs enchaînements par des documents graphiques, l'harmonisation des actions des différents intervenants dans le temps et dans l'espace
DET. Direction de l'Exécution des contrats de Travaux	- Direction de chantier - Vérification des comptes
AOR. Assistance aux Opérations de Réception	- Assistance au maître d'ouvrage pour la réception - Elaboration du dossier des ouvrages exécutés

Tableau 1– Les missions et les phases préconisées par la loi MOP

L'application du phasage défini précédemment peut ne pas être respectée lors de la réalisation de petits projets (construction d'un pavillon, d'un chalet ou d'une extension d'une maison). Néanmoins, dans le cas de projets complexes, le respect de ce phasage est préconisé (un hôtel, une clinique, une usine) et obligatoire dans le cas de bâtiments publics (un ouvrage d'art, un hôpital public, un hôtel de ville)

[4] Loi MOP: loi n° 85-704 du 12 juillet 1985. La loi MOP définit précisément douze éléments de missions de la maîtrise d'œuvre en fonction du type d'opérations (constructions neuves, réutilisation / réhabilitation, études spécifiques faisant appel aux entrepreneurs ou fournisseurs dès l'avant-projet). Il en dérive onze missions normalisées, depuis la mission de base (comportant sept ou huit éléments) jusqu'à des missions plus spécialisées ou complètes.

b- Les tâches

Les tâches sont des conduites commandées par des objectifs à atteindre s'inscrivant dans une phase d'étude ou de réalisation [Raby et Dessus 1998]. La mise en place des systèmes de tâches et leurs outils correspondants (pour partager l'information entre les divers intervenants) sont nécessaires pour faciliter le contrôle de l'avancement du projet. La planification d'une tâche requiert d'identifier son objectif, de connaître sa durée et de préciser les acteurs participants. Dans le domaine du bâtiment, les tâches peuvent être diversifiées, quelques fois répétitives, mais leur objectif reste difficile à anticiper vu le caractère aléatoire des actions des acteurs, la spécificité de chaque projet. Le nombre et la succession des tâches sont également difficiles à contrôler d'une activité à une autre.

Exemple : Un ingénieur, pour anticiper une difficulté technique qu'il a déjà rencontré dans un autre projet de conception, peut suggérer à l'architecte de mener un certain nombres de tâches, pour récolter des informations qui lui seront utiles (exemple : faire des assemblages spécifiques), ou pour économiser sur le budget financier (exemple : ajustement du bâtiment suivant une trame déterminée), etc.

Les tâches sont de plusieurs types (voir tableau 2) et utilisent différentes opérations (de communication, de notification, de synchronisation). Il existe également un certain ordre de priorités et de logiques lors de l'organisation des tâches à effectuer.

Types	Exemples de tâches
Coordination	Définition de la périodicité des réunions Répartition des ressources Assignation des rôles Définition des phases et des étapes de travail Consultation des rôles Signature des contrats
Synthèse	Certification et ordres de paiement Consolidation de versions concurrentes d'un document Validation d'une situation de travaux ou d'un document Vote (choix en groupe d'une solution)
Production	Manipulation d'objets en conception

Tableau 2- Exemples de types et de tâches dans un projet de bâtiment [Hanser 2003]

La gestion de l'évolution des tâches à travers les différentes phases du projet impose l'utilisation d'états intermédiaires. D. Hanser (2003) identifie quatre états relatifs aux tâches dans un contexte[5] de conception coopérative [Hanser 2003] : tâche en attente, tâche active, tâche validée et tâche posant problème (voir chapitre 5).

[5] Le contexte est un ensemble des circonstances dans lesquelles s'insère un fait. Scientifiquement, il représente tout ce qui contraint la résolution des problèmes sans intervenir dedans explicitement [Brézillon 2003].

1.2 La conception architecturale, une phase spécifique dans le domaine du bâtiment

Le cycle de vie d'un bâtiment commence à la naissance du projet à travers l'expression d'un besoin et des intentions du maître d'ouvrage. Ensuite, un processus de conception est conduit par les acteurs de la maîtrise d'œuvre afin de réaliser l'ouvrage. Ce cycle se prolonge, au-delà de l'usage et de l'exploitation, jusqu'à la phase de maintenance et de réhabilitation, voire de démolition du bâtiment.

Plus spécifiquement, la conception est une activité de coopération ouverte, difficile à cerner pour être assistée. Cependant, l'importance de déboucher sur un résultat idéal, adéquat et satisfaisant, fait que l'optimisation du processus de conception est l'un des vecteurs de progrès en terme de qualité de création, de réduction des coûts et de délais, etc.

1.2-1 Le processus de conception

D'une manière générale, le processus de conception d'un produit rassemble des actes de conception qui utilisent des ressources pour convertir des éléments d'entrée en éléments de sortie. Ces actes de conception sont des interactions d'un ou plusieurs concepteurs utilisant des connaissances, des ressources et produisant des artéfacts, des incertitudes, des temporalités et ceci dans un 'fond commun' (voir figure 3). « La conception est un processus d'argumentation dans lequel les concepteurs ne cherchent pas à prouver quelque chose, mais plutôt à créer un environnement pour dialoguer autour d'un concept » [Simon 1981]. Chaque concepteur est caractérisé par des compétences, possède des instruments qui lui sont propres, et exerce un métier particulier.

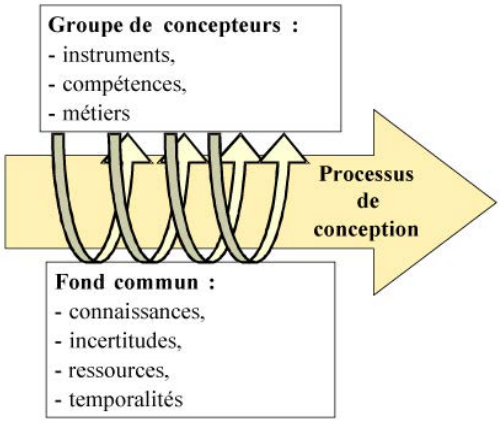


Figure 3- Les actes de conception [Blanco et al. 2001]

L'ensemble des actes de conception va faire avancer la conception, et de la même manière il va servir à enrichir le ‘fond commun’ (évolution des connaissances et des incertitudes, les compétences des concepteurs)
De la même manière, l’objet de la conception passe d’un mode de spécification de concept (description de ces buts, propriétés attendues) à un mode de description détaillée. Ce concept peut être matériel (pièce mécanique, maison) ou relatif à un dispositif symbolique (logiciels, base de connaissance). Ce concept doit aussi vérifier des lois du domaine concerné, des critères fonctionnels, des contraintes de fabrication, etc.

Les actes de conception peuvent être distingués suivant deux catégories [Idelmerfaa 2001] : ‘la demande et la production’, ou autrement dit ‘le problème et la solution’. Chaque concepteur effectue un type d’action (d’information, de formulation de solutions, d’évaluation, d’organisation, d’accord ou désaccord, de décision) portant sur un sujet particulier. Ainsi l'espace de conception regroupe à la fois la formulation des problématiques, et les propositions en vue de leur résolution. Toutefois, « La définition du problème et l'élaboration de la solution s'effectuent en interaction. Le problème ne préexiste pas à la solution: l'un et l'autre sont construits simultanément » [Darses et Falzon 1996].

La conception demeure une activité complexe associée à la notion de création. De Terssac et Friedberg distinguent deux visions concernant la conception :
- D’une part, la conception comme un processus qui relève du « faire humain ». C’est une activité inhérente à l'Homme. Une logique qui relève de la symbolique, du compromis et du raté. La conception consiste à passer par des étapes successives d’un espace conceptuel (virtuel) à un espace matériel (réel). Ce passage suit de nombreuses améliorations au cours du processus. En fait, l’idée de la conception est floue, toutes les idées ne déboucheront pas forcément, ou plutôt pas immédiatement sur une œuvre solvable. Concevoir un ouvrage, un produit ou un concept c’est ‘créer’, et ‘créer’ c’est oser faire exister ce qui n’existe pas. Et ce qui n’existe pas n’est pas toujours possible. Mais c’est un risque à prendre par les concepteurs [De Terssac et Friedberg 1996].
- D’autre part, la conception comme un processus et un ensemble de procédures et d’actes rationnels, ordonnés, logiques, normalisés et maîtrisés, voir automatisés. «C’est une conception ‘normative’ qui propose des approches systématiques pour obtenir un résultat optimum. Cette conception utilise les théories et les méthodologies pour faire profiter les concepteurs d’une connaissance fondamentale sur les entités et leur processus de conception » [Deshpande et al. 2004]. Ainsi, s’il n’existe pas de chemin prédéterminé vers la solution, il existe un certain nombre de procédures utiles et de méthodologies de conception. Le concepteur peut s'appuyer sur des projets similaires déjà traités ou sur des

prototypes existants, mais il lui faut à chaque fois engager les actions nécessaires au passage de la conception à la réalisation.

Ainsi, durant la phase de conception, le concepteur peut rencontrer un certain nombre de difficultés. N. Metta (1999) définit une typologie des problèmes rencontrés en établissant un parallèle entre le produit, le processus et le travail de groupe (voir figure 4).

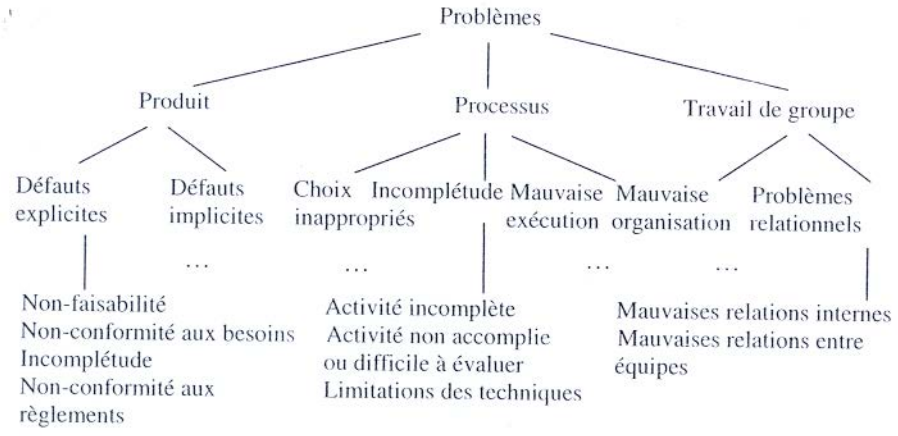


Figure 4- Typologie des problèmes de conception [Metta et al. 1999]

N. Metta démontre ici qu'un produit fini présentant un problème relève nécessairement des problèmes rencontrés au cours de son processus de conception, et donc des problèmes apparus au niveau du travail en groupe qui est, la plupart du temps, à la base de cet enchaînement d'actions.

1.2-2 La conception architecturale

D'une manière générale, la conception architecturale est une activité conceptuelle menée par des personnes 'hautement qualifiées' qui participent que très rarement à la réalisation de l'objet à concevoir [Darses et Falzon 1996]. Elle nécessite des savoirs multiples [Boudon 1997] (esthétiques, graphiques, techniques, juridiques, financiers), partagés avec et entre les différents acteurs. La conception architecturale est une activité créative qui consiste à élaborer un projet architectural à partir de besoins exprimés dans le but de réaliser un ouvrage architectural ou un bâtiment. La plupart des travaux de recherche sur la conception architecturale portent surtout sur les notions de transformations, de processus de formulation du problème, de processus de formulation de solutions, de concrétisation d'une solution conçue et enfin de transformation d'une solution existante [Prost 1992]. Ces processus de conception architecturaux ne sont pas invariables mais

dynamiques et la solution émergente est le résultat d'une démarche entre les registres de problèmes et les acteurs qui assurent la résolution.

Trois grands critères orientent la conception architecturale : la cohérence (valeur descriptive, exhaustivité des énoncés par exemple), la pertinence (rapport entre les solutions et les finalités auxquelles elles apportent des réponses par exemple) et l'efficience (capacité de concrétisation des énoncés par exemple). L'intention, dans ce cas, est de montrer que les problèmes de la conception architecturale mettent en jeu des rapports tels que les connaissances (théoriques et pratiques), les conventions (scientifiques et politiques) et les actions (imaginables et réalisables).

La situation d'un projet architectural est une situation de résolution de problèmes pour parvenir à un compromis apprécié selon plusieurs critères. L'architecte intervient sur plusieurs dimensions (voir tableau 3) et met en oeuvre divers champs de compétences [Lassère 2003] :

La variable foncière du projet, qui regroupe les questionnements relatifs sur le site : caractéristiques urbanistiques et réglementaires, etc.	
La variable d'usage et des fonctionnalités, qui définit l'ensemble des fonctions que doit remplir le bâtiment pour satisfaire le programme.	
La variable architecturale et technique de l'objet bâtiment, qui consiste à concevoir l'ouvrage et à spécifier toutes ses caractéristiques.	
La variable de la construction du bâtiment, qui porte sur le processus de sa réalisation dans son ensemble : par exemple la préfabrication, le montage, le processus d'interventions.	
La variable du financement de l'opération, dont la maîtrise consiste à connaître les frais du projet, les possibilités de ressources, le financement et les réglementations, ainsi que les démarches qui les accompagnent.	

La variable liée à la coordination des acteurs qui peut être prise en charge par un chef de projet ou par un autre acteur. Cependant l'architecte reste le plus qualifié pour assurer cette variable, vu sa vision globale sur le projet.	

Tableau 3- Les divers types de variables dans un projet de bâtiment

La variable concernant la coordination des concepteurs est liée étroitement au réseau relationnel des acteurs du projet architectural travaillant en groupe. Ce relationnel dépend de la bonne connaissance du rôle de chacun et de l'utilisation de procédés de régulation de l'activité de conception coopérative.

1.2-3 La conception coopérative

Dans la plupart des cas, compte tenu du nombre et de l'hétérogénéité des variables prises en compte, le processus de conception est conduit de manière collective. Les points de vue sont souvent partagés par plusieurs intervenants, et les décisions sur les divers aspects du projet sont soumises à l'approbation collective. « Le processus de conception n'est pas un acte solitaire. C'est une construction collective et progressive » [Martin 2001]. Les acteurs impliqués dans un processus de conception ne le sont pas tous de la même manière, ceci explique l'existence de plusieurs formes de conception coopérative. On en retiendra deux : la co-conception et la conception distribuée (voir figure 5).

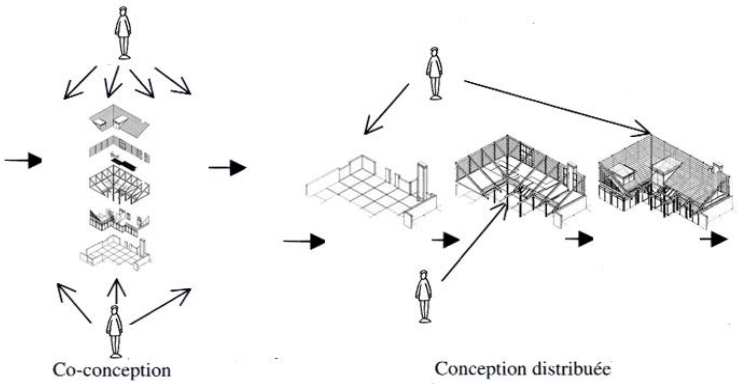


Figure 5- La co-conception et la conception distribuée

Ces deux situations peuvent être rencontrées au cours d'un même processus de conception, et peuvent également être successivement prises en charge par un même acteur :

- Dans le premier cas, les partenaires de la conception développent la solution conjointement: ils partagent un but identique et contribuent à son accession grâce à leurs

compétences spécifiques. La coopération est directe et la question est de savoir ‘comment faire ?’ Cette co-conception se manifeste par une activité partagée par plusieurs acteurs, « L'activité de co-conception peut être abordée comme un ensemble d'activités élémentaires de coopération qui permettent, dans des contextes différents, de passer d'un état donné de la conception à un nouvel état considéré comme plus avancé, c'est-à-dire plus proche des objectifs à atteindre » [Bignon et al. 1999].

Exemple : Sur les plateaux physiques synchrones (voir chapitre 3 de l’état de l’art), les concepteurs aéronautiques sont en mode de co-conception et évoluent ensemble vers une solution globale.

- Dans le second cas, celui de la conception distribuée, les acteurs de la conception qui sont simultanément (mais non conjointement) engagés dans le même processus de coopération accomplissent des tâches bien déterminées (les activités des bureaux d'études et des bureaux de méthodes, etc.), celles-ci ayant été allouées préalablement. La distribution des tâches et la planification de l'exécution du travail sont cruciales pour le bon déroulement des opérations.

La coordination des activités coopératives est une condition essentielle dans un processus de conception conduit d’une manière collective. « Toute conception d'un objet complexe, en quelque domaine que ce soit, rassemble une multitude d'acteurs. Ces acteurs sont autant de concepteurs partiels apportant leur propre point de vue sur le projet, et dont les objectifs, les responsabilités et les intérêts interagissent pour concourir à la réalisation du projet commun. Si les acteurs doivent se coordonner, c’est d’abord parce qu’ils travaillent sur des composants qui sont en interaction, des variables qui sont en interdépendance » [Jouini et al. 1996].

Dans le domaine du bâtiment, la loi MOP voit comme un facteur de complexité le nombre des acteurs de projets architecturaux. Cependant, elle ne fixe pas de conditions à leur coordination en phase de conception. D’après une enquête réalisée par le CSTB/PUCA, la compétence se dispute d’ailleurs pour ce qui concerne la coordination des acteurs entre les BET et les architectes [CSTB 2001].

Si, comme nous venons de le voir, le travail de groupe paraît être une donnée fondamentale dans le processus de conception, et notamment dans le domaine de l’architecture, un des exemples les plus probants pourrait être celui de la construction architecturale en bois. En effet, matériau particulièrement exigeant, le bois nécessite une approche maîtrisée dans le cadre d’une coopération concertée. Le sous chapitre suivant va vérifier cette hypothèse, et démontrer l’intérêt d’orienter nos recherches dans ce domaine en particulier.

1.3 La conception dans le domaine du bois : une activité coopérative exigeante

En Europe, la filière bois constitue aujourd'hui une activité très importante puisqu'elle représente :

- Plus de 3,5 millions d'emplois si l'on considère toutes les activités liées à l'exploitation et à la transformation du bois, ainsi que la production du papier, du carton, l'imprimerie, etc.
- Un chiffre d'affaires d'environ 75 milliards d'euros, rivalisant avec les USA et devançant le Japon (Recensement de la Communauté Européenne, 1995-2000)[6].

En France, la part du bois dans le marché de la construction reste encore marginale (9%), comparée à celles du métal (32%), de matériaux minéraux (35%), du pétrole et du caoutchouc (24%). Le secteur de la construction représente environ 65% de la production en bois. Le reste est réparti entre l'emballage et l'ameublement [Gauzin-Müller 1999]. La maison bois en France représente quant à elle environ 4,5% du marché de la construction des maisons individuelles (hors résidences légères de loisirs) [CNDB 2005]. Elle représente pourtant dans les autres pays : 20 % du marché hollandais, 20 % en Allemagne, 30 % en Autriche, 60 % du marché scandinave et 90 % du marché américain [Gauzin-Muller 2001]. Le décalage de la France par rapport à ces pays peut être expliqué par le fait que :

- La nature et les caractéristiques du matériau bois, ses technologies au niveau de sa transformation, de son façonnage et de sa mise en œuvre, induisent des procédures de conception et de construction particulières. « La réalisation d'un ouvrage en bois fait appel à des pratiques spécifiques » [Brossy et Fontan 1985]. Ceci peut engendrer d'une façon directe ou indirecte un prix de revient des bâtiments en bois, un peu plus cher que celles en maçonnerie (5800 F.F m2 pour les maisons) ou autres matériaux : (voir tableau 4)

Techniques de réalisation	**Marché des maisons individuelles**	**Prix en F.F par m2**
Ossatures panneaux	57 %	6400
Poteaux - Poutres	20 %	6600
Bois empilés	14 %	7300
Mixte	9 %	7000

Tableau 4- Prix des maisons bois suivant les techniques de réalisation [Benoit 2002]

- Le bois est un matériau 'vivant' qui implique un certain nombre de contraintes de stockage, de transport, de protection contre les insectes, etc.
- « La tradition de la construction en bois s'est perdue à la suite des guerres, les compagnons et leur savoir ayant disparu dans les tranchées » [Gardavaud 2004].

[6] http://europa.eu.int/index_fr.htm

Aujourd'hui, la France consacre de grands efforts pour la promotion du secteur du bois par la mise en place de 'plans de relance', et notamment l'adoption d'une politique de développement de l'utilisation du bois dans le domaine du bâtiment qui se traduit par :

- la concrétisation d'une image du bois innovante et dynamique, avec de nouvelles solutions techniques et des nouveaux produits ;
- l'intensification d'actions d'accompagnement des projets, de sensibilisation et de communication ;
- la gestion qualitative, quantitative et environnementale des forêts régionales ;
- un développement exemplaire et une dynamique de valorisation du matériau bois (la charte bois pour la construction et l'environnement[7], la route du bois du massif des Vosges[8] par exemple)
- le développement de partenariats avec des organismes de recherche et de développement ;
- la valorisation de la démarche HQE[9].

Grâce à ces mesures et ces nombreuses démarches, la construction en bois connaît aujourd'hui un 'renouveau technologique' mais aussi architectural. Cette redécouverte a en effet modernisé les modèles des systèmes constructifs existants, et a permis d'en créer de nouveaux.

Ainsi nous allons, dans le sous chapitre suivant, analyser brièvement ces systèmes constructifs afin de mettre en évidence les particularités propres à la technique de mise en œuvre de bâtiments en bois. Si cette technique est particulièrement rigoureuse et exigeante, une conception détaillée et un travail précis en amont seront nécessaires. Ceci va nous permettre de discerner les exigences de la conception coopérative dans la construction en bois, invitant les concepteurs et plus spécifiquement les architectes à maîtriser les solutions techniques, et à s'encadrer davantage des acteurs du domaine du bois.

1.3-1 Les exigences techniques de la construction en bois

La construction en bois s'organise autour de systèmes constructifs qui ont évolué suivant deux directions. La première tire ses origines de l'abri primitif, la hutte de

[7] Cette charte est établie entre les services de l'Etat et certains départements Français (1999). L'objectif est de mener une politique en faveur de l'environnement privilégiant le développement durable et la promotion de la qualité, etc.

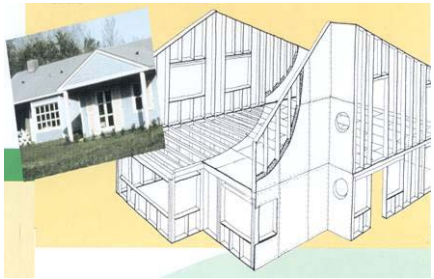
[8] La Route du Bois irrigue la totalité du massif des Vosges et recense, le long de son tracé, un ensemble de 'sites référence bois' qui sont classés par thématiques, du Nord au Sud du massif des Vosges (les sites et paysages, le patrimoine, les entreprises, la formation et les réalisations)

[9] Haute Qualité Environnementale : la qualité environnementale d'un bâtiment consiste à maîtriser les impacts du bâtiment sur l'environnement extérieur, et créer un environnement intérieur sain et confortable [HQE 2001]. Elle se décline en quatre thèmes qui sont l'éco-construction, l'éco-gestion du bâtiment, le confort et la santé.

branchages sommairement dressés ou liés, dans laquelle les structures sont parfaitement homogènes et la notion de mur n'intervient pas. La seconde est issue de la distinction de deux fonctions ‘couvrir et clore’. Le système comprend un comble charpenté qui reçoit la couverture, et des parois définissant le volume de l'édifice. Cette dissociation du mur et du comble amène à traiter isolément d’une part l’architecture de bois s’articulant principalement autour de trois types de structures (la construction à ossature bois, poteaux-poutres et en bois massif), et d’autre part la charpente en bois pouvant être portée par une architecture de pierre ou d’autres matériaux [Natterer et al. 1994] :

a- La construction à ossature bois, un système réglé au centimètre

La structure est composée d’un tramage régulier de pièces de bois verticales (les montants), et de pièces horizontales en partie haute, basse et médiane (les traverses et les entretoises). L’ensemble forme ainsi une ossature sur laquelle sont fixés planches ou panneaux composant les parois.



Ce système possède une grande flexibilité constructive. Il peut être fabriqué sur site ou préfabriqué industriellement en éléments standard ou sur mesure. Ce type de construction nécessite donc une grande rigueur et une grande précision. Les abords du chantier doivent être particulièrement soignés, et les éléments préfabriqués doivent répondre à une exigence de fabrication au centimètre près.

b- La construction poteaux – poutres, un système nécessitant une qualité des détails

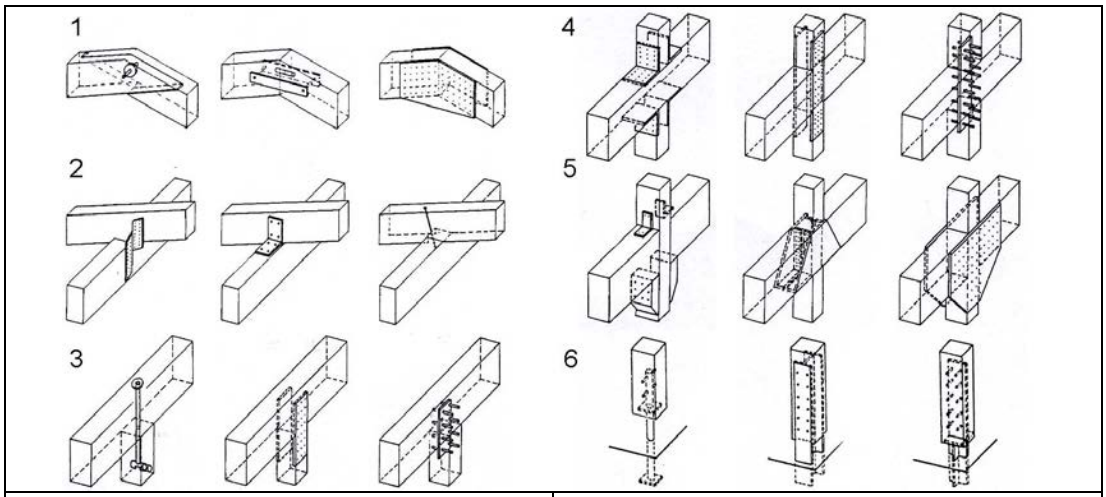
Le système poteau-poutre, présente une structure porteuse composée de poteaux et de poutres de fortes sections.

L’apparition des poutres en bois reconstituées (BLC, PSL, LVL, etc.)[10] qui sont caractérisées par une grande résistance à la flexion a permis d’augmenter la porté des portiques.

Ce type de structure réclame un examen attentif du mode de contreventement selon des plans longitudinaux, transversaux et en plan. La connaissance des détails d’assemblage

[10] PSL (Parallel Strand lumber) dimensions courantes : largeur 200 mm, hauteur 300 mm, longueur : jusqu’à 20.00 m
Lamibois LVL (laminated Veneer Lumber) dimensions courantes : largeur 25 à 75 mm, hauteur 1.80 m ou plus, longueur 18.00 m ou plus
BLC (Bois Lamellé-collé) dimensions courantes : largeur 60 à 240 mm, hauteur 100 à 600 mm, longueur jusqu’à 40.00 m

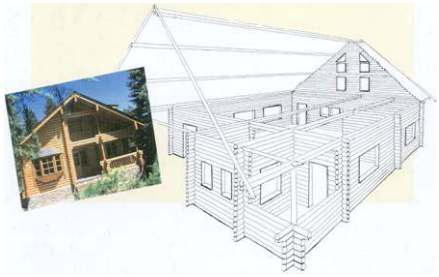
(voir figure 6) des éléments de structure est fondamentale pour obtenir une conception cohérente. C'est un système où les détails constructifs prennent une grande importance, et qui exige une ingénierie de production qualifiée.



1- Liaison entre arbalétriers en faîtage 2- Liaison entre panne sablière et arbalétrier 3- Liaison poutre sur poteau	4- Liaison poutre traversante entre poteaux 5- Liaison poteaux traversants entre poutres 6- Pieds de poteaux

Figure 6– Quelques techniques d'assemblages utilisés dans la construction en bois

c- La construction en bois massif / madriers empilés, un système nécessitant une anticipation de l'assemblage



La construction en bois empilé est un système très ancien. Les murs sont composés de rondins[11] (25 à 35 cm de diamètre), de madriers[12] calibrés, empilés et assemblés (assemblages d'angle à mi-bois, etc.). La construction peut être pré montée dans les entreprises fabricantes, les troncs sont alors percés verticalement pour recevoir les chevilles. La construction est alors démontée puis reconstruite sur le site définitif. Un tel procédé impose une attention particulière vis-à-vis de l'établissement préalable de l'ordre de montage et de démontage des différents éléments.

Nous n'approfondirons pas les contraintes et exigences techniques liées aux autres procédés plus au moins utilisés appartenant à cette famille de systèmes constructifs tels que les panneaux contrecollés[13], les éléments composites industrialisés de parois[14], etc.

[11] Un rondin est un tronc d'arbre dépouillé de son écorce employé sous sa forme naturelle ou peu modifiée.
[12] Les madriers sont des pièces de bois de section rectangulaire formant les parois par empilage.
[13] C'est une association par collage à plat de deux ou plusieurs lames de bois massifs dont les épaisseurs et sections unitaires ne sont pas réglementées par la norme NF EN 386 relative aux prescriptions de fabrication du lamellé collé.

d- Les charpentes bois

La charpente bois est constituée de nombreuses pièces de bois (aux fonctions et dimensions différentes) qui composent l'ossature porteuse et le contreventement d'un comble (pannes, chevrons, arbalétrier, etc.) Les charpentes doivent porter sans déformation les matériaux de couverture, et résister aux efforts et charges dus au vent et à la neige [SNCCBLC 1994]. Elles peuvent être classées suivant trois catégories (voir figure 7) :

- La charpente traditionnelle, constituée principalement d'éléments en bois massif et assemblée soit par profils complémentaires (embrèvements, tenons-mortaises, enfourchements, etc.), soit par moisement et tiges métalliques (pointes, boulons) ou organes spéciaux (crampons, anneaux). Elle est essentiellement caractérisée par ces assemblages à la réalisation délicate.
- La charpente industrielle constituée de planches en bois ou en dérivés, assemblées par l'intermédiaire de plaques métalliques (connecteurs) assemblées à la presse.
- La charpente en éléments lamellées collées (pour bâtiments et éventuellement ouvrages d'art) pouvant incorporer des éléments en bois massif ou d'autres constituants (poutres en I, tirants métalliques, etc.)

La charpente traditionnelle	La charpente industrielle	La charpente lamellée collée

Figure 7– Les divers types des charpentes en bois

1.3-2 Les exigences du processus de conception d'un bâtiment en bois

Quatre exigences émergent durant le processus de conception de bâtiments en bois, et doivent être maîtrisées par les concepteurs : la maîtrise des solutions techniques, la rigueur de la définition du projet, l'anticipation de l'organisation de chantier et la prise en compte des problèmes de maintenance.

[14] Ce sont des éléments structurels non traditionnels permettant de réaliser des parois : horizontales (plancher), verticales (murs), inclinées (toitures).

a- La maîtrise des solutions techniques

La construction en bois crée aujourd'hui une situation neuve pour nombre des intervenants de la filière bâtiment, qui est bien plus qu'une simple transformation technologique. Il existe un problème quant à la redéfinition des rôles propres de chacun des acteurs dans la filière, plus spécifiquement celui de l'architecte. En effet, ce dernier est invité à retrouver un nouveau rôle de concepteur maîtrisant les solutions technologiques dans le processus 'conception-construction'. « A priori, s'il y a un produit nouveau, le rôle de leader revient aux acteurs de la filière dont la fonction est la conception des produits, alors qu'en l'absence de renouvellement notable, il est exercé par ceux dont la fonction est organisationnelle ou commerciale » [Lochu 1983].

Dans la construction bois, les industriels jouent un rôle important. Cependant, leurs échanges avec les architectes dans la phase de conception restent limités. « A quelques exceptions près, il n'existe pas de traditions de travail conjoint entre les architectes et les industriels» [Bignon 1986]. En admettant que le projet d'une construction en bois fédère des entités fortement formalisées, l'architecte pourra modifier ses comportements de conception en coopérant avec les industriels. « Il faut que les architectes comprennent le monde industriel. Il ne s'agit pas qu'ils arrivent dans l'usine en disant « Voilà ce dont j'ai envie, essayez de me le fabriquer ». Il faut au contraire qu'ils aient l'humilité de comprendre l'outil industriel, de se mettre à son écoute, de saisir ce qu'il peut faire. Mais pour cela, il faut connaître son langage, ses possibilités et ses limites. Alors, ils pourront dire à l'industriel « voilà ce qu'on pourrait faire avec votre outil » » [Sarfati 1978]. Malheureusement, ce type de coopération n'est pas prescrit par la loi MOP, qui stipule le travail avec les entreprises seulement en phase aval du projet, après la passation des marchés.

b- La rigueur et la précision de la conception du projet

La construction en bois invite à plus d'exactitude. C'est une technique qui demande une mise en œuvre rigoureuse. Elle exige une certaine précision, car le rattrapage y est moins facile qu'en maçonnerie (avec la maçonnerie, on peut toujours rattraper un petit écart de dimension, mais ce n'est pas le cas du bois). Le matériau impose une grande précision, il faut donc que tout soit bien dessiné dans les plans d'architectes [Braghieri 2004]. « Le bois est un matériau exigeant, qui ne supporte pas les défauts de conception. Le comportement et la durée de vie de l'ouvrage en dépendent. Ainsi, il est absolument nécessaire de s'entourer de partenaires ayant la connaissance et l'expérience de ce matériau » [Calvi 1998]. Ces caractéristiques exigent des concepteurs une rigueur et une précision importantes dans le travail de conception « Il existe une nécessité de s'attarder sur la définition statique des ouvrages en bois » [Trancart 1997], d'où l'intérêt d'assister la

conception coopérative des nombreux détails d'assemblage, de juxtaposition et de montage des différents éléments en bois.

c- L'anticipation de l'organisation de chantier

D'une façon générale, on cherche, pour des raisons économiques, à raccourcir au maximum la durée du chantier afin de commencer au plus tôt à rentabiliser le bâtiment. Cela nécessite donc de la part du conducteur de chantier (architecte ou entreprise générale) de prévoir une organisation optimale du déroulement des différentes phases. Il faut anticiper afin de gérer au mieux la mise en oeuvre des moyens matériels et humains.

Dans le domaine de la construction en bois, depuis le processus de conception, l'architecte doit prendre en compte la rationalisation des opérations du chantier et doit penser à l'ordre du montage de la construction (qui commence ? qui suit ? etc.) Prévoir de construire la charpente et la toiture avant les murs pour protéger la construction ou éviter un certain nombre de problèmes d'assemblage, induit un mode d'organisation du chantier particulier et un découpage adapté en éléments de la construction en bois.

Ainsi, il ne s'agit pas, pour organiser un chantier, de viser seulement une meilleure distribution et une meilleure application des énergies, mais de conduire la conception et l'élaboration même du projet en bois en étroite corrélation avec l'anticipation de sa réalisation.

d- L'intégration de la maintenance dans le processus de conception

Dans une construction en bois, le choix d'une solution technique ou d'une essence de bois se fait généralement en fonction de ce qui conviendra le mieux à l'usage tout en restant dans l'enveloppe financière d'investissements. Il importe donc à l'architecte d'évaluer dès la conception si les moyens d'exploitation-maintenance prévus permettent de garantir les performances initiales. Idéalement, il doit œuvrer à privilégier des solutions et à en éliminer d'autres pour réduire au maximum les coûts de maintenance.

La volumétrie d'une construction en bois, la nature des essences, le choix des traitements, et le climat du site (humide ou sec, intempéries, etc.) concourent principalement à la qualité architecturale. La prise en compte de l'exploitation- maintenance permet à l'architecte d'intégrer l'examen du comportement des éléments bois face aux phénomènes climatiques, aux conditions de nettoyage, d'éclairement naturel, etc. et ainsi choisir les essences ayant les propriétés les plus adaptées aux usages attendus.

1.4 Identification des acteurs du domaine du bâtiment

Le nombre d'intervenants, d'individus ou d'organismes concernés augmente avec la taille et la complexité du projet. « Il y a à l'origine d'un processus dans un projet un acteur (ou un groupe d'acteurs) qui fait office de "prescripteur" initial. Cet acteur est variable : il peut s'agir d'un "client', d'un "producteur", d'un dirigeant d'entreprise, d'un designer, d'un directeur de projet » [Clark et Wheelwright 1992].

1.4-1 Les acteurs définis par la loi MOP

La loi MOP définit et précise les acteurs de la construction suivant les responsabilités et les rôles attribués. Les responsabilités sont différentes selon le niveau d'intervention. La notion de responsabilité est essentielle à la bonne marche du projet. Elle permet de répertorier les acteurs suivant cinq branches principales (voir figure 8).

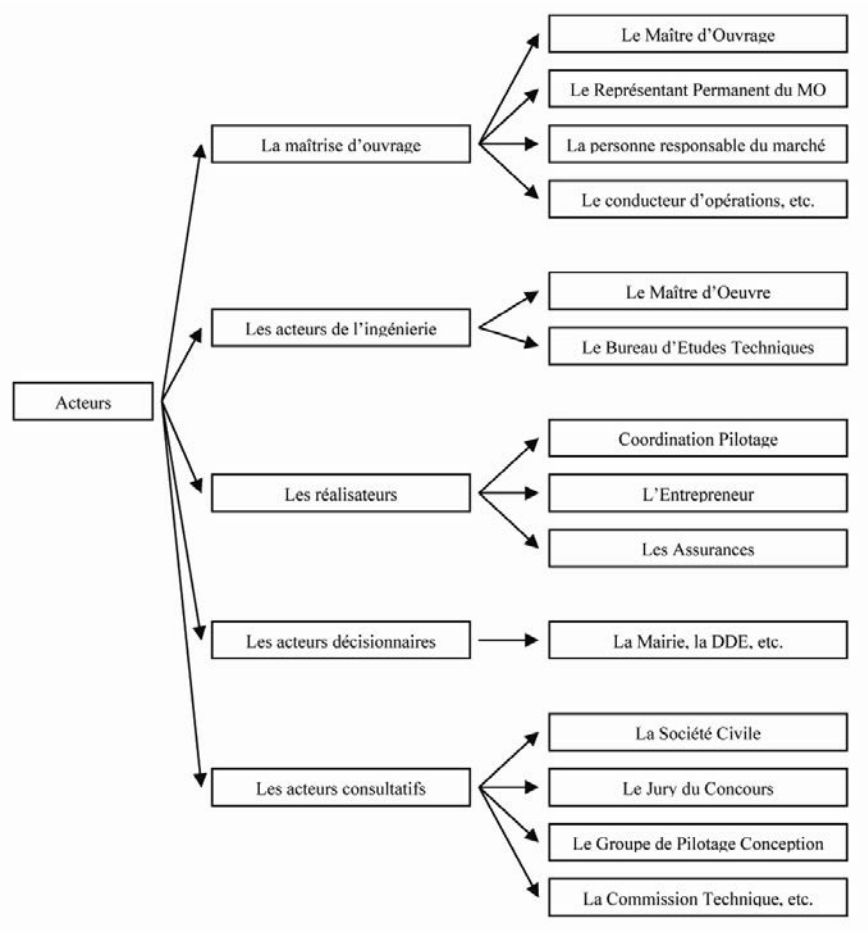


Figure 8- Arbre organisationnel des acteurs du domaine du bâtiment

Chaque acteur possède un ou plusieurs rôles, qu'il doit jouer, dans un ordre et des conditions précises, en accord avec les termes des missions définies par la loi, le contrat de maîtrise d'œuvre et les contrats complémentaires éventuels. Ce rôle lie chaque intervenant contractant et matérialise sa participation dans le projet. Le rôle définit la position occupée par l'acteur dans la coopération. Dans le cadre de son rôle, l'acteur mène des activités spécifiques et intervient sur des documents et des ouvrages particuliers. Il convient de ne pas confondre les rôles avec les métiers des acteurs. Un même acteur peut jouer des rôles différents (concepteur, co-concepteur, responsable, contrôleur, consultant, etc.)

Exemple : Le rôle de l'architecte

L'architecte est le concepteur original de l'esquisse qui sert de point de départ. Il est aussi le mandataire de l'équipe de maîtrise d'œuvre, c'est-à-dire le responsable qui prend les décisions, arbitre les conflits entre concepteurs. « Il est le réceptacle d'une série de contraintes desquelles il doit faire émerger un projet cohérent » [Farel 1992]. L'architecte doit conserver une unité globale aux interventions des acteurs. Il doit hiérarchiser et restructurer la somme d'informations, de demandes et d'impératifs. L'architecte n'est pas un spécialiste comme la plupart de ses partenaires, c'est avant tout un homme de synthèse.

La notion de rôle est liée aux notions d'action et de droit. Un acteur qui joue un certain rôle réalise une partie du travail. Il doit donc posséder les droits nécessaires sur les éléments de l'activité qui lui permettront de tenir cette place dans la communauté des intervenants.

Exemple : Si un acteur est chargé de contrôler la bonne exécution d'un ouvrage, il doit être muni du simple droit d'accéder au site, de prendre des échantillons, de faire des tests de solidité, etc. Il doit avoir le droit d'accéder sur une base de données (exemple : une armoire à plan) suivant un profil spécifique et de consulter les documents qui concernent cet ouvrage, etc.

a- Le maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est la personne physique ou, le plus souvent, la personne morale qui sera le propriétaire de l'ouvrage. Il fixe les objectifs, l'enveloppe budgétaire et les délais souhaités pour le projet. Dans certain cas, le maître d'ouvrage délègue tout ou partie de ses pouvoirs à un mandataire, notamment lorsqu'il s'agit d'une administration ou d'une collectivité locale. Dans d'autres cas, il fait appel à un assistant à la maîtrise d'ouvrage[15].

[15] L'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage est un contrat selon lequel un maître d'ouvrage public fait appel aux services d'une personne publique ou privée pour faire les études nécessaires à la réalisation d'un projet. Son rôle se résume à :
- aider à mener à bien un projet de bâtiment,
- faire selon les cas, des études préalables, des analyses d'opportunités, de faisabilité économique, technologiques et sociales, faire la détermination des conditions de conformité et de réception finale,
- appliquer une méthodologie de conduite de projet, sous assurance qualité,

Néanmoins, c'est lui qui est finalement responsable après le transfert de propriété et qui assure le paiement des travaux et services. En France, les maîtres d'ouvrage sont soit publics (État, établissements publics, collectivités territoriales, Offices HLM), soit réglementés (EDF, SNCF, Aéroport de Paris) ou privés (particuliers, associations, promoteurs professionnels)

b- Les acteurs de l'ingénierie

Les acteurs de l'ingénierie sont principalement composés des maîtres d'œuvres, des ingénieurs, des techniciens, des bureaux de contrôle[16] et des géomètres. Les maîtres d'œuvres sont les personnes physiques ou morales qui reçoivent des missions du maître d'ouvrage pour assurer la conception et le contrôle de la réalisation d'un ouvrage conformément à un programme. Suivant leurs responsabilités, ils assurent la qualité architecturale et technique, le respect des délais et des coûts. Souvent, un certain rôle de coordination est attribué au maître d'œuvre. « Le maître d'œuvre assume deux rôles : un rôle d'architecte 'ensemblier' où il prend la responsabilité des choix globaux de conception qu'il décompose en lots de travaux ; et un rôle de coordination de la réalisation de l'ouvrage où il organise les appels d'offres sur les lots, le choix des contractants, la planification, le suivi et le contrôle de la réalisation des lots » [Midler-a 1996]. En France, la maîtrise d'oeuvre est souvent composée de l'architecte qui s'entoure de différents Bureaux d'Etudes Techniques[17] et d'un économiste chargé du chiffrage de la construction.

Contrairement aux idées reçues, l'architecte n'est pas un spécialiste comme la plupart des partenaires dont il s'entoure. Il est d'abord un concepteur (capable d'intégrer les contraintes du projet dans sa formalisation, d'articuler des fonctions dans des espaces, de décider de l'impact du bâtiment dans le paysage, etc.). Puis il est un homme de synthèse chargé d'avoir un regard généraliste sur l'ensemble de la construction et enfin, un chef de projet lié par des contrats à l'ensemble des autres acteurs. Il assure donc un rôle d'intermédiaire entre les partenaires du projet et prête assistance au maître d'ouvrage.

Quelques fois, les démarches de l'architecte et de l'ingénieur sont porteuses de finalités antagonistes. L'architecte doit répondre au cahier des charges, avec une qualité spatiale qui ne constitue pas une des priorités de l'ingénieur. En fait, la répartition des points de vue des

- aider à l'expression des besoins, à la rédaction du cahier des charges,
- analyser les réponses, aider au choix, vérifier la conformité des contrats, communiquer avec le maître d'œuvre, suivre les équipes projets, etc. [Dechaume 2000]

[16] Dans les phases de conception ou d'exécution, ces bureaux sont chargés de certaines missions de contrôle comme la stabilité des ouvrages et la sécurité des personnes. Ils sont agréés par les pouvoirs publics et sont désignés par le maître d'ouvrage. En revanche, leur présence n'est pas toujours obligatoire.

[17] Les B.E.T sont des entreprises de droit privé spécialisées dans le conseil et l'assistance technique aux maîtres d'ouvrage ou aux maîtres d'œuvre. Ils sont soit généralistes (tous corps d'état), soit spécialisés dans un domaine (études de béton, ouvrages d'art, etc.)

différents acteurs dans le projet montre qu'il y a des écarts significatifs et des malentendus persistants. Les architectes se placent en position de développer un projet global et considèrent, pour cela, être concernés par tous les points de vue, tandis que les ingénieurs voient plutôt leurs projets techniques comme inscrits dans les projets architecturaux qui leur sont complémentaires. La relation qui unie l'architecte et le maître d'ouvrage est délicate. En dessous des fondements contractuels et juridiques, leur relation doit reposer sur la confiance. Cette confiance n'empêche pas que surviennent au cours de l'opération des moments de confrontation ou de négociation.

La plupart du temps, l'architecte se voit attribuer un rôle supplémentaire résultant d'une mission intégrée par la loi MOP : Organisation, Pilotage, Coordination (O.P.C.) Son rôle consiste à faire circuler l'information, détecter les décisions à prendre, fournir les éléments nécessaires à la prise de décision, établir le calendrier général de l'ensemble des interventions, animer les réunions de coordination, rédiger et diffuser des compte-rendus, signaler en temps utile les éléments qui risquent de perturber la bonne marche du chantier, établir un rapport de fin de chantier précisant les responsabilités dans les retards et proposant l'application éventuelle de pénalités, etc [Cavallini et Raffestin 1991]. Toutefois, cette mission peut être également attribuée à un autre acteur compétent.

c- Les équipes de réalisation

Les équipes de réalisation sont chargées 'contractuellement' de la construction des ouvrages. Elles sont désignées par la maîtrise d'ouvrage ou la maîtrise d'œuvre. Les différents métiers impliqués représentent le découpage en "lots d'ouvrages" de l'édifice. Les acteurs du chantier sont des entreprises spécialisées dans un ou certains lots (charpentier, menuisier, électricien, peintre, chauffagiste) et des entreprises tout corps d'états (qui ont des compétences multiples dans leur structure). Des coordinateurs Sécurité et Protection de la Santé (SPS) et la cellule d'Ordonnancement Pilotage Coordination (OPC) en font quelquefois partie.

Les fonctions d'une entreprise tout œuvre couvrent des grands services. Chaque service possède son domaine de responsabilités et d'actions. On distingue : la direction générale, la fonction commerciale, la fonction technique, la fonction du personnel, la fonction gestion et finance.

d- Les autres acteurs décisionnaires et consultatifs

Il existe aussi des acteurs annexes, liés ou non par contrat au projet, intervenant pour des missions et des périodes de temps limitées, et n'engageant pas leur responsabilité. Ces acteurs peuvent être décisionnaires et leur accord est impératif à la poursuite des opérations

(Mairie, DDE), ainsi ils peuvent être consultatifs et leur niveau décisionnel est moindre (les organismes de promotion, la société civile)

1.4 -2 Les acteurs incontournables de la construction en bois

Il existe des acteurs incontournables dans le domaine de la construction en bois qui sont davantage sensibilisés aux questions de la promotion de l'utilisation de ce matériau pour bâtir, ou plus aptes à concevoir, fabriquer et construire en bois.

a- Les entreprises de construction en bois et les charpentiers

En France, la plupart de ces entreprises ont une structure artisanale et familiale, avec un personnel hautement qualifié. Il existe des entreprises de petite taille ayant une activité locale, ainsi que des grandes sociétés travaillant à plus grande échelle. Le domaine d'activité de ces entrepreneurs bois peut englober généralement : les aménagements de combles, les charpentes lamellées-collées, industrielles et traditionnelles, le colombage, l'ébénisterie, la menuiserie, l'ossature bois, etc.

b- Les bureaux d'études techniques et les ingénieurs 'bois'

Les bureaux d'études techniques peuvent être spécialisés dans ce domaine, composés d'ingénieurs 'bois' qui travaillent sur la conception, le chantier, l'économie, l'exécution, l'expertise de la construction en bois. Dans ce domaine plus qu'ailleurs encore, une étroite coopération est indispensable entre architectes et ingénieurs. « Pour optimiser les structures porteuses, la collaboration entre architectes et autres acteurs est aujourd'hui resserrée pour aboutir à une utilisation optimale du matériau » [Schweitzer 2005].

c- Les fabricants

Ces fabricants assurent diverses prestations et services tels que : la découpe, le décolletage, le défonçage du bois, le rabotage, le séchage, le tournage, le placage, etc. Leur champ d'intervention peut couvrir :

- les composants bois industrialisés ;
- les accessoires pour la construction, la quincaillerie, l'outillage, etc.
- le bois comme matériau d'isolation, de calfeutrement, d'étanchéité ;
- les menuiseries ;
- les panneaux et plaques ;
- le parement intérieur et le revêtement de sols ;
- les revêtements et bardages extérieurs ;

- l'étuvage, le rabotage, le séchage et le traitement par trempage ou autoclave.

d- Les organismes de recherche et de promotion

Ces organismes participent à la promotion du bois, et peuvent jouer un rôle de consultant dans un projet de construction en bois. On peut noter parmi eux :

- Le centre technique du bois et de l'ameublement[18] (CTBA) : sa mission est de promouvoir le progrès technique, de participer à l'amélioration du rendement et à la garantie de la qualité dans l'industrie. Il travaille dans les différents domaines de la filière : exploitation forestière et scierie, charpente, menuiserie, structure, panneaux dérivés du bois, ameublement, emballages et produits divers.
- Le comité national pour le développement du bois[19] (CNDB) : il s'agit de l'organisation nationale de promotion du bois, engagée dans le développement de l'emploi du bois dans le bâtiment et la valorisation des produits et du savoir-faire.
- L'institut de recherches appliquées au bois[20] (Irabois) : il assure l'interface entre les besoins des professionnels et les compétences des différents instituts techniques et de recherches nationaux [CSTB 1998].
- Les laboratoires universitaires et les centres de transferts (Université Nancy I, CRIT 'Centre de Ressources et d'Informations Techniques '[21])

e- Organisations professionnelles

La construction en bois est représentée en France par de nombreux organismes professionnels. Ces derniers ont décidé il y a quelques années de se regrouper dans le Conseil interfédéral du bois (CIB). Parmi eux :

- L'union nationale française de charpentes, menuiseries, parquets, qui regroupe les entreprises spécialisées dans ces trois domaines.
- Le syndicat national des constructeurs de charpentes en bois lamellé-collé[22] (SNCCBLC),
- L'association des entreprises françaises de construction bois[23] (Afcobois).
- L'union des industries du bois[24] (UIB), qui rassemble les organisations professionnelles des fabricants de panneaux, de menuiseries industrielles et de fermettes.
- La fédération nationale du bois[25] (FNB).

[18] http://www.ctba.fr/
[19] http://www.bois-construction.org/
[20] http://www.le-bois.com/irabois/
[21] http://www.crit.archi.fr/~bois/
[22] http://www.glulam.org/
[23] http://www.maisons-bois.org/afcobois.html
[24] http://www.industriesdubois.com/
[25] http://www.fnbois.com/indexfra.php

1.5 Les contraintes et les problématiques inhérentes à la conception et à la coopération dans le domaine du bâtiment

Le secteur du bâtiment subit aujourd'hui des évolutions qui imposent de repenser de manière significative la démarche et le management d'un projet : l'accroissement des exigences en qualité, l'exacerbation de la concurrence, la fragmentation des interventions, l'informatisation limitée des structures de petites tailles qui priment sur le secteur, etc.

1.5 -1 L'évolution des exigences dans le bâtiment

Depuis la fin des années 1980, le bâtiment, terrain d'enjeux économiques importants, fait face à une situation socio-économique caractérisée par une modification des exigences qualitatives (comme le montre l'adoption massive de démarche 'qualité'). Les acteurs sont aujourd'hui à la recherche de solutions qui répondent aux exigences suivantes :

- la réduction des délais d'études, des itérations inutiles et du temps de mise en œuvre ;
- la réduction des coûts d'études et de construction ainsi que l'optimisation des processus 'conception-construction', etc. « Diverses estimations montrent que 30% des coûts seraient imputables à la fragmentation des interventions et aux difficultés de communication » [Poyet et Monceyron 1997] ;
- l'amélioration de la qualité et l'adoption d'une approche globale et pluridisciplinaire, qui tiennent compte de l'ensemble des contraintes techniques, financières, réglementaires, et environnementales du projet, etc.
- le respect d'une réglementation qui est de plus en plus stricte ;
- le déroulement des chantiers qui doit de plus en plus répondre à une sécurité draconienne ;
- le respect de l'aspect juridique (assurances, procès éventuels) ;
- la prise en compte de la maintenance du bâtiment en amont du projet ;
- et la satisfaction de l'usager qui est de plus en plus exigeant et soucieux.

1.5 -2 La fragmentation des actions des acteurs

Le secteur du bâtiment constitue une activité importante en France[26]. Il représente 285 000 entreprises, 1 145 000 actifs dont 877 000 salariés et 268 000 entreprises pour 91 milliards d'euros HT de travaux (voir figure 9). Ces chiffres illustrent l'importance des ressources humaines mises en jeu et impliquant une forte fragmentation de ce secteur par un grand nombre de métiers hétérogènes qui se regroupent en entreprises de petite taille (94% des entreprises du secteur ont moins de 10 salariés).

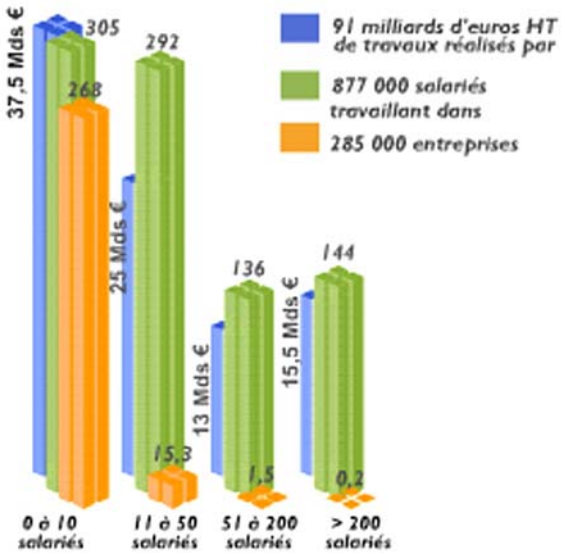


Figure 9- L'importance des entreprises de petites taille dans le secteur du bâtiment

La fragmentation est concomitante d'un découpage normatif du projet en missions qui sont assignées à chaque intervenant. Ces missions sont réparties dans le temps et entraînent parfois des ruptures entre le travail de conception et le travail de construction. Les entreprises sont dans la plupart des cas hétérogènes (du point de vue des compétences et des modes opératoires) et maintiennent une certaine indépendance dans leur travail. En effet, la forte hétérogénéité des logiques professionnelles induit une difficulté à intégrer les divers points de vue des acteurs lors des prises de décisions. Le maître d'ouvrage cherche à maximiser ses exigences tout en minimisant le volume de l'enveloppe financière. Les architectes privilégient une logique intra-professionnelle qui porte sur l'originalité et la qualité esthétique des projets, par rapport aux contraintes technico-économiques de production défendues par les ingénieurs et les BET. Les entreprises de construction, sous la

[26] Chiffres de la Fédération Française du Bâtiment pour l'année 2003 (http://www.ffbatiment.fr/site/espace_public/idx_Principal.asp?url1=Menu.aspeturl2=Contenu/Txt_Html/Batiment/Bat_BatimentAccueil.asp)

pression financière du maître d'ouvrage, adoptent une logique de minimisation des coûts qui entre en contradiction avec la qualité exigée par des concepteurs et la prise en compte des contraintes des sous-traitants (délais d'exécution, moyens matériels et solutions techniques). Cette multiplicité des acteurs et des centres de décisions complexifie les rapports de coopération. « L'organisation d'un projet peut être très complexe et peut comprendre un bon nombre de phases. La 'connaissance métier' des différents acteurs est diverse et souvent fragmentée. Elle peut causer des malentendus dans le processus de 'conception-construction', comme elle peut être un obstacle à la communication et à une bonne collaboration » [Kalay 1999].

Les acteurs de ces entreprises répondent à des marchés le plus souvent locaux, et satisfont une partie seulement des besoins du processus de 'conception-construction' du bâtiment. La durée des contrats est relativement limitée dans le temps et ne dépasse guère celle du projet. Ce système d'acteurs entretient des relations de dépendance peu hiérarchisées. Les relations sont temporaires, éphémères et impliquent que les équipes ne soient, à priori, plus amenées à travailler ensemble. C'est un partenariat inconstant par nature, qui n'entraîne aucune codification pérenne des échanges. Il faut par conséquent établir de nouvelles règles de coopération à chaque projet.

1.5 -3 Le caractère éphémère des relations entre acteurs du domaine du bâtiment

Dans le bâtiment, ce sont des raisonnements au coup par coup qui priment. Elles résultent des situations variées des projets. Chaque projet possède sa propre problématique, sa propre équipe d'acteurs, etc. « La logique projet est une logique de différenciation et de 'contextualisation' des réponses en fonction des particularités de la situation » [Jouini et al. 1996]. Ce paradigme induit un caractère non routinier des démarches de conception et de gestion de projet. Ce caractère aléatoire et implicite de l'activité, la spécificité de chaque projet et du réseau de partenaires qui le réalisent s'opposent à une codification précise des règles d'interactions et à une assistance au processus de conception. « La codification des règles économise les ressources des agents, pallie les limites de leur rationalité, stabilise l'environnement de chaque opérateur, etc. » [Favereau 1989].

En effet, à l'inverse de l'industrie manufacturière, le partenariat entre acteurs du secteur du bâtiment est par nature inconstant. La spécificité de chaque projet mobilise des compétences à chaque fois différentes en fonction du type de bâtiment, de terrain, de la région, etc. Ce renouvellement des équipes qui vont travailler ensemble et la réorganisation du fonctionnement, des règles et des relations entre individus, sont rétablis à chaque projet.

De par cette situation, les relations que les intervenants établissent pour concevoir et réaliser un projet immobilier sont éphémères et de courte durée.

1.5 -4 L'optimisation du processus 'conception-construction'

Par définition, un processus est un ensemble d'opérations permettant de transformer des données d'entrée en éléments 'délivrables', marquant les étapes significatives du projet. Appliqué à la notion de 'conception-construction', le processus désigne tout acte participant à la transformation d'un ouvrage depuis sa conception jusqu'à sa construction. Dès lors que le concepteur ou le constructeur perçoit un besoin qu'il ne peut satisfaire immédiatement, il s'engage dans ce processus, et imagine une réponse à ce besoin, en anticipant les performances et les conditions de réalisation.

L'examen de l'organisation des acteurs et des phases dans le domaine du bâtiment (voir le tableau phases, acteurs, moyens de communications – annexe 1) révèle un éclatement entre les interventions. En effet, le fractionnement entre le travail conduit par les concepteurs et celui des différents corps d'états chargés de la construction est particulièrement significatif. Ces derniers interviennent généralement en aval, au moment de l'étude de projet et pour la mise en œuvre, mais peu au niveau des phases amont de la conception (sauf dans les opérations dites de 'conception-construction', où l'entreprise peut être désignée dès la phase de programmation). « Un des principes fondamentaux de la qualité réside dans une répartition approfondie en amont, de manière à réduire les risques de dysfonctionnement en aval » [Dechaume 2000]

Ces discontinuités ne favorisent pas une conception coopérative. Les acteurs peuvent rarement travailler simultanément pour confronter les divers points de vue en même temps. Cependant, il existe aujourd'hui une certaine prise en compte de cette dimension. « Les entreprises développent depuis plusieurs années des interventions en amont de l'exécution des travaux, lorsque la réglementation le permet, pour permettre une meilleure appréciation de la phase de construction » [Campagnac 1992]. Ainsi il s'agit de :

- bien concevoir avant de construire, en anticipant les problèmes liés aux objectifs, au programme de l'opération, aux outils de communication et de dialogue, etc.
- opérer ensemble, en considérant les points de vue de l'ensemble des acteurs de l'équipe ;
- réexaminer les propositions, en identifiant les lacunes de conception et en réfléchissant à la mise en œuvre.

1.5-5 La décentralisation des décisions

Dans le secteur du bâtiment, la décentralisation des décisions résulte de l'indépendance des entités juridico-économiques qui se coordonnent et qui ne sont pas soumises à un acteur disposant d'un pouvoir hiérarchique capable de les contraindre de manière tangible, comme c'est le cas dans le secteur de l'automobile et de l'aéronautique. Ainsi, dans la gestion du projet, aucun acteur ne se voit investi d'un droit de pilotage des actifs des autres. Au contraire, la plupart des entités intervenant dans une opération conservent une autonomie relativement importante pour mener à bien les opérations dont elles sont chargées (organisation interne, déploiement des effectifs)

Dans la phase de conception d'un bâtiment dans le domaine du B.T.P, il n'existe pas une fonction de 'coordinateur central' à exercer par un acteur qui aurait la capacité d'imposer sa logique et ses contraintes à l'ensemble des participants. Cette absence de 'coordinateur central' est d'autant plus problématique que les réseaux relationnels ne sont pas codifiés en raison du caractère éphémère des projets.

1.5 -6 Les outils informatiques et les modes d'échange d'informations

Les projets de construction nécessitent l'intervention de nombreux corps de métiers parfois dispersés géographiquement, faisant appel à différentes compétences et expertises. Chaque corps de métier évolue indépendamment, use de terminologies et de technologies propres, et met en place des moyens spécifiques pour l'expression et la communication de l'information. Cette complexité rend difficile l'échange de données techniques basées sur des protocoles spécifiques à un domaine ou à une profession, et handicape la coopération entre les acteurs du bâtiment et l'organisation du projet (données peu informatisées, imprécisions, perte d'informations lors des échanges entre logiciels, perte de temps lors des reprises des plans qui peuvent engendrer des erreurs, difficultés de communication) « Le développement de l'ingénierie concourante a poussé à trouver une solution d'intégration des applications. Cette solution propose de stocker les données dans une base commune sous un format permettant de pouvoir les utiliser sur différents systèmes » [El Hadj Mimoune 2004].

Ainsi, la fragmentation implique aussi une densité particulièrement forte des flux d'informations techniques entre partenaires avec un cycle 'interminable' des modifications. L'absence de formalisme normatif pour décrire la structure et le contenu des données à échanger rend difficile la coopération des intervenants. Les modes d'échanges d'informations restent très empiriques et aléatoires avec une traçabilité faible. L'absence de

l'indexation de l'historique des actions crée des problèmes de coopération et affecte les bonnes relations existantes.

De même, souvent, la communication entre acteurs est informelle et l'oral y joue encore un rôle important. Jusqu'à aujourd'hui, bon nombre d'acteurs du bâtiment privilégient encore des rapports humains directs et informels (engagement sur parole, etc.) aux relations formelles considérées comme trop rigides. Ceci ne va pas de paire avec les travaux de structuration de l'échange d'informations « Les problèmes sont souvent résolus pendant les discussions orales sur le site de la construction. Les systèmes de gestion de la communication ne sont pas adéquats pour échanger ce mode de travail collaboratif. Les intervenants doivent s'y adapter et proposer de simples protocoles d'échanges de données » [Halin et al 2002].

Enfin, la taille et l'effectif des groupements d'acteurs du bâtiment influent sur leur capacité à se former à de nouveaux outils et à les intégrer à leur pratique. En France, les acteurs équipés d'outils informatiques modélisent le plus souvent les plans en '2D' avec une cohérence faible entre les vues. Les documents écrits ne sont pas intégrés dans le dessin, empêchant une évaluation économique immédiate. La prise en compte instantanée des règlements et des normes de contrôle dans le processus de 'conception-construction' n'existe pas. Et finalement, la simulation et la comparaison des solutions en phase de conception n'existent pas non plus, d'où l'intérêt des travaux sur la notion de maquette numérique et l'utilisation des formats d'objets.

1.5 -7 La maintenance

La perte de la mémoire du projet et de l'historique de la construction constitue un handicap pour assurer la maintenance et la réhabilitation du bâti. Dans la plupart des cas, les plans papiers des opérations anciennes sont inutilisables voir inexistants. Ceci induit la nécessité d'une ressaisie et d'un relevé des modifications survenues durant l'exploitation. Autrement, rares sont les systèmes qui permettent la remontée des informations relatives à l'exploitation du bâti vers les concepteurs et les fabricants (sinistres, réparations, modifications, réhabilitations, coûts d'usage, résistance d'un produit). Ces systèmes peuvent constituer une mémoire des projets et une variété de connaissances à mobiliser et à réutiliser pour références dans un nouveau bâti.

Conclusion partielle

« Le mot ‘projet’ devient à son tour magique. Le terme est séduisant, il est évocateur d’avenir et de ‘mobilisation collective’. En impliquant le faire, il interpelle à la fois les pratiques, le savoir-faire et le savoir. En suscitant le faire, il provoque la pulsion profonde de réaliser, de produire, d’être, au-delà de soi et de sa mortalité, dans une œuvre, une aventure. » [Carrieu-Costa 1995].

Si le déroulement d’un projet d’architecture est également une affaire de ‘mobilisation collective’, il obéit à des règles portant sur la définition des phases, des tâches, des rôles de chacun des participants, des activités de validation et de diffusion de l’information, etc. L’optimisation du processus de la ‘conception-construction’ dans le bâtiment passe par la maîtrise et la structuration de ces concepts.

Plus spécifiquement, la conception est une activité de coopération ouverte, difficile à cerner pour être assistée. Elle met en oeuvre des savoirs, des méthodes et des outils partagés entre plusieurs acteurs en vue d'atteindre un objectif qui est rarement totalement clair. C’est une démarche entre des niveaux d’abstraction afin de déboucher sur une solution satisfaisante mais pas unique. « Concevoir, c'est avant tout se représenter un contexte, des solutions possibles compte tenu des choix des autres qu'il faudra réutiliser » [De Terssac et Friedberg 1996].

L’activité de conception est éphémère (l'équipe des concepteurs et des constructeurs se constitue et se défait pour chaque opération). Elle est répartie dans le temps. Elle se fait entre des structures fortement hétérogènes. Ceci est enrichissant d’expériences, mais induit une fragmentation des informations produites. Ce découpage accentue les ruptures dans la transmission des données. Cette discontinuité apparaît comme une source de contre-performances économiques et de baisses de la qualité des activités.

La conception d’un bâtiment est le fruit du travail collectif de tout un système d’acteurs, dont les interventions doivent être coordonnées, compatibles et complémentaires. C’est là ce que Prost nomme « le management de la conception » [Prost 1995]. Aujourd’hui, l’enjeu est de structurer le flux d’informations et de compléter cette approche par la mise en place de systèmes d’échanges de données informatisées qui permettent un perfectionnement de la conception coopérative. Le projet devient une base d’informations, sur laquelle chacun des intervenants se greffe, pour l’enrichir de sa propre valeur ajoutée.

Face à ces perspectives, les acteurs oeuvrant dans le domaine du bâtiment doivent faire évoluer leurs propres méthodes de travail et faire assister leur travail collectif.

L'aide à la coopération représente un enjeu important dans le bâtiment, plus spécifiquement dans le domaine de la construction en bois qui est plus exigeant au niveau des détails de conception, et qui requiert une maîtrise des solutions techniques, ainsi qu'une rigueur et une précision dans le processus de conception, etc. Ce domaine constitue un champ de recherche intéressant à suivre dans le cadre des recherches menées sur la conception coopérative et pour appliquer les résultats envisagés de ce travail de thèse.
En effet, Le bois offre au constructeur un matériau presque universellement répandu dont les caractéristiques spécifiques, la souplesse d'emploi et la diversité ouvrent un immense champ d'application. Bien qu'il existe un rapport spécifique entre la technique, l'architecture, et les divers acteurs du domaine, le bois n'engendre pas une architecture spécifique, ni un style particulier. La construction en bois possède certainement des particularités propres à sa technique, mais elle reste parfaitement intégrée dans le domaine du BTP. Cette technique de mise en œuvre rigoureuse exige en effet que les concepteurs travaillent ensemble relativement tôt sur un projet de conception détaillée, précis, car le rattrapage y est moins facile qu'en maçonnerie, par exemple.

L'optimisation du processus 'conception-construction 'est l'un des vecteurs de progrès en terme de qualité de réalisation, de réduction des coûts et des délais. La structuration des échanges entre les concepteurs, la maîtrise du savoir-faire de l'entreprise, l'apport du prescripteur à l'homme de métier et vice versa, sont source de rationalité et d'économie pour faire face aux divers problèmes de la conception et de la coopération dans le domaine du bâtiment.

Chapitre 2

Le travail collectif : approche sociale et développement de systèmes coopératifs d'aide à la conception

La notion de travail collectif est présente dans de nombreux domaines de recherche. Il s'agit d'un thème multi-disciplinaire impliquant : l'ergonomie, la sociologie des organisations, la sociologie scientifique, l'étude des processus industriels, les sciences cognitives, les théories de l'Intelligence Artificielle, l'étude des interactions homme-machine, etc. L'activité coopérative, plus spécifiquement, évolue dans un domaine informatisé en pleine expansion, pour lequel il existe une juxtaposition de deux approches : l'une est théorique (la théorie de l'activité, la cognition distribuée, la théorie de la coordination, le trèfle fonctionnel, etc.) et l'autre est technique (les systèmes coopératifs[27], etc.). Nous allons développer ces deux approches dans ce chapitre.

Tout d'abord, une distinction entre les termes utilisés pour décrire 'les opérations humaines collectives' s'impose pour mieux comprendre cette recherche. En effet, les trois termes de 'coordination', 'collaboration' et 'coopération' définissant le travail collectif sont souvent utilisées de façon indifférenciée. Il existe pourtant entre ces derniers une différence notoire.

[27] Un système coopératif est un système informatisé visant à assister un groupe d'utilisateurs qui travaillent ensemble et interagissent dans le but de réaliser une tâche commune, etc.

2.1 Coordination, Collaboration et Coopération

Le travail collectif est défini comme étant « une activité menée par un ensemble d'opérateurs travaillant dans un même but, qui se sont concertés à cet effet, qui coordonnent leur activité en collaborant et ou en coopérant» [Desnoyers, 1993].

2.1 -1 La coordination

La coordination est une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement un résultat futur. La coordination est l'activité qui consiste à gérer les interdépendances entre activités [Malone et al. 1993]. Elle est nécessaire pour la gestion des ressources de l'activité (espace, temps, personnes, outils, informations) « La coordination est un procédé où les activités ont besoin de coordonner leurs actions. L'action de chaque activité donne un sens aux actions des autres activités, et les actions des autres activités contribuent à l'action de l'activité » [Schäl 1996].

La coordination permet aux membres d'un groupe d'articuler les actions de chacun pour concevoir et réaliser ensemble un produit collectif : « elle regroupe l'ensemble des mécanismes par lesquels les individus intègrent leurs activités productives » [Katzy et Ma 2002]. Elle intervient soit au moment de l'assemblage final des contributions partielles dans le cadre d'une coopération, soit pendant la réalisation d'une tâche lorsqu'il s'agit d'une collaboration. La coordination est donc une activité indissociable des activités de coopération et de collaboration, qu'elle organise et qu'elle structure. La coordination constitue le mode par lequel l'activité collective s'assure d'être efficace.

Selon une enquête réalisée dans certaines entreprises sur leurs activités de coordination avec leurs partenaires, la coordination y est mesurée sur une échelle cumulative de sept étapes successives [Landry et Ouimet 2004] :

1- la communication ;
2- la consultation ;
3- la conciliation ;
4- le consensus ;
5- les mécanismes d'arbitrage ;
6- le partage des responsabilités ;
7- la cohésion.

Chaque étape est considérée comme étant essentielle au processus de coordination. Plus les acteurs avancent dans ce processus, plus forts sont les engagements et la capacité de coordination. C'est une échelle cumulative, la difficulté croissante et ses étapes ne peuvent être franchies que progressivement, l'une après l'autre.

La coordination prend principalement deux formes, l'une explicite et l'autre implicite. La coordination explicite[28] est l'application des procédures décrites dans les règles ou les contrats passés entre les membres d'une communauté. Elle concerne des acteurs ayant un rôle identifié et en rapport direct avec l'exécution de la procédure. La coordination implicite[29] sert à supporter des actions de coordination initiées par l'utilisateur. Elle sert de support à l'imprévu et permet d'ajuster l'exécution d'une activité. Ces deux modes de coordination sont mis en oeuvre dans des proportions variables au cours de la collaboration et de la coopération. Appliquée au domaine du bâtiment, la coordination s'inscrit dans deux paradigmes de production caractérisant le travail de groupe :

- Le premier paradigme est 'la production commandée' où les activités sont planifiées a priori et où la coordination entre acteurs est explicite [Godard et al. 2001]. A ce moment, la coordination explicite sert à assister des actions connues presque répétitives, comme l'application des procédures décrites dans les contrats passés entre les membres d'un groupe, et qui reviennent à chaque projet. Dans ce cas, chaque acteur du groupe connaît son rôle et veille à l'exécution de son travail.
- Le deuxième paradigme est 'la production implicite'. Ce mode coexiste avec le premier, sauf qu'il est plus important spécifiquement dans ce secteur. « Le projet se déroule sur deux échelles de temps et de relations : l'ordinaire est lié à l'implicite, à l'informel et au spontané, tandis que l'exceptionnel est lié à l'explicite, au formel et au programmé» [Bignon et al. 2001].

2.1 -2 La collaboration (travailler ensemble)

Certains auteurs comme [Dillenbourgh et al. 1995] et [Lonchamp 2003] soutiennent l'idée que la collaboration consiste en une forme plus élaborée de coopération. Comme la coopération, la collaboration consiste en un travail en équipe pour la réalisation d'une œuvre commune, sauf qu'elle est révélatrice de relations durables et proches entre les

[28] L'explicite est ce qui est suffisamment clair et précis dans l'énoncé; qui ne peut laisser de doute. La connaissance explicite est ce que l'homme est prêt à énoncer, communiquer et transmettre dans un langage formel et systématique quelle que soit la situation d'énonciation. [Polanyi 1966]

[29] L'implicite est ce qui est virtuellement contenu dans un fait, sans être formellement exprimé ; qui peut en être tiré par voie de conséquence, par déduction et induction. La connaissance implicite est ce que l'Homme connaît sans vouloir l'exprimer; c'est ce que sous-entend la situation d'énonciation.

acteurs. Ces derniers s'engagent en définissant leurs rôles et obligations. Le résultat est ainsi imputable au groupe tout entier. Cependant, chaque individu est évalué indépendamment [Cissé et al. 1998]. La collaboration nécessite une compréhension commune, une connaissance partagée mais surtout une grande part de coordination explicite avec un déroulement connu et hiérarchisé.
La collaboration émerge comme un processus où les membres de différentes équipes peuvent appartenir à différentes hiérarchies, mais participent à un même processus, souvent avec divers degrés de participation [Rommer et Peschl 2003].

J. Lomchamp (2003) rend compte de l'ambiguïté de différenciation dans la terminologie entre la coopération et la collaboration dans le travail collectif (voir figure 10).

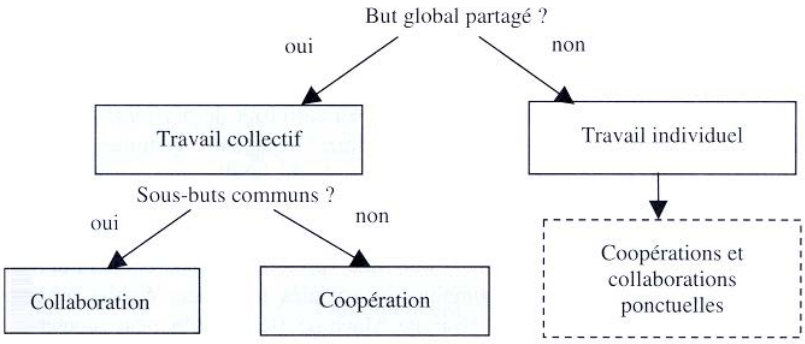


Figure 10- Différenciation terminologique détaillée entre la coopération et la collaboration [Lonchamp 2003]

2.1 -3 La coopération (opérer ensemble)

Le terme coopération vient de l'association de la racine '*operare*' et du préfixe '*co*', c'est-à-dire travailler ensemble ou agir conjointement. Cette notion de travail conjoint peut être approfondie. Le dictionnaire *le Robert* indique que « la coopération implique dépendance et solidarité vis-à-vis d'un groupe », tandis que *le Larousse* ajoute à cette définition une dimension téléologique (en rapport avec la finalité), par le fait de « concourir à une oeuvre commune ». La coopération est donc du domaine de l'action collective 'finalisée' [Dameron 2000]. Les membres poursuivent un but commun et sont 'jugés' en équipe. À chaque niveau d'interaction, un degré plus élevé de participation des individus dans l'équipe est prévu.

Pendant la coopération, les acteurs agissent conjointement à travers des relations non structurées, voire informelles. Les règles sont inventées au fur et à mesure. Ainsi, la coopération est fondée sur un mode de coordination principalement implicite.

Quand il y a partage d'un but global, le travail est collectif. Quand les buts globaux diffèrent, le travail est individuel. Dans le cadre du travail collectif, si les sous-buts des acteurs sont communs, il s'agit d'une collaboration. Si au contraire les sous-buts sont différents, il s'agit d'une coopération (voir tableau 5).
« La coopération désigne une organisation collective du travail dans laquelle la tâche à satisfaire est fragmentée en sous-tâches. Chacune de ces sous-tâches est ensuite affectée à un acteur, soit selon une distribution parfaitement horizontale dans laquelle tâches et acteurs sont équivalents, soit selon une logique d'attribution en fonction des compétences particulières de chacun des acteurs ». La collaboration quant à elle se définit par « une situation de travail collectif dans laquelle tâches et buts sont communs. Tous les acteurs travaillent sur les mêmes points. » [Cerisier 1999]

	Coopération	**Collaboration**
Mode de travail	Agir conjointement	Travailler ensemble
Objectif	Concourir à une oeuvre commune, l'action collective 'finalisée'	Avoir un but commun
	Les acteurs n'ont pas des sous-buts communs	Les acteurs ont des sous-buts communs
Mode d'évaluation	Les acteurs sont évalués en équipe	Chaque individu est évalué indépendamment
Les types de relations	Les relations sont non structurées, voire informelles	Les relations sont durables et proches entre les acteurs
Règles et déroulement des activités	Les règles sont inventées au fur et à mesure	Le déroulement des activités est connu et hiérarchisé.
Le type de coordination	La coordination est principalement implicite	La coordination est explicite

Tableau 5– Tableau récapitulatif de la différence entre coopération et collaboration

Il existe plusieurs structurations relatives à la coopération. Dans l'une d'elles, S. Dameron a défini deux perspectives de la coopération [Dameron 2001] : la Coopération Complémentaire, fondée sur une rationalité 'calculatoire' et le partage de ressources complémentaires, et la Coopération Communautaire, fondée sur une rationalité identitaire et une communauté de valeurs et d'objectifs (voir tableau 6).

- La Coopération Complémentaire est générée lors du partage d'une tâche commune, entre deux ou plusieurs individus guidés par une stratégie individuelle de gain de pouvoir pour l'accès à des ressources complémentaires. Cette coopération, dans sa démarche

contractuelle, se construit dans un processus de dévoilement, dont l'intérêt est éclairé par la notion de non-confiance.

- La Coopération Communautaire s'instaure lors du partage d'une tâche commune au sein d'un groupe restreint entre des individus soucieux d'être reconnus par les autres membres comme faisant partie d'un même groupe, et désirant préserver et développer cette identité commune, notamment autour d'objectifs partagés. Cette coopération est de nature dynamique et constructive.

	Coopération complémentaire	**Coopération communautaire**
Fondement	Calcul stratégique	Identité sociale
Organisation	Contrat	'Clan'
Attributs	- Congruence des intérêts individuels - Division du travail - Engagement interne	- Objectifs partagés - Appartenance au groupe - Interaction avec des groupes externes
Nature du processus	Négociation	Socialisation

Tableau 6- Comparatif des deux formes de coopération

Dans un autre exemple de structuration, la coopération est définie selon trois types [Beuscart et al. 1994]: la Coopération Additive, la Coopération Intégrante et la Coopération de Débat :

- La Coopération Additive : les capacités humaines individuelles sont limitées, sur un plan physique ou physiologique, mais aussi sur le plan psychologique. H.A. Simon avait mis en évidence cette "rationalité limitée" des processeurs d'informations humains [Simon 1957], développée plus tard par M. Inbar [Inbar 1979]. « Intellectuellement, l'Homme apparaît comme un ordinateur particulier, caractérisé par une capacité de traitement de l'information lente, limitée et séquentielle ». Cette capacité limitée peut être compensée par une coopération additive. En combinant capacités et efforts, un ensemble d'individus peut effectuer une tâche qui aurait été impossible à accomplir par un individu seul. La division d'une tâche en sous-tâches précises et articulées dans le temps permet de réaliser celle-ci avec un maximum d'efficacité.

> Exemple : Souvent dans des projets de concours de B.T.P, un groupement d'architectes se forme pour la maîtrise d'œuvre d'une construction. Ce groupement est géré par un architecte mandataire qui coopère avec les autres membres d'une façon additive.

- La coopération Intégrante : avec la spécialisation croissante des acteurs, il est évident que chacun ne peut manier avec succès qu'un nombre limité d'outils (physiques, matériels,

intellectuels). Cette différenciation du travail nécessite une activité coopérative d'intégration.

Exemple : La construction d'un bâtiment fait appel à un nombre important d'acteurs. Pour agir, les acteurs produisent et mettent en oeuvre des savoirs hétérogènes : champs de connaissances et d'expertises multiples s'appuyant sur des modes de production et de légitimation variables (le savoir académique, l'expérience, le métier, les talents personnels). Ces savoirs construisent les contenus des activités aussi bien que les champs d'intervention des acteurs.

- La coopération de Débat : la validité d'une décision obtenue par un processus de travail 'basé sur la connaissance' est fragile et contestable. L'objet de cette coopération est de palier à cette insuffisance. Le fait que le travail soit 'basé sur la connaissance' entraîne l'existence de plusieurs stratégies possibles. L'existence de ces différentes stratégies s'explique par des "points de vue" divers quant à la solution à apporter à un problème donné. Dans le domaine du bâtiment, la coopération de débat est très intéressante et sert à sélectionner les bons ajustements, les bonnes solutions parmi l'infinie variation des points de vue (débattre d'un choix par rapport à une technique, un procédé, une solution de rechange devant un problème). Même s'il existe des décisions erronées et des erreurs d'interprétation, des individus qui débattent de leurs problèmes avec leurs collègues de travail arrivent généralement à des décisions objectives et équilibrées dans des environnements complexes. La coopération de débat permet de concilier des points de vue différents et d'éviter les mauvaises décisions incontrôlées.

Exemple : Devant la nécessité d'abaisser la hauteur globale d'un bâtiment en bois, divers point de vue peuvent être envisagés par les acteurs concernés :

- l'architecte pense qu'un abaissement de 1.5m de la toiture ne nuit pas à la volumétrie du bâtiment, ni à la qualité spatiale des espaces intérieurs ;
- l'ingénieur structure voit qu'un abaissement de 2 à 3m de la toiture diminue les charges supportées et permet d'utiliser des sections moindres de poteaux porteurs ;
- le maître d'ouvrage pense qu'un abaissement de 2m ne le gênera pas dans sa future utilisation des espaces.

L'homogénéisation progressive de ces points de vue au moyen d'une coopération de débat participe à la recherche d'une solution modérée qui peut être dans ce cas l'abaissement de la toiture de 2m, une fois que l'architecte aura accepté le point de vue de l'ingénieur et du Maître d'ouvrage.

Enfin, une troisième structuration met en évidence la Coopération Directe ou Indirecte [Beuscart et al. 1994]. Dans le cadre de la Coopération Directe, les travailleurs interagissent en échangeant une information symbolique. C'est le principe de la

communication[30]. Dans la Coopération Indirecte, les individus coopèrent via un appareillage technique, principalement des machines.

> Exemple : En fonction de l'état d'utilisation d'une machine de taille automatique des pièces en bois, un acteur A va prendre une décision qui va modifier l'état de cette machine. En fonction de ce nouvel état, un acteur B peut prendre une décision qui va entraîner une nouvelle modification. Dans ce cas, les travailleurs ne communiquent pas. Néanmoins, ils coopèrent.

Connaître et comprendre le mode de fonctionnement de chacun de ces types de coopération et leur intérêt respectif est important pour mieux envisager le processus global de coopération. En effet, comme ces différents types de coopération induisent un type d'actions différent, il est intéressant pour le coordinateur du groupe d'acteurs (par exemple : le maître d'œuvre, le comité chargé de l'Ordonnancement du Pilotage et de Coordination 'OPC') de comprendre de quelle manière manipuler et mettre en œuvre ces différentes catégories de coopérations, et quels sont les outils à sa disposition pour passer d'un type de coopération à un autre.

En effet, il paraît difficile pour une équipe de n'envisager qu'un seul et unique type de coopération, qui soit efficace et en adéquation avec chacune des tâches à effectuer durant un projet. Selon les cas et au fil du temps, la méthode de coopération mise en place peut être remise en cause. Il n'est pas exclu, également, d'enrichir le travail collectif par l'approche de plusieurs types de coopération de façon simultanée. Ces différents types de coopération peuvent être complémentaires les uns des autres.

Nous pensons en effet que le processus de construction de la coopération est 'incrémental'. Les démarches incrémentales s'appuient principalement sur les vertus de l'ajustement mutuel. Chaque acteur propose des modifications différentes pour améliorer la situation initiale de la coopération. Et, au fur et à mesure que se déroule cette exploration, la recherche d'un consensus entre les participants conduit les individus à privilégier une alternative de coopération parmi l'ensemble des possibles.

Ainsi, ce qui paraît être le plus intéressant dans un travail de coopération est le fait de travailler 'ensemble', en réunissant plusieurs points de vue et diverses compétences autour d'un objet commun. La coopération complémentaire satisfait donc le besoin de mixité des

[30] La communication réclame une interaction entre deux ou plusieurs personnes et un échange d'informations. Qu'elle soit orale ou écrite, la communication repose sur des outils comme le courrier électronique, la conversation textuelle, l'audioconférence, etc. La communication permet à plusieurs personnes de mettre en commun leurs expériences ou connaissances à propos d'un problème.

connaissances, mais exclut la phase de partage et de débat qui enrichit et modère les décisions.

L'entretien de bonnes relations humaines est un facteur très important dans les organisations qui concernent le domaine du bâtiment. Cette notion de travail de groupe est notamment génératrice de la confrontation d'opinions, d'idées et d'initiatives constructives bénéfiques à ce genre de projets.

Finalement, faire coopérer des acteurs dans le cadre d'un travail commun n'est pas évident. Il ne suffit pas de réunir les gens pour que ceux-ci coopèrent. En effet, des difficultés (conflits de logique, d'intérêts) peuvent perturber la marche vers une transversalité. De plus, au facteur humain s'ajoute la difficulté de partager des données de types très variés (formes, supports). Ainsi, il s'avère nécessaire de mettre en place des supports à la coopération tels que des outils de gestion, des systèmes coopératifs. Ces outils constituent une 'technologie de l'organisation', un ensemble de procédés, de dispositifs à la fois symboliques et matériels, qui rendent possible une action collective coordonnée et orientée vers un but commun. La mise en place de ces outils passe certainement par une étude théorique afin de comprendre et de rationaliser les activités de coopération.

2.2 Activité de groupe et relations sociales

Diverses théories et modèles se sont intéressés à l'activité humaine collective, comme la théorie de la coopération, de la coordination, de la cognition distribuée, de l'ergonomie cognitive. Ces nombreuses théories et modèles introduits par les sciences humaines sont souvent utilisés pour concevoir les systèmes coopératifs, plus spécifiquement dans les étapes d'analyse et de critique. Bourguin affirme que « les théories telles que celles de l'activité apportent une conceptualisation appropriée à la création d'une abstraction utile et commune à la compréhension du travail coopératif et à la conception des systèmes qui le supportent » [Bourguin 2000]. Ces théories nous permettront de comprendre la manière dont fonctionnent les acteurs exerçant une activité collective, et d'utiliser des notions de références, ainsi qu'un découpage par étapes pour construire des modèles nécessaires à la mise en place de systèmes coopératifs (activités, actions, opérations, phases, tâches, etc.)

2.2 -1 La 'Théorie de l'Activité'

La 'Théorie de l'Activité' est issue des travaux de recherches soviétiques[31] dans les années vingt. Elle représente un ensemble de principes de base qui incluent la structuration hiérarchique des activités, le rôle de médiation des outils et l'importance de la dynamique. A.N. Leontiev (1978) définit trois niveaux dans l'analyse des activités humaine : l'activité, l'action et l'opération.

a- L'activité

L'activité est le niveau hiérarchique supérieur du travail humain. Une activité naît d'un besoin qui se concrétise en un objet (mental ou physique). C'est un objectif qui lui est propre et qui est associé à au moins un sujet actif qui a une compréhension complète de l'objectif, et qui y adhère pleinement. Les activités sont réalisées comme des chaînes ou réseaux d'actions individuelles ou collectives partageant le même objet. Les activités subissent continuellement l'influence de leurs environnements qu'elles ne cessent de modifier.

[31] La 'Théorie de l'Activité' possède des fondations dans l'école historique et culturelle soviétique de la psychologie fondée par Vygotsky qui s'est principalement focalisée sur la médiation par le langage.

b- L'action

L'action est le niveau hiérarchique intermédiaire; elle est orientée vers un but conscient. Elle n'est intelligible que considérée au sein de l'activité à laquelle elle appartient[32]. L'exécution d'une action est planifiée, en utilisant un modèle, et au cours d'une phase nommée 'orientation'. Plus le modèle mis en œuvre est fiable, plus l'action a des chances d'atteindre son but. Une action peut servir plusieurs activités (dans la phase de conception, l'action de dessiner un détail d'un ouvrage par exemple permet de finaliser sa volumétrie, de corriger son métré, de donner un prix de revient crédible).

c- L'opération

L'opération est le niveau hiérarchique inférieur. Elle est exécutée de manière inconsciente. Les opérations sont les moyens d'exécution des actions. Ce sont des comportements routiniers, déterminés par les conditions objectives dans lesquelles les buts doivent être atteints. L'expérience est à l'origine de la création d'une base d'orientation regroupant les modèles reconnus comme fiables en fonction de certaines situations. La phase d'orientation disparue, les opérations vont permettre d'agir de manière fluide et rapide. Les opérations peuvent elles-mêmes être divisées en blocs de fonctions [Bedny 1997] (voir figure 11).

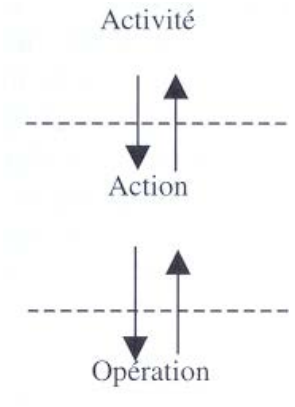


Figure 11- Les trois niveaux de la théorie de l'activité

La théorie de l'activité spécifie que les éléments constitutifs peuvent changer de niveau. Par exemple, une action peut devenir une opération si elle devient automatique; à l'inverse, une opération routinière qui rencontre un obstacle imprévu peut remonter au niveau conscient de l'action. Les limites entre les différents niveaux de la structure hiérarchique

[32] Il est difficile de comprendre une action en la considérant en dehors de son contexte, c'est-à-dire de son activité. Ainsi une même action peut appartenir à plusieurs activités. De ce fait, l'action effectuée peut être interprétée différemment suivant l'activité dans laquelle on la considère.

Exemple : La simple action d'un acteur qui imprime des plans prend une connotation différente si elle est considérée dans le cadre de l'activité de travail interne d'esquisser par-dessus des croquis (utilisation de papier de basse granularité, abstraction de la mise en page, etc.) ou dans le cadre d'une activité de présentation des plans au client pour le rendu final.

d'une activité sont mouvantes et floues. Ceci est particulièrement remarquable entre les niveaux 'activité' et 'action', car la classification dépend totalement du point de vue adopté.

L'activité est réalisée par un sujet, individu ou groupe d'individus. L'outil joue un rôle de médiation entre le sujet et l'objet. Les outils sont créés et transformés pendant le développement de l'activité et sont porteurs d'une certaine culture liée à leur développement. L'activité est orientée par un objet qui est transformé en un résultat.
Des développements plus récents de la Théorie de l'Activité comme ceux de Y. Engeström [Engeström 1987] ont élargi le triangle de l'activité élémentaire en incluant des aspects supra individuels, à savoir les règles, la communauté et la division du travail (voir figure 12).

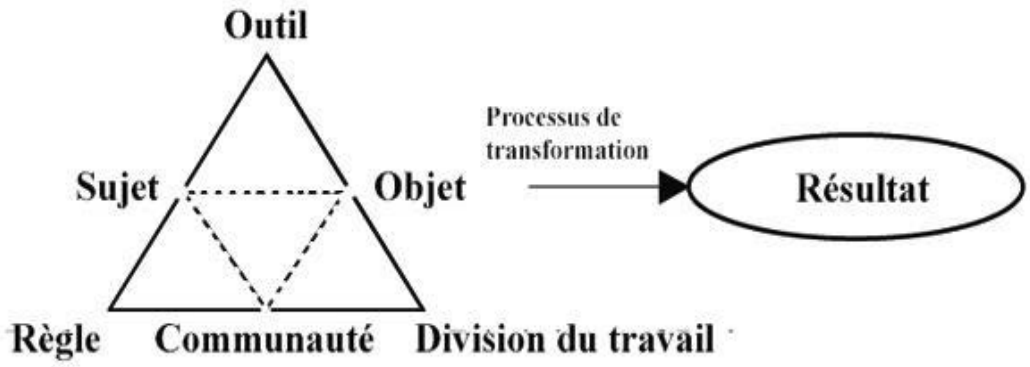


Figure 12- Structuration d'une activité

La communauté regroupe des sujets qui partagent le même objet. La relation entre sujet et communauté est définie par des règles (normes, conventions, relations sociales, etc). La relation entre communauté et objet est définie par la division du travail (organisations, statuts, règles de pouvoir, etc.)

2.2 -2 La Cognition Distribuée

L'approche cognitive[33] classique examine la manière dont un individu réalise une tâche donnée[34]. A l'inverse, la théorie de la Cognition Distribuée (développée au milieu des années 1980 en Amérique par Edwin Hutchins et ses partenaires) propose de considérer la cognition comme une activité mentale partagé et cherche à l'expliquer comme un phénomène intégré dans un cadre technologique et social. « Selon l'approche de la cognition distribuée, l'activité coopérative est un processus pour construire et maintenir une conception partagée d'un problème. L'attention est portée sur les conceptions émergentes au plan social, analysées en tant que productions du groupe » [Dillenbourg et al. 2001].

L'approche cognitive classique définit des modèles descriptifs du traitement de l'information dans le cerveau d'un individu réalisant des tâches de résolution de problèmes. Une action intelligente est le résultat de la manipulation d'une représentation de la tâche dans le but d'accomplir un objectif et se concrétise en général par la recherche d'un chemin menant d'un état initial à un état souhaité dans un espace d'états possibles.

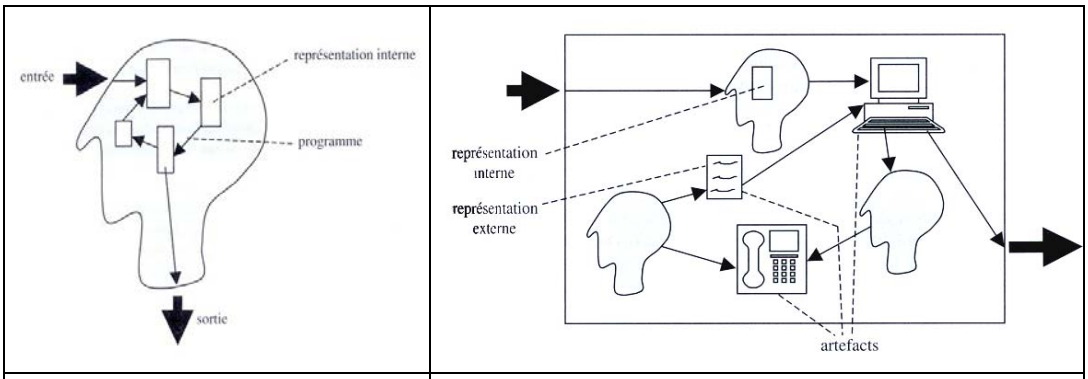
E. Hutchins a cherché à appliquer ce type d'approche à un système socio-technique qui va au-delà d'un individu unique [Hutchins 1995]. Le système socio-technique est décrit comme un ensemble de personnes et un ensemble d'artéfacts[35] qui interagissent : communications directes entre individus, utilisation conjointes des artéfacts et de leurs modes de matérialisation des représentations externes. Les artéfacts qu'il a décrits ne sont pas seulement informatiques ; en effet, un simple bloc-notes peut jouer un rôle important (voir figure 13).

---

[33] La cognition ou activité mentale comprend l'acquisition, le stockage, la transformation et l'utilisation des connaissances. La cognition inclut un large éventail de processus mentaux qu'elle met en oeuvre chaque fois qu'une information est reçue, stockée, transformée et utilisée [Matlin 2001]. La cognition représente une fonction complexe multiple, incluant autant l'ensemble des connaissances (langage, mathématique, musique, etc.) que les processus qui permettent leur apprentissage et leur manipulation (association, rétroaction, traitement de l'information, etc.). La cognition est un thème générique qui tente, à l'aide de modèles, de rendre compte des processus supérieurs de pensée comme la résolution de problèmes, la mémorisation, l'apprentissage, la planification, etc.

[34] La recherche cognitive classique se focalise sur les interactions homme-machine, c'est-à-dire sur les rapports qui existent entre un utilisateur individuel et un système informatisé. Dans ce cadre, de nombreux progrès ont été obtenus pour la définition et la réalisation d'interfaces homme-machine. Cependant, ce paradigme individualiste néglige l'aspect coopératif d'un grand nombre de tâches effectuées dans les environnements coopératifs.

[35] Les artéfacts sont des objets matériels (manuel de procédures, annuaire de référence, check-list, écran informatique, etc.) ou des dispositifs symboliques (logiciels, base de connaissances, etc.). Les artéfacts contiennent une partie des connaissances nécessaires pour mener à bien une action quotidienne avec efficacité et soulagent ainsi l'Homme d'une partie des connaissances qu'il est nécessaire de mobiliser dans l'action.



Un modèle cognitif classique	Un modèle cognitif distribué

Figure 13– Différences entre un modèle cognitif classique et un modèle cognitif distribué [Lonchamp 2003]

La cognition peut être distribuée parce que les acteurs ne disposent pas de la connaissance complète permettant de réaliser avec succès la tâche. Il faudra construire et partager cette connaissance, à travers les interactions entre éléments du système coopératif, pour accomplir ces tâches.

La théorie de la cognition distribuée spécifie qu'il est impossible de prédire comment les informations vont effectivement circuler dans le système socio-technique. L'organisation du cadre de travail permet seulement de définir les trajectoires possibles de l'information. Une information peut être traitée là où elle n'est pas attendue.

La théorie de la Cognition Distribuée s'attarde sur une analyse extrêmement fine en s'intéressant à toute information circulant dans le système socio-technique. Elle permet grâce à la finesse de ces observations, de définir des recommandations relativement précises pour la conception des systèmes coopératifs.

2.2 -3 La Théorie de la Coordination

La Théorie de la Coordination a été développée par T. Malone et ses collègues, au début des années 1990. Son objectif est d'expliquer, de décrire et de catégoriser des formes organisationnelles et des modèles de coordination nécessaires à la mise en place de systèmes coopératifs. Dans cette théorie, le travail de groupe est analysé en terme d'acteurs qui effectuent des activités interdépendantes pour atteindre des buts donnés. Ces activités requièrent divers types de ressources.

T. Malone spécifie que plusieurs mécanismes de coordination (la synchronisation, la notification, l'ordonnancement, la planification) peuvent être associés à un type de

dépendance donné. Nous nous sommes intéressés à la méthodologie d'analyse de ces mécanismes définis par T. Malone qui comporte six étapes [Malone et al. 1999] :

- la définition et la délimitation des objectifs du système ;
- la collecte et l'analyse des données ;
- l'identification des activités, et la définition des champs d'intervention et des modes d'actions ;
- l'identification des ressources et des acteurs ;
- l'identification des dépendances entre activités et ressources ;
- la vérification de la cohérence du modèle, ainsi que l'expérimentation du système.

Trois principaux types de dépendances co-existent entre activités et ressources [Malone et Crowston 1994] : (voir tableau 7)

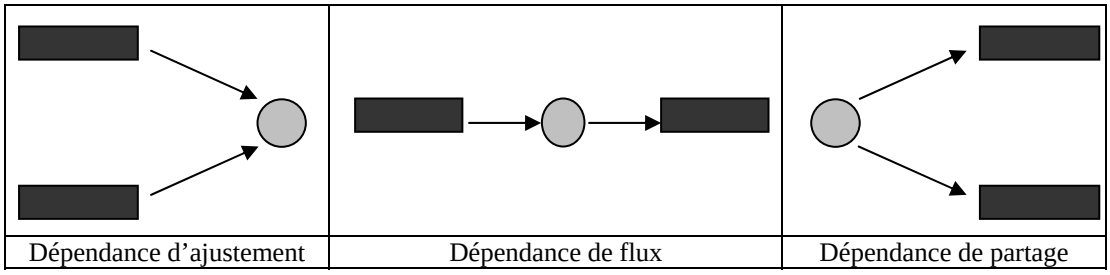


Tableau 7- La typologie de l'activité de coordination

- Les dépendances d'ajustement (fit) existent dès lors que des activités produisent une même ressource en associant leurs compétences.
- Les dépendances de flux (flow) existent quand une activité produit une ressource qui doit être utilisée par une autre activité.
- Les dépendances de partage (sharing), correspondent à l'utilisation d'une même ressource par plusieurs activités différentes.

Ainsi, la théorie de la coordination correspond à une démarche macroscopique et organisationnelle. Son domaine d'application se situe dans l'analyse globale des situations de travail complexes, en particulier dans l'ingénierie des processus coopératifs. Nous pouvons nous inspirer de cette méthodologie pour le développement du système coopératif que nous proposons de mettre en œuvre, notamment en ce qui concerne la spécification des relations entre les activités coopératives et les ressources du projet (documents, objets de bâtiment, etc.).

2.2 -4 L'Ergonomie Cognitive

L'Ergonomie[36] Cognitive a pris sa source avec les premières études menées sur les interactions Homme-Ordinateur (Human-Computer Interaction) [Hoc 1998]. Jusqu'à ces dernières années, la recherche était essentiellement orientée sur la machine. Aujourd'hui, l'homme est d'avantage au centre des ces études.
L'ergonomie cognitive envisage la connaissance du fonctionnement humain, afin de tenter son application à la conception des tâches, des outils, des machines et des systèmes de production. L'ergonomie cognitive s'attache à l'étude des situations de travail où les individus effectuent une certaine tâche, en s'aidant de différents artéfacts (par exemple les procédés industriels) [Green et Hoc 1991], en vue de proposer des améliorations aux conditions de réalisation des activités.

Il est intéressant pour nos recherches d'observer la différenciation faite par l'Ergonomie Cognitive entre tâche et activité :

a- La tâche (définie dans l'Ergonomie Cognitive)

La tâche désigne généralement ce qui est à faire par l'opérateur et comment il doit le faire. Elle se caractérise par un but donné et des conditions d'obtention déterminées par l'organisation. « Une tâche est l'ensemble des conditions objectives que le sujet est susceptible de prendre en compte, dans la mise en jeu de sa conduite. Il s'agit des éléments objectifs de la situation concernant le but à atteindre, les moyens disponibles pour y parvenir et les contraintes dans la mise en oeuvre de ces moyens ». [Leplat et Pailhous 1977]. La tâche peut être prescrite, c'est-à-dire conçue par l'instance qui en commande l'exécution tels qu'un cadre administratif ou un bureau de méthodes. Autrement, la tâche est effective, et elle est celle qui est réellement exécutée par l'individu.

b- L'activité (définie dans l'Ergonomie Cognitive)

L'activité est la réponse individuelle à la tâche prescrite. C'est un processus mis en oeuvre pour réaliser cette tâche. Ce processus est caractérisé par les procédures utilisées, les conduites intellectuelles. Celles-ci peuvent être d'ordre comportemental, facilement observables, ou d'ordre mental. L'activité dépend de plusieurs paramètres tels que les compétences de l'individu, son intelligence, ses capacités d'adaptation ou son anticipation.

[36] L'ergonomie est l'étude scientifique de la relation entre l'Homme et ses moyens, méthodes et milieux de travail. C'est une discipline qui étudie le fonctionnement de l'Homme en activité professionnelle. Elle représente une technologie qui organise les connaissances de manière à les rendre utilisables pour la conception des moyens de travail.

J. Leplat distingue deux grands types d'activités [Leplat 1985]:
- les activités d'exécution qui mettent en jeu des mécanismes déjà constitués chez le sujet ; Ce sont les activités de routine guidées par des systèmes d'aide au travail (consignes, listes de contrôle (check lists), "menu" informatique) ;
- les activités d'élaboration qui ont pour objet la constitution de ces mécanismes ; Ce sont les activités menées quand l'individu est confronté à une tâche nouvelle (apprentissage, résolution de problèmes).

Nous avons présenté dans ce sous chapitre les grands courants théoriques référencés dans les approches concernant le travail de groupe et intégrant une dimension humaine et sociale. Ces réflexions visent des spécifications fonctionnelles destinées à éclairer le travail collectif de concepts, notamment :
- la prise en compte de l'activité en tant qu'unité d'analyse socioculturelle et du contexte dans la compréhension d'une action, pour la théorie de l'activité ;
- l'analyse de la différence entre tâche prescrite et activité des individus pour l'ergonomie cognitive ;
- l'étude de la dynamique du système de traitement des informations pour la cognition distribuée ;
- et l'analyse des mécanismes de coordination et de gestion des dépendances entre activités, pour la théorie de la coordination.

Ces approches théoriques montrent que l'appréhension du contexte (au moyen de concepts), et par conséquent sa représentation, est déterminante dans le choix des actions à mener dans un projet. Cette vue synthétique formulée du contexte, est nécessaire pour le symboliser dans son ensemble au travers de modèles, indispensables au développement des systèmes coopératifs.

2.3 Analyse des outils du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO)

L'expression 'Computer Supported Cooperative Work' ou CSCW, traduite en français par 'Travail Coopératif Assisté par Ordinateur' (TCAO), fut proposé en 1984 lors d'un séminaire au 'Massachusetts Institute of Technology'. La première conférence dans ce domaine s'est tenue à Austin au Texas en décembre 1986 et la première conférence européenne l'a suivie trois ans plus tard à Gatwick en Angleterre. Le TCAO est une initiative pour comprendre la nature et les caractéristiques du travail coopératif avec, comme objectif, la conception d'une technologie informatique adéquate dans un système coopératif. Un système coopératif est un système informatisé visant à assister un groupe d'utilisateurs qui travaillent ensemble et interagissent dans le but de réaliser une tâche commune. Les systèmes coopératifs dédiés au TCAO structurent la communication et les échanges de données entre les utilisateurs. Ils mettent à disposition dans un espace donné la connaissance requise pour le travail des utilisateurs et des outils technologiques associés à des applications informatiques [Deshpande et al. 2004].

Lors de la conception de ces systèmes coopératifs, il existe diverses tâches à prendre en considération. Le 'circumplex model' de McGarth décrit une représentation de ces tâches (voir figure 14).

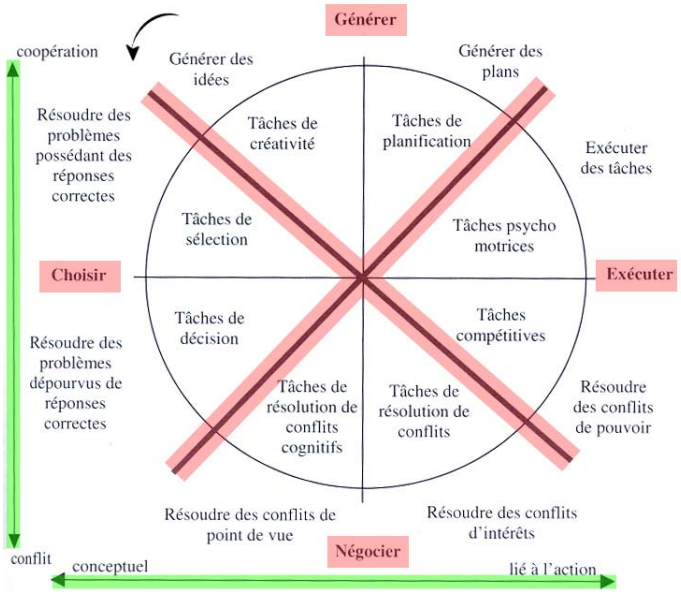


Figure 14- Le 'circumplex model' de McGarth [McGrath 1984]

McGarth propose quatre processus généraux, ordonnés pour structurer l'information produite par les acteurs : la génération, le choix, la négociation et enfin l'exécution. Chaque tâche est composée de deux processus particuliers d'exécution. Par exemple la tâche de 'génération' est structurée en 'génération d'idées' et 'génération de plans'. Alternativement, ces quatre quarts de cercle sont subdivisés en deux types de tâches chacun. Ainsi, chaque système coopératif peut assister :

- les tâches de planification : production des plans d'actions, programmation ;
- les tâches de créativité : production d'idées et propositions ;
- les tâches de sélection : recherche de la solution adéquate ;
- les tâches de décision : choix d'une réponse préférée ;
- les tâches de résolution de conflits cognitifs : dans ce cas là, les membres ont des préférences différentes. La notion principale est le conflit politique de résolution ;
- les tâches de résolution de conflits : dans cette catégorie on peut distinguer un certain nombre de sous types de tâches. La notion principale est le conflit de profit de résolution ;
- les tâches compétitives : dans le cas où le groupe est en concurrence, les résultats sont interprétés en terme de 'gagnants' et de 'perdants' ;
- et enfin les tâches psycho-motrices : qui sont plus orientées pour répondre à des normes d'excellence et de réglementation.

Ce 'circumplex' de tâches est régi par deux échelles. La dimension horizontale mesure le contraste entre les tâches plus au moins conceptuelles et celles liées à l'action. L'axe vertical mesure la nature plus ou moins coopérative ou conflictuelle de la tâche.

Les systèmes coopératifs peuvent s'organiser à travers l'espace et le temps [Johansen 1988] (voir tableau 8) :

	Même Temps (mode synchrone)	**Temps différents (mode asynchrone)**
Même lieu (mode local)	Les besoins : des réunions, des interactions face à face, etc.	Les besoins : ils sont administratifs, classement, filtrages, etc.
	Les outils : - Des systèmes d'aide aux décisions collectives - Des salles de réunions électroniques - Des moyens d'affiche communs	Les outils : - Fichiers partagés - Travail posté - Filtrage des messages - Gestion de projet
Lieux différents (mode distribué)	Les besoins : réunions à distance, etc.	Les besoins : communication, coordination, etc.
	Les outils : - Téléconférence - Ecrans partagés - Des espaces média (graphiques, audio)	Les outils : - Contrôle des versions - Gestion des processus - Structuration des messages - Conférences asynchrones - Organisation de la mémoire du projet

Tableau 8– La matrice des modes de coopération inspirée de [Johansen 1988]

- Les systèmes permettant une coopération locale ou à distance (distribuée) : les utilisateurs des systèmes coopératifs 'locaux' coopèrent dans un même lieu (dans la même pièce, par exemple), et sont en mesure d'interagir fréquemment, tandis que les utilisateurs des systèmes coopératifs 'distribués' coopèrent à distance et sont limités dans leurs interactions par la disponibilité et le temps de réponse du moyen de communication.
- Les systèmes permettant une coopération synchrone ou asynchrone : les utilisateurs des systèmes coopératifs synchrones peuvent réaliser les différentes tâches d'un travail coopératif simultanément. Les sous-tâches peuvent être réalisées comme une suite d'actions étroitement couplées. Les utilisateurs des systèmes coopératifs asynchrones assistent la réalisation des différentes tâches d'un travail coopératif successivement et de façon séquencée dans le temps. Les sous-tâches peuvent être réalisées comme une série d'actions interconnectées.

Pour compléter cette classification temporelle et spatiale, Ellis et Wainer se sont intéressés aux services rendus par l'outil pour caractériser ses fonctions [Ellis et Wainer 1994]. Ils ont proposé un cadre d'analyse guidé par l'étude de trois aspects descriptifs :
- l'aspect ontologique qui définit les objets manipulés lors de la coopération, ainsi que les opérations pouvant être accomplies sur ces objets ;
- l'aspect coordination qui définit l'organisation et les relations entre les activités des participants ;
- l'aspect interface qui définit les interactions possibles entre les acteurs de la coopération et l'outil.

Cette décomposition tripartite a inspiré la définition du trèfle fonctionnel (voir figure15) [Salber et al. 1995] qui comporte trois espaces de coopération dans lesquels les fonctions sont en cohésion, et qui fournit un cadre conceptuel utile pour mener une analyse fonctionnelle d'une situation coopérative.

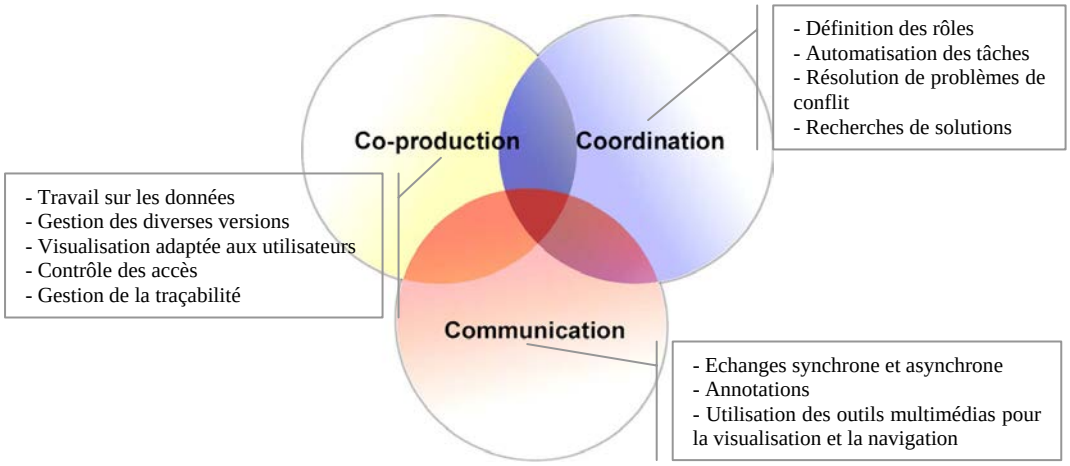


Figure 15- Certaines fonctionnalités relatives aux espaces du trèfle fonctionnel

- L'espace de production correspond à un espace d'objets partagés et sans cesse enrichis par les contributions individuelles et collectives, effectuées à travers des outils (par exemple : un plan d'exécution, un C.C.T.P. 'Cahier des Clauses Techniques Particulières', une maquette numérique).
- Dans l'espace de coordination, les règles d'interaction entre les acteurs et l'espace de production sont mises en place. Il s'agit de définir les acteurs (et notamment les individus, les groupes, les rôles), d'identifier les activités et les tâches (et notamment leurs relations temporelles), et de désigner enfin les responsabilités respectives. Tandis que l'espace de production offre une vue statique du système, l'espace de coordination en définit la dynamique.
- L'espace de communication regroupe les échanges d'informations des acteurs. A travers cet espace les systèmes coopératifs peuvent communiquer le contenu sémantique des informations de l'espace de production aux acteurs concernés. Il existe différents modes de communication comme, par exemple, l'audio (téléphone), la vidéo (médiaspace), le textuel (messageries).

Les systèmes coopératifs ne couvrent pas de la même façon ces trois espaces; certains peuvent se situer à l'intersection de deux, voire de trois espaces. Ainsi, le rôle fonctionnel global d'un système coopératif peut évoluer au cours du temps (voir figure 16) et s'adapter aux besoins momentanés des utilisateurs (une entreprise, un groupe de concepteur ou autre) durant un projet donné.

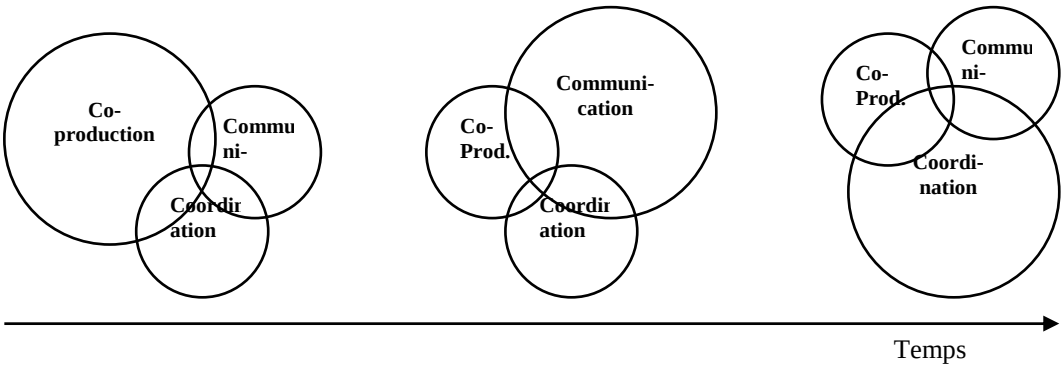


Figure 16– Evolution dans le temps du rôle fonctionnel d'un système coopératif

Il existe plusieurs catégories de systèmes coopératifs dédiés au TCAO :
- les outils de communication ;
- les collecticiels (ou 'groupware') qui regroupent les armoires à plans informatisées et les systèmes de gestion des données techniques ;
- les outils de coordination qui vont du 'Workflow', au niveau du processus organisationnel, aux agendas partagés ;

- les environnements technologiques destinés à soutenir le partage des applications ;
- et les outils et environnements pour l'aide à la prise de décisions collectives.

Nous allons développer certains de ces outils et analyser leur pertinence à la conception de projets de bâtiments.

2.3 -1 Les outils de communication

Ces systèmes ont pour objectif de faciliter la communication Homme-Homme. On site :

a- Le courrier électronique

Le courrier électronique est l'application coopérative de la plus large diffusion, caractérisée par un échange asynchrone de simples messages textuels. Le courrier électronique n'impose pas de structures aux messages ni de règles de diffusion. Les messages peuvent être encodés et des documents attachés peuvent être joints. Aujourd'hui sa fréquence d'utilisation est plus importante que celle du courrier postal et des télécopies.

b- Les forums électroniques

Dans ces systèmes de conférence, les utilisateurs interagissent de façon asynchrone et textuelle à travers un espace d'informations partagé. Les messages peuvent être lus par d'autres utilisateurs intéressés par le sujet et provoquer des réactions. Ces outils ne sont pas adaptés au secteur du bâtiment parce qu'ils ne garantissent ni la sécurité, ni la pérennité du système. Exemples : Usenet, Foorum.

c- Les messageries instantanées

Les messageries instantanées représentent un moyen de communiquer en direct et en privé avec des personnes de son choix. Le client se connecte à un serveur qui contient les informations sur tous les utilisateurs inscrits, connectés ou non. Chaque personne possède un identifiant unique dans la base de données du serveur. Exemple: ICQ (I Seek You). Ces messageries sont souvent intégrées dans les outils de coopération tels que les collecticiels. Leur utilisation dans le domaine du bâtiment reste marginale et contraignante, comparée à l'utilisation du téléphone, privilégiée de par l'association de la parole à la discussion.

d- Les environnements virtuels de collaboration

Les environnements virtuels de collaboration sont des environnements multi-utilisateurs, accessibles en réseau. Ces environnements exploitent une métaphore spatiale. Les participants se déplacent sur un terrain 2D ou dans un espace 3D, à l'aide

d'instructions ou de commandes ('se déplacer vers', 'ouvrir une porte'). Lorsque plusieurs participants sont situés à proximité les un des autres, ils peuvent dialoguer. Les mondes 3D exploitent souvent le langage VRML pour la modélisation des scènes tridimensionnelles. Exemple : The Palace, etc. Ces environnements sont quasiment ignorés par les acteurs du bâtiment à cause de leur caractère métaphorique.

e- Les conférences synchrones audio/vidéo et la télé-ingénierie

Les systèmes de conférences synchrones (Exemple : Netscape 'conference', NetMeeting) ont émergé grâce à l'utilisation de la voix et de l'image en complément de l'interaction textuelle, ainsi qu'au développement des réseaux. Cependant, ces outils restent peu utilisés dans le domaine du bâtiment en raison de leur mauvaise adaptation aux besoins et aux pratiques actuels des acteurs.

f- La réalité virtuelle augmentée

La réalité virtuelle augmentée est une forme particulière de communication qui permet l'immersion des utilisateurs dans un environnement de co-conception (par exemple au moyen de casques de réalité virtuelle), une navigation dans l'image (avec manette) et l'intervention dans l'image ou interactivité (gan de capture). Les participants se voient, se parlent et se regardent agir sur l'objet de la conception. Les problématiques tournent autour de la synthèse d'images pour représenter l'ouvrage et son contexte, ainsi que le degré de fidélité possible du phénomène simulé. S'ajoutent à cela des problèmes mécaniques pour reproduire les dispositifs de l'interface 'Homme-Machine' à simuler [Dumas 1999]. Ces simulateurs sont peu utilisés dans le bâtiment car ils sont très difficiles à mettre en place.

Ainsi, l'utilisation appropriée des trois derniers outils de communication (les environnements virtuels de collaboration, les conférences synchrones audio/vidéo et la réalité virtuelle augmentée), présente des contraintes pour les acteurs du bâtiment car elle nécessite un environnement particulier, des salles et des moyens techniques spécifiques (webcam, projecteurs, microphones et haut-parleurs). Actuellement, ces acteurs s'orientent plutôt vers des processus plus accessibles, permettant aux individus de communiquer individuellement au travers de leurs moyens informatiques habituels.

2.3 -2 Les collecticiels

Un collecticiel est un logiciel qui a pour objet d'assister les groupes pour la communication, la collaboration et la coordination de leurs activités [Bourguin 2000]. « C'est un système informatique qui aide deux utilisateurs ou plus à prendre en charge une

tâche commune et qui fournit une interface pour un environnement partagé » [Ellis et Wainer 1994]. Les premiers à être développés apparaissent dans les années 80. Les documents produits par chacun des acteurs sont classés dans une certaine 'armoire à plan' informatique. Le système de gestion utilisé offre la possibilité de se connecter à tout moment pour consulter n'importe quel document produit (selon les autorisations), et de gérer les mises à jour (voir figure 17). « Tous les documents du projet échangés électroniquement, leur référence, leur validité, leur statut et les fichiers qui leur sont associés y sont rassemblés. C'est le système d'information du projet » [Dumensnil et al. 1997].

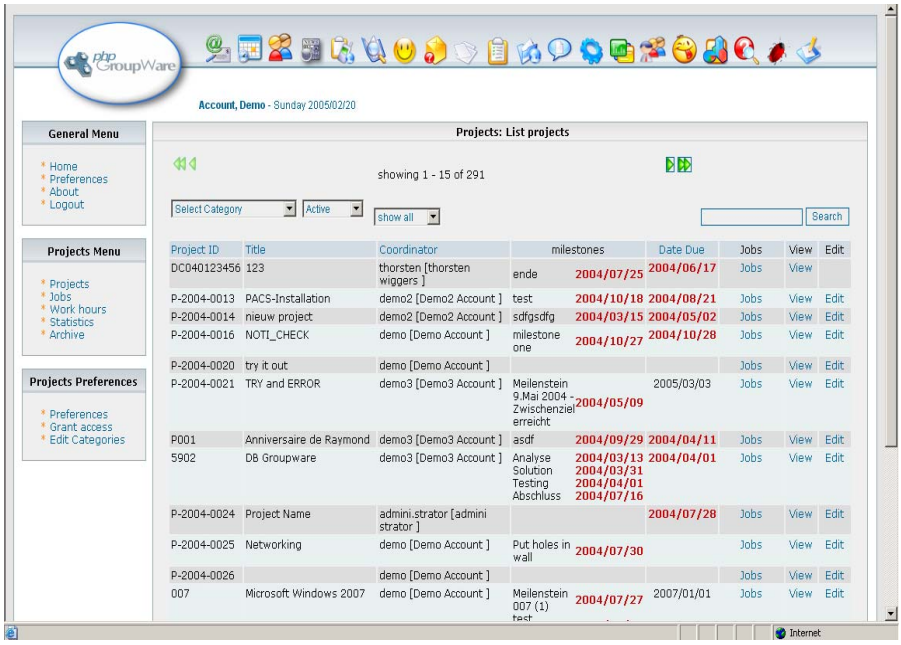


Figure 17– Exemple d'un collecticiel (PhPGoupWare[37])

Les collecticiels sont des systèmes 'orientés mémoire'. Certains de ces outils conservent dans leur mémoire la trace des activités du groupe et des procédures de résolution des problèmes. Certains offrent aux utilisateurs la possibilité de communiquer entre les deux grâce à une messagerie associée, de maintenir la cohérence des données, et enfin de tracer des documents du projet, ce qui facilite l'identification des responsabilités en cas de conflit. Le principal inconvénient, outre le coût qui limite l'usage dans le domaine du bâtiment, est la lourdeur de la formalisation du 'contrat d'inter-change'[38] (fondé sur un modèle de coopération fortement explicite).

[37] http://phpgroupware.org

[38] Le contrat d'interchange est établi entre deux partenaires d'un groupe d'acteurs ayant défini un scénario d'échange. Il porte sur des aspects qui sont spécifiques aux relations d'échange que souhaite mettre en place le groupe d'acteurs. Il s'agit notamment :
- de l'identification des parties (émetteur, récepteur, tierces parties, etc.)
- des responsabilités respectives dans l'émission et la réception des fichiers d'échange,
- du rôle des tierces parties éventuelles,

Un collecticiel n'a cependant pas pour objectif de constituer à lui seul un environnement de travail coopératif. Il offre plutôt une représentation visuelle ou multimédia d'une partie donnée de l'environnement partagé, et tend souvent à être utilisé comme armoire à archives des documents du projet [Malcurat et al. 2001]. Cependant, ces collecticiels n'offrent pas aux utilisateurs la possibilité de visualiser, connaître et interpréter le contenu ou une partie des documents déposés dans la base de données. Ils ne permettent, la plupart du temps, qu'une structuration sommaire des fichiers, dont peu d'informations sont rendues accessibles et exploitables.

2.3 -3 Les gestionnaires de flux

Un gestionnaire de flux de tâches 'workflow management system' est un système informatique qui permet de définir, créer et contrôler l'exécution de procédures liées à la pratique d'un métier. Un gestionnaire de flux de tâches offre principalement cinq grandes fonctions : les outils de définition, le moteur (workflow engine), les outils de suivi, les interfaces utilisateurs et l'intégration d'applications externes. Les 'workflow' sont 'orientés routage' en automatisant les procédures de traitement d'un projet ou d'un dossier selon une démarche rigoureusement définie (voir figure 18).

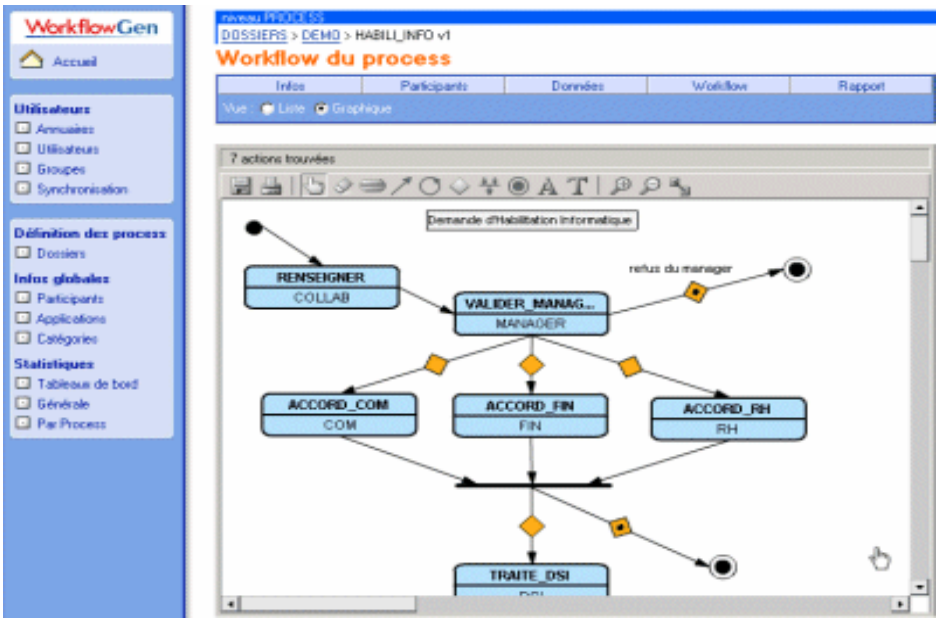


Figure 18– Exemple d'un gestionnaire de flux de tâches (WorkflowGen)[39]

- des mesures à prendre en cas d'incident : non-transmission des fichiers d'échange, erreurs de transmission, erreurs découvertes dans les fichiers d'échange, etc.
- des modalités de facturation éventuelles résultant de l'échange.

[39] http://www.workflowgen.com

Ces outils ont été développés en réponse aux besoins de la gestion administrative et productive. Ce type de gestion implique la connaissance et l'acceptation des procédures par tous les participants. De telles conditions sont difficilement applicables au domaine du bâtiment car elles sont basées sur une connaissance explicite des procédés. En effet, il existe des difficultés d'explicitation du modèle, un manque de support au sein des groupes pour la négociation de ces modèles (celle-ci est bien souvent inexistante) ainsi qu'une rigidité d'utilisation.

2.3 -4 Le partage d'applications

Les systèmes de partage d'applications permettent à des applications mono utilisateur d'être utilisées, sans les modifier, par plusieurs participants simultanément. Ceci est rendu possible grâce à un module 'multiplexage', externe à l'application, qui diffuse les sorties sur tous les écrans et regroupe les entrées, n'autorisant en général le contrôle de l'application qu'à un seul utilisateur. Exemples : ShowMe, Timbuktu. « Ces outils favorisent la communication (Homme-Machine-Homme), possédant parfois des outils de travail comme 'les tableaux blancs' ou des éditeurs de texte. Ces derniers sont en général à usage exclusif (système 'master/slave' où un seul utilisateur peut travailler à la fois, avec un mécanisme de prise de main) » [Dumas 1999].

Les membres d'un groupe peuvent utiliser ces outils pour éditer le même objet au même moment, ceci grâce à des 'accès en lecture' et seulement un 'accès individuel à un segment en écriture'. Certains de ces éditeurs fournissent une notification explicite des actions des autres utilisateurs.

> Exemple : Le système 'Project Point' (développé par Autodesk) est un outil client serveur, qui permet à plusieurs utilisateurs de travailler sur un même fichier, de faire des requêtes typées, de répertorier les documents et d'identifier les auteurs [MédiaConstruct 2003]. Ces outils reposent sur des formes de coopération plus implicites, et semble mieux adaptés au domaine du bâtiment. Sauf que leur usage reste compromis pour les utilisateurs de leur propre système (formats de données informatiques natifs, ce qui élimine toute notion d'interopérabilité).

Le partage d'applications permet une coordination simultanée. Dans le secteur du bâtiment, ce genre de pratiques peut être plus recensé au sein des agences qu'entre partenaires de différents métiers. En effet, chaque acteur prend le temps nécessaire pour mener à bien sa tâche et vérifier son travail afin de pouvoir le partager. En plus, la nature implicite de la conception architecturale, structurelle ou autre, et la nature des projets qui

ne cessent de se différencier rendent difficile une conception partagée simultanée (chacun peut partager ou non des connaissances, chacun possède sa propre 'manière d'esquisser', chacun privilègie l'utilisation de moyens différents pour concevoir, comme le crayon et le papier, la CAO). Ceci explique la restriction des acteurs du bâtiment envers ce partage d'applications.

2.3 -5 Les systèmes d'aide à la décision de groupe

Ces systèmes proposent un ensemble de fonctionnalités destinées à améliorer le déroulement et l'efficacité de la prise de décision dans un groupe d'acteurs, surtout lorsque ceux-ci sont très nombreux. Le plus connus de ces systèmes est ce que l'on appelle la salle de réunion électronique (ensemble de micro-ordinateurs en réseau équipant une pièce de réunion, de grands écrans de projection, des équipements audio et vidéo). Ils assurent un soutien « logistique » pendant la réunion, en fournissant des fonctions électroniques de recueil d'idées, de classement et de vote. Généralement, un membre du groupe joue le rôle de médiateur. Il doit assurer l'animation et décider du passage des différentes phases. Exemple : GroupSystems[40], etc. Ces outils peuvent être couplés à des outils télématiques (comme les outils de vidéo-conférences) pour améliorer la coordination d'équipes distantes travaillant sur le même projet.
Dans le bâtiment, l'utilisation de ces systèmes reste limitée aux grands projets et aux ouvrages d'art, vu l'importance des moyens à mettre en place (informatiques, matériels, humains)

Finalement, la décision de mettre en place un ou plusieurs systèmes coopératifs pour un projet dépendra du volume des informations à structurer, du flux de documents à échanger, du nombre d'intervenants à faire communiquer et de leur éloignement. Une fois la décision prise d'utiliser un système coopératif, le prestataire de services désigné assiste le Maître d'Ouvrage ou le Maître d'œuvre (en tant que coordinateur du projet) sur les points suivants :
- Avant la passation des marchés d'études :
  - le choix d'une méthode de financement ;
  - l'étude de la configuration du système (serveur, logiciels, connexions) ;
  - la rédaction des pièces écrites informatiques annexées aux marchés d'études[41].

[40] http://www.groupsystems.com/page.php
[41] C'est le contrat liant le Maître d'Ouvrage et le titulaire du marché d'études ou de travaux qui permet d'échanger les informations du projet par le système d'échange de données informatisées

- En phase d'études et avant la passation des marchés de travaux :
  - la définition de la méthodologie pour les phases d'études : découpage du projet, documents à informatiser, plan de classement, codification des documents, liste prévisionnelle des couches ;
  - le paramétrage et la mise en service du système ;
  - la rédaction des pièces écrites informatiques annexées aux marchés de travaux ;
  - la connexion et la formation des intervenants ;
  - l'assistance des utilisateurs.
- En phase travaux et avant réception des ouvrages :
  - la définition de la méthodologie pour la phase travaux ;
  - la mise à niveau éventuelle de la configuration du système ;
  - le paramétrage du système pour la phase ;
  - la connexion et la formation des nouveaux intervenants ;
  - l'assistance des utilisateurs ;
  - le suivi du projet en veillant au respect des règles prévues pour les marchés.

Au cours de cette recherche, nous avons été amenés à choisir certains outils d'assistance au travail coopératif pour réaliser une expérimentation concernant l'application de tels systèmes au contexte de la conception.

(SEDI). Cela implique que le titulaire se connecte puis utilise le SEDI en respectant les règles d'échanges. Les coûts afférents figurent dans le dossier de consultation afin que le soumissionnaire établisse son offre de prix.

2.4 Expérimentation de systèmes coopératifs dans une situation de conception coopérative

L'objectif de l'expérience poursuivie est d'analyser la capacité de certains outils de TCAO actuels à assister la conception architecturale, en réalisant une expérience de conception à distance. Deux organisations de cultures différentes ont participé à l'expérience : Le CRAI 'Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie' (Nancy – France) et le VDS 'Le Studio de la Conception Virtuelle' à la faculté d'architecture (Université de Rangsit – Thaillande). L'objet de l'expérimentation est la conception d'un espace d'exposition des travaux du CRAI dans la galerie d'art de l'université de Rangsit [Kubicki et al. 2004].

2.4 -1 La mise en place du projet

Deux équipes ont participé au projet. L'équipe des thaïlandais est constituée d'étudiants en 'Master' dans le 'VDS' à la faculté d'architecture. L'équipe française est composée principalement de doctorants travaillant sur la conception coopérative, à laquelle j'appartiens. Différents rôles sont attribués (décideurs, participants, coordinateurs).
Dès le début, des outils de communication et d'échange de données sont choisis. Le choix des outils de CAO est resté libre. Pour la communication asynchrone, nous avons choisi un collecticiel nommé 'PhPCollab'. Cet outil centralise l'information sur le projet et propose une gestion de l'environnement coopératif par projets, par acteurs, par tâches et par documents (voir figure 19). Il propose aussi des fonctions telles que la notification électronique automatisée (envoie automatique 'd'e-mail' vers les personnes concernées par une tâche, notification d'un dépôt de documents)

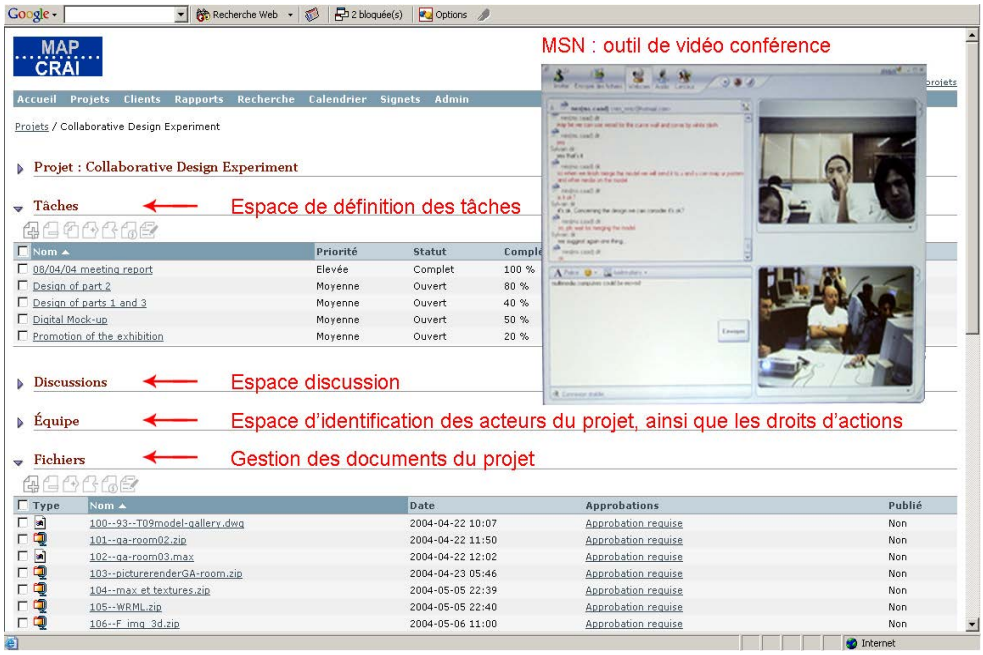


Figure 19- Capture d'écran du projet sur le collecticiel PhPCollab avec le système de vidéo conférence

Pour la communication synchrone nous avons choisi des outils de vidéo conférence : la messagerie instantanée de MSN avec utilisation de la 'Webcam' et un outil de partage d'écran (VNC) installé dans un poste de travail équipé d'un serveur 'ftp'. L'objectif est de partager les écrans respectifs des postes de travail des deux équipes et ainsi donner une conscience de ce que fait simultanément chacune des équipes à des milliers de kilomètres de distance.

La conception a été menée au moyen de sessions de travail internes dans une équipe et d'une façon communautaire entre les deux équipes. Pour la coordination des équipes, certaines règles sont imposées :

- durant le travail des deux équipes, des réunions sont planifiées périodiquement (presque toutes les deux semaines) ;
- chaque réunion est résumée dans un compte rendu qui expose les décisions prises ;
- l'utilisation de la langue anglaise est décidée pour communiquer entre les deux équipes,
- l'adoption d'une méthode pour nommer les documents : 'Pays d'origine'_'Numéro'_Interne ou externe'_'Nom' ;
- le choix de divers formats de fichiers est défini suivant le type du document (.dwg et .ifc pour la CAO ; .doc et .pdf pour les fichiers texte ; .jpg et .bmp pour les images).

Nous avons mené une conception distribuée asynchrone. Notre groupe a procédé à la conception de l'espace d'exposition intérieur, en utilisant un scénario de parcours d'un

visiteur virtuel. L'équipe thaïlandaise a œuvré à la conception de l'espace d'entrée, avec l'idée d'attirer le visiteur à entrer dans l'espace d'exposition (voir figure 20).

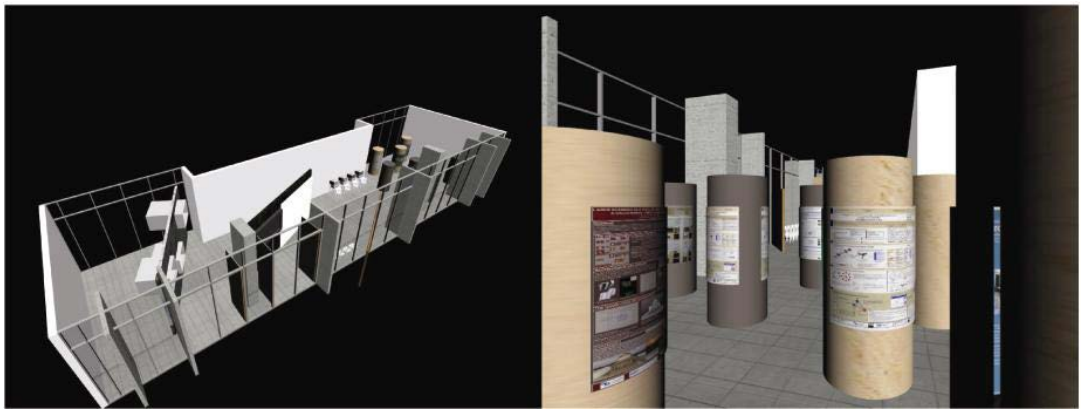


Figure 20- Représentation 3d du projet final

2.4 -2 Les interactions entre concepteurs

Deux modes de travail sont adoptés. Le travail interne dans chaque équipe et le travail en groupe synchrone entre les deux équipes. Le premier mode traite des tâches affectées durant une phase d'étude (la conception d'un diagramme, la modélisation de l'espace), et le deuxième mode traite de la coordination des propositions, de la validation des tâches et des documents). Lors des échanges de données, les documents sont illustrés par un commentaire pour donner une idée sur leur contenu.

Le travail coopératif entre les deux équipes a duré trois mois. Deux grandes phases ont structuré ce travail : la définition du contenu à exposer suivant un choix de parcours et l'aménagement de l'espace qui expose ce contenu. Le processus de conception est abordé en tenant compte d'une dimension financière (budget global défini) et sans entrer dans des détails constructifs.

2.4 -3 Les apports des outils de TCAO choisis

L'expérimentation retrace un projet de conception coopérative à distance. On a noté un certain nombre de problèmes liés à la distance tels que le langage ou la différence horaire. Ces problèmes ont été surmontés grâce à une coordination rigoureuse imposée par le coordinateur du projet au reste de l'équipe. Comme nous avons été confronté à un problème sociologique dû à la différence de culture des deux équipes, les outils de

communication ont facilité la compréhension des propositions, des choix et des solutions adoptées.

L'outil PhPCollab testé durant l'expérimentation possède des qualités mais aussi des limites. La gestion au moyen de modèle d'acteurs, de tâches, de documents, participe à la structuration du projet. En plus l'utilisation de divers états pour les tâches et les documents offre une idée sur la progression des activités de conception. Cependant l'outil est limité vis à vis de certains points :

- le menu des tâches devrait être plus étudié pour assister l'utilisateur dans : le processus pour réaliser une tâche, accepter ou refuser une tâche, etc.
- l'outil génère automatiquement une quantité énorme de courriers électroniques pour notifier aux utilisateurs les actions des concepteurs (notification de dépôt d'un document, d'un commentaire, initiation d'une discussion, invitation à consulter), ce qui entraîne une surcharge d'informations ;
- la représentation du contexte du projet au moyen des concepts d'acteurs, de documents et de tâches est incomplète. Par exemple, la notion de phases est négligée et l'utilisateur ne peut se situer dans les différentes phases du projet ;
- la visualisation du contexte du projet repose sur un mode de structuration par listes. Ce mode est adéquat pour classer les données du bâtiment, mais ne facilite pas l'identification des relations entre les concepts du projet. Par exemple, il est impossible de savoir ce qu'un acteur sélectionné sur l'outil a produit comme documents ;
- le dernier point reste commun à tous les collecticiels. En effet même si le système offre la possibilité de commenter un document, cela reste insuffisant pour rendre accessible plus facilement les données relatives aux éléments du projet contenus dans le document. De même, on ne peut retrouver ce que chaque intervenant a modifié, ni savoir qui fait quoi ?

D'un autre côté, l'utilisation des outils de communication (vidéo conférence, messagerie instantanée, partage d'écrans) a beaucoup facilité la discussion sur le projet et l'échange des idées. Cependant, pour la réussite de notre expérimentation, nous sommes partis d'une logique de non-confidentialité, ce qui ne se pratique pas souvent en situation réelle dans le domaine du bâtiment.

Conclusion partielle

Si le travail collectif, et spécifiquement la coopération, sont des champs de recherche anciens dans de nombreuses disciplines, ils restent un sujet d'actualité important. En effet, les modes d'organisation qui se développent actuellement sont en grande partie fondés sur le principe de la coopération entre des personnes appartenant à des métiers différents. Cependant, la mise en place de ces modes d'organisation se heurte à des obstacles issus de l'organisation fonctionnelle classique (conflits d'intérêts, incompréhensions liées à l'absence de langage commun)

Le travail collectif passe par le partage d'un espace d'objets communs, sans cesse enrichi par des contributions collectives (lors d'une collaboration) et par des contributions individuelles (lors d'une coopération). Cette co-production est structurée par une coordination des acteurs. En effet, la collaboration correspond à un travail qui repose sur des processus connus voire répétitifs. Ainsi, les individus travaillent ensemble à la réalisation d'une même tâche. En revanche, dans le cadre d'une coopération, ils ont la possibilité de subdiviser la tâche en différentes sous-tâches qu'ils peuvent réaliser chacun de leur côté, pour ensuite rassembler leurs contributions dans une production commune. La coopération répond davantage à la réalisation d'activités de conception.

> Exemple : Lors d'un travail de coordination des activités au sein d'une agence d'architecture (entre l'architecte chef d'agence, ses dessinateurs, sa secrétaire et son pilote de chantier), on parle davantage de collaboration. Ainsi un architecte collabore avec son équipe au sein de son agence, mais peut aussi collaborer avec d'autres acteurs pour la réalisation d'une même sous-tâche (lors d'un groupement d'architectes, d'ingénieurs). En revanche, la coordination entre l'architecte, l'ingénieur et l'entrepreneur relève plutôt de l'activité de coopération suivant les différents cas de projets.

La coordination, quant à elle, regroupe les actions permettant d'ordonner et de réguler les activités de co-production d'un groupe d'acteurs afin de parvenir à un objectif.

> Exemple : Principalement dans les réunions, les acteurs sont plutôt en action de coordination que de collaboration ou coopération. Ils s'échangent les idées, et décident des actions à mener. La division des tâches qui s'opère suite à la création des groupes de travail fait passer le travail collectif d'un niveau de coopération, à un travail de collaboration s'effectuant au sein de ces groupes. Il peut s'opérer une prise de décisions à partir des connaissances générées par le groupe de travail [Lubich 1995]. Coopération, collaboration ou co-décision sont structurées par la coordination.

Les théories étudiées nous ont permis de mieux comprendre le travail collectif et de définir des concepts intermédiaires nécessaires à la structuration de son contexte. Ces concepts (activités, actions, opérations, phases, tâches, etc.) sont la base de la conception de modèles indispensables au développement de divers systèmes coopératifs. Ces systèmes peuvent être structurés suivant le mode opératoire des utilisateurs (espace-temps), ou en utilisant les trois espaces du trèfle fonctionnel qui n'ont pas la même importance dans ces outils [Salber et al. 1995]. Par exemple, les systèmes d'édition partagée actuels mettent l'accent sur les services de production, le 'workflow' et les armoires à plans sur la coordination, les 'médiaspaces' privilégient la communication.

Cependant, nous avons mis en évidence que ces systèmes ne favorisent pas l'accession et l'interprétation du contenu des documents qu'ils gèrent. Ces systèmes doivent favoriser l'obtention de plus d'informations, pour une meilleure objectivité dans l'évaluation et les prises de décisions.
Actuellement, les systèmes coopératifs disponibles dédiés à l'utilisation des documents proposent une vue encore trop proche de l'organisation physique des données qui ne peut en aucun cas refléter l'organisation sociale du projet. La prise en compte de ces dimensions est une piste à suivre pour la définition d'un nouveau modèle de coopération utilisant les données relatives aux objets architecturaux, le contexte des acteurs, des documents et des activités pour proposer une vision globale, complète et adaptée du projet (voir chapitre 5).

Aujourd'hui, l'adoption de ces outils doit prendre en compte les formes spécifiques de la coopération des acteurs du BTP. Ils commencent à être implémentés dans les entreprises, les usines et les organisations des acteurs du domaine du bâtiment, mais leur généralisation n'est pas encore assurée. En effet, le développement de l'utilisation de ces systèmes dépend de leur capacité à s'adapter à l'organisation du travail dans la structure, et à accepter de tenter d'adopter ces nouvelles méthodes de travail en groupe.

> Exemple : Dans un collecticiel, la seule présence de fichiers à l'intérieur d'un espace partagé ne suffit pas à aider la conception coopérative. Ce type d'outil doit œuvrer à constituer le contexte coopératif du projet de bâtiment afin de donner aux utilisateurs suffisamment d'indications sur ce qu'ils peuvent ou doivent faire.

Chapitre 3

La coopération dans le domaine du bâtiment, notamment dans le domaine du bois, comparaison avec les secteurs automobile et aéronautique

En France, l'organisation du secteur du bâtiment fait l'objet d'une volonté récurrente de rationalisation. Depuis les années 70, les acteurs du bâtiment ont tenté ‘d’industrialiser’ le processus de production en s’inspirant des méthodes de travail communes de divers secteurs industriels. Le cycle de vie du produit dans ces secteurs est structuré en plusieurs phases bien définies. Les acteurs sont généralement dominés par des entreprises constructrices ‘leaders’ qui monopolisent le marché, imposent les méthodes du travail collectif à suivre et structurent les échanges des nombreux acteurs durant le processus de conception - production du produit [Donada et Dostaler 2005]. Les limites de cette tentative expliquent l’intérêt aujourd'hui porté à la coordination des activités et à l’assistance à la coopération [Du Tertre 1988].

Nous allons dans ce chapitre, en continuité de notre étude concernant le domaine du bâtiment, le contexte de la conception de bâtiments en bois et les théories connues de l’activité collective et des systèmes coopératifs, nous intéresser à la conception coopérative dans le bâtiment, et plus spécifiquement dans le domaine du bois. Nous allons aborder cette analyse par la détermination de l’environnement de la conception coopérative, des modes d’organisation du travail coopératif et des moyens d’échanges des flux d’informations. Cette analyse sera appuyée par l’identification des pratiques réelles dans la construction en bois.

Ensuite, nous allons tenter de comprendre les méthodes de travail collectif dans les secteurs industriels (précisément dans ceux de l’automobile et de l’aéronautique, les plus typiques et caractéristiques du secteur industriel par leur importance, leurs chiffres d’affaires, le nombre d’acteurs qui y travaillent). En comparant ces méthodes de travail avec celles du domaine du bâtiment, nous allons mettre en évidence certaines particularités à approfondir afin de les utiliser pour l’assistance à la conception coopérative.

3.1 La coopération dans le secteur du bâtiment

La question de la coopération dans l'activité de 'conception-construction' n'est pas nouvelle. Elle est même consubstantielle de l'acte de bâtir et des activités de conception qui concourent à cet acte en particulier. Faut-il rappeler que les pyramides, les cathédrales sont l'expression d'une fabuleuse coopération entre des métiers fort différents habitués à travailler ensemble et dont l'activité de création collective reste encore un objet d'étonnement [Bignon et al. 2001]. Alors, comment expliquer la pérennité des modèles de travail collectif depuis l'antiquité jusqu'à aujourd'hui, alors qu'ils sont caractérisés par de nombreuses contraintes et problématiques ? (Évolution des exigences, fragmentation des interventions, confrontation des points de vue, des difficultés d'échanges d'informations).

3.1-1 L'environnement de la coopération et la pérennité de l'organisation dans le domaine du bâtiment

D'après J. Barros de Sa, l'environnement de la coopération est caractérisé par les composantes suivantes [Barros de Sa et al. 1994] (voir figure 21) :

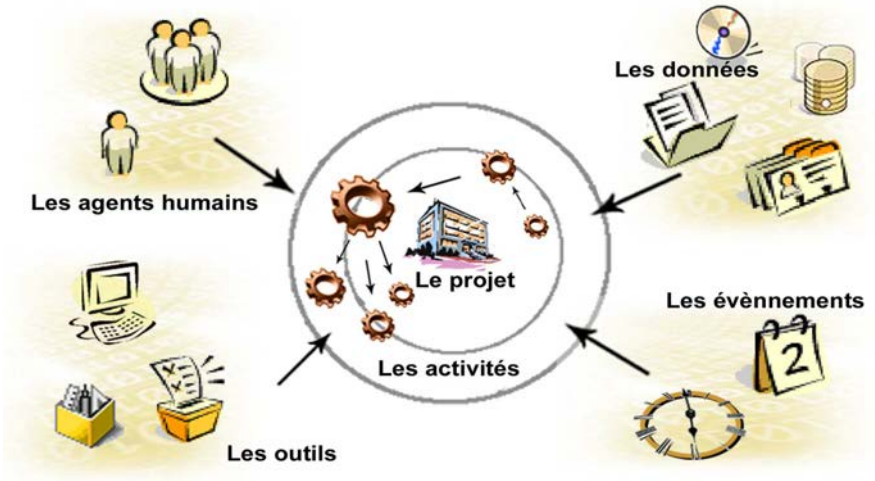


Figure 21- L'environnement de l'activité coopérative

- les agents humains : sont caractérisés par leur capacité d'action. Ils agissent, donnent leurs opinions et produisent de l'information à l'intérieur du projet ;

- les outils qui varient des manuels aux outils informatiques : téléphones, fax, imprimantes, ordinateurs, logiciels ;
- les données organisationnelles (attribuées ou produites) : courriers, documents, fichiers, maquettes numériques ;
- les évènements qui constituent les données dynamiques du projet : date de rendu de projet, attribution du permis de construire, début des travaux avec la distribution des ordres de services ;
- les activités qui sont structurées de façon à donner la possibilité de réagir aux évènements suivant divers modes de coopération.

L'environnement de la conception coopérative repose sur les relations réciproques qu'entretiennent ces diverses composantes.

Les activités des agents humains subsistent depuis l'antiquité et c'est grâce à ces activités que les principes d'organisation des divers acteurs ainsi que les relations déployées dans le secteur du bâtiment sont restées pérennes. D'une part, la répartition du pouvoir de décision entre les acteurs indépendants du bâtiment est, depuis l'antiquité, le gage de la prise en compte des contraintes de chaque fonction au sein de chaque projet. D'autre part, le caractère informel des relations qui repose sur des règles de fonctionnement interpersonnelles, non établies, non codifiées (voir chapitre 1), rend flexible le processus de 'conception–construction'. Cette souplesse est la réponse aux nombreuses problématiques, aléas et complexités des projets. Ces aléas obligent les intervenants à interpréter les prescriptions qu'on leur donne et à négocier constamment avec leurs partenaires en cherchant le meilleur compromis entre leurs contraintes propres et les engagements pris. Les relations informelles donnent ainsi la souplesse nécessaire aux processus incessants de négociation et de réajustements réciproques.

Dès lors, l'adoption d'autres principes d'organisation risque dans certains cas de provoquer des pertes d'efficacité supérieures aux dysfonctionnements actuellement observés.

3.1-2 L'échec de l'importation de l'ingénierie concourante dans le domaine du bâtiment

Au cours d'un travail coopératif, les phases de conception et de validation peuvent être menées soit les unes à la suite des autres (de manière séquentielle), soit de manière séquentielle interactive (validations groupées par rapport aux travaux des divers participants), soit encore d'une manière concourante (en faisant chevaucher les interventions des acteurs du projet) (voir figure 22).

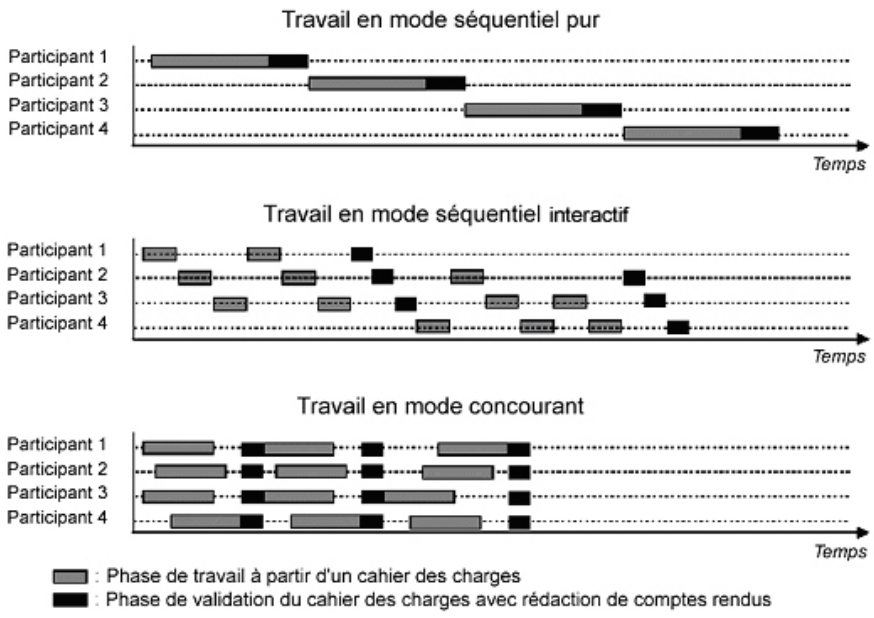


Figure 22– Les différents modes d'organisation du travail coopératif [Tarpin 1997]

Le travail en mode concourant donne certainement une plus grande souplesse au déroulement du projet et une réaction adaptée face aux imprévus ou aux dysfonctionnements. Il augmente aussi la cohésion des équipes, la qualité des prestations et réduit les délais.

L'ingénierie[42] concourante (ingénierie simultanée / ingénierie intégrée) est une méthode de travail qui permet aux acteurs de prendre en compte dès l'origine toutes les phases du cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à son exploitation, y compris la qualité, les coûts, les délais et les exigences des utilisateurs. L'ingénierie concourante est une démarche qui vise à rapprocher la conception de la production, de façon à intégrer le plus en amont possible dans la conception les contraintes qui interviendront en aval : il s'agit de limiter les contestations dues à des défauts de conception, de réagir rapidement face aux dysfonctionnements imprévus d'un projet et d'anticiper des problèmes potentiels.

Les travaux menés par Jouini et Midler [Jouini et al. 1996] mettent en évidence certains principes à l'ingénierie concourante :

- le renforcement du rôle de chef de projet défini par une responsabilité de résultat global, en disposant d'une autonomie réelle de moyens et de méthodes ;

[42] L'ingénierie est l'ensemble coordonné des activités permettant de maîtriser et de synthétiser les informations multiples nécessaires à la conception, l'étude et la réalisation d'un produit. Elle a pour but d'optimiser l'investissement qu'il constitue et d'assurer les conditions de sa viabilité. Dans le bâtiment, l'ingénierie est l'ensemble des études de conception, d'implantation et de suivi des réalisations de constructions, souvent à caractère spécifique ou spécialisé : équipements socio culturels, hospitaliers, installations individuelles ou sportives, etc. [Dicobat 1992]

- la prise en compte des singularités du projet. Chaque projet est un cas particulier, qui nécessite la mise en place de dispositions et de solutions adaptées et non standardisées ;
- la recherche de compromis multicritères et multi-variables ;
- l'adoption d'une démarche de 'focalisation progressive' au projet ; ceci en tenant compte du maximum de paramètres dès les phases en amont ;
- l'explication et la prise en compte de l'incertitude inhérente à toutes démarches de conception, par opposition à un pilotage opaque ;
- l'ouverture du projet à tous les acteurs (concepteurs, réalisateurs, fournisseurs), et ceci en les faisant participer aux choix préliminaires.

L'importation des principes de l'ingénierie concourante dans le domaine du bâtiment, représente un enjeu important pour renforcer le travail coopératif des acteurs, et surtout celui des concepteurs. En effet, dans le domaine du bâtiment, le travail coopératif est plutôt organisé selon un mode séquentiel interactif. Lors du processus de conception d'un bâtiment, l'architecte commence à travailler avec le B.E.T souvent d'une manière séquentielle interactive. Le B.E.T récupère à chaque fois le travail de l'architecte pour faire les calculs nécessaires. De même, l'architecte récupère à chaque fois les plans du projet, pour valider les choix des ingénieurs selon son point de vue architectural et réajuster éventuellement les espaces. Des réunions quotidiennes avec le maître d'ouvrage sont organisées pour débattrent des problèmes recensés. Dans la plupart des cas, les entreprises de construction ne sont consultées qu'une fois l'étude du projet faite. Ces dernières années, l'idée d'importer les principes de l'ingénierie concourante dans le domaine du bâtiment a émergée. L'objectif est de bénéficier des avantages qu'offre cette méthode de travail.

Le modèle de l'ingénierie concourante s'est d'abord et principalement développé dans les grandes entreprises manufacturières, comme dans le secteur de l'automobile [Midler-b 1996]. L'adaptation de ces méthodes d'ingénierie concourante dans le domaine de la construction pose des problèmes quant à la démarche du projet. Cet échec d'importation n'est pas dû à un retard du monde du bâtiment. Mais, ces méthodes sont fortement inadaptées à un contexte singulier de coopération, parce qu'elles imposent la recomposition actuelle du système d'acteurs, l'émergence de nouveaux métiers et de nouvelles compétences qui bouleversent les organisations traditionnelles, le développement de nouvelles méthodes et outils, tandis que tous les acteurs ne sont pas prêts à les adopter.
« L'ingénierie concourante n'est pas une recette : mettre les acteurs dans un cadre favorable à l'ingénierie concourante, ce n'est pas automatiquement s'assurer de sa réussite » [Malcurat 2002].

La mise en place de l'ingénierie concourante nécessite d'avoir une vision globale de l'organisation et du fonctionnement des intervenants dans un projet. Ce mode de travail est davantage en adéquation avec la structuration du projet par produit qu'avec une structuration par fonctions et métiers, comme c'est le cas dans le secteur du bâtiment [Perrin et al. 1996].

3.1-3 Les divers flux d'informations échangés entre les acteurs du domaine du bâtiment

Il va de soit que pour coopérer, les acteurs doivent échanger et communiquer entre eux. Dans le domaine du bâtiment, les flux d'informations qui s'établissent principalement entre les acteurs sont de deux ordres. Les acteurs peuvent utiliser la communication directe orale ou écrite (divers plans ou documents, conversations téléphoniques, télécopies, courriers électroniques), comme ils peuvent partager et manipuler des objets partagés (maquettes numériques, etc.) Ces manipulations se matérialisent par les interactions entre acteurs et systèmes coopératifs.

a- La communication directe

La dimension dialectique de la communication est primordiale dans un projet coopératif : émettre une critique ou une remarque, émettre un avis, un commentaire, fixer une date de rendez-vous. C'est un moyen de construire une base de connaissance commune sur laquelle se fond toute compréhension mutuelle, et donc tout travail coopératif. La communication renforce la notion de groupe en facilitant cette compréhension mutuelle qui est essentielle pour le succès d'une action conjointe [Laurillau 2002].

Généralement, la communication humaine directe est décomposée en une phase de présentation où l'émetteur adresse un énoncé au récepteur, et une phase d'acceptation où le récepteur signale qu'il a compris l'énoncé. Le message de compréhension n'est pas nécessairement verbal. En effet, la parole est loin d'être le seul vecteur de communication pendant un dialogue. Les gestes (volontaires ou réflexes), le regard et l'expression du visage apportent tout autant d'informations et aident à communiquer. Ce genre de communication est nommé de 'face-à-face'. Elle est caractérisée par la co-présence, la visibilité, l'audibilité, la co-temporalité, la simultanéité et la séquence.

La communication peut également être médiatisée, avec l'utilisation de divers types de média qui se développent avec le progrès technique et informatique. Certains de ces outils sont plus efficaces que d'autres pour effectuer un type de tâches ou d'actions. Chaque média impose des contraintes propres (la visibilité, l'audibilité, la simultanéité, la mémorisation).

Exemple : Le téléphone est caractérisé par l'audibilité, la co-temporalité, la simultanéité et la séquence. Le courrier électronique, lui, est caractérisé par la trace écrite, la mémorisation et la révision.

Par ailleurs, la communication peut être orale ou écrite [Boniver et al. 2003] :
- La communication écrite : sous forme de textes, de tableaux, de graphiques et de figures, de schémas et de dessins. Les moyens de cette communication peuvent être : l'échange de documents (CCTP, ordres de démarrage de travaux, correspondances), de courriers électroniques, de fax.
- La communication orale : sous forme de discussions par téléphone, directe, etc. Les moyens de cette communication peuvent être : les réunions, les présentations de projets devant des membres de jury.

Dans le domaine du bâtiment, les réunions ont une importance cruciale dans le travail coopératif des acteurs. Elles rassemblent, sur une durée relativement courte, un ensemble d'acteurs pour valider des choix et des décisions relatifs à une activité, puis décider de la suite de l'exécution de l'opération. L'intérêt de ces réunions résulte du contact direct permettant de prendre rapidement des décisions. Aujourd'hui, même si certaines technologies de communication permettent, dans une certaine mesure, d'éliminer la nécessité de se déplacer, la suppression des réunions reste inimaginable. Elles demeurent un moyen d'échange habituel et privilégié des acteurs du bâtiment. En effet, lorsque des personnes travaillent en 'co-présence'[43], elles échangent un certain nombre d'informations et de signaux implicites comme explicites. Aujourd'hui, les outils d'aide au travail coopératif ne cessent d'essayer de reproduire cette dimension qu'ils qualifient par la notion de 'conscience de groupe'. La conscience de groupe au sein d'un espace de travail partagé est la somme des connaissances qu'un participant possède de l'espace de travail dans lequel il interagit avec les autres. Elle permet :
- de comprendre et mesurer l'activité et la dynamique du groupe en fonction de ce que les utilisateurs savent réciproquement les uns des autres ;
- de situer l'action propre de chaque acteur au sein du groupe, et de pouvoir ainsi coordonner leurs propres activités avec celles des autres.
Différentes sources d'informations alimentent la conscience du travail en commun : le corps (la posture, le mouvement), les artéfacts (relations entre objets, divers états) et enfin la conversation (informations, culture).
La conscience de groupe est presque toujours liée à une activité. Elle n'est pas un but en soi mais participe à l'accomplissement de l'activité. Il existe d'autres formes de conscience de

[43] Ces acteurs travaillent en même temps et dans un même lieu.

groupe, comme celle que K. Benalila appelle 'workspace awareness' et la 'process awareness' [Benali et al. 2002]:

- la 'workspace awareness' (la conscience de l'espace de travail commun) se situe à un plus grand niveau de détail et permet aux utilisateurs travaillant sur les mêmes documents d'être au fait des modifications apportées par les partenaires situés dans le même espace de travail;
- la 'process awareness' (conscience du procédé commun) permet aux participants de situer leurs actions dans le contexte le plus large d'un projet.

Ainsi, vu l'importance et l'efficacité de la communication dans tout travail collectif, il est intéressant de s'appuyer, d'intégrer ou d'utiliser ce moyen dans les systèmes coopératifs. Cette utilisation peut se faire aux moyens d'espaces de dialogue, de spécification de tâches de demandes de réunions, d'aide à l'élaboration et à la diffusion des comptes rendus de réunions, de renforcement de la conscience de groupe, etc.

b- Le partage de données lors du travail coopératif dans le domaine du bâtiment

Quatre pratiques d'échanges de données structurent le travail coopératif dans le domaine du bâtiment (voir figure 23) :

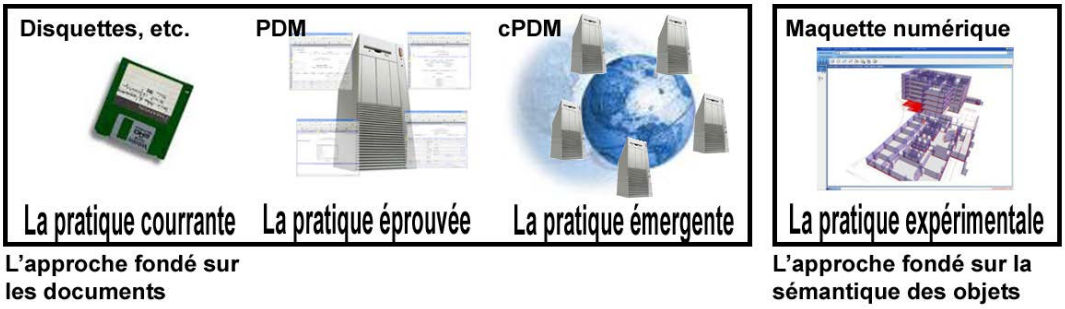


Figure 23– Les pratiques d'échanges de données dans le domaine du bâtiment

- La pratique courante : c'est la gestion manuelle des échanges (envoi de disquettes, échanges de plans par voie postale) et l'envoi de courriers électroniques : cette pratique fait gagner du temps, mais montre une faible traçabilité de partage.
- La pratique éprouvée de l'échange d'informations au travers des PDM[44] (les armoires à plans, etc.) : ces systèmes sont utilisés dans le cadre de grands projets (vu leurs prix élevés), pour faciliter l'échange de documents et plus généralement pour donner accès aux informations techniques relatives à un produit et ce à toutes les personnes pouvant

[44] Product Data Management : C'est un concept qui constitue une composante des technologies de données de produit. Il recouvre l'ensemble des techniques, méthodes, et outils visant à communiquer sur support électronique les données de produit au sein d'une entreprise.

intervenir au cours de son cycle de vie. Leur utilisation est soumise à des règles précises de structuration des documents.

- La pratique émergente au moyen de la gestion de projet en ligne : c'est en quelque sorte une version Internet simplifiée des PDM avec systèmes de mémorisation des actions. Ces systèmes relèvent à la fois de la gestion électronique de documents et d'outils d'assistance au travail coopératif.
- La pratique expérimentale repose sur l'utilisation des maquettes numériques, et sur la modélisation du projet avec des objets interopérables. Cette pratique n'a pas encore montré son efficacité, mais présente des ambitions importantes.

Les trois premières pratiques constituent l'approche de coopération basée sur les documents. La dernière pratique constitue l'approche basée sur l'utilisation et la manipulation d'objets portant sur la "sémantique" du projet.

Les documents constituent un mode important dans les échanges d'informations. Il existe trois catégories d'utilisation des documents [Malcurat 2002]:

- Les inter-documents : ces documents véhiculent l'expérience collective ainsi que l'ensemble du savoir et des connaissances du domaine. Ces dernières sont extraites par exemple des réglementations, des livres, des revues.
- Les intra-documents : ces documents sont propres à un acteur. Dans la plupart des cas, ils ne sont pas échangés (croquis, notes)
- Les extra-documents : ces documents sont échangés et partagés entre les acteurs au cours des différentes phases du projet (documents métier, plans)

Les documents peuvent être répertoriés selon le type de formalisation de leur contenu :

- Les documents graphiques : ces documents sont le moyen privilégié pour communiquer dans le secteur du B.T.P. Ils s'appuient sur des conventions de représentations structurées[45], pour assurer de multiples fonctions (le non-respect des normes est fréquent mais non pénalisant pour la compréhension du document). Il peut s'agir de dessins architecturaux (plans établis dans les phases d'études) ou de dessins techniques (plans de consultation des entreprises, d'exécution, d'installation de chantier, etc.) Les documents graphiques peuvent être utilisés pour aider la maintenance dans la phase d'exploitation des bâtiments.
- Les pièces écrites : dans le bâtiment, les pièces graphiques sont complétées par des éléments textuels qui enrichissent ces descriptions tels que :
    - l'évaluation de la faisabilité technico-économique des ouvrages à réaliser (métrés, descriptifs, quantitatifs) ;

[45] La rédaction de ce type de documents est structurée suivant des échelles de représentation. Cette structuration est fixée par décret dans la loi MOP. Les études d'esquisse se réalisent du 1/500° au 1/200°, les avant-projets sommaires du 1/200° au 1/100°, les avant-projets définitifs du 1/100° au 1/50°, le projet du 1/50° au 1/20° ou 1/2°.

- des notices techniques (calculs de surface, notes de calculs, justifications) ;
- des documents contractuels qui lient les différents acteurs entre eux (marchés, contrats de missions) ;
- des documents administratifs (Cahier de Clauses Administratives Particulières) ;
- des comptes rendus de chantiers ;
- des documents financiers (situations de travaux, pénalités de retard).

Le papier représente le mode d'échanges de documents actuellement le plus répandu. Toutefois, il se fait aujourd'hui rattraper par le support informatique, favorisé par les avancées technologiques et l'informatisation croissante du secteur. En s'intéressant plus à sa forme informatisée, la gestion des documents peut être facilitée par un certain nombre de solutions, dans les outils d'aide au Travail Coopératif Assisté par Ordinateur : par exemple, l'étiquetage des auteurs, des indices de révisions antérieurs, des dates de modifications, l'uniformisation des codes de dessin et de présentation.

Ainsi, si les documents représentent jusqu'à aujourd'hui le moyen d'échanger le plus courant et le plus répandu lors de la coopération dans le bâtiment, ils ne constituent pas pour autant un support d'informations tout à fait adéquat. En effet, représenter l'ensemble d'un projet sous forme graphique ou pièces écrites demande généralement un grand nombre de documents, contraignant les concepteurs en quête d'informations à des recherches fastidieuses. Il semble donc intéressant d'approfondir notre recherche sur la 4éme pratique d'échanges qui repose sur l'utilisation des maquettes numériques et la modélisation avec les objets supports des informations relatives au projet de bâtiment. Mais auparavant, nous nous proposons de développer de façon plus spécifique la coopération dans le domaine de la construction en bois, puis dans les secteurs industriels qui possèdent des méthodes de coopération certainement riches d'enseignement (surtout en ce qui concerne l'utilisation des maquettes numériques).

3.2 Identification des pratiques réelles de la coopération dans le domaine de la construction en bois

Afin de mieux discerner les pratiques au sein du domaine de la construction en bois, nous avons mené un travail d'enquête auprès de divers acteurs. Ces acteurs (au nombre de 20) ont été sélectionnés selon leurs compétences à concevoir, construire, utiliser et promouvoir le bois (voir annexe 2). L'enquête a été réalisée à partir d'un questionnaire.

3.2-1 Mise en place d'un questionnaire et analyse des résultats

Les objectifs de ce questionnaire visaient à déterminer la nature des relations qu'entretiennent ces acteurs, et à savoir comment ils travaillent, coopèrent et échangent leurs données. Cette enquête avait aussi pour but de faire le point sur les connaissances et les compétences dans le domaine.

La méthode employée a consisté à effectuer un entretien avec chaque acteur en posant des questions ciblées pour recueillir leurs réponses individuellement. Cette méthode a permis un dialogue oral particulièrement propice à une compréhension mutuelle avec chacun d'eux. Une fois ces entretiens terminés, nous avons rassemblé et analysé les réponses pour mettre en évidence des concepts liés à l'activité coopérative dans la construction bois.

Nous avons ainsi distingué une certaine diversité des points de vue et une divergence des réponses selon les métiers, la manière de travailler, d'aborder le projet en bois et d'utiliser les outils informatiques, etc. Pour analyser ce type de questionnaire où chaque personne a exprimé sa propre vision de la coopération dans le domaine de la construction en bois, il nous a semblé opportun de regrouper chaque opinion en divers thèmes secondaires, afin d'en dégager une tendance générale.

a- La spécificité des activités de conception dans un projet de bâtiment en bois

- Importance de la phase de conception : il existe un 'décalage en valeurs' entre les phases avant projet et exécution. Pour réussir le projet d'une construction en bois, les phases 'APS' et 'APD' doivent être bien élaborées, avec un travail relativement tôt sur la définition des ouvrages (par exemples le choix des essences, les multiples détails techniques ou d'assemblage, la prise en compte de la maintenance). La phase projet n'est qu'une étape de mises en forme et de vérifications de ce qui a été conçu auparavant.

- Choix initial du matériau : un projet bois impose d'aborder la conception différemment qu'avec d'autres matériaux. En effet, les acteurs doivent être munis de connaissances des techniques de construction du domaine, bien coopérer et entretenir un relationnel important entre eux, qu'ils soient programmeurs, concepteurs ou réalisateurs. Opter pour la construction en bois ne peut donc en aucun cas être un choix de matériau par défaut, mais doit être un acte volontaire.

b- La nature des relations entre les acteurs du domaine de la construction en bois

- Un relationnel fort : sur le plan pratique, les acteurs peuvent entretenir des relations durables avec les organismes du bois tel que le CNDB, le CTBA, la FNB. Ce sont des relations institutionnelles. Cependant, il existe des relations qui diffèrent d'un projet à un autre, et qui se nouent au sein des équipes elles-mêmes, avec souvent le maître d'oeuvre en tête des concepteurs. C'est un relationnel non durable vue la diversité de la philosophie du travail chez les acteurs du bâtiment, mais qui est caractérisé par son intensité : beaucoup d'échanges d'idées, de demandes de renseignements, d'informations, d'avis. Cependant, c'est un relationnel fort vu l'importance de réussir la phase de conception. Une fois en phase de réalisation, rattraper des erreurs de conception est difficile, car dans la majeure partie des cas, la préfabrication des ouvrages est déjà faite.
- Manque de connaissances : souvent, il y a une mauvaise compréhension et interprétation des informations échangées lors de la conception d'un projet en bois (connaissances des diverses essences du bois, principale utilisation d'une essence, classement d'aspect, typologies des classes de risque, etc.), aggravées par un manque de connaissances de vocabulaire spécialisé chez certains acteurs (les architectes avouent avoir des faiblesses et des lacunes pour construire en bois).

c- La coopération entre les acteurs du domaine de la construction en bois

- 'Transparence' des informations : 70% des acteurs questionnés ont opté pour la 'transparence' des informations et ne pas occulter des données techniques pour arriver à un projet réussi (plus les choses sont claires et sont dites, moins il y a de problèmes). Cependant, un certain nombre admet qu'il existe des informations qui doivent rester 'propres' à chacun d'eux et être dissimulées : les prix de revient des études et de construction des ouvrages, une partie du projet de l'architecte qu'il garde pour lui (esquisses, croquis), certains détails techniques qu'il ne convient pas de traiter avec tous les acteurs. Quelques fois trop de détails est une source de problèmes.
- Pratiques d'échanges rudimentaires : la structuration des échanges d'informations est rudimentaire et montre une pratique courante et dominante avec l'utilisation du téléphone,

du fax, des réunions, des plans sur papiers ou sur disquettes. Certains acteurs sont passés à l'utilisation des emails et des pièces jointes sur Internet.

d- Les échanges de données entre les acteurs du domaine de la construction en bois

Lors des échanges de données techniques entre les différents intervenants, il existe des dysfonctionnements qui restent communs à tout le domaine du bâtiment :

- Reprise des données : le processus conception-fabrication est compliqué (chacun travaille avec sa propre façon de faire) : l'architecte travaille essentiellement en 2D, sur des logiciels de dessin. Le B.E.T reprend les dessins sur son logiciel de calcul et finalise la conception. L'entreprise récupère les données de dimensionnement (sur papier ou en fichiers) pour les ressaisir sur des machines de taille du bois.
- Multiplicité des formats d'échanges de données : il existe également une incompatibilité des formats d'échanges d'informations (logiciels variés, langages différents, processeurs différents – Macintosh et PC)

e- Les outils informatiques dans le domaine de la construction en bois

- Discontinuité et continuité : une certaine typologie des logiciels utilisés par les acteurs de la construction en bois émerge (voir le sous chapitre suivant) :
  - des logiciels qui ne sont capables de traiter que certaines tâches spécifiques du processus de conception. Les échanges de fichiers se font avec des formats 'leaders' comme le '.dwg' et le '.dxf', avec souvent des pertes de données ;
  - d'autres sont aptes à faciliter des échanges de données, en assurant une continuité dans le traitement de certaines tâches comme : la conception architecturale, le pré dimensionnement et la préparation pour la fabrication.
- Enracinement des pratiques : la majorité des acteurs questionnés travaillent essentiellement en 2D, et s'ils utilisent la 3D ce n'est que pour la visualisation. 95% des acteurs questionnés ne connaissent pas la notion de maquette numérique, ni le format d'échanges de données IFC, sujet de notre recherche et que nous allons adopter comme support pour le partage et l'échanges des informations (voir chapitre 4).

Les acteurs de la construction en bois questionnés ont exprimé certaines attentes, notamment en ce qui concerne le renforcement du partenariat entre les acteurs, et le fait de combler le manque d'informations dans le domaine et dans l'assistance à la coopération. Ils n'ont cessé de mentionner que la conception dans ce domaine, comme celle dans la filière sèche (constructions métalliques, etc.) est exigeante en détails et en dessins précis. Ceci rend cette conception plus 'vulnérable' aux fautes de ressaisie des plans, et plus sensible au travail coopératif de ces acteurs.

3.2-2 Les outils informatiques dans le domaine de la construction en bois

L'informatisation du secteur de la construction connaît depuis quelques années un essor considérable. Le développement des outils de bureautique, de logiciels pour les études de conception et de construction, et même la gestion de patrimoine ont convaincu rapidement tous les professionnels du bâtiment que l'informatique engendre des gains de productivité importants [Dechaume 2000]. L'outil informatique est un des vecteurs de l'avenir de la construction. Dans le domaine de la construction en bois, il est présent et permet d'assister le concepteur, de classer et de gérer, de calculer des structures de plus en plus complexes, ainsi que d'assurer une taille de charpente précise au millimètre. Les logiciels de CAO et DAO sont nombreux et peuvent être dédiés ou non à la construction en bois. Dans la plupart des cas, ils sont ouverts à diverses technologies et matériaux.

Les outils informatiques dans le domaine de la construction en bois peuvent aussi être classés dans deux catégories :
- les outils informatiques répartis : ils peuvent traiter une ou certaines tâches discontinues du cycle de vie d'un bâtiment en bois ;
- les outils informatiques intégrés : ils peuvent traiter un ensemble de tâches continues et successives dans le cycle de vie d'un bâtiment en bois. Ces systèmes semblent intéressants puisqu'ils permettent une continuité dans les échanges de données techniques.

a- Etat des lieux des outils informatiques répartis

Chaque corps de métiers possède ses propres besoins et ses propres méthodes. Les éditeurs de logiciels ont développé des outils répondant à plusieurs problèmes. Chaque logiciel selon son modèle métier, son interface graphique et les fonctionnalités qu'il offre, permet de représenter et/ou traiter une partie de la sémantique d'un ouvrage en bois. Thibaut a recensé, suivant le critère de la fonction, six grandes familles de logiciels de modélisation des ouvrages en bois [Thibaut 2004]. Certains logiciels peuvent intégrer des modules qui leurs permettent d'appartenir à deux ou plusieurs familles en même temps :
- Les logiciels de CAO/DAO : ces outils permettent de concevoir des bâtiments ou des ouvrages d'une façon générique. Ils peuvent comporter une interface 2D et/ou 3D, ou travailler avec des objets architecturaux paramétrables (par exemple les murs, les fenêtres, les poteaux) Ils sont utilisés principalement par des architectes dans leurs études de conception. Ces logiciels ne prennent pas ou peu en compte les aspects techniques de la construction en bois et restent assez généralistes. Exemples : 'Autocad' et sa version architecturale ('Architectural Desktop'), 'Archicad', 'Allplan'.

- Les logiciels de modélisation et de dimensionnement spécifiques aux ouvrages en bois : ces logiciels se placent dans la continuité de la famille précédente. Ils permettent de traiter plus précisément l'aspect technique du projet sans pour autant tourner le dos au côté architectural. Ces outils proposent souvent une gamme de produits englobant : des modules de planification, des modules pour la conception 3D basée sur des modèles d'architecture bois, des modules de dimensionnement et de fabrication. Exemples : 'WoodEngine', 'Cadwork', 'Sema'.
- Les logiciels de calcul de structures des constructions en bois : ces outils ne traitent que l'aspect purement structurel des édifices en se plaçant du point de vue de l'ingénieur de structure. Ils proposent un environnement complet pour le calcul de structures dédié à la construction en bois. Les utilisateurs s'appuient sur des trames et conçoivent des éléments ponctuels, filaires ou de répartition (poteaux, poutres, planchers). Ils appliquent ensuite des charges ponctuelles, linéaires ou surfaciques, en utilisant des interfaces permettant de traiter le poids propre, les charges d'exploitations, les charges climatiques, les actions sismiques. Ces logiciels permettent alors de vérifier et d'optimiser le comportement de l'ouvrage conformément aux règlements de la construction en bois. Exemples : 'Effel', 'Robobat', 'Nailweb Calcul'.
- Les logiciels de métrés et d'estimation : comme avec d'autres matériaux, ces logiciels assistent les utilisateurs à réaliser des estimations de manière rapide. Certains de ces outils fonctionnent en réseau et permettent à plusieurs utilisateurs de travailler sur le même projet en mode synchrone. Cela permet de gagner du temps dans l'estimation d'une construction.
- Les logiciels de fabrication : dans le domaine du bois, tailler les éléments en bois est possible soit manuellement ou aidé par une machine automatique. Ces machines sont le plus souvent commandées numériquement, c'est-à-dire qu'elles sont pilotées par un logiciel qui permet de donner un coup de scie à un endroit voulu ou encore de percer l'élément en bois à un autre endroit. En général, ces machines sont fournies avec leur propre logiciel de pilotage. Exemples : certains logiciels de firmes allemandes 'Hundegger', 'Weinmann', 'Dietrich', ou 'Vel-Dess' utilisé par 'Nailweb'.

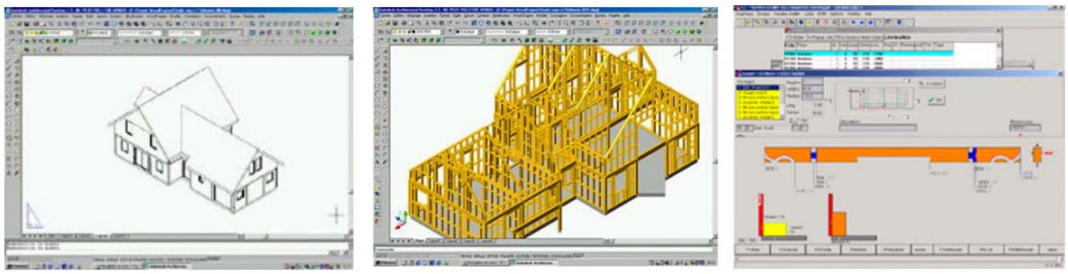
Il existe aussi des logiciels d'optimisation des multiples assemblages des éléments en bois et de fabrication des connecteurs métalliques[46].

- Les logiciels de gestion de patrimoines : grâce à ces outils, les propriétaires et les sociétés immobilières peuvent gérer les opérations d'identification, de gestion et de prévision des coûts d'entretien de tous les composants d'un patrimoine immobilier composé de bâtiments en bois ou en d'autres matériaux. Exemples : 'Abyla', etc.

[46] Les connecteurs métalliques sont des assembleurs permettant d'assurer des liaisons planes dans la fabrication d'éléments industrialisés de charpente en bois.

b- Les potentialités des outils informatiques intégrés

Ces outils offrent aux acteurs du secteur la possibilité de traiter leur projet dans un seul et unique système permettant d'exécuter toutes les tâches de la réalisation d'un projet bois, de la conception à la réalisation des plans d'exécution, et jusqu'au transfert des données machines. « Certains logiciels dédiés à la construction en bois forment une chaîne continue dans l'échange d'informations (conception, dimensionnement et fabrication) ; ils sont spécifiques au domaine de la construction sèche » [Water 1997]. Ces outils limitent les problèmes de la saisie et de la perte d'informations (voir figure 24).



Conception Dimensionnement Fabrication

Figure 24- La chaîne de traitement des données de WoodEngine

'Wood Engine' et 'CadWork' sont des exemples de ce type de logiciels. Ils permettent aux architectes, aux bureaux d'études et aux entreprises de travailler sur des maquettes numériques utilisant des objets spécifiés techniquement pour la construction en bois. Une fois que le projet est esquissé par l'architecte avec des entités d'objets, ces derniers sont convertis en éléments de bois. Cette transformation s'appuie sur un système constructif qui va gérer toutes les spécificités de la technique choisie (par exemple le positionnement de la trame, le pré-dimensionnement ou la gestion des extensions). Chaque pièce, chaque élément issu d'un système constructif est alors doté de données d'usinage spécifiques dont les paramètres peuvent être envoyés à un centre d'usinage pour fabrication (voir le tableau de spécification de certains modules de 'CadWork' - annexe 3).

Enfin, face aux exigences de l'activité coopérative dans le domaine du bâtiment et plus spécifiquement dans le domaine de la construction en bois, les acteurs n'ont cessé de faciliter leur travail en utilisant des outils tels que ceux de la CAO ou de la DAO, mais par contre les outils de TCAO reste très peu exploité.

Le monde industriel a probablement été, pour des raisons liées à la compétitivité, un des premiers milieux à réfléchir, concevoir et expérimenter des outils informatiques et des méthodes pour assister le travail coopératif de ses acteurs. Ce secteur a été amené à introduire de nouveaux concepts organisationnels, et en matière de technologie de communications et Systèmes de Gestion de Données Techniques, etc. [Pavard 1994].

3.3 La co-production dans les secteurs automobile et aéronautique

Faire un état de l'art sur le domaine industriel, et notamment les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique qui sont les plus typiques de par leur importance, leurs chiffres d'affaires ou le nombre d'acteurs qui y travaillent[47], est intéressant pour approfondir nos connaissances sur la conception avec les maquettes numériques, leurs méthodes de travail collectif et l'utilisation des systèmes coopératifs.

Les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique connaissent chacun une évolution caractérisée par une augmentation du nombre, des gammes de produits et de la complexité des projets[48]. L'accroissement des exigences des clients induit des stratégies de renouvellement plus rapides. Les constructeurs diversifient les modèles sur les marchés locaux et internationaux, pour affirmer et augmenter leur production.

Les produits des secteurs de l'automobile et de l'aéronautique sont complexes, compte tenu de trois sources :

- Une première tient à la technique de l'objet. Les acteurs travaillent sur un nombre important de critères (comme le comportement, la fiabilité ou le bruit) relatifs à plusieurs milliers de pièces.
- La seconde est le couple 'Produit-Service' : c'est-à-dire que les constructeurs doivent concevoir en même temps que l'objet du projet (automobile, avion, etc.), tout ce qui doit être mise en œuvre pour : la fabrication, la distribution, l'entretient, la réparation et récemment le recyclage.

[47] Par l'importance des volumes, le terme d'industrie de masse reste tout à fait justifié pour l'automobile [Giard et Midler 1993]. En effet, aujourd'hui une usine de montage d'automobiles moderne est conçue pour produire entre 1 200 et 1 500 voitures par jour. Le groupe Renault-Nissan a produit 4 635 274 véhicules en 2004, soit 12 699 véhicules par jour [Renault 2005]. Le groupe PSA Peugeot-Citroën produit plus de 14 000 véhicules par jour. Le chiffre d'affaires 2004 de PSA Peugeot Citroën a atteint plus de 56 milliards d'euros. PSA fait travailler plus de 207200 personnes dans le monde [PSA Peugeot Citroën 2005].
Bien que le nombre de projets aéronautiques ainsi que la production journalière de produits finis sont bien inférieurs à ceux de l'automobiles, les constructeurs aéronautiques sont des grandes entreprises qui possèdent de grands chiffres d'affaires et qui font travailler des centaines de milliers de personnes dans le monde. En 2004, le chiffre d'affaires d'Airbus a dépassé 20 milliards d'euros ; Airbus produit plus de 3 500 avions de ligne, pour plus de 230 compagnies dans le monde entier. A ce jour, Airbus a reçu plus de 5 000 commandes de la part de quelque 200 clients [Du Castel et al. 2005]. Airbus produit et livre près d'un avion par jour, un rythme qui sera dépassé l'an prochain. Elle fait travailler plus de 100000 personnes dans le monde [Jarry 2005].

[48] La comparaison entre les deux secteurs montre une convergence d'opinions en ce qui concerne la modélisation et la simulation ainsi que des opinions divergentes en ce qui concerne les moyens, la gestion contractuelle et la maîtrise des risques [De la Rochebrochard 2001].

- La troisième source de complexité vient du processus de fabrication industrielle caractérisé par des difficultés techniques de production, d'assemblage mais aussi par des difficultés logistiques. Aucune entreprise au monde n'est assez grande aujourd'hui pour produire entièrement une voiture ou un avion, toutes pièces confondues, sans faire appel à des sous-traitants, des fournisseurs.

La conduite d'un projet dans ces secteurs implique la coordination d'un grand nombre d'acteurs de métiers différents, appartenant à des entreprises différentes, travaillant sur des lieux souvent éloignés, et des pays différents.

3.3 -1 Les acteurs des secteurs automobile et aéronautique

Les acteurs des secteurs de l'industrie de l'automobile et de l'aéronautique peuvent être répertoriés suivant cinq classes :

- Les constructeurs d'avions ou d'automobiles : ils sont constitués en groupements multinationaux de construction d'avions et d'automobiles. Ils conçoivent, fabriquent, mettent à l'essai et vendent le produit.

Exemples : Boeing, Airbus, Dassault Aviation (constructeurs d'avion) ; General Motors, Renault, PSA Peugeot-Citroën (constructeurs d'automobile)

Ces constructeurs supervisent et valident la conception des produits qu'ils réalisent. Leur organisation est très hiérarchisée : PDG, Direction générale métiers, Direction de projet, Direction métier, 'Chefs projet métier' et Acteurs métiers (voir figure 25).

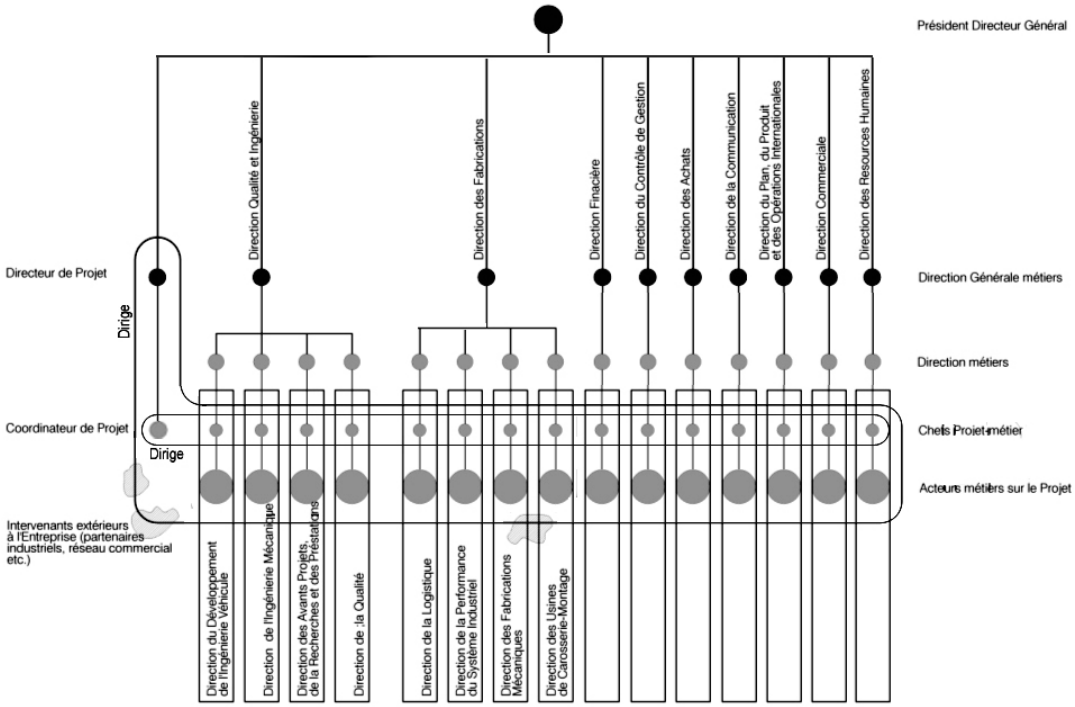


Figure 25- La structure en direction et coordination de projets (exemple : Renault)

La coordination des activités des divers ‘Acteurs métiers’ se fait par un coordinateur de projet avec les ‘chefs projets métiers’ formant ainsi, l’équipe des coordinateurs du projet. Cependant, leurs pouvoirs sont limités et n’ont guère la possibilité d’infléchir significativement la destinée d’un projet. Le directeur du projet a une responsabilité également limitée dans le temps, qui débute avec la conception jusqu’à la fin du développement.

- Les sous-traitants globaux d’études ou de fabrications : ils travaillent sur la conception, la fabrication et l’assemblage des composants (moteurs, trains d’atterrissage, sièges)
- Les fournisseurs : de systèmes, d’équipements, de composants, de matériaux.
- Les entreprises de services : elles conçoivent et fabriquent les outils spécialisés pour l’inspection, la production et la maintenance.
- Les distributeurs de produits ou de services : ce sont les concessionnaires d’automobiles dans le secteur de l’automobile et les compagnies aériennes dans le secteur de l’aéronautique.

• Les compagnies aériennes : ce sont des transporteurs aériens. Ils achètent et utilisent les avions. Ils assurent souvent les services techniques de réparation et d’entretien, en relation avec le constructeur. Ils participent quelquefois au processus de conception des avions, en formalisant leur point de vue en tant qu’utilisateurs.

• Les concessionnaires d’automobiles : ce sont les intermédiaires qui ont reçu le droit de vente des voitures dans une région, assurant la distribution finale aux clients, l’entretien et le service après vente.

3.3 -2 Le cycle de vie du produit, dans les secteurs automobile et aéronautique

Un projet industriel dans les secteurs de l’automobile ou de l’aéronautique passe par des phases de précision des besoins, puis de détermination d’un plan de conception du produit, puis de définition des moyens à mettre en œuvre pour l’industrialisation suivie de la réalisation et de la mise en route du circuit de production en chaîne pour être transféré après chez l’exploitant. La figure 26 qui suit montre ces phases dans le secteur de l’automobile.

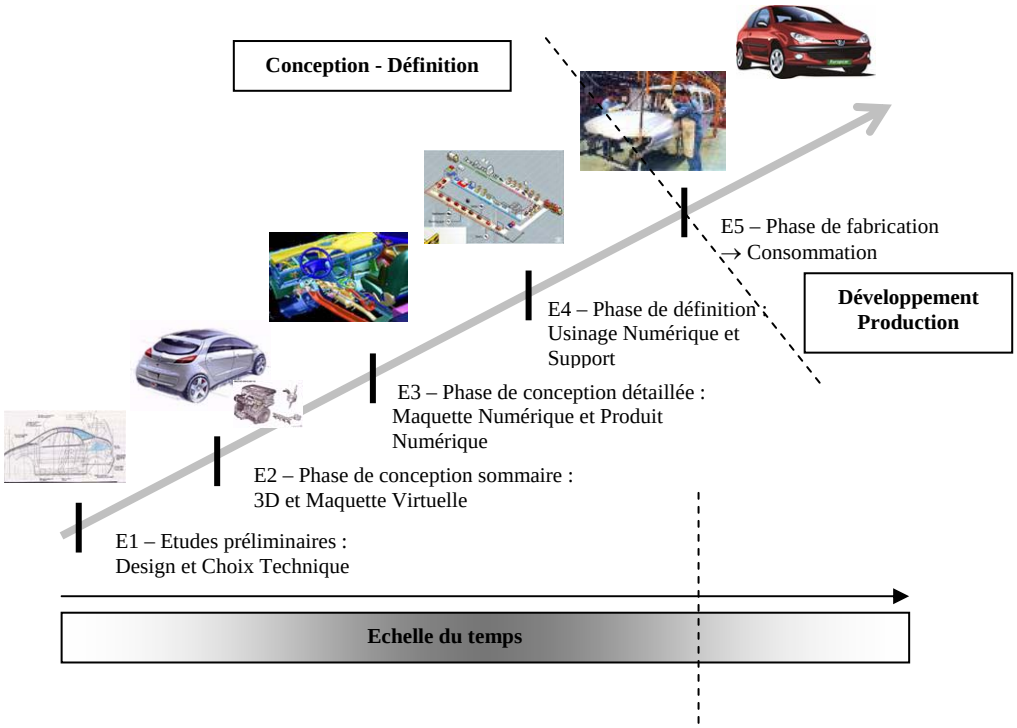


Figure 26– Les principales phases dans le cycle de vie d'une automobile

a- Les études préliminaires

Les études préliminaires englobent l'idée d'origine, l'étude de faisabilité, le 'design' du produit et le dessin technique pour l'ajustement des esquisses. Grâce aux innovations technologiques et à l'utilisation de nouveaux matériaux, les concepteurs donnent de plus en plus d'importance à la qualité et à l'esthétique par la recherche de formes nouvelles adaptées aux divers types des automobiles

b- La conception sommaire (virtuelle et 3D)

La conception sommaire permet de déterminer la volumétrie du produit et de ses composantes grâce à une visualisation en 3D. Pendant cette phase, les concepteurs créent, manipulent des modèles humains numériques pour analyser l'encombrement des espaces, le bien être des futurs utilisateurs ou les fonctionnalités qui seront proposées.

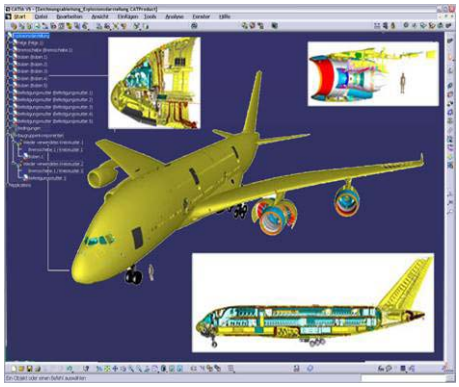
Les études préliminaires et la conception sommaire sont des phases ou les activités sont menées par les constructeurs, au sein de leurs diverses directions. Le travail collectif se résume principalement sous forme d'activités de coordination.

c- La conception détaillée

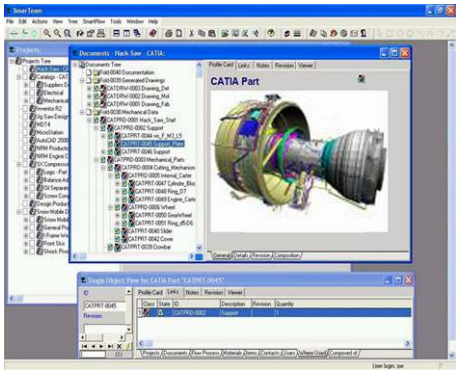
La conception détaillée repose sur l'utilisation de maquettes numériques qui, dans le secteur industriel, consistent en une représentation générale du produit en 3D, intégrant diverses données. Cette représentation peut être partielle ou globale, concernant l'ensemble

ou une partie des composants de l'avion ou de l'automobile (objet du projet). Au cours de cette phase, les acteurs définissent les assemblages numériques et l'élémentarisation des nombreuses pièces[49], puis simulent les contacts et les roulements. La conception des maquettes numériques est initiée depuis quelques années surtout sur les plateaux physiques (jusqu'à la définition des grands axes du produit). Les acteurs coopèrent simultanément et dans un même espace. Ces maquettes numériques sont établies sur des logiciels de CAO comme 'CATIA'.

Au cours de l'élaboration de la maquette numérique les constructeurs font souvent appel à un *'reality center'*[50]. Ce type de média permet une interaction des techniciens avec tous les éléments de l'avion : éléments de structure, câblages électriques, canalisations de carburants, etc. La maquette numérique est utilisée ensuite comme plate-forme de développement 'Produit-Process', de communication et de travail de groupe (collaboration, coopération et coordination) durant tout le reste de la vie du produit. La maquette numérique est alors appelée 'produit numérique'; elle repose désormais sur l'utilisation des logiciels de gestion de données et des flux d'échanges comme 'ENOVIA', 'SMART TEAM' [Faure 2001] (voir figure 27). Le transfert de données se fait avec des formats qui sont le plus souvent imposés, et appartiennent aux constructeurs (Exemple : le format natif de 'CATIA' V4ou 5 pour Dassault Aviation) L'objectif est de réaliser 'un produit échantillon' pour valider les propositions (esthétiques, fonctionnement ou autres) et de faire des expériences pour la certification des produits et des sous-produits (résistance, sécurité).



La représentation des produits avec les maquettes numériques - Exemple : 'CATIA'



La gestion des modifications sur les cPDM - Exemple : 'SMART TEAM'

Figure 27– La maquette numérique et le 'produit numérique'

[49] La maquette numérique de l'A340 d'Airbus est constituée d'environ 50 000 pièces élémentaires et plus de 6000 arbres d'assemblage [Pimenta 2001]

[50] C'est une sorte de salle cinéma qui permet la navigation en temps réel dans les entrailles de l'avion, entre les différents éléments de structure. Ceci est le résultat d'images de synthèse, générées par les logiciels CAO comme 'CATIA'. [Bréand 2002]

d- La phase de 'définition'

La phase de 'définition' comprend 'l'usinage numérique' et la 'simulation des processus'. 'L'usinage numérique' est un concept qui sert à concevoir un modèle partagé pour toutes les étapes de fabrication (la préparation, l'implémentation, le chiffrage, le montage en chaîne). Ce modèle sert à visualiser et à valider les choix technologiques, les moyens, la logique de montage, les temps de cycle et l'automatisation des tâches répétitives. A la fin de cette phase, la 'simulation des processus' vise à valider le montage et le démontage en usine et en après-vente des pièces et assemblages conçus. La 'simulation des processus' utilise l'IPAO[51], une technologie qui procède à l'approfondissement des processus d'assemblage, la modélisation des cellules robotiques, et la simulation analytique des flux de production dans un environnement 3D virtuel. Ces étapes se prolongent par la modélisation de la logistique (voir figure 28).

Figure 28– Les principales étapes de la phase 'de définition'

e- La phase de fabrication

Durant la phase de fabrication, les constructeurs et les entreprises sous-traitantes procèdent à la fabrication d'un ou plusieurs sous-produits de l'avion ou de l'automobile. L'assemblage final se fait par le constructeur, qui assure aussi le marketing, la gestion des ressources des produits, la logistique et la maintenance.

3.3 -3 La coordination dans un projet automobile ou aéronautique

Le travail de groupe dans un projet automobile ou aéronautique implique, à chaque instant, la circulation d'une masse considérable d'informations entre les multiples acteurs.

> Exemple : Renault déclare que plus de 40 000 fichiers compressés sont échangés par mois [Talhi 2003].

Le caractère incertain et évolutif de ces données requiert d'établir dans le réseau des acteurs une transparence forte et une grande vitesse de circulation. De ce fait, la coordination

[51] IPAO : Ingénierie Process Assistée par Ordinateur.

requiert de plus en plus une grande capacité de mémorisation des échanges, des événements et des décisions passées.

Historiquement, la coordination des diverses activités collectives n'a pas cessé d'évoluer dans ces secteurs. Au début, les constructeurs organisaient des revues de projets périodiques au sommet de l'entreprise. Ceci permettait de suivre la progression de leurs activités et d'adopter les grandes décisions. Mais ces réunions sont apparues insuffisantes, car il existait trop de discontinuité entre les multiples compromis inter-métiers adoptés dans chaque projet [Prost 1995].

Ensuite, les constructeurs ont mis en place une 'équipe projet' réunissant des représentants des différents métiers. Cette équipe travaillait à plein temps pour coordonner les intervenants dans un projet automobile ou aéronautique. Cette équipe de projet a perdu une partie de son rôle avec l'apparition de méthodologies de développement "concourantes" [Prost 1995].

Depuis 1988, les 'plateaux physiques' ont fait leur apparition, réunissant dans un même lieu, au moment de la conception et de la définition du produit, des techniciens de bureaux d'études, de méthodes, des représentants d'usines et des techniciens fournisseurs des principaux ensembles sous-traités et d'autres intervenants dans le projet. Ces personnes sont réunies physiquement dans un seul local et dans un même temps. Bien que cette méthode présente certains inconvénients (comme le risque de désistement de certains acteurs induisant des difficultés de report), elle fait gagner du temps, car une fois réunis, les acteurs concernés par le projet collaborent en temps réel sans perte de temps générée par les déplacements des acteurs participants. En plus, cela permet de mêler les compétences et les savoirs-faire, ce qui est fort utile en phase de démarrage de projet, pour que les intervenants apprennent à se connaître et créent une certaine conscience de groupe dynamique dans le projet [Audinet 2000].

Avec le développement des technologies de communication, les 'plateaux virtuels' sont apparus. Aujourd'hui, une fois que les acteurs des 'plateaux physiques' réintègrent leurs entreprises, ils peuvent continuer à coopérer au sein de plateaux virtuels [Ferries 2002] Sur ce plateau, les acteurs continuent à concevoir en plaçant le 'produit numérique' comme support au centre de leur travail collectif, ceci en utilisant des procédures explicites de modifications et de validation. Sur un 'plateau virtuel', les acteurs échangent des idées, travaillent collectivement sur la résolution de problèmes techniques et négocient les modifications (voir figure 29).

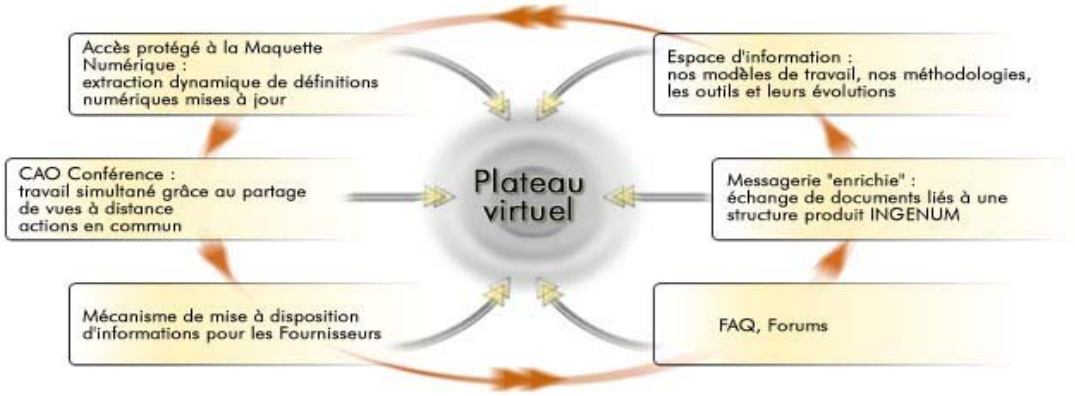


Figure 29- Les principaux services offerts sur le plateau virtuel de PSA Peugeot Citroën[52]

Ce type de collaboration fait appel à une variété d'outils de communication qui pour la plupart sont spécifiques et capables de structurer même les échanges d'informations non formelles tels que les discussions des acteurs distribués, à l'aide de la vidéo et de l'enregistrement de son [Marin et Riboulet 2004].

3.3 -4 Exemple d'un projet : l'Airbus A340

L'Airbus A340 a été produit par Airbus dans les années 90. Son processus de conception – production possède plusieurs phases (voir figure 30) :

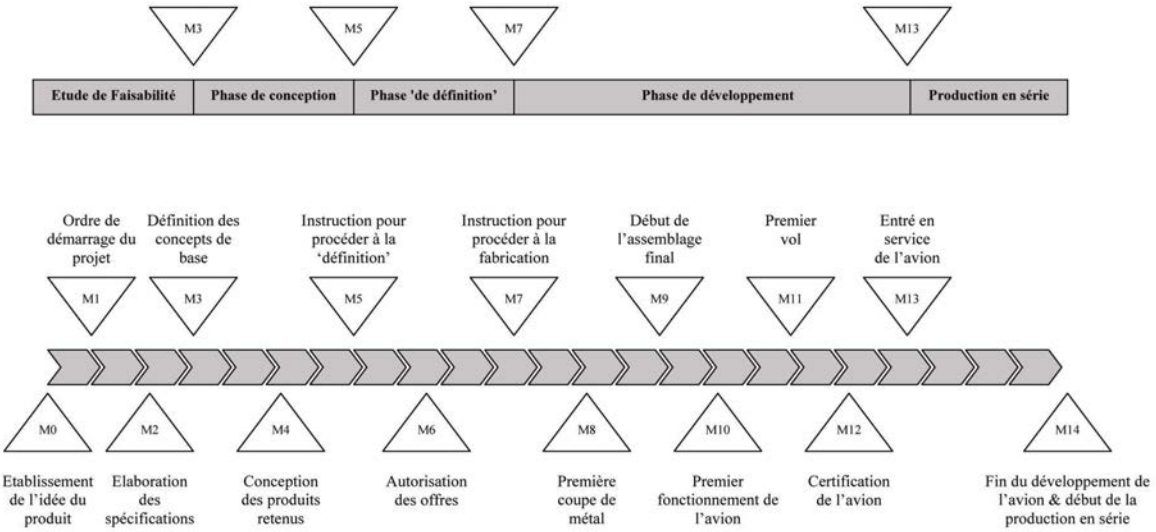


Figure 30- Le programme adopté par Airbus pour la fabrication des A340 [Pimenta 2001]

[52] http://www.psa-peugeot-citroen.com pour PSA

Les étapes de M0 à M3 correspondent aux études de faisabilité. De M4 à M5, elles représentent la conception sommaire et détaillée de l'avion. Les étapes de M6 à M7 représentent la phase de définition avec l'utilisation du produit numérique. De M8 à M13, elles représentent la construction du prototype réel et du support pour l'usinage. Et enfin, une fois que les essais sont concluants, la production en série est lancée en M14.

Le constructeur Airbus définit et utilise trois types de maquettes numériques :
- La maquette numérique de *'Master Geometry'* pour partager les formes aérodynamiques externes de l'avion et l'architecture de la structure de l'avion.
- La maquette numérique 'd'allocation d'espace' pour définir les espaces entre les composants de l'avion (par exemple : les appareils de conditionnement d'air, le réservoir de carburant ou l'installation électrique) et les éléments structuraux.
- La maquette numérique 'de définition 'pour rassembler les données (relatives à la géométrie, la typologie, les caractéristiques mécaniques, etc.) de l'ensemble des pièces et puis des sous-ensembles constituant l'avion. Les plans associés à cette dernière maquette permettent de lancer la fabrication [Bernodat 2002].

3.3 -5 Les systèmes coopératifs dans les secteurs automobile et aéronautique

L'industrie aéronautique et automobile utilise des SGDT (Systèmes de Gestion de Données Techniques) pour l'organisation des acteurs dans les projets, pour structurer les versions des maquettes numériques, et pour assurer une traçabilité des actions. Dans la plupart des cas, les constructeurs, en choisissant les sous-traitants, imposent l'utilisation d'un certain type d'outils de gestion de projet et des formats spécifiques d'échanges de données informatiques.

Exemple : Le groupe international Dassault Aviation impose [Dassault 2001] :
- le logiciel 'CATIA' V5 pour la définition des pièces mécaniques,
- les documents (client NT léger, archi 3 tiers) avec un browser extra net,
- l'utilisation des protocoles Internet dès que possible (http, SMTp, etc.)
- Windchill de 'PTC' (Product Development Company) et Oracle comme SGDT
- les progiciels 'ENOVIA VPM' ou 'SMART TEAM' comme outils collaboratifs,
- le logiciel 'DELMIA' pour la définition de l'ergonomie humaine, l'assemblage, l'usinage, la métrologie, la robotique, l'ingénierie industrielle et l'optimisation de la production.

Afin d'approfondir notre connaissance sur les outils d'assistance à la conception collective, nous nous sommes focalisés sur un système coopératif très répandu et utilisé

dans ces secteurs. ‘ENOVIA’ de Dassault Systèmes est un ‘cPDM’ (collaborative Product Data Management) intégré à ‘CATIA’. Il assiste et facilite la gestion de bases de données utilisées dans le secteur de l’aéronautique et de l’automobile. Dans le ‘produit numérique’, ce système procède au stockage et à la gestion de toutes les "données produit" (informations relatives aux éléments de l’avion ou de l’automobile) et des processus déterminant le cycle de vie du produit[53]. Ce système assiste la gestion des changements et des configurations grâce à des processus automatisés de communication, de modifications et d’approbation du produit. ‘ENOVIA’ permet aussi (voir tableau 9) :

- d’identifier les acteurs participants, de spécifier leur droit d’actions, - d’identifier les acteurs qui sont en ligne et connectés sur la plateforme, - d’avoir un lien vers une messagerie instantanée pour faciliter l’accès aux informations,	 Diagramme sommaire des acteurs
- de souscrire des requêtes telles que : créer, joindre un fichier, sélectionner des destinataires ou répondre à une requête.	 Prescription des requêtes
- de structurer les dossiers, les documents et les diverses maquettes numériques, - de visualiser et naviguer en 3D autour du produit et ces composants, - de télécharger des données relatives à un produit (référence, prix, nombre de parties, temps de fabrication, temps d’assemblage, temps de révision).	 Structuration des éléments dans la maquette numérique

[53] www.dsdvf.com/logiciel/catia/v5/catia_v5r6/config_p2.htm

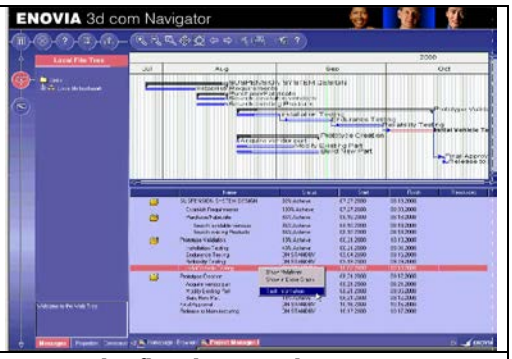
- de disposer d'un programme sommaire et détaillé du cycle de vie du produit avec le statut d'avancement des tâches. Exemple : Faire des recherches préliminaires quant à la fabrication (vendeurs potentiels, produits existants).	 Gestion des flux de co-production
- de prescrire, de participer et de clôturer une tâche. Chaque tâche est classée suivant son nom, sa durée, son statut, ses dates, les produits ou parties de produits concernés, les relations avec les acteurs et les documents associés.	Gestion des tâches en cours
- de dresser un tableau des actions répertoriées ou en cours (propriétaire de l'action, le type, description, le produit concerné, dates). Chaque action ou évènement (début ou fin d'une phase, requête, changement d'état, dépôt de document ou d'une mise à jour d'une maquette numérique) sont notifiés par messagerie aux personnes concernées.	Gestion des actions des acteurs

Tableau 9– Les principales fonctionnalités d'ENOVIA'

Ainsi, l'utilisation des maquettes numériques paraît aujourd'hui indispensable dans de tels secteurs industriels. L'intégration des systèmes coopératifs aux systèmes de CAO semble intéressante pour assister les activités coopératives des concepteurs.

Afin d'approfondir davantage les particularités des activités coopératives propres aux domaine du bâtiment et aux secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, nous allons à présent conclure ce chapitre par une étude comparative qui fera ressortir point par point les subtilités induites par chaque secteur.

3.4 Etude comparative de la coopération dans les secteurs du bâtiment, de l'automobile et de l'aéronautique

Malgré les différences qui existent entre le secteur de l'automobile et celui de l'aéronautique, ces secteurs sont tous deux représentatifs de ce qui se fait dans le domaine industriel. Ils nécessitent des protocoles de coopération bien déterminés. Qu'en est-il de la définition de ces protocoles dans le domaines du bâtiment ?

3.4-1 La durée du processus de conception - production

La durée du processus de conception-production d'un avion ou d'une automobile représente le temps dont les constructeurs ont besoin pour mener à bien les phases de conception, de définition et de fabrication. Comparée à la durée du processus de 'conception-construction' dans le domaine du bâtiment, elle est plus longue dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique vu la complexité des prototypes, des normes de sécurités draconiennes ou des nombreuses expériences d'essais nécessaires. Cette durée a tendance à diminuer avec les avancées technologiques et la diminution de la vie commerciale des modèles[54] (voir tableau 10) [Franck et al. 2002].

Secteurs	**Durée moyenne du processus de conception - production**
Bâtiment	1 à 3 ans
Automobile	3 ans
Aéronautique	10 ans

Tableau 10– Comparaison des durées de processus de conception production [Franck et al. 2002]

La durée du processus de 'conception-construction' dans le bâtiment est souvent marquée par des problèmes de discontinuité qui peuvent survenir à la suite d'un temps de latence ou de réflexion pour résoudre un problème inattendu lors de la phase de conception (études techniques spécifiques) ou lors de la phase de réalisation. Il demeure en effet dans ce

[54] La durée des processus de conception-production des avions n'a pas cessé de diminuer chez Airbus favorisant une augmentation du nombre des projets. Ce constructeur a produit en 1974 l'A 300 le premier gros-porteur bimoteur ; en 1982 l'A310, qui se présente avec un équipage de deux pilotes ; en 1988 l'A320 ; en 1993 le bimoteur A330 et le quadrimoteur A340 ; enfin en 2005 il a procédé à la présentation officielle de l'A380, le plus gros avion de ligne du monde (550 passagers) [Jarry 2005].

domaine d'importants dysfonctionnements qui se traduisent par des délais de production anormalement longs, des coûts souvent difficilement maîtrisables, des défauts de qualité fréquents, etc. [Brousseau et Rallet 1995]. Alors que dans le secteur industriel, la prise en compte d'un plus grand nombre de contraintes dès le début de la conception et l'efficacité d'une programmation minutieuse optimise la durée effective de productivité.

Ainsi, à la différence du secteur industriel, où le temps 'absolu' du projet (correspondant à la durée totale de déroulement du projet) et le temps 'productif' (correspondant au temps effectif passé à concevoir et à construire) sont à peu près les mêmes, il existe dans le domaine du bâtiment un décalage entre ces deux temps. Celui-ci peut correspondre aux aléas climatiques, mais également aux temps d'attentes liés au travail séquentiel des concepteurs, ainsi qu'aux difficultés de coordination des nombreux intervenants. Par ailleurs, la plupart du temps, les différents organismes (administratifs, politiques) ayant droit de regard et intervenant dans les prises de décision sont autant de facteurs participant à la complexité et à l'imprécision de la durée du processus de 'conception-construction'.

3.4-2 Comparaison des diverses phases

Ci-dessous un tableau établit la comparaison entre les phases de ces différents secteurs, avec une mise en correspondance des phases de production avec celles définies dans la loi MOP [d'Architecture 2000] relative au domaine du bâtiment (voir tableau 11):

Phases/Secteurs	Bâtiment	Automobile et Aéronautique
Etudes préliminaires	Etudes de faisabilité et programmation	Etudes de faisabilité, design et choix techniques
Conception	Esquisses	Design et Conception Technique
	APS et APD	Conception détaillée en 3D et maquette numérique
	PC	
	Etudes du projet	'Produit Numérique'
Définition		Usine Numérique
		Support
Passation de marchés et Appel d'offres	DCE	Réalisation de prototypes
	Analyse des offres et approbation	Instructions pour le procédé
	Ordre de service de démarrage des Travaux	Autorisation des offres
Réalisation et Production	Installation de chantier	Fabrication (1ère coupe de métal)
	Direction de l'exécution des contrats de travaux	Fabrication (Assemblage final)
		Essais, contrôle de sécurité et certification du produit

Réception de chantier et Mise en service	Dossier des ouvrages exécutés et réception du bâtiment	Mise en service

Tableau 11– Etude comparative des différentes phases des trois secteurs

La comparaison entre ces secteurs montre que la phase ‘de définition’ n’existe pas dans le domaine du bâtiment. Cependant, celle-ci pourrait correspondre à certainnes tâches d’ordonnancement (préparation des interfaces entre les divers lots, estimation des temps d'approvisionnement, gestion des ressources humains et matériels [Perrocheau 1998]) réalisées par les bureaux de méthode au début de la phase chantier. Ni la maîtrise d’ouvrage, ni la maîtrise d’œuvre n’ont le droit d’intervenir dans ces opérations d’ordonnancement. Contrairement à cela, ce sont les constructeurs automobiles ou aéronautiques qui conçoivent et dirigent ‘l’usinage numérique’ et ‘la simulation des processus’ dans la phase ‘de définition’. L’enjeu majeur dans la fabrication et l’assemblage est l’importance de la prévision du support de production (planification des gammes produits, implantation, ergonomie, robotique, contrôle usinage, méthodologie, simulation de flux, calcul des coûts [Dassault systèmes 2005]). Ces données influent sur le coût de revient des produits.

3.4-3 L’utilisation des plateaux virtuels

Les plateaux virtuels représentent une différence majeure entre le domaine du B.T.P et celui de l’industrie. Le domaine du bâtiment est marqué par un rapport séquentiel entre ces acteurs. Dans le processus de conception, ces derniers coopèrent généralement d’une manière séquentielle interactive : les acteurs travaillent les uns à la suite des autres avec une validation groupée par rapport aux travaux des divers participants. Les secteurs de l’automobile et de l’aéronautique quant à eux sont marqués par le travail synchrone des acteurs, facilité par les plateaux virtuels. En effet, il y a dans ce domaine une maîtrise globale du système des connaissances (maîtrise des différentes caractéristiques des produits, des techniques de compatibilité des éléments, connaissance des standard, des mécanismes associés à la maîtrise des procédés). Chaque acteur ‘sait ce qu’il doit faire d’une manière précise’, alors que c’est rarement le cas dans le domaine du bâtiment.

3.4-4 L'organisation des acteurs et la nature des relations

A la différence des entreprises dans le domaine du bâtiment (dans lequel la loi MOP garantie l'indépendance de la fonction de conception), les constructeurs d'avions ou d'automobiles supervisent et valident la conception des produits qu'ils réalisent. Leur organisation est très hiérarchisée et leur structure est plus grande comparée à cette des maîtres d'ouvrage dans le bâtiments. Ces constructeurs assurent ainsi, la coordination des activités avec des procédés ordonnés et stricts.

L'examen de la répartition des activités des acteurs dans les diverses phases montre que les sous-traitants, les fournisseurs et les entreprises de services participent au processus de conception dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique. Cette coopération entreprise en amont des projets est propice à la prise en compte d'un grand nombre de contraintes (voir tableau 12).

Acteurs / Phases secteurs Auto.Aéro	Etudes préliminaires	Etudes de projet	Passation de marché	Chantier	Clôture de projets
Maître d'ouvrage, M.O délégué	X (participe)	X	X	X	X
Architectes, divers concepteurs		X	X	X	X
Ingénieurs, B.E.T, B. contrôle		X		X	X
Réalisateurs, Entrepreneurs			X	X	X

Acteurs / Phases Domaine du Bat.	Etudes de faisabilité	Conception	Définition	Fabrication	Entrée en service
Les constructeurs des deux secteurs	X	X	X	X	X
Les sous-traitants globaux		X	X	X	X
Les fournisseurs direct ou indirect		X	X	X	X
Les entreprises de services		X	X	X	X

Tableau 12– Identification de la participation des acteurs dans les phases du projet

Dans les secteurs automobile et aéronautique, les relations au sein de l'entreprise et entre entreprises s'inscrivent dans le cadre de processus de production dominés par des séquences répétitives qui peuvent faire l'objet d'une normalisation par des règles codifiées. « L'organisation du secteur de l'industrie repose sur une mécanisation des procédures associée à une exploitation des économies d'échelles et d'envergure, ainsi qu'une coordination administrative et rationalisée au sein de grandes unités » [Brousseau et Rallet 1995]. Dans la plupart des cas, les gammes de comportements que peuvent adopter les parties sont largement prévisibles, le type de situation auxquelles elles auront à faire face aussi, de même que les catégories d'informations qu'elles devront s'échanger. Cela a

permis aux constructeurs de concevoir et de codifier des règles de coordination en s'appuyant sur des dispositifs institutionnels, traditionnellement mis en œuvre [Favereau 1993]. Alors que dans le domaine du bâtiment, les modes de coordination reposent avant tout sur des relations interpersonnelles, dont les règles de fonctionnement ne sont ni complètement codifiées, ni totalement préétablies.

La gestion des données et la structuration des échanges se font systématiquement avec des 'produits numériques'. Aujourd'hui le nombre de documents et de versions de maquettes numériques est tel dans ces secteurs, que l'utilisation de systèmes coopératifs est ancrée dans les pratiques. A l'inverse, les acteurs du domaine du bâtiment en sont à leur début.

Conclusion partielle

Comme nous l'avons vu, l'aide à la coopération représente un enjeu important dans le bâtiment, et plus spécifiquement dans le domaine de la construction en bois qui est particulièrement exigeant, imposant que les acteurs travaillent relativement tôt sur les définitions statiques de l'ouvrage. Cet état de fait implique la nécessité d'un relationnel important caractéristique des filières sèches. La conception coopérative dans le domaine du bois invite les acteurs et plus spécifiquement l'architecte à maîtriser les solutions techniques, et à s'encadrer davantage des acteurs du milieu.
Le relationnel entre les différents acteurs doit donc être facilité, les échanges structurés, et leurs activités coopératives assistées grâce aux systèmes coopératifs.

La complexité de la conception de tels systèmes résulte de la complexité même du travail coopératif (difficultés de traçabilité des actions, non-disposition sur chaque document de l'ensemble des informations requises pour accomplir une tâche donnée, problèmes de coordination, 'discontinuité' des données, etc.).
Certains logiciels utilisés dans le domaine du bâtiment présentent toutefois une certaine 'continuité' des données. Ils permettent la conception, le dimensionnement et la fabrication des ouvrages. Cette 'continuité' facilite la coopération en limitant les problèmes de saisie et les pertes d'informations. Cette particularité se rencontre notamment dans les logiciels destinés à la filière 'sèche' comme la construction en bois et la construction métallique.

Certains secteurs industriels tels que l'aéronautique et l'automobile présentent des Systèmes de Gestion des Données Techniques ainsi que des systèmes coopératifs particulièrement efficaces. Ces derniers fédèrent entre autres toutes les informations relatives à un produit, gèrent la répercussion des modifications apportées aux éléments de la base de données, sécurisent les informations en gérant notamment l'autorisation des accès des différents acteurs et gèrent les versions successives des documents en définissant les auteurs, les paramètres et l'objet des diverses modifications. En d'autres termes, ces systèmes permettent d'assurer la maîtrise complète de toutes les informations au cours des étapes du cycle de vie d'un produit.
Ainsi, dans ces secteurs industriels s'organise une structuration des données et des échanges claire et parfaitement définie. Le support à la base de cette organisation est la maquette numérique. Elle permet un déroulement des procédures hiérarchisé. La codification des règles économise les ressources des agents, pallie les limites de leur rationalité, dépersonnalise les processus de coordination et stabilise l'environnement de chaque utilisateur.

Les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique représentent toutefois des milieux professionnels pouvant être qualifiés de 'fermés', les possibilités de diversifier les partenariats étant peu nombreuses et les collaborations étant souvent établies sur du long terme. A l'inverse, le domaine du bâtiment est considéré comme un milieu professionnel dit 'ouvert'. Il est fréquent que les différents corps d'état soient amenés à ne coopérer qu'une seule fois, dans un espace de temps relativement court et défini contractuellement. Ce milieu 'ouvert' est par conséquent plus propice à la naissance de problèmes d'organisation. Néanmoins, la diversité des moyens de conception et d'échanges d'informations dans ce domaine offre aux acteurs une diversité des moyens d'expression source de créativité et de multiplicité d'expériences.

Ainsi, la maquette numérique paraît être un support informatique qu'il serait pertinent d'exploiter davantage dans le domaine du bâtiment afin de pallier les difficultés précédemment abordées. Cependant, nous pouvons nous demander si elle saurait s'adapter à un environnement relativement aléatoire tel que celui du bâtiment. En effet, dans les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, le travail collectif est fortement collaboratif et donc propice à l'utilisation de protocoles explicites, alors que dans le domaine du bâtiment, il est plutôt coopératif. L'explicite y est dominé par l'implicite.

Chapitre 4

La maquette numérique et le modèle IFC

L'un des challenges actuel de la coopération dans le BTP est de fournir les moyens requis pour échanger l'information et coopérer au-delà des limites des systèmes informatiques propres à chaque acteur, ce qui inclut des solutions pour organiser les flux d'information et la coordination des tâches dans un contexte de communication inter-entreprises.

Une des nouvelles méthodes testée ces dernières années est d'aborder le projet en utilisant le concept 'd'objet'[55] de bâtiments comme moyen de modélisation des connaissances, et autour duquel s'organise l'information contenant le 'sens' de la conception dans les maquettes numériques des divers acteurs.

[55] Il existe une différence entre la notion 'd'objet architectural' et celle 'd'objet informatique'. 'L'objet architectural' représente tout ouvrage architectural physiquement réel ainsi que les espaces architecturaux. 'L'objet informatique' est, quant à lui, une entité munie de propriétés et capables d'être modifiée et de subir certaines actions. Un 'objet informatique' contient des données et des codes permettant de les manipuler. « L'objet informatique est une projection de l'objet du monde réel, qui n'en reproduit bien sûr jamais tous les attributs, mais qui possède, au regard de l'objectif informatique défini, le même degré d'individualité que l'objet réel » [Henocque 1997].

4.1 Les objets sémantiques et la notion de maquette numérique

La représentation des données par la notion d'objets constitue une nouvelle approche de la coopération dans le bâtiment. L'objectif est d'échanger, sous forme numérique, une maquette du projet de construction composée d'objets architecturaux. Cet échange est facilité grâce à l'interopérabilité des données techniques.

4.1 -1 L'interopérabilité des données techniques

Les systèmes informatiques dans le domaine du bâtiment sont aujourd'hui largement répandus et variés. Le nombre des éditeurs de logiciels CAO-DAO augmente de plus en plus et leurs applications offrent à chaque acteur la possibilité de choisir un outil selon ses avantages et ses limites. Ainsi, le futur utilisateur peut opter pour un outil CAO-DAO selon :

- sa logique de travail (utilisation du modèle vectoriel 2D, du format d'objet 3D, d'un éditeur d'images) ;
- ses moyens financiers (le prix d'investissement) ;
- son habilité à implémenter l'outil dans l'entreprise (prendre l'initiative de changer la méthode de travail) ;
- sa formation (initié à l'utilisation d'outils informatiques ou non).

La variété des applications permet aux concepteurs de bâtiments d'avoir recourt aux moyens les plus adéquats face à leurs différents besoins, et ainsi de bien exprimer, formuler, expliquer et mettre en valeur leurs partis, leurs intentions et leurs idées. Cet avantage distingue le domaine du bâtiment du secteur industriel. Ce dernier est régit par l'obligation des divers acteurs d'adopter les outils des constructeurs (voir chapitre 3).
Cependant, ces systèmes informatiques manipulent souvent des données 'propriétaires', spécialisées, internes et non compatibles[56] « La plupart des logiciels sont basés sur des

[56] Les logiciels ont toujours recourt à un modèle de données propriétaire ('DWG', 'PLN', 'DWF', etc.) qui représente le parti pris par l'éditeur, et qui ne saurait constituer une base immédiate pour asseoir l'échange de données techniques à la fois pour des raisons syntaxiques (des formats normatifs sont nécessaires) mais aussi pour des raisons sémantiques (il doit y avoir consensus de représentation). De plus, ces logiciels métiers sont majoritairement conçus comme des modules

solutions ‘propriétaires’ et sur des modèles techniques spécifiques » [Rueppel et al. 2002]. Ceci constitue un grand handicap pour constituer un référentiel homogène unique permettant d’éliminer la multiplicité des plans générés par les différents acteurs d’un projet au cours du travail coopératif. La coopération doit s’appuyer sur l'interopérabilité[57] des logiciels utilisés par les acteurs de la construction afin d’améliorer la communication en vue d’une meilleure qualité et une meilleure productivité.

Le problème de coexistence de plusieurs formats de fichiers dans la CAO est actuellement résolu par l’intermédiaire d’une conversion des données. L’exemple du ‘DXF’ (*Drawing eXchange Format*) mis en place par ‘Autodesk’ est le plus connu dans le secteur du bâtiment. Le standard ‘DXF’ a été développé pour fournir un support d'échange textuel et binaire livré avec le logiciel ‘Autocad’ (le logiciel le plus utilisé en CAO-DAO dans le monde [MédiaConstruct 2003]). Le format ‘DXF’ s'est de fait imposé comme un standard, puisque la plupart des logiciels de CAO- DAO peuvent exporter ou importer des fichiers définis selon ce format [Dumesnil et al. 1997]. Mais, dans le ‘DXF’, seules les entités géométriques peuvent être décrites. Ainsi, les potentialités du format à contenir des données non géométriques (comme la nature des matériaux utilisés, les caractéristiques thermiques, acoustiques) sont limitées au regard des performances atteintes par chacun des logiciels. Quelques tentatives ont été effectuées pour étendre ce format à la prise en compte des informations non géométriques, mais ces initiatives ont été stoppées par l’arrivée du format d’objet Autodesk (dans Architectural Desktop) et la naissance des IFC.

4.1 -2 Le format d’objet

L’architecte, au cours d’un projet, ne raisonne pas seulement dans un espace géométrique, il raisonne aussi dans un espace architectural où les objets[58] et leurs relations sont manipulés[59] et chargés de sens. L’architecte utilise des formes de représentation graphiques et non graphiques qui concourent à la définition de la sémantique complexe des objets architecturaux. D’une manière générale, la sémantique peut être définie comme étant

isolés et manquent d’une vision globale nécessaire à la gestion intégrée du projet [Monceyron et Poyet 1997].

[57] L'interopérabilité est le fait que plusieurs systèmes, qu'ils soient identiques ou radicalement différents, puissent communiquer sans ambiguïté. L'interopérabilité nécessite que les communications obéissent à des normes, clairement établies et univoques.

[58] D’une façon générale, un objet représente toute ‘chose’ qui ‘affecte les sens’. C’est la généralisation de tout ce qui existe et qui est concevable dans un processus sémantiquement traité.

[59] « La notion d'objet de conception représente une abstraction de l'objet physique et permet de lui attribuer des niveaux de conception ainsi que des opérations qui réalisent sa transformation. » [Sahnouni 1999].

l'étude du langage considéré du point de vue du sens. Dans notre contexte, lorsque nous évoquons la sémantique d'un objet, nous parlons de toutes les informations qui entrent dans sa définition, notamment les informations géométriques, topologiques et non représentables par le dessin (qui ne sont pas rendues possible par la CAO : descriptifs textuels, tableaux et diagrammes, etc.)

Les outils de CAO existants dans le domaine du bâtiment ne favorisent pas la définition de cette sémantique autour des objets. Ils ne sont généralement utilisés que comme des outils d'assistance au dessin technique, et quelque fois au métrage, reposant sur un formalisme 2D. Chaque outil possède sa propre méthode de modélisation et de représentation, ce qui ne facilite pas l'échange de données [Cruz et al. 2004]. Pour résoudre ces problèmes, il faut que l'outil informatique participe de façon continue au déroulement du projet. Il doit assister le concepteur non seulement pour représenter l'objet conçu, mais aussi dans sa quête de cohérence architecturale à différentes échelles (la forme, la fonction, la structure, l'économie). C'est au cœur des travaux de recherches sur l'enrichissement et l'évolution de la représentation et des échanges de données techniques pour la CAO-DAO que se situe l'approche de la coopération reposant sur l'utilisation des objets architecturaux (par exemple les murs, les poutres, les poteaux, les planchers). Les objets constituent la source et la référence des informations nécessaires à l'élaboration des plans, des devis, des études techniques, de la gestion des projets, etc. « Un bâtiment est composé d'objets architecturaux qualifiés par des propriétés fonctionnelles, morphologiques, symboliques, établis dans un site, et ordonnancés du tout aux parties et des parties au tout » [Hanrot 1989].

Dans l'approche coopérative fondée sur les 'objets', l'échange ne porte plus sur les documents mais sur les ouvrages et les espaces qu'ils décrivent. Ces ouvrages ne sont pas seulement définis par des représentations graphiques mais aussi par leurs caractéristiques (matériau, couleur, stabilité structurelle, conductivité thermique, prix)

La modélisation des ouvrages et des espaces dans les logiciels fondées sur les 'objets' propose une représentation explicite et formelle de la sémantique afin de permettre aux logiciels techniques d'échanger des objets ou parties d'objets [I.A.I –a 2000]. Chaque objet modélisé est ainsi simulé par un 'objet informatique' (voir figure 31) qui :

- appartient à une **classe**, capturant les caractéristiques communes à une catégorie d'objets ;
- possède **des attributs**[60] (des données géométriques, des caractéristiques, etc.) ;

[60] Les attributs sont les caractéristiques (ou propriétés) des entités qui ne possèdent pas d'existence propre, et qui peuvent être observés ou mesurés. Chaque attribut possède une valeur qui appartient à un ensemble de valeurs. Une valeur ne peut être identifiée. Elle est explicitement représentée.

- possède **des relations** le liant avec d'autres objets. Ces relations sont généralement binaires (limitées à deux classes d'objets) ;
- est régi par **des contraintes** relatives à sa conception et à son agencement dans la maquette numérique.

Exemple : La fenêtre (Id : Et01, Fen. N°005), qui appartient à la classe des fenêtres, possède des attributs comme des dimensions géométriques (largeur, hauteur et épaisseur), possède des relations telles que 'est contenue dans le mur (Id : Et01, Mur N°005)' et est régie par des contraintes telles que 'l'obligation d'avoir un double vitrage'.

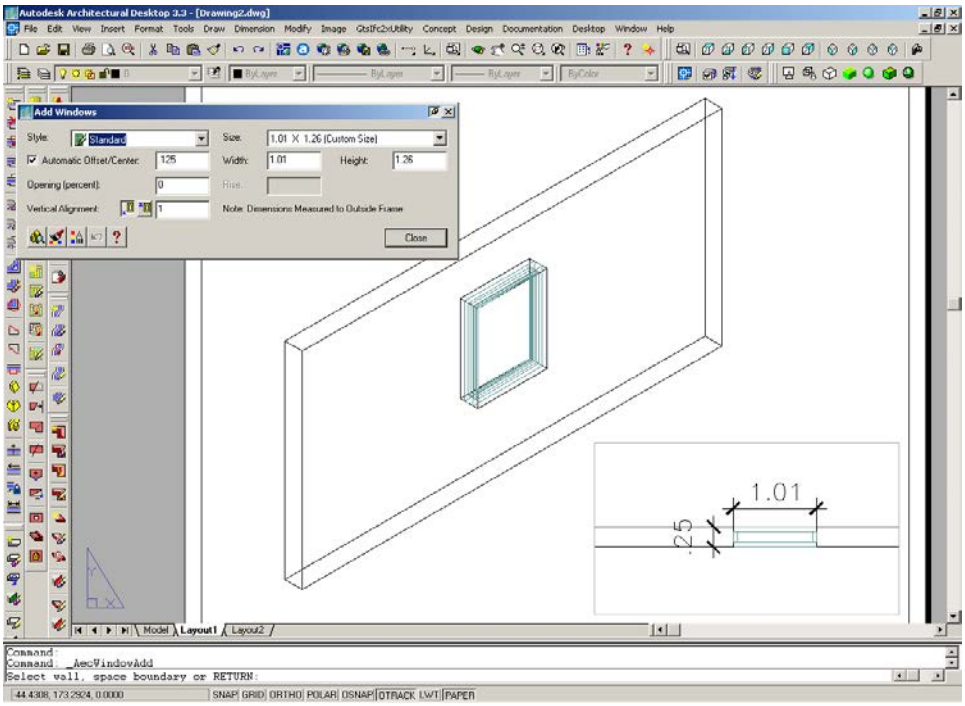
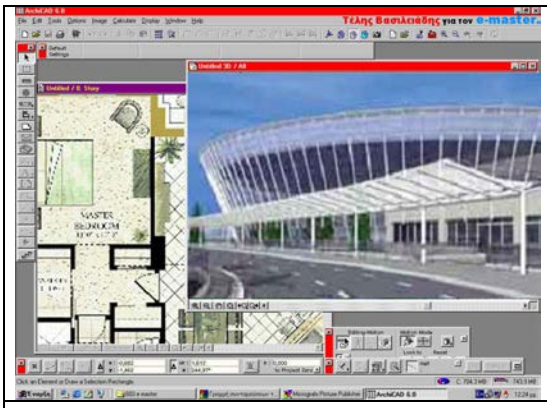
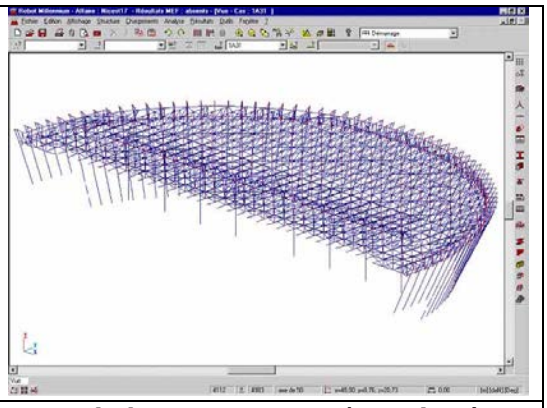


Figure 31- Exemple d'un objet fenêtre conçu dans un objet mur.

Les objets constituent les entités de base des maquettes numériques. Une maquette numérique est une représentation informatique graphique en 3D de l'ensemble des objets (ouvrages et espaces) qui composent le projet de conception et qui évoluent tout au long de son évolution. Cette représentation est partielle. Elle reflète le point de vue d'un acteur donné (voir figure 32). Elle a pour but de présenter le projet, même dans une version simplifiée, et de permettre la navigation, la simulation et le rendu [Durey 2000].



exemple d'une maquette numérique d'un projet selon le point de vue de l'architecte



exemple d'une maquette numérique du même projet selon le point de vue de l'ingénieur de structure

Figure 32– Représentation d'une maquette numérique selon deux points de vue différents

Ces maquettes numériques doivent être compatibles pour assurer l'interopérabilité des données. « Il faut que les logiciels puissent reconnaître les objets qui leur parviennent dans un format neutre, puis les réintégrer pour pouvoir les exploiter, dans leur propre langage. Cependant, la mise sur pied de ce langage commun se heurte à d'importantes difficultés telles que les objets qui sont abordés différemment par chaque corps de métier, et le fait que les éléments communs soient relativement restreints aux fonds de plans de l'architecte. » [Dugelay 1993]

De nombreux travaux ont été menés pour l'intégration de la sémantique des objets bâtiments dans les échanges entre acteurs [Lasserre 2003] :

- des projets locaux au MAP[61] (par exemple : TECTON [Hanrot et al. 1986], DESBAT [Autran et Florenzano 1988]) ;
- des projets français (par exemple : MOB[62], Sigma[63]) ;
- des projets européens (par exemple : RATAS [Bjork 1994], COMBINE [Poyet et Brisson 1992]) ;
- des projets internationaux (par exmeple : ISO[64], STEP [Fowler 1995], IAI) qui ont abouti au modèle IFC.

[61] Modèles et simulation pour l'Architecture, l'urbanisme et le Paysage. UMR n°694 CNRS/Ministère de la Culture et de la Communication

[62] Le projet MOB (Modèle Objets Bâtiment) avait pour objectif la définition d'un modèle de données respectant les différents points de vue des intervenants qui sont mobilisés tout au long du cycle de vie d'une construction [http://www.laurenti.com/publis/pub_modeles.htm].

[63] Le modèle SIGMA avait pour objectif la définition d'un modèle destiné à servir de référence pour les échanges entre les différents intervenants au cours du cycle de vie du produit bâtiment [Bedrune et al. 1994].

[64] International Organization for Standardisation [http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage]

4.2 Le modèle IFC

Créés par l'IAI[65] (l'Alliance Internationale pour l'Interopérabilité), les IFC 'Industry Fondation Classes' sont des classes qui constituent les structures de données nécessaires à la définition d'une maquette numérique d'un projet de construction uniformisant le partage de l'information technique entre les acteurs du projet (voir figure 33). Le modèle IFC est né suite à un effort commun des éditeurs 'leaders' des logiciels CAO-DAO. Il représente le travail de recherche le plus important qui n'ait jamais eu lieu pour assister la conception dans le domaine du bâtiment [Beetz et al. 2004].

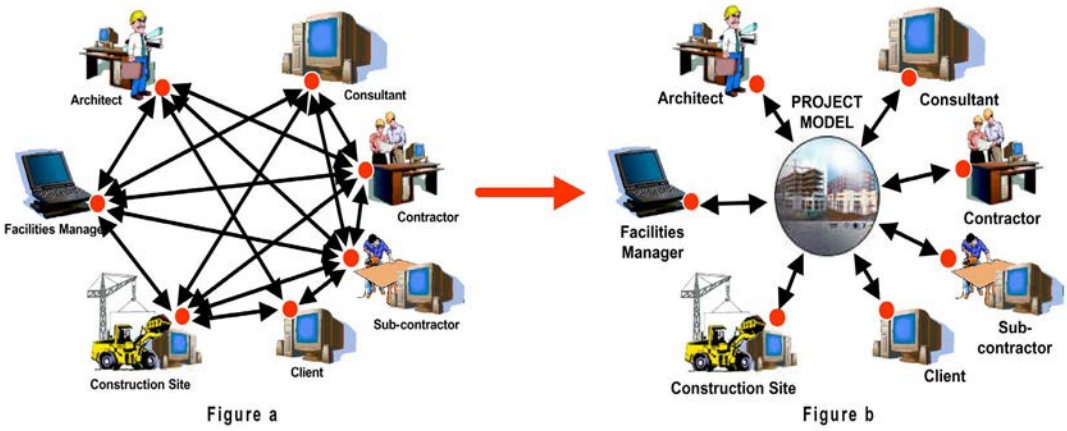


Figure 33a - Complexité des communications avec les moyens d'échanges d'informations actuels.

Figure 33b - Uniformisation des échanges entre acteurs avec la maquette numérique des modèles IFC.

Relativement récents, le modèle IFC représente un nouveau standard d'échange et de partage d'informations. Il se veut universel, facilitant les échanges des données entre les divers logiciels 'métiers', et coordonnant les différents points de vue des acteurs du bâtiment.

> Exemple : Les acteurs du bâtiment ne vont plus s'échanger des plans sur papier ou des fichiers sous format interne comme le 'DWG' d'Autocad, le 'PLN' d'Archicad ou le 'DXF'. Avec le modèle IFC ils vont s'échanger des maquettes numériques sous un

[65] L'IAI est une association qui regroupe la population des éditeurs mondiaux de logiciels de CAO, DAO, logiciels métiers susceptibles de dialoguer entre eux (comme les logiciels d'études techniques, de devis gestion, d'études de prix, etc.) et les acteurs de la construction, dans le but de faciliter l'échange et le partage des données techniques entre outils informatiques. La mission de l'IAI est de définir une structure commune des classes d'objets constitutifs du bâtiment nécessaire pour le développement des logiciels de CAO dédiés au bâtiment et des échanges informatisés de données.

fichier d'instance IFC qui sera compatible avec divers logiciels de l'AEC (Architecture Enginering Construction).

Plusieurs versions du modèle IFC ont été créées, les premières expérimentales, ont été présentées à différents salons d'Informatique et d'AEC. Aujourd'hui, la dernière version du modèle IFC (IFC 2x.2) [I.A.I –c 2000] contient 623 classes[66], et le nombre des éditeurs de logiciels proposant des interfaces d'échange IFC ne cesse de croître (voir tableau 13).

Nom du logiciel	**Editeur**	**Type du logiciel**	**Dernière certification**
Allplan	Nemetschek	CAO DAO	IFC 2x
ArchiCAD	Graphisoft	CAO DAO	IFC 2x
ADT	Autodesk	CAO DAO	IFC 2x
BSPro	Olof Granlund Oy	Calcul thermique	IFC 2x
Facility on line	Vizelia	CAD et Visualisation	IFC 2x
MicroStation TriForma	Bentley	CAO DAO	IFC 2x
Visio	Microsoft	CAO DAO, etc.	IFC 2.0
Claire	BSSlama	'Visualiseur'	IFC 2.0

Tableau 13– Les principaux logiciels ayant implémentés et certifiés leur interface IFC (Juin 2005)

L'architecture du modèle IFC (Version 2X.2) est constituée de plusieurs couches [Liebich 2004] : (voir figure 34)

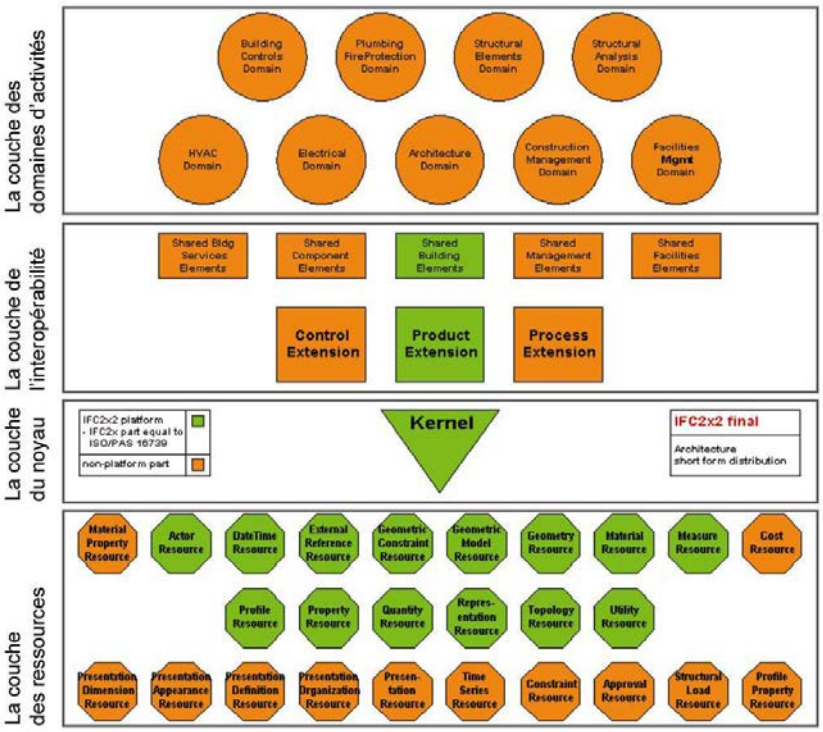


Figure 34- Architecture du modèle IFC (Version 2x.2)

[66] http://www.iai-international.org/iai_international/Technical_Documents/R2x2_final/index.html

- la couche la plus haute organise les entités par domaine d'activité comme l'architecture, l'électricité, HVAC[67] 'Heating Ventilation et AirConditioning', la gestion de patrimoine ;
- la couche de l'interopérabilité contient les éléments à échanger, tels que les ouvrages du bâtiment (par exemple : les murs, les poteaux, les poutres), les services, les éléments qui contribuent au management du projet ;
- la couche du noyau et ses extensions rassemblent les concepts indépendants d'un point de vue particulier dans des classes à haut niveau hiérarchique telles que (IfcObject), (IfcActor) ;
- la couche inférieure contient des ressources, entités d'usage général comme celles qui traitent de la géométrie des objets et des relations topologiques.

Le processus de raffinement dans le modèle IFC sert à structurer hiérarchiquement le cycle de vie du projet de bâtiment à l'aide de diverses étapes de transition. Ce processus est composé de quatre niveaux :
- le premier niveau identifie des phases générales (faisabilité, conception, construction et exploitation du bâtiment) ;
- le deuxième niveau décompose chaque phase en phases secondaires organisées chronologiquement ;

> Exemple : La conception est décomposée en phases de programmation, de conception schématique, de conception détaillée, de réalisation des documents d'exécution, de réalisation des appels d'offres.

- le troisième niveau décompose les phases secondaires en une série de processus enchaînés qui correspondent à des actions de conception ;

> Exemple : Les processus décrits dans la phase de conception schématique sont : l'analyse de site, l'élaboration du diagramme des espaces, l'élaboration des plans, etc.

- dans le quatrième niveau, chaque processus est décomposé en un ensemble d'activités. Chacune est associée à un diagramme de tâches.

Le formalisme utilisé dans le modèle IFC est le langage EXPRESS[68]. C'est un langage de description auquel est associé un formalisme graphique EXPRESS-G, qui permet une description statique des données. EXPRESS est un langage de la norme STEP (Standard for The Exchange of Product data model) qui définit des standard informatiques internationaux pour la description des caractéristiques physiques et fonctionnelles de produits industriels durant leur cycle de vie. STEP est un produit ISO de l'organisation

[67] C'est un domaine dédié au Génie Climatique.
[68] EXPRESS est un langage formel normalisé pour décrire une structure de base de données orientées objets. Il est défini par une grammaire normalisée 'ISO 94 – part 11' compréhensible par l'homme et la machine.

mondiale de normalisation (ISO 10303) issu des recherches sur la limitation des langages supports décrivant les données échangées dans le domaine industriel. L'objectif de la norme STEP est d'amener les acteurs d'un projet industriel à définir un référentiel partagé de données relatives à un produit.

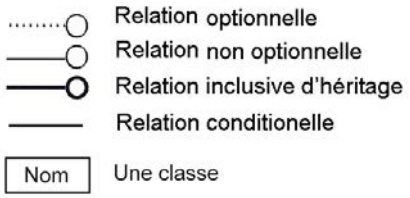
Voici un extrait de la description (sans les attributs, les relations et les contraintes hérités des classes mères) de la classe mur 'IfcWall' en EXPRESS dans le modèle IFC. Cette classe est un sous-type de la classe des ouvrages du bâtiment 'IfcBuildingElement'. Elle hérite de tous les attributs des 'classes mères'.

```
ENTITY IfcWall
   SUBTYPE OF(IfcBuildingElement);
   WHERE
     WR1 : SIZEOF (QUERY(temp <* SELF\IfcObject.HasAssociations |
           'IFC2X_FINAL.IFCRELASSOCIATESMATERIAL' IN TYPEOF(temp))) <= 1;
  END_ENTITY;
```

La clause 'ENTITY' sert à définir la classe en question 'IfcWall' et la clause 'SUBTYPE' sert à préciser sa 'classe mère'.

Voici la description de la classe 'IfcWall' en EXPRESS -G[69] dans le modèle IFC. C'est une représentation graphique de la représentation textuelle du langage EXPRESS. (voir figure 35) [I.A.I-e 2004]

Légende :



(Le reste de la légende : voir annexe 4)

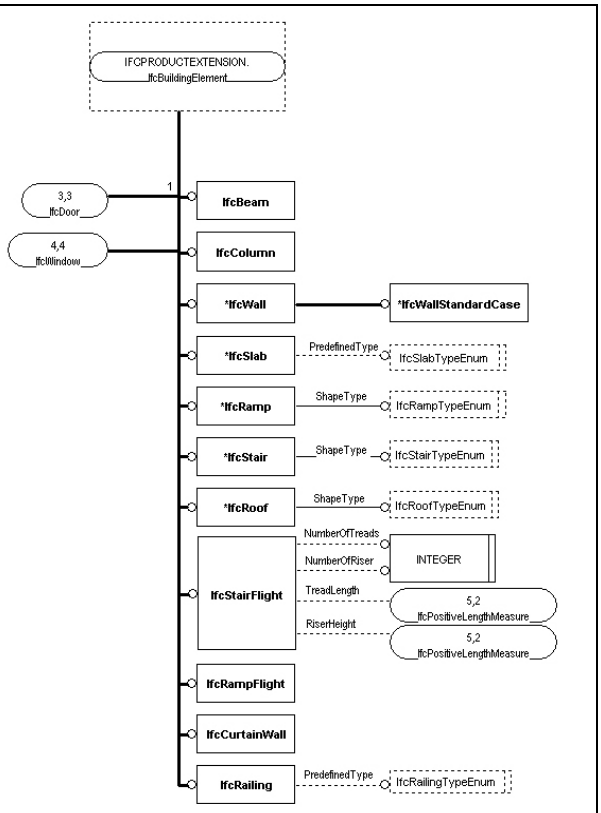


Figure 35– Représentation en EXPRESS – G de la classe 'IfcWall'

[69] Ce formalisme est utilisé principalement pendant les phases préliminaires de conception d'un modèle de données. EXPRESS-G permet une représentation des concepts structurels et descriptifs du modèle de données par une annotation graphique, ce qui augmente sa lisibilité et sa compréhensibilité. Par contre les aspects procéduraux (règles et contraintes) ne peuvent être représentés [El-Hadj Mimoune et al. 2001].

4.2 -1 Etude des ouvrages du bâtiment dans le modèle IFC

Dans le modèle IFC, la classe des ouvrages du bâtiment est appelée 'IfcBuildingElement'. C'est respectivement une 'classe racine' des classes : des éléments, des produits, des objets et de la 'racine' (voir figure 36) et (voir annexe 5).

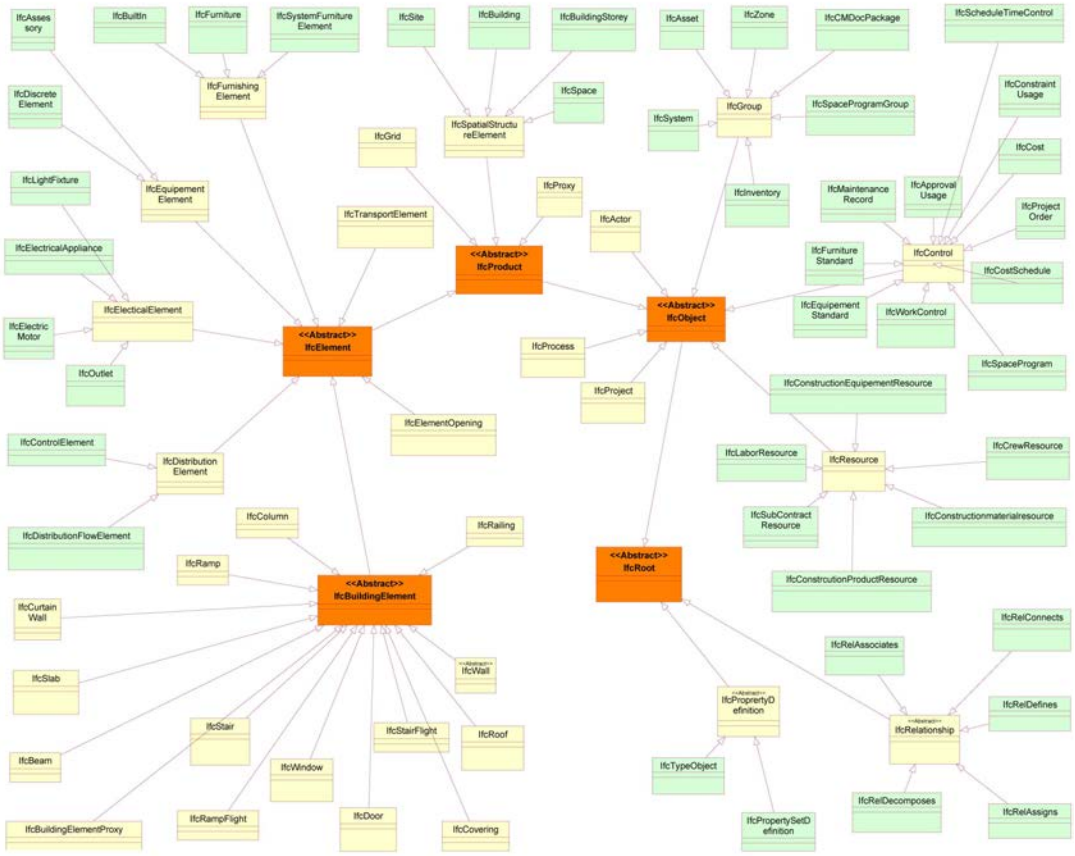


Figure 36- Représentation en UML[70] de l'arborescence de la classe des ouvrages du bâtiment jusqu'à la racine développée sur trois niveaux hiérarchiques.

- 'IfcRoot' est le noyau du modèle IFC. C'est la 'classe mère' des classes des objets, des relations et de la 'définition des attributs'.
- 'IfcObject' est une classe qui définit tout objet physique, virtuel ou concept abstrait relatif au projet. C'est la 'classe mère' des classes des acteurs, des contrôles, des groupes, des processus, des produits, des projets et des ressources.
- 'IfcProduct' est une classe qui représente tout produit manufacturé, découpé ou fabriqué in situ ou encore étant le résultat de frontières matérielles comme les espaces ou les locaux.

[70] UML (Unified Modelling Language) est un langage orienté objet, standardisé par l'OMG. C'est un moyen d'exprimer des modèles objet en faisant abstraction de leur implémentation. (voir chapitre suivant)

C'est la 'classe mère' des classes des éléments, des grilles et trames, des objets utilisateurs et des éléments spatiaux.

- 'IfcElement' est la classe qui décrit tout composant matériel du bâtiment, plein ou vide (comme une ouverture), à l'exception des espaces et locaux. C'est la 'classe mère' des classes des ouvrages du bâtiment, des éléments d'ouvertures, des éléments de finition, des éléments électriques, de distribution, de transport et d'équipement.
- 'IfcBuildingElement' est la classe qui rassemble les types d'ouvrages du bâtiment. Les attributs de cette classe concernent la typologie sémantique des ouvrages dans le modèle IFC. C'est la 'classe mère' des classes des murs, des poutres, des éléments de construction personnalisés, des poteaux, des toitures, des portes, des escaliers, des fenêtres, etc.

La classe 'IfcBuildingElement' possède des attributs locaux (définis dans la classe) et des attributs hérités (hérités des 'classes mères'), tels que : (voir tableau)

- un identifiant global unique (qui sert à référencer cet ouvrage dans le fichier d'instance) ;
- un historique qui se résume à associer la date de création du fichier '.ifc' dans lequel se trouve l'ouvrage, le type de l'auteur du fichier (utilisateur ou administratif) et l'état du fichier (bloqué, en lecture seule) ;
- un nom ;
- une description textuelle de l'ouvrage ;
- une typologie éventuelle ;
- un emplacement dans l'espace cartésien ;
- un modèle de représentation géométrique ;
- une étiquette qui comporte le nom avec le type d'objet et le numéro d'identification.

Attribute	Type	Defined By
GlobalId	IfcGloballyUniqueId (STRING)	IfcRoot
OwnerHistory	IfcOwnerHistory (ENTITY)	IfcRoot
Name	IfcLabel (STRING)	IfcRoot
Description	IfcText (STRING)	IfcRoot
ObjectType	IfcLabel (STRING)	IfcObject
ObjectPlacement	IfcObjectPlacement (ENTITY)	IfcProduct
Representation	IfcProductRepresentation (ENTITY)	IfcProduct
Tag	IfcIdentifier (STRING)	IfcElement

Tableau 14- Les attributs des ouvrages du bâtiment dans le modèle IFC[71]

La classe 'IfcBuildingElement' entretient des relations avec d'autres classes (voir tableau). Chaque ouvrage peut :

- être défini par divers modes de représentation (volumique, géométrique, surfacique) ;

[71] http://www.steptools.com/support/stdev_docs/express/ifc/t_ifcbu-04.html

- être associé à un ou plusieurs documents, matériaux ;
- être assigné à un produit, un processus, un contrôle, une tâche, un prix ou autres;
- composer un ouvrage plus grand ;
- être composé d'un ensemble d'ouvrages ;
- être référencé par un produit ;
- être rattaché à un autre ouvrage : en allant vers lui ('connected to') ;
- être rattaché à un autre ouvrage : en partant de lui ('connected from') ;
- faire partie des éléments de la structure spatiale du projet (le site, les étages, et les espaces) ;
- constituer la limite d'un espace (limite physique ou virtuelle) ;
- avoir des éléments pleins ou vides. L'objectif de cette relation est de déterminer le pourcentage d'ouverture et de remplissage.

Attribute	Type	Defined By
IsDefinedBy	SET OF IfcRelDefines (ENTITY)	IfcObject
HasAssociations	SET OF IfcRelAssociates (ENTITY)	IfcObject
HasAssignments	SET OF IfcRelAssigns (ENTITY)	IfcObject
Decomposes	SET OF IfcRelDecomposes (ENTITY)	IfcObject
IsDecomposedBy	SET OF IfcRelDecomposes (ENTITY)	IfcObject
ReferencedBy	SET OF IfcRelAssignsToProduct (ENTITY)	IfcProduct
ConnectedTo	SET OF IfcRelConnectsElements (ENTITY)	IfcElement
ConnectedFrom	SET OF IfcRelConnectsElements (ENTITY)	IfcElement
ContainedInStructure	SET OF IfcRelContainedInSpatialStructure (ENTITY)	IfcElement
ProvidesBoundaries	SET OF IfcRelSpaceBoundary (ENTITY)	IfcBuildingElement
HasOpenings	SET OF IfcRelVoidsElement (ENTITY)	IfcBuildingElement
FillsVoids	SET OF IfcRelFillsElement (ENTITY)	IfcBuildingElement

Tableau 15 – Les relations des ouvrages du bâtiment avec les autres classes IFC

Suite aux travaux de l'IAI, le modèle IFC montre qu'il existe une prise de conscience internationale des potentialités qu'offre l'utilisation des objets et des maquettes numériques dans la CAO, la DAO, les systèmes coopératifs, la gestion de patrimoine, ou autres. Ces avantages englobent l'interopérabilité des données, la suppression des reprises des plans, la facilité d'échanges, la structuration sémantique des informations relatives aux ouvrages et des espaces, etc. Cependant, la difficulté de leur intégration dans les pratiques des acteurs du bâtiment, spécifiquement dans celles des concepteurs, montre que ce format a des limites et ne couvre pas tous leurs besoins, notamment ceux relatifs à leurs activités coopératives.

4.2 -2 Les limites du modèle IFC

D'une façon générale, le modèle IFC est hiérarchisé suivant une logique 'produit'. Le modèle est inspiré de la norme STEP qui a uniformisé la connaissance sur les méthodes et les technologies adaptées à divers secteurs industriels. L'IAI a adopté plusieurs standard de STEP [Billon 1999], mais leur ajustement au secteur du bâtiment pose un certain nombre de problèmes dans les échanges de données et au niveau de leur capacité à structurer l'activité de la conception coopérative.

a- La prise en compte de la réalité des pratiques dans le domaine du bâtiment

- La traçabilité des actions des acteurs :

Bien que le modèle IFC ait connu diverses révisions, il reste des lacunes tangibles quant à la traçabilité des interventions et aux définitions des rôles des acteurs dans le processus d'élaboration d'une maquette numérique. Le seul lien direct qui existe entre la classe 'IfcBuildingElements' et 'IfcActor' est restreint à une relation conditionnelle (voir figure 37) : s'il y a déplacement d'un objet, alors c'est un acteur qui en est l'auteur. Jusqu'à aujourd'hui, on ne peut pas indiquer si un objet a été proposé ou validé par un acteur. De plus une modification relative à un ouvrage ne peut se restreindre à une modification de position géométrique. Elle peut concerner un changement de propriétés (matériaux, dimensions géométriques, couleurs, etc).

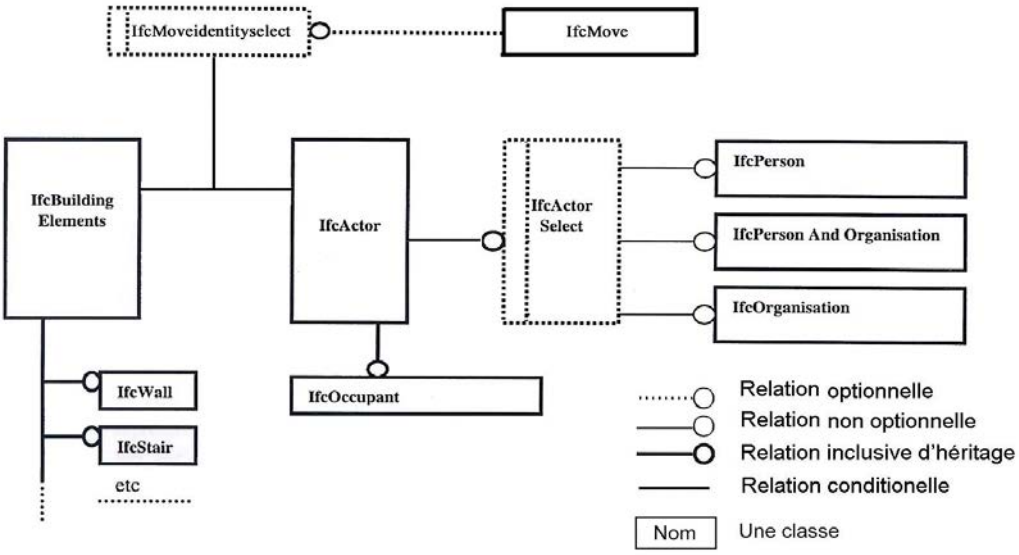


Figure 37- La relation qui existe entre les classes 'IfcActor' et 'IfcBuildingElements' [I.A.I -b 2000]

La classe ‘IfcActor’ fait référence à la désignation des acteurs, à leur organisation et à la définition de leur rôle. Cependant, elle ne permet pas de détailler et de distinguer le travail de chacun sur les ouvrages du bâtiment (conçoit, modifie, valide, supprime, etc.)

- La prise en compte de l’évolution du projet dans la maquette numérique :

Lors de la conception des différents objets constituant le projet, le modèle IFC ne permet pas de leur attribuer des états de progression relatifs à l'évolution du projet. Les objets du projet connaissent des évolutions, des transformations et des affinements (voir figure 38), qui ne sont pas exprimables à l'aide du modèle IFC. Le modèle actuel ne décrit que l’objet à l’état fini. Ainsi on ne peut pas savoir si un objet est en cours de conception, en cours de modification ou s’il a été validé. Cela constitue un handicap pour coordonner l’activité des acteurs et pour intégrer leurs points de vue aux différentes étapes du projet.

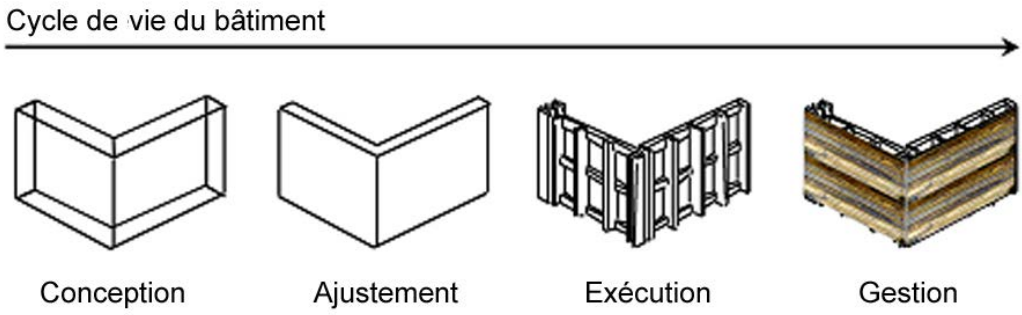


Figure 38- Représentation de l’évolution d’un ouvrage tout au long du cycle de vie du bâtiment

- La sémantique véhiculée par les ouvrages :

L’analyse des attributs et des relations associées à la classe des ouvrages du bâtiment (IfcBuildingElements) montre que la plus grande partie du descriptif qu’élabore l’architecte n’y figure pas. Ce modèle ne permet pas d’attacher à chaque objet les informations sémantiques relatives aux règlements d’urbanisme, aux caractéristiques structurelles, aux qualités plastiques, à ses contraintes de fabrication ou de mise en œuvre.

Jusqu’à la version IFC2x2, la structuration des attributs et des relations reste incomplète, comparée à la richesse des propriétés d’un objet architectural. Les relations que peut entreprendre un objet architectural avec son environnement, notamment celles relatives à la dimension coopérative du projet, restent également indéterminées. Les contraintes intervenant dans la conception d’un ouvrage de bâtiment restent difficilement identifiables dans cette version.

Exemple : Dans la dernière version des IFC2x2, le modèle ne tient pas compte :
- des attributs relatifs aux caractéristiques structurels et de stabilité (comportement des structures, type de contreventements, etc.), aux caractéristiques des matériaux et des qualités plastiques (essences de bois, durabilité, provenance, aspect, etc.) ;
- des relations que peut entreprendre un objet de bâtiment avec les phases de projet, des requêtes formulées tout au long du projet, des anciennes versions du même objet, des divers documents qui le référencient, de leurs auteurs, etc.
- des contraintes urbaines, de construction, de mise en œuvre, d'assemblage, etc.

Par ailleurs, le modèle ne possède pas de spécifications propres à un corps de métier particulier tel que la construction en bois. Il est encore dans une phase de définition générique. Certains éditeurs de logiciels comme ceux de 'Wood Engine' (spécifique à la conception en bois) importent et utilisent le format d'objet IFC mais ne peuvent pas partager leurs spécifications par rapport au domaine du bois sur le fichier IFC (par exemple la répartition des chevrons, des solivages, des colombages et des pannes croisées).

b- La compatibilité des différentes versions métier de la maquette numérique

L'analyse des échanges de données au moyen des maquettes numériques IFC, que j'ai d'ailleurs abordé depuis mon travail de DEA [Bouattour 2001], a montré qu'il existe une perte d'informations lors des conversions des données informatisées en format IFC. Même si la description du modèle a été enrichie d'une version à une autre, les utilisateurs des systèmes de CAO rencontrent deux grands problèmes lors de la conversion des objets 3D en utilisant le modèle IFC :

La conversion des modèles de représentation

Le modèle IFC utilise trois représentations graphiques de bâtiments [Billon 2001] : (voir figure 39)

- Le modèle des 'composants' : c'est le plus utilisé dans les logiciels de CAO ou de DAO. Il repose sur l'utilisation d'objets physiques du bâtiment qui vont servir à la représentation figurative du projet. Les éléments peuvent être liés directement entre eux ou par l'intermédiaire de connecteurs.
- Le modèle des 'nus de locaux' : il est utilisé principalement en maintenance, en thermique et quand il s'agit d'évaluer les ouvrages de revêtements (intérieurs et extérieurs). Ce modèle de représentation repose sur les notions de pleins et de vides, de matière et d'espace, de composant et de local.
- Le modèle des 'axes' (généralement utilisé dans les calculs de structures et les calculs techniques) : c'est une représentation plus abstraite du bâtiment, où ne sont conservées que

les informations ‘topologiques’ et fonctionnelles en vue de calculs. Les composants physiques sont réduits graphiquement à des axes en deux ou trois dimensions qui se rejoignent à des points appelés nœuds.

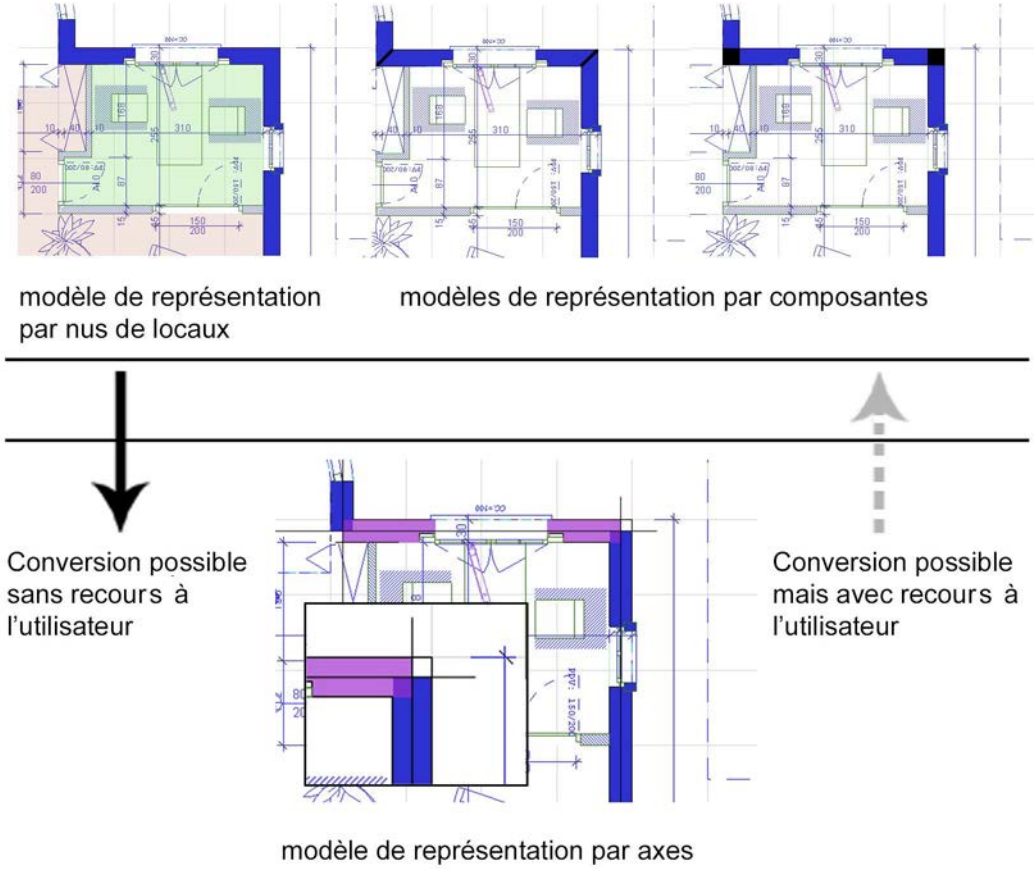


Figure 39– La conversion entre certains modèles de représentation

La conversion automatique des objets IFC d’un modèle de représentation à un autre n’est pas toujours réciproque [Hégron 1994]. Pour passer du mode par composants au mode par axes, il n’existe pas de problèmes particuliers. Cependant, l’inverse ne peut se faire sans avoir recours à l’utilisateur ou à l’historique du processus de conception de cet ouvrage. Ceci explique la perte de données lors de certains échanges.

L’intégration du modèle IFC dans les outils informatiques

Même si la création des IFC date d’une dizaine d’années, le nombre des outils informatiques utilisant le modèle IFC reste très limité devant le nombre des outils existant dans le domaine du bâtiment. En effet, le modèle IFC ne permet qu’une interopérabilité partielle de données. C’est un problème conjoncturel, mais cela limite d’une façon primordiale leur introduction et utilisation dans le domaine du bâtiment. Un grand nombre de logiciels spécialisés dans le calcul de structures ou des déperditions thermiques n’est pas

capable d'enregistrer les travaux de conception menés en parallèle en utilisant le modèle IFC. Ce dernier possède une structure incomplète vis-à-vis de tous les besoins des acteurs. Ainsi, toute description technique n'est pas toujours convertible en format IFC. Ce modèle reste cependant assez générique pour pouvoir supporter les spécifications des divers corps de métier du bâtiment.

Exemple : Sur bon nombre de logiciels CAO-DAO et de calcul de structures, un grand nombre de bibliothèques d'objets détaillés ne peut être converti en utilisant le modèle IFC sans perte de données sémantique. La figure suivante montre le résultat de la conversion d'une maison individuelle conçue sur ARCHICAD et exportée dans un fichier IFC. Ainsi, nous distinguons des pertes de données relatives aux fenêtres personnalisées, aux aménagements, aux escaliers, etc. (voir figure 40).

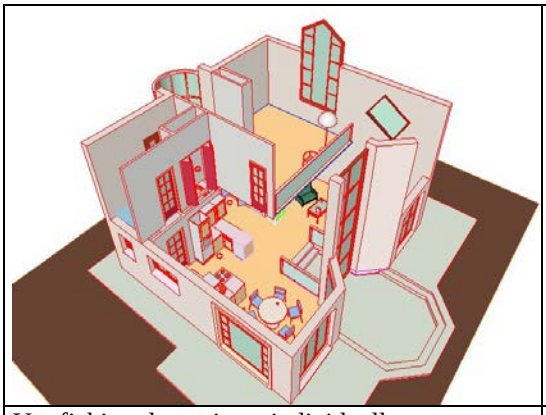
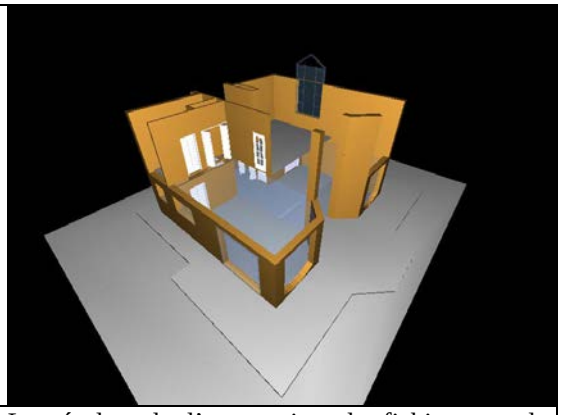
	
Un fichier de maison individuelle conçue sur ARCHICAD	Le résultat de l'exportation du fichier vers le modèle IFC (version 2x)

Figure 40–La perte de certains ouvrages du projet lors d'une exportation vers le modèle IFC

Ainsi, il est clair que le modèle reste limité en ce qui concerne la conversion de certaines données du projet, la modélisation d'informations ou de relations relatives aux activités coopératives. Le développement des outils utilisant le modèle et les maquettes numériques IFC en dépend. Aussi, beaucoup d'acteurs du bâtiment ignorent l'existence de ce modèle. Le questionnaire (sur les pratiques réelles dans le domaine du bois) relaté dans le chapitre précédent en témoigne. En France, les membres de l'IAI France commencent à faire connaître le modèle. Il y a eu fin 2002 la distribution de CD à la majorité des architectes français afin de présenter et expliquer les avantages du modèle IFC. Mais les résultats ne sont pas encore perceptibles [Billon 2002].

4.3 Les outils actuels utilisant la maquette numérique IFC

Les outils utilisant le modèle IFC sont classés suivant trois catégories :

- Les outils utilisés dans les projets de promotion, de regroupement de compétences pour la conception et l'aide à la certification d'outils, etc. La plupart, sont des outils de modélisation, de structuration, et de développement interne.

  Exemples : Le projet SABLE (Simple Access to the Building Lifecycle Exchange), Eurostep (une sorte de 'boîte à outils' sur Internet pour assister les développeurs de logiciels IFC), le projet BLIS (Building Lifecycle Interoperable Software), CRC Australia , etc.

- Les applications de CAO DAO, les outils de conversion de données informatiques en IFC, les 'visualiseurs'[72], etc.

  Exemples : Allplan, Archicad, ADT, Robot, EPM - EXPRESS Data Manager, des prototypes de CAO 4D [Tanyer et Aoud 2005] et Claire[73], DDS IFC Viewer.

- Les systèmes de gestion de projets IFC, les serveurs et autres plates-formes Internet, les systèmes d'assistance à la coopération, etc.

  Exemples : IFC Model Server Development Project (IMS), BSPro COM Server, Olof Granlund Oy, IFC BIS (Based Information Server) et Active3D[74].

Ces outils constituent des plates-formes où les échanges sur le projet sont facilités grâce à un accès simplifié des acteurs sur Internet. Chaque acteur, suivant son droit d'action, a la possibilité de déposer et de récupérer des documents mais aussi des versions de la maquette numérique. Suivant une approche type 'workflow' (gestionnaire de flux), chaque utilisateur est prévenu par courrier éléectronique du dépôt d'un document le concernant ou d'une mise à jour d'une maquette numérique. Le système propose aussi une traçabilité des différentes versions et des échanges des documents.

---

[72] Un 'visualiseur' IFC permet aux utilisateurs de visualiser des fichiers IFC sans forcément pouvoir les éditer.

[73] Claire développé par 'BBS Slama' est actuellement le seul logiciel français à avoir obtenu la certification de l'IAI en 2001. C'est un 'visualiseur' qui assure aussi un export de fichiers IFC vers des logiciels métiers.

[74] Active3D est une plate-forme web de partage de données, disposant des fonctions de base des collecticiels. Elle est le résultat de recherches menées entre le CNRS (Centre National de Recherches Scientifiques) et l'Université de Bourgogne. Elle est conçue suivant une approche coopérative, dans le but de travailler en mode d'ingénierie simultanée. Les échanges se font autour d'une maquette numérique IFC. http://www.active3d.net/sitea3d/2004/index.php

Ces maquettes numériques IFC sont constituées automatiquement à partir des plans des divers acteurs [I.A.I -d 2004]. Ces derniers importent cette maquette ou une partie de cette maquette vers leurs logiciels tels que ceux de CAO, DAO, de calculs de structures, de thermique, de gestion de patrimoine. Ils l'enrichissent et l'exportent à leur tour vers la plate-forme où elle est à nouveau partagée (voir figure 41). Sur Internet, dans certaines plate-formes comme celle d'Active3D, l'utilisateur peut naviguer dans cette maquette au moyen d'un 'visualiseur'[75] intégré à la plate-forme.

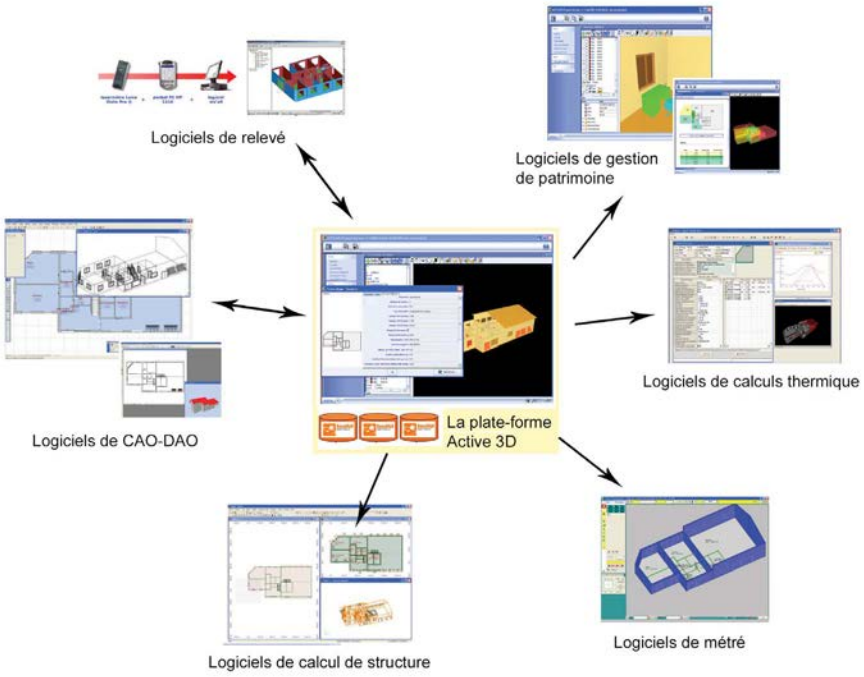


Figure 41– Structuration des échanges de maquettes numériques dans Active3D

Ces systèmes de gestion de projets (comme dans tout collecticiel existant aujourd'hui) reposent sur l'utilisation des documents et des fichiers. Bien qu'ils imposent des échanges avec les maquettes numériques IFC, leur intérêt pour structurer la sémantique des objets IFC, ainsi que les données relatives à l'assistance aux activités coopératives est restreint (traçabilité des actions des acteurs sur le modèle, l'évolution des objets, etc.)

Le nombre de systèmes de gestion de projets utilisant le modèle IFC reste limité. En France, le développement de tels systèmes est tributaire :

- des acteurs du bâtiment dont la majorité ne connaissent pas le modèle IFC ;
- de la difficulté de changer leurs pratiques de travail actuelles [IAI Fr 2003].

[75] Le 'visualiseur' d'active3D offre la possibilité de prises de photos virtuelles à insérer dans un rapport pour signaler un détail à corriger, ou à valider, etc. Il permet aussi de visualiser certaines informations se rapportant aux objets constituant cette maquette (dimensions géométriques, dimensions économiques, etc.) sans avoir recours aux logiciels CAO.

4.4 De la maquette au projet numérique

Le modèle IFC reste le plus adéquat pour permettre une interopérabilité des données, source d'économie de temps dans le domaine du bâtiment. Ce modèle, ainsi que les outils utilisant les maquettes numériques IFC, montrent certaines limites quant à l'assistance du travail des groupes des concepteurs. En prenant en considération des observations formulées lors des derniers chapitres, nous proposons de faire évoluer la notion de maquette numérique vers la notion de 'projet numérique' qui doit tenir compte :

- du contexte et des problématiques de la conception coopérative (recensés dans le chapitre 1) ;
- des concepts intermédiaires identifiés lors de l'étude théorique de l'activité de conception et des problèmes relatifs aux systèmes coopératifs (dans le chapitre 2) ;
- de la nécessité de fournir aux concepteurs qui coopèrent le plus grand nombre d'informations capables d'orienter leurs choix (besoin recensé dans le chapitre 3) ;
- de la flexibilité des pratiques courantes relatives aux activités de coopération identifiées lors de l'analyse du domaine du bois (au le chapitre 3) ;
- de la performance des méthodes et des outils d'aide à la structuration des données et des échanges dans le secteur industriel (chapitre 3).

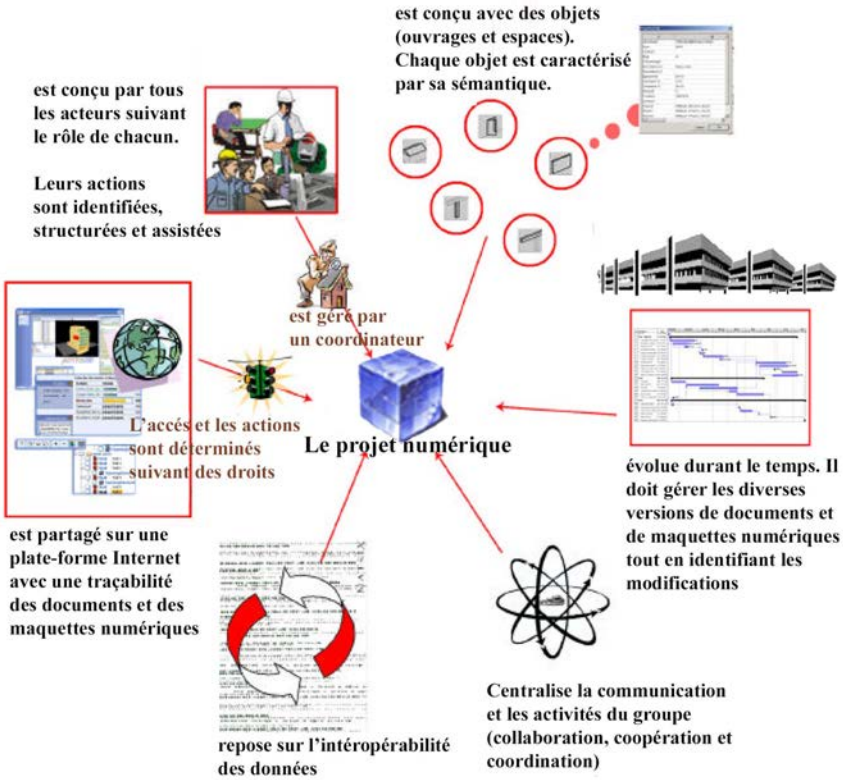


Figure 42- Les diverses dimensions d'un projet numérique

Nous définissons le projet numérique comme l'ensemble des données définissant les objets constitutifs d'un bâtiment. C'est une représentation informatique étendue de l'ensemble des différentes versions des maquettes numériques tout au long du cycle de vie du bâtiment. Ce projet est créé et partagé par l'ensemble des acteurs intervenant sur une plate-forme. Chaque action sur un document ou sur un objet y est relatée et associée à son auteur. Dans un projet numérique, les échanges sont facilités grâce à l'utilisation de données interopérables comme celles des IFC. Ce projet constitue un environnement virtuel pour la structuration des activités coopératives et de communication. Un projet numérique doit être capable de pouvoir structurer les informations qui ne cessent d'évoluer. Il est caractérisé par le fait que la coopération repose sur l'utilisation de la maquette numérique et la notion d'ouvrages, et par le fait que l'échange de documents se fasse sous forme numérique.

Conclusion partielle

Ainsi, la coopération des activités doit s'appuyer sur l'interopérabilité des logiciels utilisés par les acteurs de la construction. L'amélioration de la capacité des acteurs à échanger leurs dessins, plans, descriptifs, etc. représente un enjeu important pour une meilleure qualité et une meilleure productivité. Cette problématique de l'échange de données dans le bâtiment conduit à spécifier le besoin de disposer :

- d'un langage commun qui véhicule l'information (par exemple IFC, XML, http) ;
- de systèmes coopératifs et d'outils d'assistance utilisant ces standard (plates-formes Internet, serveurs, collecticiels, gestionnaires de flux).

Les outils de la coordination importés du secteur de l'industrie vers le domaine du bâtiment ne sont pas directement adaptables. Leur ajustement pose un certain nombre de problèmes dans les échanges de données, notamment dans la compatibilité des différentes versions 'métier' de la maquette numérique IFC et de l'assistance à la coopération des acteurs. En effet, le modèle IFC, inspiré de la norme STEP, est hiérarchisé suivant une logique 'produit' ne tenant pas compte de l'importance de la structuration de l'environnement coopératif. Le modèle IFC constitue ainsi un prototype standard pour pouvoir harmoniser et échanger de données informatisées. Or, bien qu'il évolue d'une version à une autre, il n'est pas capable, jusqu'à aujourd'hui, de structurer suffisamment d'informations sémantiques autour de la notion d'ouvrage et ainsi contenir tous les données du projet. Pourtant, disposer de cet ensemble de données est essentiel pour structurer les activités coopératives des acteurs durant le cycle de vie du bâtiment. D'où la notion du projet numérique qui constitue la base de notre recherche sur un environnement virtuel coopératif capable de donner une vision riche du contexte des activités qui évoluent dans le projet.

Deuxième partie :

Spécification d'un modèle utilisant la sémantique des ouvrages et mise en place d'un système coopératif

Chapitre 5

De la modélisation conceptuelle des ouvrages au Projet Virtuel Coopératif

La prise en compte des problèmes définis lors de l'analyse du modèle IFC (quant au respect de la réalité des pratiques et la compatibilité des différentes versions des maquettes numériques IFC) et du contexte de la conception coopérative dans le bâtiment permet d'envisager deux approches pour assister la coopération :

- définir de nouveaux outils de travail coopératif qui intègrent au mieux les différentes remarques formulées (l'importance de donner une vision complète de l'environnement coopératif, de structurer la sémantique des objets de bâtiment, de déterminer l'évolution de ces objets, de tracer les actions des acteurs, etc.) ;
- définir des protocoles de coopération qui rendent les outils existants interopérables.

Nous avons choisi de nous intéresser à la première approche au regard de l'importance de la prise en compte de la maquette numérique dans la conception coopérative et de la définition d'un modèle de coopération intégrant cette maquette. Cette modélisation sert à déterminer les concepts qui sont liés et qui forment le contexte de la coopération dans un projet de conception de bâtiment.

5.1 La modélisation du contexte du projet de bâtiment

Le caractère implicite qui prime dans l'acte collectif de bâtir un ouvrage fait que c'est l'acteur et non pas un système coopératif qui doit prendre l'initiative de mener une action de coordination ou de régulation de l'activité du groupe. Il est par conséquent impératif de permettre aux acteurs d'obtenir une information fiable concernant l'état du projet afin que chacun des acteurs puisse déterminer quelles sont les actions qu'il a à mener. Au regard des contenus des informations échangées au cours de la conception d'un projet, il apparaît que les ouvrages et les espaces occupent une place essentielle. De la même manière, tous les **objets** du projet entretiennent des relations avec leur 'environnement', c'est à dire avec les **acteurs** qui les conçoivent, les **documents** qui les représentent et les **activités** qui leur donnent naissance.

Ces notions fondamentales entretiennent des liens réciproques. Ce sont ces liens que nous généralisons sous le concept de relation, ce qui nous permet de définir ce que nous appelons la pyramide relationnelle (voir figure 43).

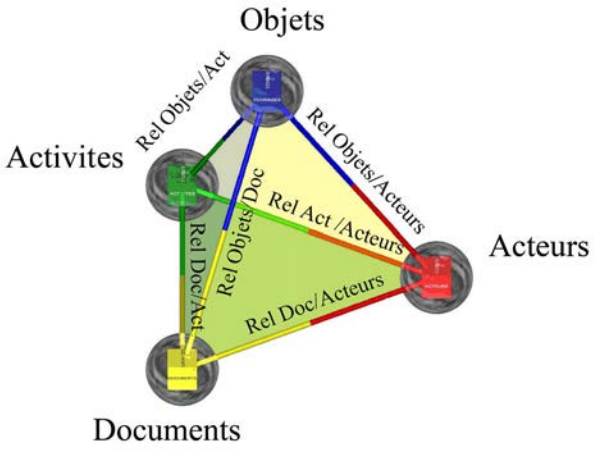


Figure 43- La pyramide relationnelle

Pour interpréter les connaissances que nous avons rassemblées autour de l'activité de conception coopérative dans le bâtiment s'appuyant sur la notion d'objet, nous avons utilisé une méthode de modélisation et de 'méta-modélisation' existante dans le domaine de IDM (Ingénierie Dirigée par les Modèles). Ce cadre de modélisation nous a permis de décrire les différents concepts, processus et besoins nécessaires identifiés dans les précédents chapitres, et de définir ainsi le support de connaissance d'un système coopératif.

5.1 -1 La notion de modèle

Un modèle est une abstraction de la réalité. L'abstraction est un des piliers de 'l'approche objet', qui consiste à identifier les caractéristiques intéressantes d'une entité, en vue d'une utilisation précise. L'objectif est de donner une certaine objectivité à la réalité en définissant une frontière entre cette réalité et la perception de l'observateur. Ce n'est plus 'la réalité', mais une vue 'impartiale' de cette dernière. L'approche par modèles permet d'objectiver les concepts et les liens existants dans un domaine grâce à un formalisme[76] comme UML (Unified Modelling Language).

« La conception s'inscrit dans la catégorie des faits humains et, en tant que telle, nous savons que nous pouvons tenter de la modéliser » [Bassereau et Duchamp 1995]. Ici Bassereau et Duchamp inscrivent la conception dans une logique d'évolution de toutes les disciplines. Cette logique, qui tend vers la formalisation d'une connaissance, passe obligatoirement par une abstraction de ces données. La modélisation de la conception prend ainsi effet. L'objectif fondamental qui est poursuivi au travers de la modélisation de ces données est de parvenir à une représentation explicite et formelle de la sémantique des informations que les logiciels techniques peuvent manipuler pour assister les utilisateurs dans leur travail coopératif.

Dans le développement informatique, les modèles sont utilisés pour la description de la structure des systèmes, en incorporant d'une part, des spécifications sémantiques intégrées (nomenclature et règles d'affectation, etc.) et d'autre part, la description des fonctionnements réguliers (ou non) et des dynamiques qui modifient cette structure au cours du temps [Bousquet 2002].

Pour fournir un cadre général de définition formelle des démarches et des méthodes, les informaticiens utilisent la 'méta-modélisation'.

5.1 -2 La notion de 'méta-modèle'

Un 'méta-modèle' est un modèle décrivant les concepts proposés pour décrire des modèles et leur organisation. Un 'méta-modèle' se veut générique, afin de servir à créer des formalismes de modélisation et de rester compatible avec les modèles [Le Pallec 2003].

[76] Un formalisme est un ensemble de 'notations' décrivant des concepts permettant de spécifier, construire, visualiser et documenter un système informatique [Lopez 1998]. La fonction d'un formalisme étant de permettre l'axiomatisation de la réalité dans un schéma abstrait qui constitue le modèle.

Par exemple, J Lonchamp et F Muller ont définit un ‘méta-modèle’ d’aide à la décision de groupes. Il se caractérise par quatre concepts [Lonchamp et Muller 2001] :
- la situation (pour expliquer le contexte de la prise de décision) ;
- l’organisation (des acteurs et la définition de leurs rôles) ;
- la production (des différents artéfacts, des documents) ;
- l’argumentation (pour appuyer la prise de décision).

Pour écrire les programmes, les développeurs informaticiens utilisent tout ou partie des ‘méta-modèles’ des divers langages de programmation choisis [Frankel 1998]. UML est un langage dédié à la ‘méta-modélisation’ et à la modélisation orientée objet. Il propose un ensemble d’outils, essentiellement graphiques (à l'aide de diagrammes), pour représenter, décrire, analyser et concevoir l’architecture de systèmes informatiques, ceci en normalisant la sémantique des concepts qu'il véhicule [Cook 2000]. Le ‘méta-modèle’ UML qui est aujourd’hui bien répandu dans la communauté informatique [Muller 1997] sert à définir : les éléments de modélisation (les concepts manipulés par le langage) ainsi que la sémantique de ces éléments (leur définition et le sens de leur utilisation).
Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle ; c'est une perspective du modèle, mais ce n’est pas ‘le modèle’ lui même. Chaque type de diagrammes UML possède une structure prédéfinie et véhicule une sémantique précise (en offrant toujours la même vue d'un système) (voir figure 44) (voir annexe 6).

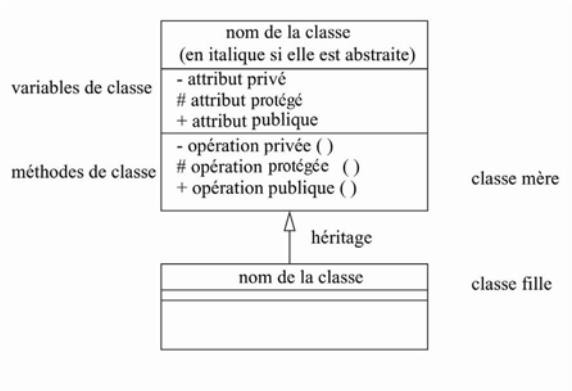


Figure 44– Schéma principal d’une classe en langage UML

L'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), appelée en anglais MDE (Model-Driven Engineering), est une forme d'ingénierie générative par laquelle tout ou partie d'une application informatique est générée à partir de modèles. Ces modèles occupent une place de premier plan parmi les artefacts de développement des systèmes informatiques [Gérard et al. 2005].

5.2 Le ‘méta-modèle’ de coopération

Les travaux de recherche menés au CRAI dans le domaine de la co-conception ont identifié les pratiques de coopération lors des processus de conception de bâtiments pour les modéliser à travers des paradigmes qui ont guidé la conception d’outils adaptés à l’ingénierie concourante. Principalement, le travail de D. Hanser. [Hanser 2003] a permis de représenter les relations existant entre les différents concepts qui intervenent lors d’un projet de bâtiment dans un modèle. Ce dernier propose une représentation des protocoles sociaux mis en œuvre au sein d’une activité de groupe.

Un ‘méta-modèle’ (voir figure 45) a été proposé. Il est destiné à la description des différents modèles de contexte pouvant exister dans des projets de coopération. Ce ‘méta-modèle’ de coopération orienté ‘relation’ possède trois concepts fondamentaux (les acteurs, les activités et les documents)

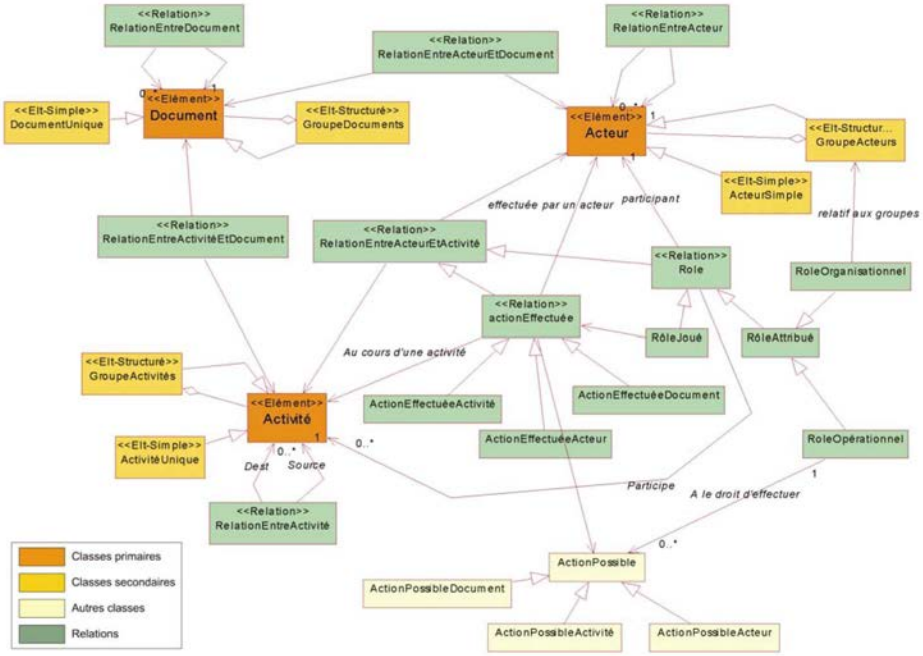


Figure 45- Vue générale du ‘méta-modèle’ de coopération orienté ‘relation’ [Hanser 2003].

Pour notre recherche, nous nous sommes placés dans un cadre de modélisation proposé par l’OMG[77]. Celui-ci déploie une architecture de modélisation sous la forme d'une

[77] L'OMG (Object Management Group) est un organisme à but non lucratif, créé en 1989 [OMG 2002]. Il s’agit d’un groupe impliquant un grand nombre d’industriels de l’informatique et des services (HP, Sun, Unisys, American Airlines, Philips, etc.) Aujourd'hui, l'OMG fédère plus de 850 acteurs du monde informatique. Son objectif est de déterminer une standardisation des formalismes

structuration hiérarchique de l'ensemble des concepts nécessaires à l'utilisation de 'meta modèles' et des relations entre ces derniers. L'OMG a défini des protocoles d'échanges célèbres, notamment CORBA, et des formalismes non moins connus comme UML et la 'méta-méta-modélisation'. Ce nouveau formalisme a donc fait son apparition au sein de l'OMG afin de répondre aux besoins émergeants de définition de processus métiers et de 'méta-modèles'. Ce formalisme est bâti suivant une architecture de représentation en strates comme le montre le tableau suivant :

Couche	Description	Exemples
meta-meta-modèle	L'infrastructure de meta-modélisation d'architecture. Définition du langage pour la spécification de meta-modèles	MetaClasse, MetaAttribut, MetaOperation
meta-modèle	Une instance du meta-meta-modèle. Définition du langage pour spécifier un modèle	Classe, Attribut, Opération
modèle	Une instance d'un meta-modèle. Définition d'un langage pour décrire un domaine d'information	demanderUnPrix, ServeurDe-Quotation
objets de l'utilisateur	Une instance du modèle. Définition d'un domaine d'information spécifique	123.45, CAC40_Svr

Tableau 16 - L'architecture de 'méta-modèle' en quatre couches[78]

L'adoption de la structuration proposée par l'OMG dans le domaine du bâtiment permet, en outre, de rendre plus lisible notre modèle (voir figure 46) en différenciant les concepts identifiés d'ordre générique propres au domaine et à toute coopération (les acteurs, les activités, les documents et les objets) niveau 'méta-modèle' (M2). Ce cadre de modélisation permet également l'instanciation de la notion d'objet (M2) en ouvrage au niveau du modèle (M1) dans ce que nous appelons le Projet Virtuel Coopératif 'VCP', et plus spécifiquement dans le domaine du bois. Le Projet Virtuel Coopératif est un projet de recherche qui vise la définition, la conception et la réalisation d'un modèle niveau (M1) capable d'assister la conception coopérative en architecture (voir sous chapitre suivant). Nous essayerons ensuite l'application du 'VCP' dans un cas particulier de projet de construction en bois niveau (M0).

Au niveau (M3), le MOF (Méta Object Facility) a pour but de standardiser un support d'information pour tout type de 'méta-modèles' et les outils associés existants, afin de produire des 'méta-modèles' MOF. Le MOF est un élément central de l'architecture conduite par les modèles de l'OMG.

de modélisation orientés 'objet' entre les différents membres de l'organisation, afin de permettre une meilleure interopérabilité de leurs outils et de leurs référentiels respectifs (grande diversité de formalismes de modélisation, difficulté d'échanges des produits, etc.)

[78] http://corbaweb.lifl.fr/CORBA_des_concepts_a_la_pratique/slides_Introduction/sld070.htm

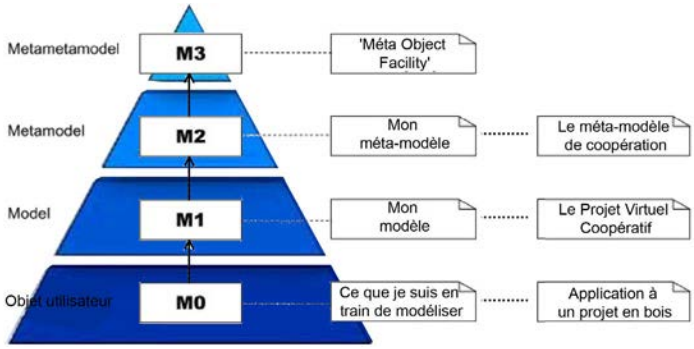


Figure 46- Adoption de l'architecture à niveaux d'abstraction dans notre recherche

La définition du modèle que nous proposons est une continuité des travaux de D. Hanser. Notre proposition repose alors sur un 'méta-modèle' de coopération permettant la prise en compte des relations existantes entre les éléments d'un projet, tout en s'intéressant plus particulièrement aux informations sémantiques véhiculées par les objets de la conception (voir figure 47).

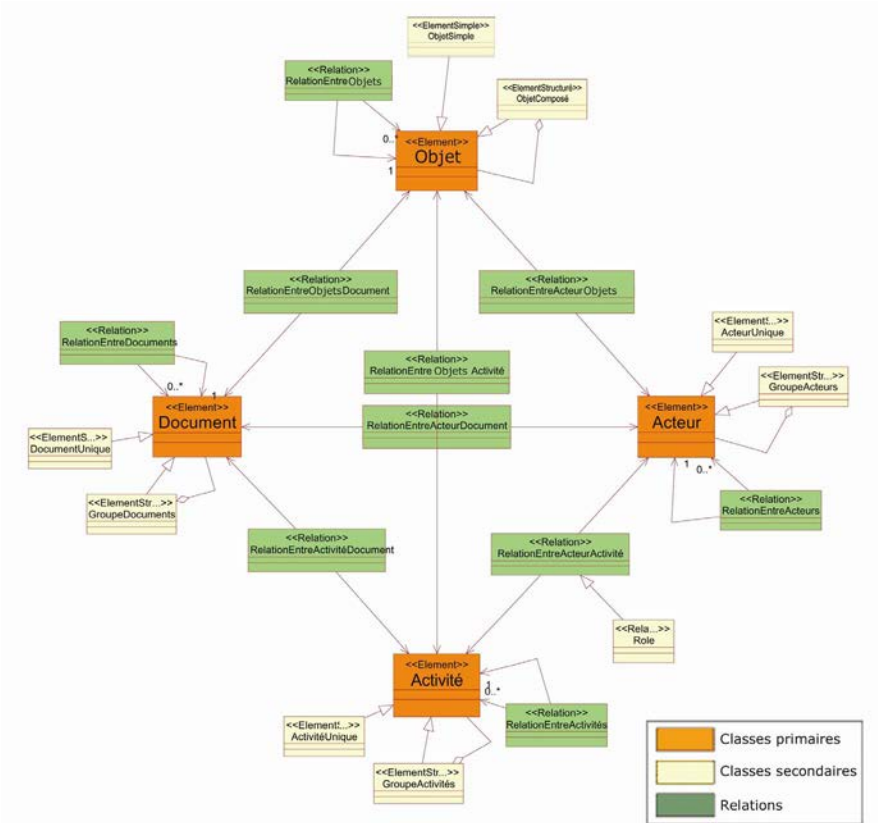


Figure 47- Extrait du 'méta-modèle' de coopération évolué (voir annexe 7)

Par l'intégration des objets dans le 'méta-modèle' de coopération et la spécification des types de relations qu'ils peuvent entretenir avec le reste des concepts, nous intégrons la notion de maquette numérique dans la structuration du contexte de la conception coopérative dans un projet de bâtiment.

5.3 Le Projet Virtuel Coopératif

La modélisation conceptuelle du contexte de coopération, de son analyse à la proposition d'un modèle le décrivant, a été une phase très importante dans notre recherche. La difficulté est de proposer un modèle suffisamment générique pour supporter l'ensemble des activités réalisées par les acteurs du bâtiment et assez fiable pour répondre aux attentes des activités coopératives.

Le modèle conceptuel que nous proposons est le fruit d'une démarche générale sur l'étude du contexte de l'activité coopérative dans le bâtiment. Il résulte de l'étude des diverses théories présentée dans le chapitre 2. Ce modèle doit permettre d'identifier les concepts et les mécanismes sous-jacents qui permettront à notre environnement de Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) de fournir un support à une activité coopérative flexible capable de s'adapter au caractère implicite du projet de bâtiment.

5.3 -1 Définition du Projet Virtuel Coopératif

Le Projet Virtuel Coopératif (VCP) est un projet initié au CRAI dans le domaine de la co-conception, avec comme objectif la définition, la conception et la réalisation d'un modèle capable d'assister la conception coopérative en architecture. Ce modèle est une interprétation des théories existantes orientées vers la représentation des protocoles sociaux sous-jacents d'une activité de groupe. Le projet virtuel coopératif se veut être un projet conçu et partagé par plusieurs acteurs qui coopèrent à travers des activités précises, s'échangent des documents ou tout type d'artéfact, mais surtout travaillent sur la conception des ouvrages constituant le projet. Ce projet s'appuie sur l'utilisation de la notion du projet numérique et de la sémantique des objets qui le composent. Ces objets sont le support de spécifications qui favorisent une coopération implicite (assistance à l'évolution du cycle de vie, traçabilité, processus de conception, gestion des actions et des tâches, etc.). Finalement, le Projet Virtuel Coopératif vise à fournir aux acteurs une vision de l'évolution du projet conforme à la réalité en assistant leur activité dans la coopération.

La figure n°48 commente les éléments mis en évidence dans le Projet Virtuel Coopératif selon la typologie de la théorie de l'activité.

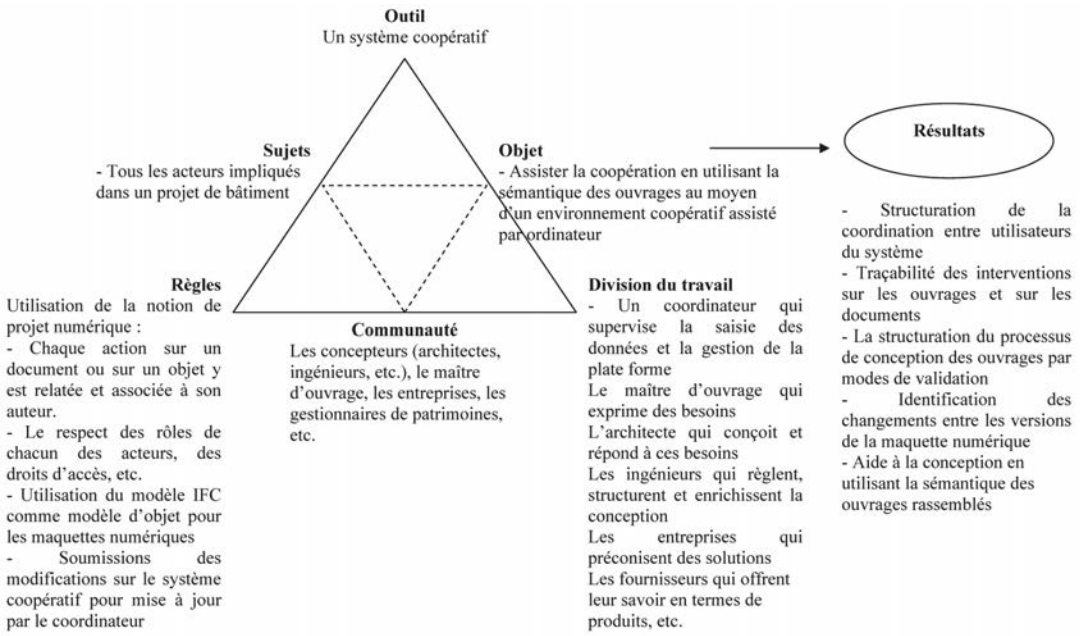


Figure 48- Les concepts du VCP selon la théorie de l'activité.

L'instanciation du 'méta-modèle' de coopération (M2) au contexte du Projet Virtuel Coopératif (M1) appliqué au domaine du bois permet de représenter le contexte du travail coopératif à travers un ensemble d'informations construit autour de la notion de sémantique d'ouvrage. Cette organisation repose sur un ensemble de concepts.

5.3 -2 Les concepts fondamentaux

L'application du 'méta-modèle' de coopération, qui correspond à la couche (M2) dans la nomenclature de l'OMG au Projet Virtuel Coopératif 'VCP' dans le domaine du bois, permet de mettre en place un ensemble de modèles, briques de base du système coopératif qui sera défini dans le chapitre suivant.

a- Le modèle des acteurs

Un acteur se caractérise par sa capacité d'action et possède une autonomie dans sa prise de décision. L'acteur agit, donne son opinion ou produit de l'information à l'intérieur du projet. Un acteur est caractérisé par la place qu'il occupe dans l'organisation (l'entreprise à laquelle il appartient et son niveau hiérarchique), mais aussi par ses capacités, c'est à dire sa spécialité et ses compétences propres. Il est donc nécessaire de rendre le plus explicite possible l'éventail des compétences qu'un acteur possède.

Exemple : Définir un architecte uniquement par son métier est insuffisant car celui-ci peut être spécialisé dans certains types de construction (bâtiments industriels, logements, ouvrages d'art), ou être plus compétent dans certains domaines (bois, métal ou béton). Ces données relatives aux compétences des acteurs permettent de clarifier et d'orienter l'attribution des rôles dans le projet et les possibilités d'action qui en découlent.

Les acteurs sont soit des individus, soit des 'collectifs' (voir figure 49). Le groupe des acteurs est variable dans sa taille, sa structure (règles de fonctionnement, d'accès, etc.) et sa composition (homogénéité, hétérogénéité). Au sein d'un groupe, les acteurs se caractérisent par leurs caractéristiques sociales, leurs rôles (droits, devoirs, responsabilités), et leurs localisations (position, mobilité). Le groupe est généralement réuni par un but commun, qu'il atteint à travers des activités de caractéristiques diverses : activités ponctuelles ou de long terme, activités formelles ou informelles, activités prévues ou improvisées, activités synchrones ou asynchrones, activités localisées ou réparties.

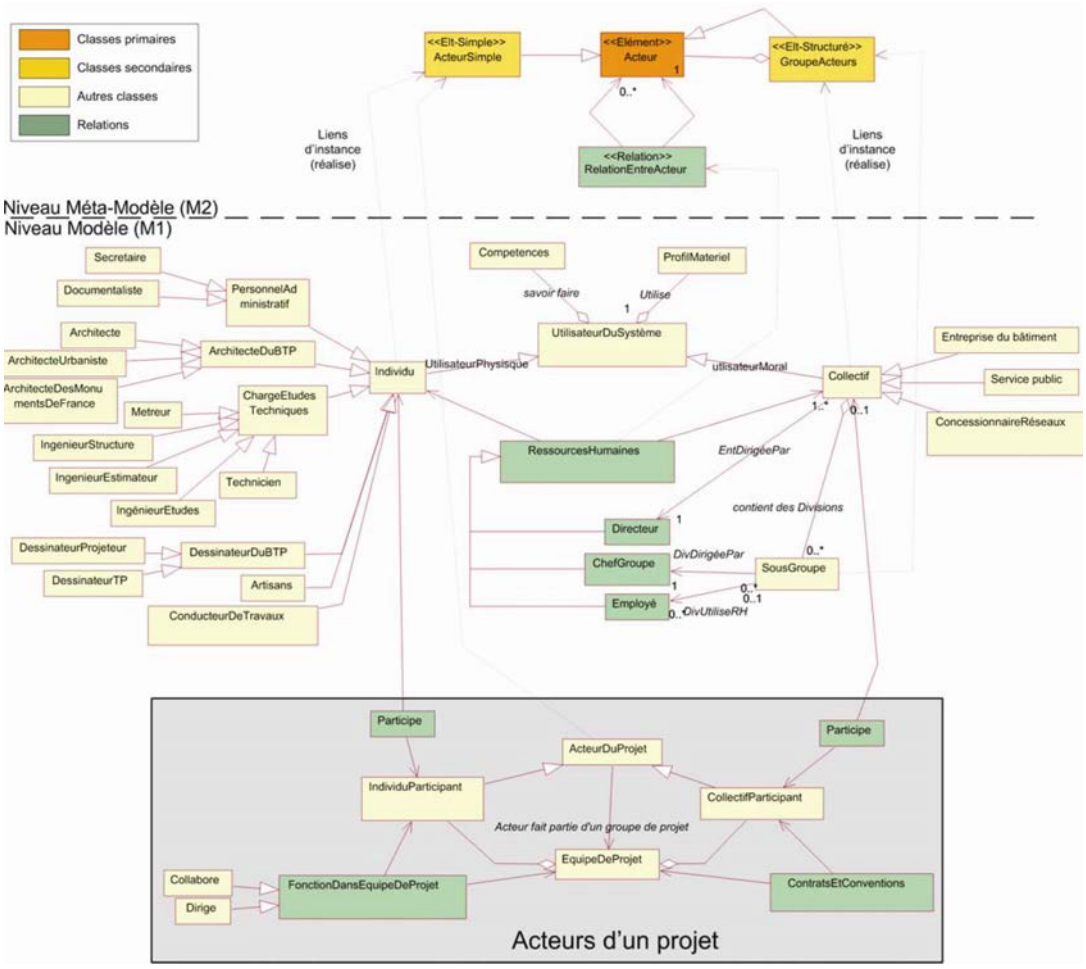


Figure 49- Le modèle des acteurs [Hanser 2003]

Dans un projet, chaque acteur peut faire partie d'un groupe de projet (groupe de maîtrise d'œuvre, etc.). Un groupe de projet constitue une organisation particulière dans un projet

particulier. La participation de chaque acteur ou collectif d'acteurs dans un projet est matérialisée par un cadre contractuel décrivant les missions et les devoirs assumés.
Les utilisateurs d'un système coopératif sont des acteurs potentiels d'un projet. En effet, pour qu'un acteur puisse accéder à un 'espace de projet', il est nécessaire que celui-ci soit reconnu par le système à travers une procédure d'identification [Hanser 2003].

b- Le modèle des activités

Les activités peuvent être explicites, assurant la prescription, ou implicites, apparaissant au cours du projet et variant suivant les situations. Les activités constitutives d'un projet présentent plusieurs niveaux de granularité : le projet, la phase et la tâche. Le projet et les phases sont des activités composées (elles contiennent d'autres activités), alors que les tâches constituent l'éléments simple le plus petit d'une activité. La loi sur la maîtrise d'œuvre publique définit les grandes phases d'un projet ainsi que les niveaux de détails correspondants (voir figure 50).

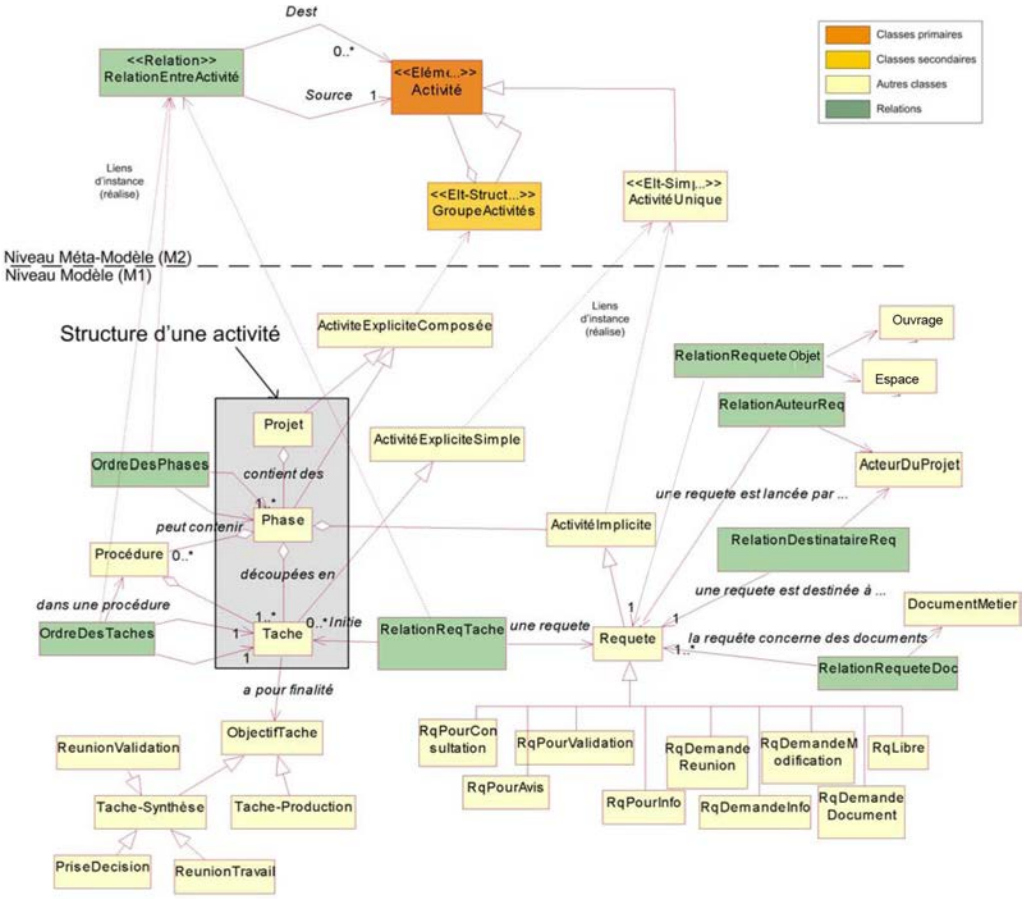


Figure 50- Le modèle des activités [Hanser 2003]

Les activités sont prescrites et présentent par conséquent un objectif identifié. Cet objectif peut viser la coordination et concerner la gestion des acteurs ou des tâches. Il peut cerner la

production de documents, la modification d'ouvrages, etc ; comme il peut cibler la synthèse par la prise de décision ou la validation d'une situation, etc. La coordination se fait principalement par des requêtes entre acteurs [Malcurat 2002]. Elles peuvent être attachées à des documents ou à des ouvrages et permettent de donner du sens aux échanges. Les requêtes peuvent être typées: 'Pour information', 'Pour consultation', 'Pour avis', 'Pour validation', 'Demande de modification', 'Demande de réunion', 'Demande d'informations'.

c- Le modèle des documents

Les documents peuvent être produits par les acteurs du projet de bâtiment ou appartenir au domaine législatif (par exemple : les documens techniques unifiés, la réglementation de sécurité incendie). Un document métier représente les constituants d'un « délivrable », c'est à dire l'ensemble des pièces relatives à un point d'un contrat (voir figure 51).

> Exemple : Un dossier de consultation des entreprises comprendra des plans, des tabulaires et des textes.

Le document métier peut être une 'agrégation' de fichiers au sens informatique. Un document métier peut rassembler, dans des dossiers, un ou plusieurs autres documents.

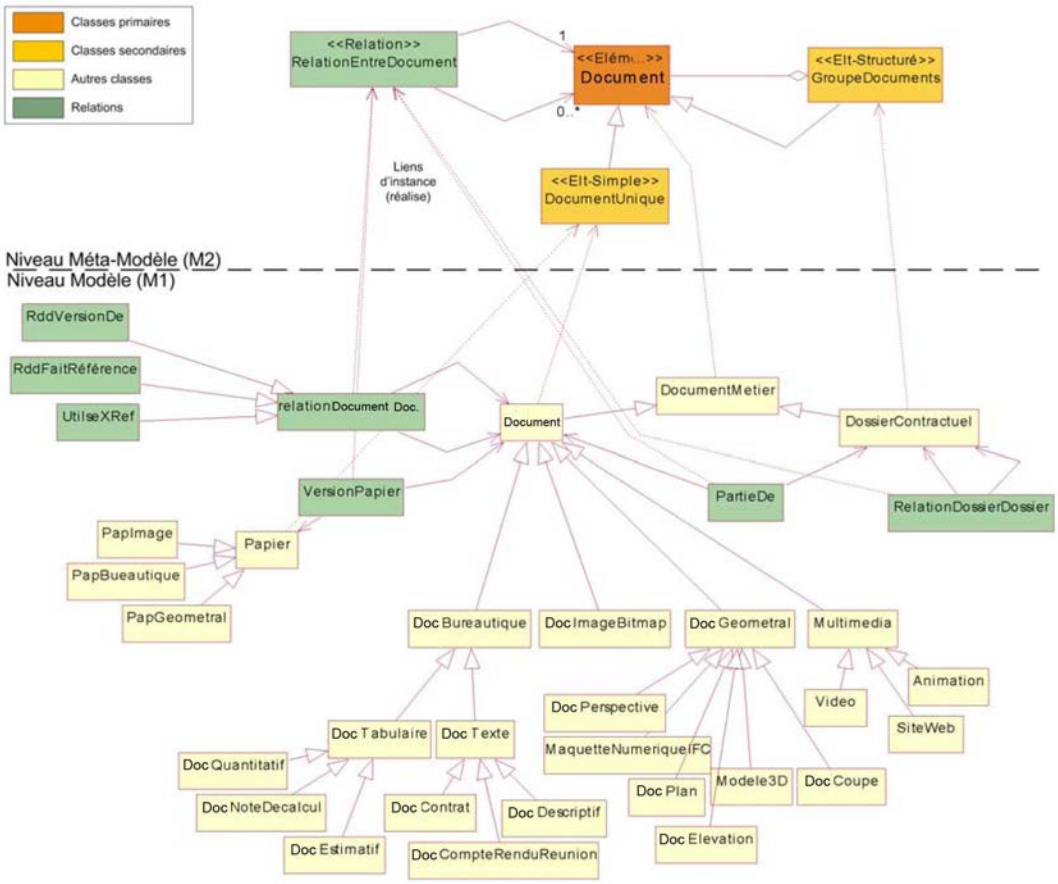


Figure 51- Le modèle des documents [Hanser 2003]

d- Le modèle des objets

Un objet représente la généralisation de tout ce qui est concevable dans un processus. Dans le modèle IFC, la classe 'IfcObject' inclue les ouvrages physiquement réels (tels que les murs, les poteaux, les poutres, etc.) et les 'artéfacts' physiquement existants (les espaces, les zones et les niveaux). Dans notre proposition, nous considérons le modèle d'un objet comme un modèle décrivant la sémantique qui définit le 'sens[79] de la conception' et par analogie avec le modèle IFC, nous avons 'instancié' le modèle des objets en 'espaces' et en 'ouvrages'. Par la suite, nous nous sommes focalisés sur la notion d'ouvrage, qui est une notion fondamentale pour la conception de toute maquette numérique de bâtiments.

La notion d'espace :

Un espace est une étendue, plus ou moins bien délimitée. Il existe deux perceptions de la notion d'espace. La première, celle qui nous intéresse, considère la représentation de l'espace tel qu'elle est quotidiennement vécue et que Kant qualifie de forme à priori: «L'espace est une forme 'à priori' de la perception des humains» [Kant 1781]. La seconde perception introduit l'idée de 'l'espace représentatif' du premier (par exemple : l'espace euclidien, l'espace affine, projectif). « C'est un espace sous l'espace » [Boudon 2003].
Les espaces 'concrets' sont liés entre eux réellement ou théoriquement. Les espaces supportent des fonctions et sont associés à des ouvrages dans un bâtiment (un ouvrage limite un ou des espaces, des ouvrages se situent dans un espace). Un espace est porteur de symbolique (espace vécu, espace social, espace privé, espace ritualisé, espace urbain, espace public) et peut être décomposé en plusieurs sous espaces (coin salle à manger, espace enfant dans un espace d'accueil de public) ou composer de zones (un appartement, un studio) ou de niveaux (un Rez de chaussé, un étage) (voir figure 52).

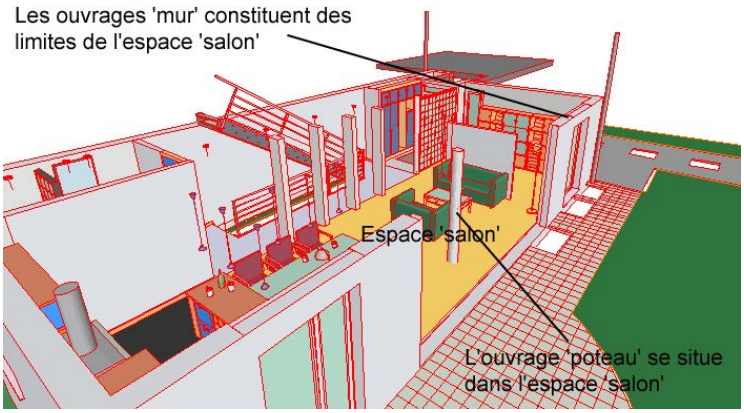


Figure 52– Exemple de relations entre espaces et ouvrages

[79] D'après le Petit Robert, le sens représente toute idée intelligible à laquelle un objet peut être rapporté et qui sert à expliquer, à justifier son existence.

La notion d'ouvrage :

D'une façon générale, un ouvrage est le produit du travail d'un ou plusieurs acteurs. Plus spécifiquement, un ouvrage est un objet physique constituant la brique de base d'un bâtiment. Pour analyser la notion d'ouvrage, nous nous sommes posés certaines questions que les concepteurs pourraient se poser lors de leur travail de conception coopérative. L'objectif est d'aider ces acteurs à appréhender le contexte coopératif du projet, et leur permettre ainsi de prendre conscience de l'état dans lequel se trouvent les ouvrages partagés (voir tableau 17). Ces questions sont ordonnancées suivant le type de relations que peut entretenir un ouvrage avec les concepts fondamentaux du projet.

Ouvrage / Ouvrage	Quels sont ces ouvrages ? A quelle typologie appartiennent-ils ? Où se trouvent ils dans la maquette numérique ? Quelles sont leurs dimensions ? Quelles sont les informations disponibles et relatives à ces ouvrages ? Quelles sont les relations qu'entretiennent ces ouvrages ? De quoi se composent ces ouvrages ? Peut-on visualiser un ensemble d'ouvrages ?
Ouvrage / Acteur	Qui est intervenu sur ces ouvrages ? Qui peut accéder à ces ouvrages ? Qui travaille sur ces ouvrages actuellement ? Sur quels ouvrages travaille-t-on en ce moment ? Sur quels ouvrages a-t-on travaillé ? Comment adapter cette maquette numérique à mon point de vue ?
Ouvrage / Document	Quels sont les documents utilisés pour l'élaboration de ces ouvrages ? Quels sont les documents décrivant ou référençant ces ouvrages ?
Ouvrage / Activité	Quels sont les ouvrages récemment conçus ? Quels sont les ouvrages qui ont été modifiés ? (entre deux versions de maquette numérique) Quels sont les ouvrages qui ont été supprimés ? Quels sont les ouvrages qui n'ont pas subi de changement ? Comment a évolué un ouvrage donné ? Quel est l'état d'un ouvrage ? Quels sont les différents états d'un ouvrage ? A quelle phase, tâche ou requête appartient cette version de maquette numérique ? Quels sont les projets contenant tel type d'ouvrage ?

Tableau 17- Questionnement orienté 'ouvrages', relevant de l'observabilité mutuelle et de la perception du contexte du projet.

La combinaison de ces questions en vue de concevoir le modèle des ouvrages nous conduit à identifier leurs caractéristiques et des logiques pour les classifier, à définir leur sémantique, à structurer leur 'sens de conception' et à développer leurs différents 'états'.

• *Identification des caractéristiques des ouvrages :*

Un ouvrage est caractérisé par des données géométriques, topologiques et sémantiques :

- Les données géométriques : la géométrie est la branche des mathématiques qui consiste en l'étude des formes. Les données géométriques sont représentables par le dessin servant à faire un modèle simplifié d'objets réels. Comme tout processus d'abstraction dans la CAO, la géométrie permet de prendre du recul par rapport à l'objet (existant ou à concevoir), et à simplifier les difficultés de la conception.
- Les données topologiques : la topologie est la branche des mathématiques qui étudie dans l'espace réel les propriétés liées au concept de voisinage et qui sont invariantes dans les déformations continues. Dans la CAO, le rôle de la topologie est de décrire les liens qui existent entre les différents objets géométriques, pour décrire ce qui est à l'intérieur, à la frontière et à l'extérieur d'une construction [Anwer 2005]. Les données topologiques sont des propriétés qui sont en liaison directe avec les données géométriques fixes ou changeantes d'un objet architectural.
- Les données sémantiques : La sémantique est l'étude du langage considéré du point de vue du sens. Dans notre contexte, les données sémantiques représentent toute information relative aux objets qui n'est pas représentable par le dessin (ce qui n'est généralement pas 'porté' ou prise en compte par la CAO). Ces données peuvent être textuelles (descriptifs, CCTP, CCAP, correspondances, ordres de démarrages de travaux), sous forme de tableaux (quantitatifs, estimatifs, métrés), et de diagrammes (plannings, organigrammes fonctionnels)

Nous développerons davantage la notion de sémantique au travers d'exemples dans la dernière partie de ce chapitre.

• *Classification typologique des ouvrages :*

La classification typologique des ouvrages varie selon le point de vue des acteurs. Nous distinguons 5 logiques de subdivision des classes des ouvrages :

- La structuration suivant une logique 'fonctionnelle' : elle consiste en une subdivision des ouvrages par corps d'états et par lots (voir le tableau de granularité des ouvrages comparée à celle des IFC - annexe 8).

> Exemple : Lors de la phase de conception, l'architecte vérifie les ouvrages qui composent la maquette numérique du projet. Il peut chercher à isoler certains poteaux, poutres, murs, etc. en tant qu'ouvrages de structure ; certaines cloisons, portes, fenêtres, etc. en tant qu'ouvrages de partition ; certains escaliers, balcons, etc. en tant qu'ouvrages d'équipement ; certains plafonds, bardages, etc. en tant qu'ouvrages de revêtement, et enfin certains abris de jardins, clôtures, etc. en tant qu'ouvrages d'accompagnement.

- La structuration suivant une logique 'spatiale' : elle consiste en une localisation des ouvrages dans l'espace tridimensionnel. C'est la plus appropriée pour les architectes qui utilisent particulièrement la notion d'espace dans le processus de conception.

> Exemple : Les acteurs peuvent chercher à cerner les ouvrages qui sont en relation avec un espace donné (par exemple un espace cuisine, un espace salon), ou encore cerner les ouvrages relatifs à une zone donnée (un appartement, une aile d'un bâtiment), ou enfin tous les ouvrages appartenant à un niveau donné (Rez de Chaussée, 1er étages).

- La structuration suivant une logique 'métier ' qui tient compte des points de vue des acteurs : Certains acteurs sont plus intéressés par un certain type d'ouvrages que par d'autres.

> Exemple : L'ingénieur structure est plus intéressé par les ouvrages de structures et certains ouvrages d'équipement (par exemple les escaliers ou les rampes) que par ceux de la partition, d'accompagnement ou de revêtement, etc.

- La structuration suivant une logique 'de réalisation' qui tient compte de la progression de la 'conception-construction' de l'édifice. Cette structuration fait partie de la recherche sur les modèles 4D qui représentent un changement fondamental dans la planification du processus 'conception-construction' des projets et dans le management des stratégies d'actions et des processus [Schwegler 2000]. Cette structuration vise à doter la maquette numérique de la dimension 'temps' et ainsi aider à planifier la construction, les décisions, et les dépenses [Tanyer et Aoud 2005].

> Exemple : Le maître d'œuvre doit cerner l'ordre d'exécution des ouvrages pour planifier les interventions des acteurs. Généralement les fondations sont exécutées en premier, des ouvrages peuvent être en fabrication en même temps (comme une structure en bois, etc.), ensuite il existe un ordre chronologique de montage ou de réalisation de ces ouvrages à déterminer et à respecter par les acteurs.

- La logique 'financière' : cette structuration par coûts détaillés des ouvrages pourrait intéresser les économistes.

> Exemple : Un économiste peut tenter de classer les ouvrages par sous-ensembles selon leurs coûts. Une telle information peut influencer des choix techniques ou formels, lors de la conception.

Les trois premières classifications typologiques des ouvrages (fonctionnelle, spatiale et par métier) constituent davantage une structuration intéressante pour les concepteurs dans les premières étapes de leur travail de conception coopérative que les deux dernières. Ainsi, nous avons choisi de commencer par les adapter au modèle, et ensuite de procéder à leur intégration dans des filtres au niveau du système coopératif.

• *La structuration de la sémantique des ouvrages*

Un ouvrage évolue tout au long de son cycle de vie par un enrichissement et un affinement d'un ensemble d'informations prises en compte dès sa conception.

Afin de déterminer quelles sont ces informations, nous avons élaboré un questionnaire (voir annexe 9 et 10) destiné aux acteurs du domaine de la construction en bois. Nous avons sélectionné différents professionnels : architectes, bureaux d'études, entreprises, ayant participé, à des échelles différentes, à cinq opérations régionales de construction en bois (conçus suivant une démarche HQE) que nous avons choisies (voir tableau 18). Les fiches descriptives des acteurs, des coûts, des quantités de ces opérations sont formulées en annexe 11.

- Le collège Guy Dolmaire à Mirecourt (département des Vosges) : Ce collège est une référence architecturale majeure du Département des Vosges. Il est à ce jour le symbole d'une volonté départementale de favoriser la filière bois-forêt (10000 m² pour 800 élèves).	
- Le collège André Malraux à Senones (département des Vosges) : Ce collège est composé à 45% de bois (1120 m³ mis en oeuvre). Il peut accueillir 600 élèves et s'étend sur 5700 m² de plancher.	
- 20 Logements à Saint-Dié (département des Vosges) : Cet édifice décline le matériau bois à travers diverses formes dont : murs arrondis, auvents cintrés, balcons ronds, et ses vêtures (166 m³ de bois sont mis en oeuvre).	
- 4 Pavillons sociaux à Xonrupt-Longemer (département des Vosges) : (21 m³ de bois sont mis en œuvre).	

- Un abri à sel à Gérardmer (département des Vosges) : (75 m3 de bois sont mis en œuvre).	

Tableau 18– Description sommaire des projets abordés dans le questionnaire

Les objectifs de ce questionnaire visent à déterminer quelle a été la structuration des informations dont ont disposé ces professionnels, et qu'ils ont utilisées, produites et échangées relativement à la notion 'd'ouvrages simples ou composés' (par exemple un mur particulier et un mur rideau). Il s'agit aussi de cerner le contexte d'utilisation de ces informations (Qui est intéressé ? Quand sont-elles produites, déployées ? Où se trouvent-elles ?). La méthode employée consiste à faire un entretien avec chaque acteur en posant des questions ciblées afin de recueillir leurs réponses individuellement. Cette méthode permet un dialogue à travers un échange oral comme écrit reposant sur des documents contenant les informations recherchées. Cet échange a aussi pour but (comme le premier questionnaire dans le chapitre 1), de faire le point sur les connaissances et les compétences dans le domaine concerné. Les premières questions portaient sur le rôle de l'acteur questionné dans le projet au cours des différentes phases durant lesquelles il est intervenu et aussi sur sa production lors de ces phases. Nous lui proposions ensuite de corriger ou de valider les tableaux relatifs à la typologie sémantique des ouvrages préalablement mise au point. Enfin, le questionnaire s'achevait sur quelques questions ouvertes portant sur les différences entre les projets avec ou sans bois, et sur la manière dont l'acteur avait réussi ou non à gérer l'échange de ses données avec les autres acteurs.

Une fois les entretiens terminés, nous avons rassemblé et analysé les réponses pour élaborer et mettre en place un tableau de classification de la sémantique utilisée pour la conception des ouvrages (voir tableau 19). Le tracé de cette typologie vise à structurer une aide à la conception des ouvrages en essayant de regrouper le maximum d'informations dans ce type de tableaux. Ces données sont récupérées des maquettes numériques et le reste est complété par les concepteurs.

Nous distinguons dans les résultats de ce questionnaire, contrairement au premier, une convergence des points de vue et des réponses, selon les métiers, sur la manière d'aborder le projet en bois. Ceci s'explique par la similitude des points de vue au sein de chaque profession.

L'opération de l'abri à sel a retenu notre attention parce que nous avons eu la chance de suivre la majeure partie du processus 'conception-construction' de ce bâtiment. Ainsi, à l'aide de l'architecte de l'opération nous avons essayé de retracer toutes les informations contenues dans les documents et mises en œuvre dans les différentes phases (voir annexe 12).

Ce questionnaire et l'étude plus approfondie de l'abri à sel nous ont permis d'identifier les informations qui ont été nécessaires pour concevoir les ouvrages choisis ; mais surtout de mettre en place un tableau de classification de la typologie sémantique structurant les informations des ouvrages analysés. Cette classification a été initialement construite à la suite de l'analyse de l'ensemble des documents relatifs à certaines de ces opérations et complétés par les acteurs questionnés :

Classification sémantique	Exemple d'informations
Données générales	
Classe de l'ouvrage	Mur, poteau, poutre, etc.
Identifiant	ID Wall 3785
Nom	Mur RDC001
Dimensions géométriques :	
Longueur	20m
Largeur (max – min)	2m
Hauteur (max – min)	10m – 5,8m
Epaisseur	(dans le cas de mur, de toiture, de plancher, etc.)
Pente	(dans le cas de toiture, de rampes, etc.)
Superficie	158m2
Volume	316m3
Type de représentation	Par extrusion, surfacique, etc.
Situation (pt départ, arrivé)	(0,0,0) – (0,2000,0)
Direction (sens orientation)	Positif / Négatif
Rayon de giration	Centre + rayon
Forme	Parallélépipédique, etc.
Critères limites/ de dimensionnement	Section minimum relative au dimensionnement avec un matériau
Réglementations :	
Implantation dans le site	Recul / limites du site (5m/rue et 3m/voisins)
Hauteur maximale	17m au faîtage
Choix des matériaux	Secteur sauvegardé : menuiserie en PVC interdite, etc.
Normes Sécurité Incendie	CF 2h
Coefficient d'Occupation du Sol	0,45
Autres	Pente minimum, etc.
Fonction :	
Description typologique	Ouvrage de structure, de partition, etc.
Limite un espace	Oui / Non (si oui lequel ?)
Niveau (étage)	Etage 3
Propriétés physiques :	
Hygrométriques	Coefficient de transmission hygrométriqueλ, etc.

Thermiques	Coefficient de transmission thermique
Acoustiques	Coefficient alfa, valeur d'absorption par m², isolation phonique
Masse	400 kg/m³
Rapport plein / vide	80 %
Etanchéité	Bonne, moyenne, faible
Caractéristiques structurelles et de stabilités :	
Type de la structure	Bois empilé, panneaux, poteaux-poutres, etc.
Contreventement	Croix de st André, tirants, etc.
Comportement	Flambement / Fléchissement / torsion / cisaillement
Trame	Tout les 2,5m
Matériaux et Qualités plastiques :	
Type	Bois, acier, pvc, béton, pierre, etc.
Essence	Douglas, hêtre, etc.
Stabilité du matériau	Stabilité dimensionnelle, retrait radial, etc.
Caractéristiques mécaniques	Densité min et max, Contrainte de rupture à la compression, à la traction, à la flexion
Durabilité	Résistance aux champignons, aux termites, Classes d'emploi, etc.
Provenance et Label	France, les Vosges, FSC[80], PEFC[81], etc.
Texture	Rugueux, lisse, etc.
Aspect	Résineux, fil long, etc.
Couleur	Ral 5200
Caractéristiques particulières	Bois plutôt résilient (qui a une certaine résistance au choc), se laisse bien cintrer après étuvage.
Traitement et Finition :	
Revêtement	Peinture
Type de traitement	Par trempage, autoclave, etc.
Maintenance	Tout les 4 à 5 ans
Dimension paysagère :	
Insertion dans le site	Prise en compte de l'existant, des arbres, etc.
Technologie de mise en œuvre :	
Techniques de fabrication	Sciage, collage, préfabrication, etc.
Techniques d'assemblage	Broches, ferrure, divers connecteurs, etc.
Techniques de montage	Levage sur grue, etc.
Dimensions financières :	
Délais de fabrication	2 mois
Prix	200 euros (/m²)

Tableau 19– Classification typologique des informations utilisées dans la conception des ouvrages

[80] Le Conseil de bonne Gestion Forestière (FSC) a été créé en 1993. Le FSC ambitionne de bien gérer mondialement l'exploitation des forêts. Le label FSC est une garantie, que le bois provient de forêts gérées de façon durable, avec des règles d'exploitation qui respectent les équilibres naturels, la diversité biologique et le droit des populations indigènes.

[81] Le certificat PEFC (Pan European Forest Certification), existe depuis l'année 2000. Il est attribué à des régions européennes. Cette attribution du label PEFC est basée sur les exigences définies en 1993 à Helsinki par les ministres européens des forêts pour une économie forestière durable. Les principes défendus sont semblables à ceux du FSC et visent une gestion durable de la forêt.

• *La notion d'état d'ouvrage :*

Dans un modèle dynamique, un état d'un objet est identifié lorsque ses propriétés sont constantes entre deux évènements (par exemple entre la création et la validation d'un objet, son état peut être considéré comme courant). Pouvoir identifier les états et les changements d'état des objets est important pour les concepteurs, afin de déterminer l'avancement de leur conception et adapter les décisions et les actions à la situation.

Il existe un spectre de granularité des changements de l'état d'un objet, du fin vers le grossier [Tata 2000] : fin lorsque l'objet change d'état suite à une petite modification (par exemple, par rapport à sa taille ou sa position) et grossier lorsque l'objet change d'état après une modification portant sur sa totalité. Dans le processus de conception architecturale, le spectre de granularité de changement d'état varie d'un acteur à un autre. Ainsi, il est intéressant de pouvoir adapter la granularité de changement d'état à chaque acteur, dans l'élaboration de notre système coopératif.

> Exemple : Le changement d'état pour un dessinateur ou un ingénieur de structure peut être de granularité fine. En effet, souvent il donne de l'importance à la rotation d'un objet dans l'espace de travail même pour un degré très faible (0.01°), au changement de sa position de quelques millimètres. Leur dessin doit être le plus juste possible, harmonieux, bien droit, pour éviter les lignes non perpendiculaires ou un mauvais calcul pour l'ingénieur. Mais pour un financier, une telle modification importe peu vis-à-vis de son calcul des prix.

La multiplicité des changements d'état et le nombre important des versions de la maquette numérique peut être source de surcharge d'informations. Les acteurs peuvent ne pas savoir où ils en sont par rapport à la conception d'un ouvrage, surtout si la conception ou la réalisation s'accompagne de coupures dans le temps. D'où l'importance d'une activité de conception qui se construit autour de techniques de validation.

La validation permet aux décideurs d'apprécier les conséquences des informations préférentielles que les concepteurs ont saisies. Cette opération est essentielle dans les 'approches constructives'. En effet, les activités de conception vont mobiliser toute la palette des rapports d'interaction, de débat, qui génère normalement des crises dans la coopération. La mise en oeuvre de la validation est alors le meilleur moyen pour fonder les savoirs disponibles et analyser les rapports de prescription [Hatchuel 1996]. Ces validations prennent un caractère stratégique pour la survie de la coopération, en marquant des étapes dans un processus.

Ainsi, suite à notre étude des caractéristiques des ouvrages, de la classification sémantique des informations utilisées pour leur conception, et enfin de la notion d'état, nous avons posé les bases de notre modèle des ouvrages.

Chaque ouvrage possède des propriétés, maintient des relations avec son environnement, est agencé par des contraintes relatives au domaine d'activité et enfin appartient à une classe le répertoriant. La notion d'ouvrage est une 'instanciation' des objets du 'méta-modèle' de coopération, et dans le Projet Virtuel Coopératif, nous l'avons décomposé en deux classes : les 'ouvrages simples' et les 'ouvrages composés'. La classe des 'ouvrages simples' regroupe les ouvrages du bâtiment qui ne sont pas subdivisés en ouvrages. La classe des 'ouvrages composés' regroupe les ouvrages qui se composent 'd'ouvrages simples' ou 'd'ouvrages composés' (voir figure 53).

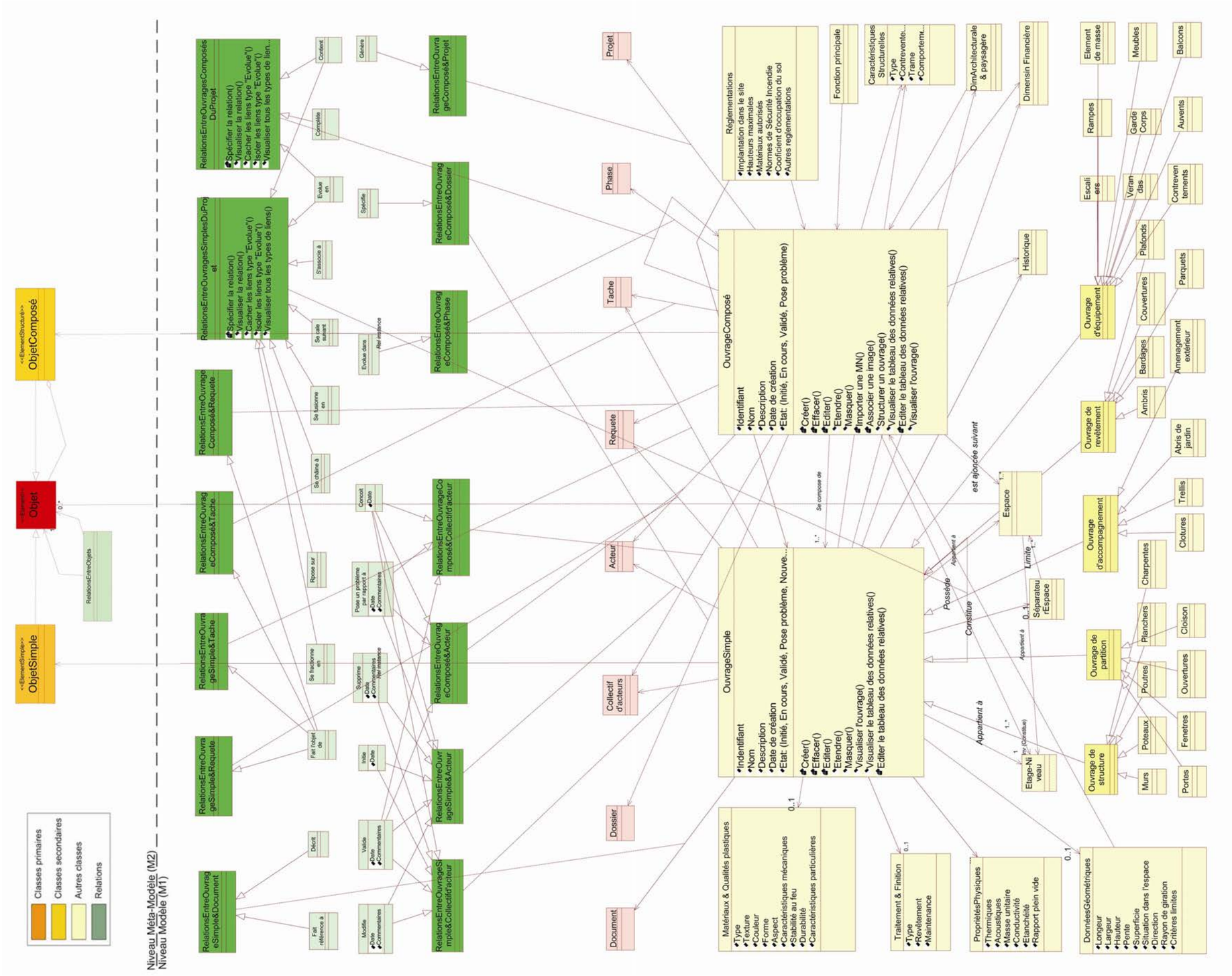


Figure 53– Le modèle des ouvrages

L'élément est la partie constitutive la plus simple d'un ensemble, celle que l'on se refuse à décomposer pour des raisons de méthode (de conception, d'assemblage, de fabrication). L'architecture quotidienne offre de nombreux exemples : une panne, un chevron peuvent être considérés comme des éléments de composition s'ils sont perçus comme autonomes tout en participant par leurs caractéristiques propres à la composition d'un ensemble plus important (par exemple l'ouvrage charpente). L'intégration de la notion d'élément au niveau du modèle peut causer une surcharge d'informations. Ainsi, nous avons choisi de limiter, dans le modèle, la granularité d'un bâtiment à la notion d'ouvrage.

5.3 -3 Les relations entre les concepts fondamentaux du 'méta-modèle' de coopération

Le Projet Virtuel Coopératif repose sur un réseau relationnel de coopération liant les acteurs, les activités, les documents et les ouvrages. Une relation identifie un type de lien existant entre deux éléments du modèle. Les relations doivent être typées pour permettre d'assister de manière explicite certaines actions coopératives.

1- Les relations entre acteurs et activités sont intimement dépendantes du rôle d'un acteur dans une activité.

> Exemples : Un acteur est responsable de l'accomplissement d'une tâche; un acteur est producteur de certains documents.

2- Les relations entre acteurs et documents sont proches de celles utilisées dans l'édition.

> Exemples : Un acteur supervise, produit, commente, consulte, modifie, diffuse un document.

3- Les relations entre activités et documents sont relatives à la production d'informations.

> Exemple : La phase de la passation des marchés génère des contrats.

4- Les relations entre activités et ouvrages sont réparties dans le temps et montrent l'évolution des ouvrages tout au long du cycle de vie du bâtiment. C'est une relation dynamique.

> Exemple : Un ensemble d'ouvrages évolue tout au long d'une phase d'un projet.

5- Les relations entre acteurs et ouvrages sont relatives aux actes, aux actions et aux opérations. Elles indiquent les interventions des acteurs sur les ouvrages. Ces relations sont dynamiques et permettent de différencier le travail de conception de chacun des acteurs en reflétant leurs points de vue et en distinguant leurs responsabilités.

> Exemples : Un acteur conçoit, modifie, supprime, ajoute un nouvel ouvrage, valide un ouvrage ou un ensemble d'ouvrages.

6- Les relations entre documents et ouvrages sont relatives à l'attribution et à la spécification des informations. Ce sont des relations statiques.

Exemples : Un document décrit un ou une certaine classe d'ouvrages ; un ouvrage fait référence à un ensemble de documents qui contiennent une partie de sa sémantique.

7- Les relations entre acteurs trouvent leur terminologie dans la gestion des ressources humaines.

Exemples : Un acteur dirige, collabore avec un collectif d'acteurs.

8- Les relations entre documents sont celles utilisées dans la gestion de configurations.

Exemples : Un document est une nouvelle version d'un autredocument, un document fait référence à un autre.

9- Les relations entre activités sont de l'ordre de la planification.

Exemples : Une phase suit, précède, est inclue dans une autre.

10- Les relations entre ouvrages sont relatives à leur conception. On distingue les ouvrages liés à leur agencement dans l'espace et ceux liés à leur perfectionnement dans le temps. Ce sont des relations dynamiques. De même, on distingue les ouvrages liés à la nature des liens entre parties physiques. Ce sont des relations statiques.

Exemplse : Un mur repose sur un plancher, une fenêtre se situe dans un mur, un ensemble 'd'ouvrages simples' évoluent en un 'ouvrage composé', un mur se subdivise en un ensemble de murets, un mur est calé suivant un autre.

Nous nous sommes focalisés sur les relations qu'entretient la notion d'ouvrage avec les trois autres concepts. Ainsi, à partir de l'analyse des résultats du questionnaire élaboré précédemment, nous avons croisé dans des tableaux la structuration sémantique et la classification typologique identifiées des ouvrages avec les métiers des acteurs du BTP, les documents et phases recensés dans la loi MOP. Ces tableaux visent à organiser la sémantique utilisée pour la conception d'un ensemble d'ouvrages suivant les besoins des acteurs et relativement à leurs points de vue. Ils permettent aussi de savoir à quel moment ils ont besoin de tels types d'informations et dans quels documents ils peuvent éventuellement les trouver (voir tableaux 20, 21 et 22).

Typologie sémantique des ouvrages suivant les acteurs d'un projet	M. Ouvrage	M. Œuvre	B.E Structure	B.E Fluides	B.E Electricité	B.E VRD	B.E Thermique	B. Contrôle	Les économistes	Les entreprises	Fournisseurs	Les acteurs décideurs	Les acteurs consultatifs
Réglementations	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fonctions	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Dim. géométriques	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Propriétés physiques	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		x
Structure et Stabilité	x	x	x	x				x		x	x		x
Types de matériaux	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Choix des essences	x	x	x					x	x	x	x	x	x
Qualités plastiques	x	x								x	x	x	x
Traitement / Finition	x	x	x	x					x	x	x	x	x
Dim. Paysa / Archi	x	x				x						x	x
Rel. Ouv./ouvrage	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Tech. mise en oeuvre	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
Dim. financières	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x
O de structure	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
O de partition	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x
O d'équipement	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
O d'accompagnement	x	x				x			x	x	x		x
O de revêtement	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x

Tableau 20– Types d'informations intéressant les acteurs

Typologie sémantique des ouvrages suivant les documents d'un projet	Programme	Certificat d'urbanisme	Plans topographique	Comp, reconaissance de sol	Cahier des charges	Etude d'impact	Photos du site	Plans de situation	Plans de cadastre	Plans de masse	Diverses Esquisses	Diverses vues en Plan	Elevations, coupes,,,	Divers Détails	Insertions dans le site	Diverses Notices	Quantitatifs, Estimatifs	CCAG,CCAP, CCTP	Doc. techniques unifiés	Doc. contractuels, Contrats,,,	Doc. Installation de chantier	Doc. Suivie de chantier	Doc. des ouvrages réalisés	Doc. accord et conformité
Réglementations	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fonctions	X	X			X	X				X	X	X	X	X		X		X	X					
Dim. géométriques			X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Propriétés physiques	X										X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
Structure et Stabilité	X										X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X
Types de matériaux	X										X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
Choix des essences	X										X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Qualités plastiques	X										X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Traitement / Finition	X																	X	X			X	X	X
Dim. Paysa / Archi	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Rel. Ouv./ouvrage		X										X	X	X			X	X	X			X	X	
Tech. mise en oeuvre												X	X	X			X	X	X			X	X	
Dim. financières	X					X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Doc. Préliminaires										Doc. Conception								Doc. Réalisation					

Tableau 21- Traçabillité des informations relatives aux ouvrages dans les documents et à chaque étape du projet

Typologie sémantique des ouvrages suivant les activités d'un projet	Etudes Préliminaires	Esquisses	Avant Projet Sommaire	Avant Projet Détaillé	Etudes de projet	Plans des contrats de travaux	Etudes d'exécution et de synthèse	Dossier d'exécution des contrats de Travaux	Opérations de Pilotage et de Contrôle	Opérations de réception
Réglementations	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fonctions	X	X	X	X	X		X			
Dim. géométriques	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Propriétés physiques	X	X	X	X	X		X		X	
Structure et Stabilité	X	X	X	X	X		X		X	
Types de matériaux	X	X	X	X	X					
Choix des essences	X	X	X	X	X					
Qualités plastiques	X	X	X	X	X					
Traitement / Finition	X				X		X		X	X
Dim. Paysa / Archi	X	X	X	X	X					
Rel. Ouv./ouvrage	X	X	X	X	X		X			
Tech. mise en oeuvre				X	X		X	X	X	
Dim. financières	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tableau 22– Traitement des informations relatives aux ouvrages dans les phases de la loi MOP

Ces tableaux montrent certaines particularités :

- Le tableau ouvrages/acteurs montre que le point de vue de l'architecte est le plus global de tous ceux des acteurs de la construction. En effet, l'architecte (comme vu dans le chapitre1) doit être polyvalent. C'est un homme de synthèse chargé d'avoir un regard généraliste sur l'ensemble de la construction. L'architecte se place en position de développer un projet global, et estime être concerné par tous les points de vue [Hanrot 2003]. Autrement, les informations sémantiques relatives à la réglementation et à la dimension financière intéressent la majeure partie des acteurs questionnés.
- Le tableau ouvrages/phases situent l'utilisation ou la production des informations relatives aux ouvrages dans les diverses phases de la loi MOP.
- Le tableau ouvrages/documents repère ces informations utilisées ou produites dans les documents créés par les acteurs du projet ou ceux de références.

Ces trois tableaux constituent une base pour le développement de filtres à appliquer afin de faciliter la visualisation des maquettes numériques et l'interprétation des données relatives aux ouvrages.

Un travail de DEA complémentaire, conduit par J. Thibaut, a permis de mettre en corrélation la classification sémantique des informations relatives aux ouvrages avec les outils informatiques utilisés dans les projets de bâtiments [Thibault 2004]. Ceci a permis de montrer qu'il existe des problèmes d'accès aux informations contenues dans les maquettes numériques du projet de conception d'un bâtiment. En effet, la multiplicité des acteurs intervenant sur un projet numérique entraîne une surcharge de données dans chaque maquette numérique, ce qui nuit à sa crédibilité. Ainsi J. Thibaut a travaillé sur l'adaptation de la visualisation de la maquette numérique suivant les points de vue des divers acteurs. Ceci en concevant des filtres qui agissent sur l'accès aux informations relatives aux ouvrages suivant les métiers des acteurs et suivant les phases du projet.

Le travail de J. Thibaut a constitué une première approche de spécification et de programmation de filtres sur une maquette numérique en utilisant les résultats des trois précédents tableaux.

Conclusion partielle

Pour interpréter les connaissances que nous avons rassemblées autour de la notion de Projet Numérique (importance de la traçabilité des actions des acteurs sur les objets et les documents, nécessité de l'identification du cycle de vie de la maquette numérique, respect des rôles des acteurs dans le processus de conception, etc.) dans le chapitre précédent, nous avons utilisé la 'méta-modélisation' et la modélisation existante dans le domaine de l'IDM (Ingénierie Dirigée par les Modèles). Un modèle est une abstraction de la réalité. Nous avons utilisé cette modélisation conceptuelle pour rendre compte des aspects statiques et dynamiques de notre proposition, sans nous soucier des aspects techniques d'implémentation (dans une première étape). C'est une description du contexte coopératif.

La proposition qui a été formulée par D. Hanser [Hanser 2003] englobe une représentation du contexte d'un projet de conception qui permet aux acteurs de mieux appréhender leur contexte d'action, et ceci en représentant les relations existantes entre les éléments constitutifs d'un projet (acteurs, activités et documents) et en les décrivant dans un modèle conceptuel.

L'adoption de la notion d'objets dans ce 'méta-modèle' de coopération permet de tenir compte de l'approche de la conception coopérative qui repose sur l'utilisation des maquettes numériques décrivant l'objet de la conception. Cette démarche ainsi que l'étude de la théorie de l'activité et des processus sociaux apparaissant au cours des projets de bâtiments nous ont servi à rassembler, représenter et structurer le contexte du travail coopératif aux moyens des concepts des acteurs, des activités, des documents et plus spécifiquement des objets. L'instanciation de ces derniers a mis en évidence la notion d'ouvrage et d'espace.

Le développement du modèle des ouvrages a nécessité l'identification de leurs caractéristiques, une classification sémantique des informations mises en place par les acteurs lors de leur conception. Il a nécessité également d'aborder la notion d'état et de montrer l'importance des processus de validation. Ces ouvrages entretiennent des relations avec leur environnement. L'étude de ces relations nous a servi à mettre en place des tableaux que nous avons validés dans un questionnaire[82] concernant des projets de bâtiments en bois.

[82] Les nombreux liens entretenus avec les professionnels du bâtiment dans les questionnaires élaborés nous ont permis, de conserver un rapport constant entre la pratique architecturale dans le domaine du bois et nos réflexions théoriques.

Ces tableaux traitent de l'importance d'intégrer la notion de point de vue dans le modèle, de tracer les informations relatives aux ouvrages dans les documents et dans les phases du projet.

A la suite des travaux de J. Thibaut [Thibaut 2004], nous avons constaté que le 'méta-modèle' de coopération ainsi que le modèle des ouvrages dans le Projet Virtuel Coopératif restent suffisamment flexibles pour permettre des évolutions éventuelles avec de nouveaux concepts (par exemple la notion d'outil).

Notre objectif final n'est pas de proposer un modèle en concurrence avec le modèle IFC existant dans le bâtiment mais de formuler le contexte (avec un modèle) correspondant à l'activité de conception coopérative d'un projet de bâtiment, afin de concevoir un outil capable de supporter ce type d'activités. L'adaptation de ces modèles dans un système coopératif et la meilleure adéquation de la visualisation selon les points de vue des concepteurs permettraient ainsi de rendre la maquette numérique opérationnelle dans le domaine de la construction en bois, celui-ci étant fortement soumis à la problématique de la coopération entre les acteurs.

Chapitre 6

Conception et expérimentation d'une interface contextuelle d'un système coopératif orienté 'ouvrage'

Afin d'instancier[83] le modèle des ouvrages (que nous avons mis en place dans le précédent chapitre), de structurer sémantiquement les informations relatives aux objets de bâtiment et de visualiser le contexte du projet, nous avons utilisé des travaux de recherche menés dans notre laboratoire [Chasseur 2002] et [Hanser 2003] sur la représentation de l'information et la navigation adaptative. Les recherches scientifiques sur la visualisation des informations comme celles de Herman [Herman et al. 2000] et sur l'adaptation des hypermédias de Brusilovsky [Brusilovsky 2001] permettent d'identifier des représentations plus adéquates avec l'organisation des projets [Halin et al. 2004].

[83] L'instanciation est un concept clé de la programmation objet. Cette opération consiste à définir un programme à partir d'un modèle, ou plus précisément un objet à partir de la classe d'objets à laquelle il appartient, à fixer les valeurs des éléments variables et à exécuter le tout. Plus simplement, une instanciation revient à créer une copie exécutable du modèle.

6.1 Mise en place d'une visualisation interactive pour le projet virtuel coopératif

L'instanciation du modèle des ouvrages dans le Projet Virtuel Coopératif génère une grande quantité d'informations. La gestion adéquate de ces informations constitue un point fondamental dans le processus de conception. Elle limiterait les problèmes de surcharge cognitive, de perte de temps lors de la recherche d'informations, et faciliterait également la mise à jour de ces données. Afin de pouvoir traiter un tel volume d'informations, il faut d'abord les visualiser correctement et de manière progressive. Ainsi, nous nous sommes intéressés aux différentes méthodes de visualisation avec l'objectif d'en sélectionner une qui soit adaptée à nos besoins, permettant de manipuler l'ensemble des informations et ce en vue de l'utiliser dans un système coopératif reposant sur la structuration sémantique des ouvrages.

6.1 -1 Les méthodes de visualisation

L'objectif des méthodes de visualisation d'information est d'aider l'utilisateur dans son exploration ou son analyse des données. Pour cela, la visualisation exploite les capacités de traitement du système visuel humain, en proposant des représentations et des modes de structuration interactifs de l'information [Jourdan 2005]. La recherche de nouvelles méthodes et techniques de représentation est d'autant plus nécessaire que le flux de données à analyser et à comprendre ne cesse de croître, et notamment dans le domaine du bâtiment, où la conception d'un projet fait appel à de nombreux métiers apportant de multiples spécifications sur les diverses maquettes numériques et les objets qu'elles contiennent.

La visualisation d'informations utilise quatre modes de structuration principaux [Hascöet et Beaudoin-Lafon 2001] :

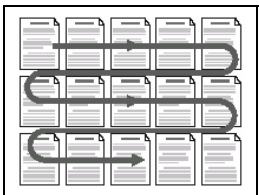
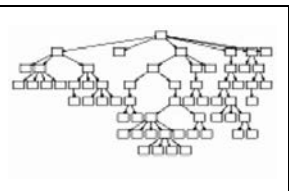
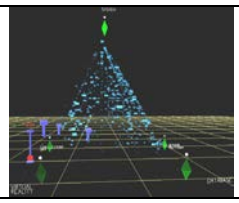
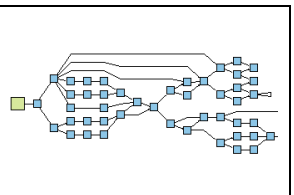
			
Visualisation par listes : exemple document Lens	Visualisation par arborescence : algorithme de Walker	Visualisation vectorielle : système Vr-Vibe	Visualisation par graphe : le multi-arbres

Tableau 23- Les modes de visualisation d'informations [Chasseur 2002]

- les listes pouvant être ordonnées (sommaires, listes de fichiers, etc.) ;
- les arborescences représentant une organisation hiérarchique des données ;
- les modèles vectoriels ordonnant les données dans un espace en fonction de leur similitude ou d'un indice de pertinence ;
- les graphes représentant les données sous forme de noeuds et de liens.

La représentation par graphe permet de concilier détails et contexte, elle offre à l'utilisateur une vue globale sur l'ensemble des données et à la fois une vue partielle ou détaillée d'un nœud particulier dans son environnement proche. « Les graphes tirent parti de la capacité à percevoir un espace informationnel dans son ensemble, et mettent en scène l'information afin de faciliter la manipulation des données » [Bruley 1999]. La caractéristique majeure de ce mode de structuration est de mettre en relation la forme de la représentation et le type de données à visualiser.

Un graphe hypermédia est la combinaison de la représentation par graphe et de l'organisation de l'information de type hypermédia. Un hypermédia est un ensemble d'informations appartenant à différents types de médias pouvant être lus, écoutés, suivant de multiples parcours de lectures, en utilisant également la possibilité du multi-fenêtrage [Balpe 1990]. La représentation par graphe d'un hypermédia et les formes de navigation dans ce type d'espace informationnel peuvent offrir aux utilisateurs d'un collecticiel un moyen souple d'accès à l'information. Cette approche de l'espace des informations par les graphes propose aux utilisateurs un point de vue plus synthétique sur l'espace de travail [Mark et al. 1997].

Face à ces constats, D. Hanser (2003) s'est intéressé à l'utilisation d'une interface destinée à l'utilisateur-concepteur pour assister la coopération dans un projet de bâtiment en utilisant les notions d'acteur, d'activité et de document [Hanser 2003]. Cette interface est appelée 'Bat'Map' et propose un mode de visualisation interactif (développée à partir de l'application 'TouchGraph LinkBrowser' un outil de visualisation par graphes). Nous avons choisi d'utiliser cette application et de continuer à la développer, compte tenu des possibilités de navigation offertes (parcours, isolation du contexte d'un élément, filtrage, etc.) et des résultats obtenus lors des expérimentations menées avec des architectes.

6.1 -2 Présentation de 'TouchGraph LinkBrowser'

La conception de Bat'Map à été guidée par la volonté de créer une grande interactivité entre l'utilisateur et l'ensemble des informations à visualiser. Bat'Map repose sur un outil

de visualisation par graphes (hypermédia ou non) 'TouchGraph link browser'[84], dont les sources sont disponibles librement. Cette application est utilisée dans le domaine de la gestion de connaissances [Tunçer et al. 2002]. Elle offre un nombre limité de fonctionnalités, mais possède une partie graphique élaborée (voir figure 54).

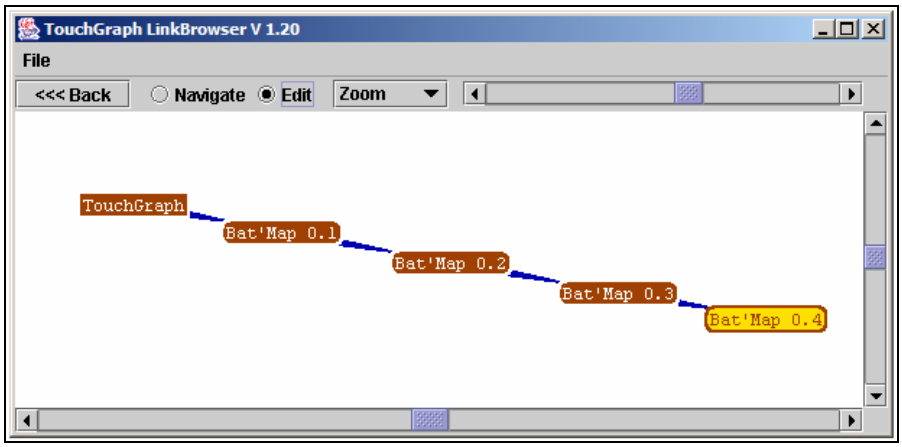


Figure 54- L'interface de 'TouchGraph link browser'.

a- Le mode de fonctionnement de 'TouchGraph link browser'

Graphiquement, l'interface 'TouchGraph link browser' se divise verticalement en une fenêtre de navigation et une fenêtre qui supporte le menu et les opérations d'édition. Cette partie contient les boutons correspondant aux fonctionnalités d'assistance à la navigation (contrôle graphique et filtres) ainsi que deux modes d'utilisation (navigation et édition). La mise à jour du graphe est réalisée en utilisant le mode 'd'édition' qui permet d'ajouter des nœuds, et par des menus contextuels pour mettre à jour des propriétés. L'édition est réalisée par le biais d'un principe de 'glisser déposer' : lorsque l'utilisateur désire créer un nouvel élément, il lui suffit de sélectionner un nœud, puis de glisser la souris. Lorsque celui-ci relâche le bouton de la souris un menu contextuel apparaît, proposant une liste d'actions possibles. Cette manière de procéder se rapproche du fonctionnement des outils de graphisme et se révèle très intuitif à l'usage. Ce niveau d'interactivité avec l'utilisateur a été prédominant dans le choix de 'TouchGraph' comme 'support' de Bat'Map. Enfin, le deuxième mode qui existe est 'la navigation'. Il permet la visualisation et la navigation dans le graphe sans pouvoir l'éditer. Afin d'adapter aux besoins de l'utilisateur l'affichage du graphe, le mode navigation offre certaines fonctions telles que le 'zoom', la 'rotation' du graphe et la possibilité de jouer sur la 'localité' (le nombre des niveaux affichés du graphe).

[84] L'application TouchGraph link browser est disponible en téléchargement à l'adresse http://www.touchgraph.com. TouchGraph est un programme développé par Alexander SHAPIRO sous licence "Apache-Style Software Licence". Le code source en java de TouchGraph est disponible gratuitement sur le site du logiciel. La version utilisée est la 1.20. Ce logiciel est librement modifiable et réutilisable du fait de sa caractéristique open source.

b- L'architecture logique de 'TouchGraph link browser'

L'Application 'TouchGraph link browser' utilise des fichiers 'XML' (eXtensible Markup Language) décrivant la structure du graphe hypermédia présenté grâce à des nœuds et des liens. La structure de ces fichiers suit une hiérarchie bien précise décrite dans un document exemple (voir annexe 13). Celle-ci donne une description des éléments devant être soumis à l'application de visualisation. Ce fichier 'XML' spécifie la position des nœuds (node), le nom du nœud apparaissant à l'écran et sa visibilité lors du premier affichage. En ce qui concerne les liens (edge), les paramètres donnés dans le fichier sont : le nœud de départ, le nœud d'arrivée, la longueur, la couleur, le type et la visibilité. Les paramètres donnés à la fin du fichier permettent de sauvegarder la position de la vue (offset x et y), la valeur de zoom ainsi que la rotation appliquée au graphe.

Concernant la programmation de l'application, les classes d'objets constituant 'TouchGraph' sont de deux groupes assurant respectivement la représentation logique et graphique d'un graphe et permettant de gérer les interactions avec l'utilisateur. Ces deux groupes sont les 'packages' 'GraphLayout' et 'Linkbrowser'. La classe 'TGLinkBrowser' permet de construire le panneau (décrivant la partie visible de l'application) constitué du panneau de navigation graphique et des barres de menus et d'options. Les classes 'LBNodeDialog' et 'LBEdgeDialog' permettent de créer les fenêtres d'édition des propriétés des nœuds et des liens appartenant au graphe. Les deux modes de navigation sont représentés dans les classes 'LBNavigateUI' (mode navigation) et 'LBEditUI' (mode édition). Les données constituant le graphe (arcs et nœuds) sont contenues dans 'GraphEltSet' et sont représentées par 'Node' et 'LBNode' pour les nœuds et 'Edge' et 'LBEdge' pour les arcs. Les objets prenant en charge l'affichage partiel du graphe (comme la localité) sont Locality, VisibleLocality et LocalityUtils qui contiennent les opérations permettant de cacher ou d'étendre un nœud (afficher les nœuds liés). Enfin, la lecture et l'enregistrement des fichiers 'XML' utilisés par 'TouchGraph' sont réalisés par l'objet 'XMLio'.

6.2 Evolution de Bat'Map

L'interface Bat'Map a était initiée par le CRAI, principalement dans les travaux de D. Hanser (2003) [Hanser 2003], et ceci dans le but de visualiser le contexte d'un projet de bâtiment afin de suivre son déroulement. Les informations persistantes sur le projet sont stockées dans une base de données. Cette dernière est partagée entre Bat'Map et Bat'Classic (voir figure 55).

Figure 55- Base de stockage de données sur Bat'Classic et Bat'Map

Bat'Group représente la couche logique de ces deux applications, il a été mis en oeuvre en premier. Il s'agit d'un collecticiel développé au CRAI également, et qui constitue une plateforme intégrant un système de coordination basé sur l'utilisation des requêtes 'typées' spécifiées dans les travaux de recherches de O. Malcurat [Malcurat 2002] (voir figure 56).

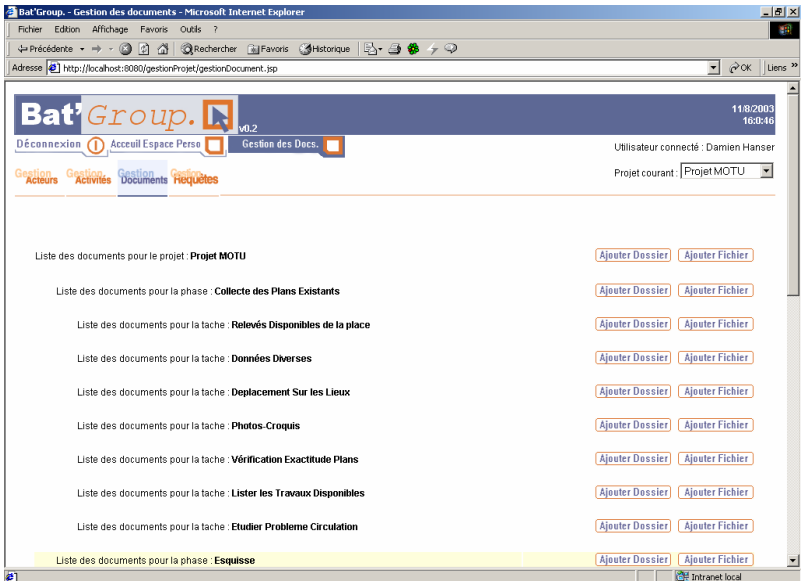


Figure 56– Capture d'écran de l'interface de Bat'Classic dans Bat'Group

Lorsqu'un utilisateur se connecte sur la plateforme, il accède à Bat'Classic par une page lui présentant une vue synthétique des projets auxquels il participe. L'administration des projets et de la base de données se fait via deux espaces dédiés. C'est un outil qui facilite la coordination des activités et les échanges de documents du groupe des concepteurs via un accès contrôlé sur Internet.

Bat'Classic et Bat'Map sont deux formes de visualisation complémentaires d'un même ensemble d'informations. Le premier sert à collecter les informations du projet de bâtiment en les visualisant en listes. Tandis que Bat'Map est plus apte à structurer les relations qui existent entre les entités du projet de bâtiment : les acteurs, les activités et les documents.

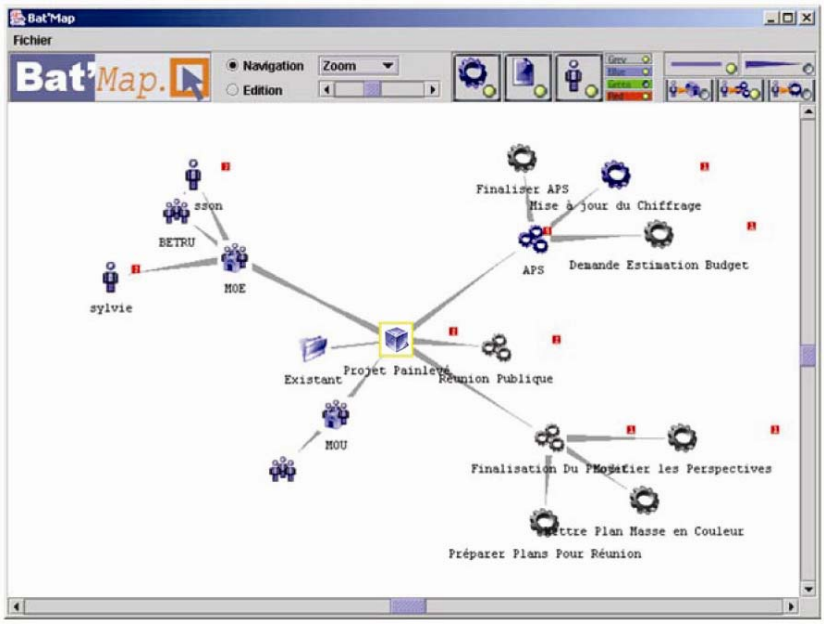


Figure 57- Capture d'écran de l'interface de Bat'Map V3

La reprise en main de la version V3 de Bat'Map (qui présentait certains défauts de programmation) a été effectuée avec l'aide de J. Lemale (2004), un stagiaire informaticien. Nous avons, en premier lieu, répertorié les problèmes et les dysfonctionnements de l'interface afin de les résoudre. Ainsi, nous avons repris la création, l'affichage, l'édition et les 'boîtes de dialogue' de chacun des nœuds et des liens qui ne fonctionnaient pas. Nous avons annulé la possibilité de créer des liens n'étant pas définis dans le modèle ; nous avons résolu des problèmes liés à la sauvegarde des fichiers d'instances de Bat'Map, au fonctionnement des filtres, etc.

Une fois cette dernière version stabilisée, nous avons entrepris la conception de la version 4 de l'outil Bat'Map intégrant nos propositions.

6.3 La mise en œuvre de Bat'Map V4

Dans la continuité des travaux de D. Hanser [Hanser 2003], nous avons conçu la version V4 de Bat'Map avec la volonté de simplifier au maximum son utilisation, et ceci en adoptant un mode de navigation intelligible et intuitif. Ainsi nous avons fait évoluer la liste des icônes utilisés pour représenter sous la forme de nœuds les objets du modèles en y intégrant la notion 'd'objet' de la conception au niveau du 'meta-modèle' ainsi que les notions 'd'ouvrages' et 'd'espace' au niveau du modèle de coopération dédié au bâtiment.

Activités	Acteurs	Documents	Objets

Tableau 24- La représentation des quatre entités de base dans Bat'Map V4 au niveau du 'méta-modèle'

Le tableau suivant montre les différents types d'icônes qui peuvent être utilisées pour représenter la coopération des concepteurs dans un Projet Virtuel Coopératif.

Niveau méta modèle	**Activités**	**Acteurs**	**Documents**	**Objets**
Niveau modèle	projet	groupe de projets	dossier	ouvrage simple
	phase	collectif d'acteurs	document	ouvrage composé
	tâche	acteur		espace
	activité de coordination (requête)			

Tableau 25- Les icônes représentant les divers concepts de base des activités coopératives avec Bat'Map V4

Le contexte d'un projet de bâtiment est maintenant structuré dans la version 4 de Bat'Map de la manière suivante :

- un ensemble d'activités qui se composent en projets, phases, tâches et requêtes de coordination ;
- les acteurs sont structurés en groupe de projets, collectif d'acteurs et simple acteur ;
- les documents sont structurés en dossier et simple document ;
- les ouvrages comme instanciation des objets sont structurés en 'ouvrages simples' et 'ouvrages composés'. Le concept d'espace qui a été mis en place après la fin de la phase de développement de l'interface n'a pas été intégré dans l'interface. Cependant, cela n'exclut pas sa prise en compte au niveau du modèle. Cette dernière partie constitue la principale évolution de la version 4 par rapport à la version 3.

Avant de commencer le développement des nouveautés de l'interface, nous avons en premier identifié le contexte d'utilisation de Bat'Map V4 afin de prévoir l'importance et l'ordre des fonctions dédiées au système coopératif à programmer. Ainsi nous avons décidé de mettre en place les fonctionnalités liées à la création et à la visualisation des concepts du projet de conception coopérative seulement au niveau de l'interface. Une fois ces fonctionnalités et concepts validés, l'évolution fonctionnelle et structurelle de Bat'Group sera entrepris.

De ce fait, nous n'avons fait évoluer que l'interface graphique, pour nous concentrer sur les fonctionnalités d'assistance à la coopération en utilisant la notion d'ouvrage, et pour améliorer l'interactivité de celle-ci. Enfin, pour l'enregistrement des nouveaux types de données, nous avons dû revoir la structuration du fichier d'instance de Bat'Map.

6.3 -1 Contexte d'utilisation de Bat'Map V4

L'objectif de Bat'Map est de permettre aux acteurs du bâtiment de disposer d'un environnement coopératif partagé pour l'identification des activités, des acteurs, des documents, mais surtout des ouvrages du projet. Cet environnement doit faciliter l'identification des problèmes décrits dans les précédents chapitres sur la conception coopérative, notamment ceux liés au caractère informel des relations, aux modes d'échanges de données, à l'assistance à la coordination explicite ou à l'optimisation du processus de 'conception-construction'. Le projet est amorcé dans le système coopératif Bat'Group par l'administrateur. Le statut d'administrateur, d'utilisateur, ou de coordinateur, est attribué selon la notion de rôle associé à chacun des acteurs dans le projet. Le coordinateur du projet peut être le maître d'œuvre, l'architecte ou le BET, etc. Les

activités sont déterminées soit à l'avance (les phases), soit au fur et à mesure (les tâches et les requêtes de coordination). Les acteurs, les collectifs d'acteurs et les groupes de projets sont structurés dans la base de données de Bat'Group qui est extensible et modifiable. Cette base est commune et accessible via Internet. Elle assure la gestion des documents, des maquettes numériques et des informations relatives au projet (voir figure 58).

Selon les droits d'action attribués sur le système, les acteurs peuvent consulter, visualiser, initier, modifier, supprimer, valider les concepts du projet, etc. (voir les actions possibles définies dans le 'méta-modèle' de coopération - annexe 7)

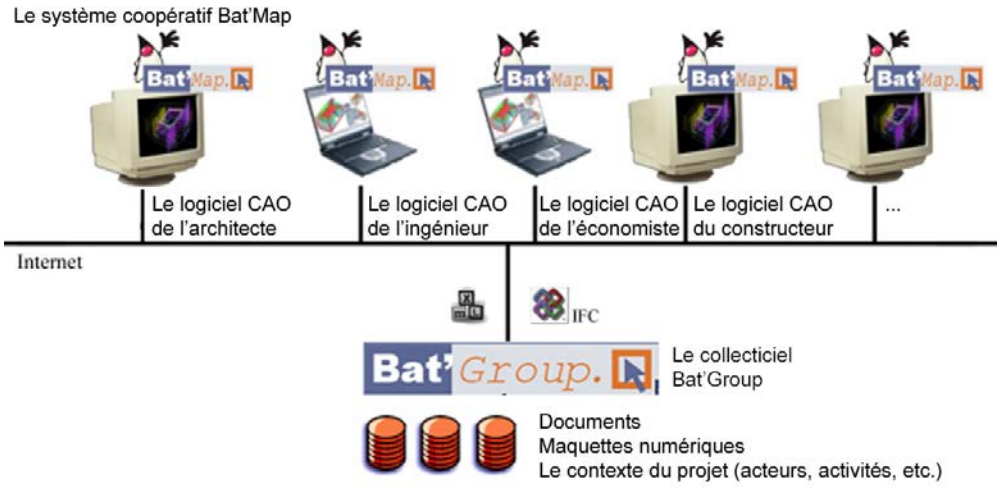


Figure 58- Contexte d'utilisation de Bat'Map V4

Lorsque l'utilisateur réalise une modification sur Bat'Map, l'interface communique avec la base de données pour signaler le changement, et le graphe de visualisation est mis à jour, assurant la synchronisation des données du projet.

6.3 -2 Mise à jour de l'interface graphique de Bat'Map V4

Nous avons enrichi l'interface de Bat'Map par l'introduction de nouveaux menus et fonctionnalités (Fichier, Edition, Affichage, Options et Aide) dans la partie supérieure de la fenêtre de navigation. Nous avons revu la fonctionnalité d'assistance à la navigation 'Localité' en la dotant d'une échelle graduelle (au lieu de déplacer un curseur) afin de limiter les risques de 'bugs' lorsque le graphe comporte un grand nombre de noeuds.

Nous avons aussi créé de nouveaux filtres relatifs aux ouvrages, afin d'adapter la vue proposée aux besoins de l'utilisateur (voir figure 59).

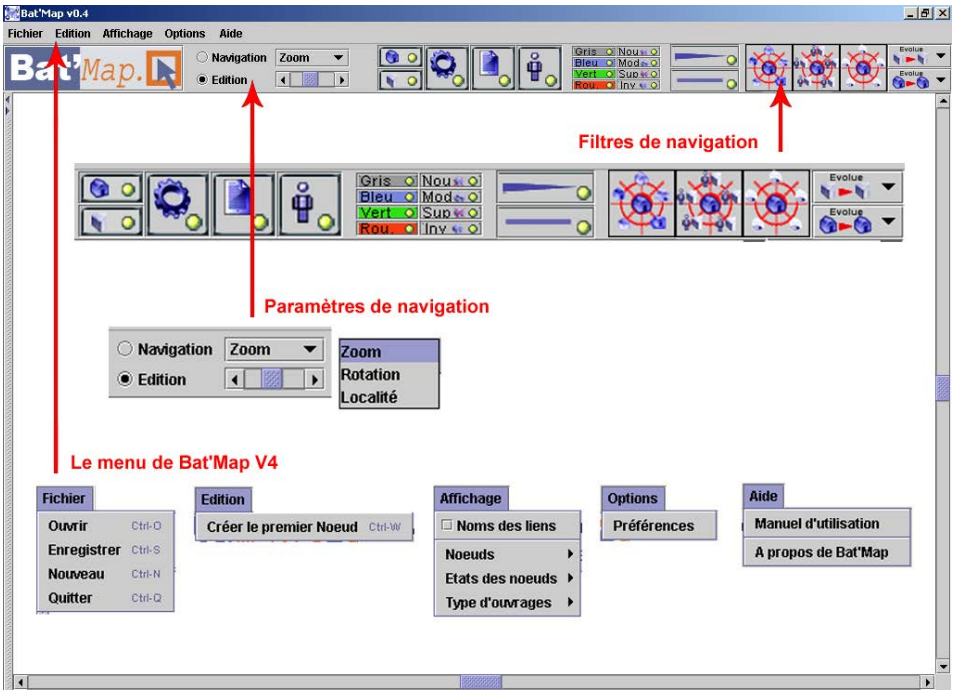


Figure 59- Capture d'écran de l'interface de navigation de Bat'Map V4

Comme sur 'TouchGraph link browser', l'édition des nœuds et des liens est réalisée par le biais d'un principe de 'glisser déposer'. Lorsque l'utilisateur désire créer un nouvel élément, il lui suffit de sélectionner un nœud puis de glisser la souris. Lorsque celui-ci relâche le bouton de la souris, une fenêtre contenant la liste des types de nœud apparaît. Après avoir choisi un type de nœud, la 'boite de dialogue' de ce dernier apparaît. Après la saisie des informations demandées, la boite de dialogue de choix du lien apparaît. Les types de liens sont spécifiés dans le fichier 'XML' d'instance de Bat'Map et sont chargés lors de chaque démarrage de l'application. Une fois ces opérations réalisées, les deux nœuds et leurs liens respectifs sont alors créés.

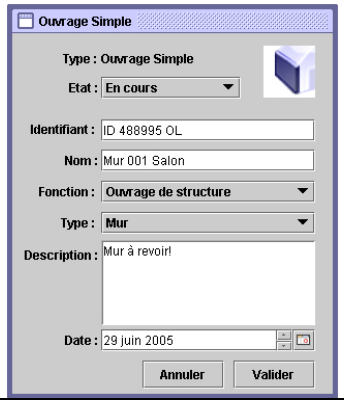
		
1- Choix du type de nœud	2- Spécification des propriétés	3- Choix du type de lien

Tableau 26– Les étapes de création de deux nœuds et leurs liens

Les liens entre les éléments d'un projet sont représentés sur Bat'Map par des arcs dont la signification varie en fonction des entités reliées, tout en respectant les relations définies dans le modèle de coopération. Ces liens sont spécifiés au fur et à mesure par l'utilisateur, et peuvent évoluer durant la conception du projet. Dans certains cas, ces liens sont spécifiés automatiquement par Bat'Map (Exemple : Lors de la décomposition d'un 'ouvrage composé' en 'ouvrages simples' contenus dans une maquette numérique IFC, c'est le lien 'contient' qui est automatiquement utilisé). Cet ensemble de noeuds et de liens représente l'ensemble des relations entre les éléments d'un projet qui apparaissent au cours d'une activité.

Nous avons établi un tableau des relations (définies dans le modèle) qui permettent de déterminer les liens possibles lors de l'édition d'un graphe dans Bat'Map (voir annexe 14). Ci-joint un extrait de ce tableau se rapportant à la notion d'ouvrage.

	Relation entre	Type
ouvrage simple	Ouvrage simple – Acteur	Actions effectuées ; Visualisation personnalisée
	Ouvrage simple – Groupe Projet	
	Ouvrage simple – Collectif	Actions effectuées ; Visualisation personnalisée
	Ouvrage simple – Ouvrage simple	Association ; distinction ; composition
	Ouvrage simple – Ouvrage composé	Compose
	Ouvrage simple – Document	Est référencé ; A pour bibliographie ; A généré
	Ouvrage simple – Dossier	
	Ouvrage simple – Projet	
	Ouvrage simple – Phase	
	Ouvrage simple – Tâche	Fait l'objet de, Est généré par ; Evolue…
	Ouvrage simple – Requête	Fait l'objet de
Ouvrage composé	Ouvrage composé – Acteur	Visualisation personnalisée ; Actions effectuées
	Ouvrage composé – Groupe Projet	
	Ouvrage composé – Collectif	Visualisation personnalisée ; Actions effectuées
	Ouvrage composé – Ouvrage simple	Association ; distinction ; composition
	Ouvrage composé – Ouvrage composé	Est une version de ; Est composé de
	Ouvrage composé – Document	
	Ouvrage composé – Dossier	Est référencé ; A pour bibliographie ; A généré
	Ouvrage composé – Projet	Est généré par ; Evolue
	Ouvrage composé – Phase	
	Ouvrage composé – Tâche	Fait l'objet de
	Ouvrage composé – Requête	Fait l'objet de
	grisé	: Relation non supportée

Tableau 27- Les types de relations avec les ouvrages représentés dans Bat'Map V4.

Nous avons ensuite entrepris d'étendre ce tableau (sur les liens qu'entretiennent les ouvrages) en formulant des exemples d'utilisation des relations entres ces derniers et le reste des concepts du modèle (voir tableau en annexe 15).

6.3 -3 Utilisation de la notion d'ouvrage pour assister la coopération dans Bat'Map V4

Dès le début du projet, l'administrateur procède à l'initiation du projet, des activités, des acteurs, des documents disponibles (programmes, études de sol, cahiers de charges, plans de situation, plans de masses). Dès la conception de la première version de la maquette numérique (contenant le site, le terrain, les premiers objets architecturaux), le coordinateur du projet procède à son importation dans Bat'Map. Nous avons choisi d'utiliser le format IFC comme format pour les échanges des données informatisées des maquettes numériques. L'application interprète automatiquement les données relatives aux ouvrages et visualise cette maquette numérique en utilisant un nœud de type 'ouvrage composé' (voir tableau 28).

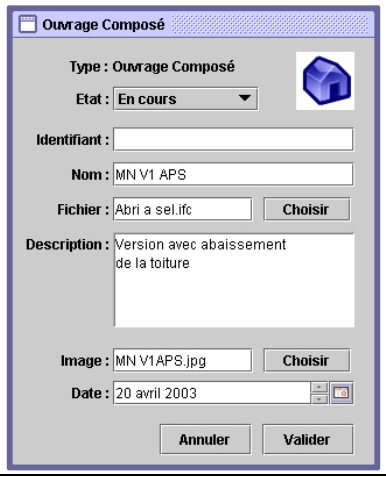
Boite de dialogue	Description
	- Identifiant : il indique l'identifiant unique du fichier d'instance IFC de 'l'ouvrage composé', - Nom : il indique le nom de 'l'ouvrage composé', - 'choisir un fichier' : spécifie le chemin pour pouvoir importer la maquette numérique d'un fichier d'instance IFC, - Description : selon besoin, l'utilisateur peut associer à 'l'ouvrage composé' une description textuelle, - Image : selon besoin, l'utilisateur peut associer à 'l'ouvrage composé' une image, - Date : elle indique la date de conception de 'l'ouvrage composé'

Tableau 28 – 'Boîte de dialogue' d'un 'ouvrage composé'

Chaque 'ouvrage, simple ou composé', appartenant à cette première version de maquette numérique est interprété par l'application (grâce à un parseur ou analyseur syntaxique IFC que nous[85] avons développé), en le représentant par un nœud et en lui associant un état décrivant son évolution, ainsi qu'un tableau contenant ses données géométriques, typologiques ou sémantiques récupérées à partir du fichier d'instance IFC de la maquette numérique.

a- La notion d'états coopératifs

Appliqué à la notion d'objet, l'état des nœuds et des liens représente le contexte d'évolution coopératif relatif à la conception des objets du bâtiment. Dans le modèle IFC, la

[85] En collaboration avec J. Lemale (stagiaire informaticien) [Lemale 2004]

notion d'état n'est pas abordée, du moins en ce qui concerne les ouvrages du bâtiment. Nous avons décidé d'adopter les états définis dans Bat'Map V3 relatifs aux documents et aux activités, car ils représentent les étapes importantes du processus de conception coopérative d'un ouvrage (l'initiation, le travail courant sur l'ouvrage, le fait qu'il pose problème, et sa validation). Ainsi, nous avons recensé quatre états et représenté chacun par une couleur primaire (voir tableau 29). L'utilisation des couleurs sert à focaliser directement l'attention de l'utilisateur sur l'évolution des ouvrages :

- les ouvrages inactifs apparaissent en gris (proposés, mais pas encore activés) ;
- les ouvrages sont colorés en bleu lorsqu'ils sont actifs (en progression) ;
- les ouvrages sont colorés en rouge lorsqu'une attention particulière leurs est nécessaire ;
- les ouvrages sont colorés en vert lorsqu'ils sont approuvés ou terminés.

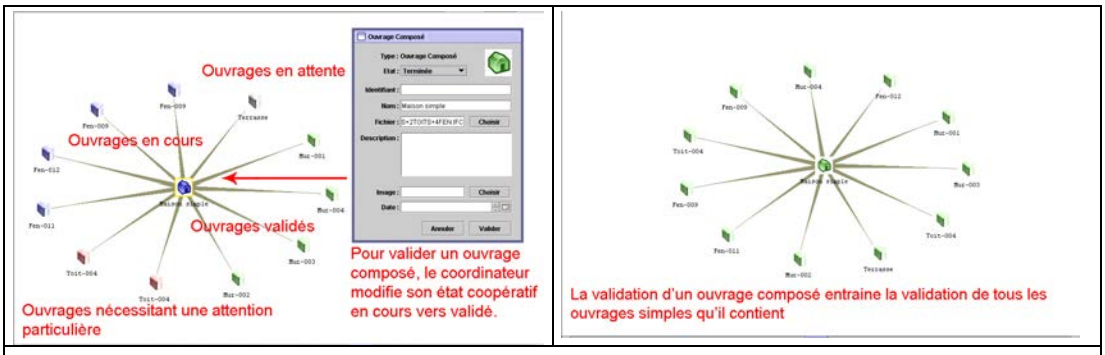
En attente : (gris)	En cours : (bleu)	Problème : (rouge)	Terminé : (vert)

Tableau 29- Les états coopératifs d'un 'ouvrage composé'

Exemple d'utilisation : la validation d'un ouvrage

La validation d'un élément du projet (par exemple, un 'ouvrage composé', une tâche, une phase, une solution par rapport à un 'ouvrage simple') se fait par une requête du coordinateur adressée à tous les acteurs concernés. Deux possibilités en résultent :

- une réponse positive des acteurs à l'unanimité : l'élément sera validé et passe en vert ;
- la non validation d'une personne : l'élément passe en rouge jusqu'à validation .

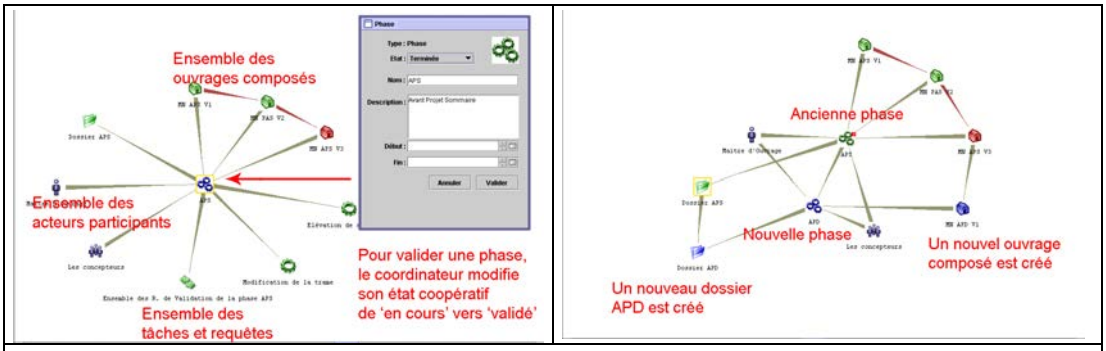


Figures 60 – La validation d'un 'ouvrage composé'

Exemple d'utilisation : le passage d'une phase à une autre

Une fois que le coordinateur valide une phase avec l'accord des acteurs concernés, l'icône de cette phase passe en vert. Si la phase suivante a déjà été initiée, le coordinateur peut l'activer en cours (l'icône passe du gris au bleu), ou il peut la créer. Le passage d'une phase à une autre s'effectue avec une création de liens entre la nouvelle phase et :

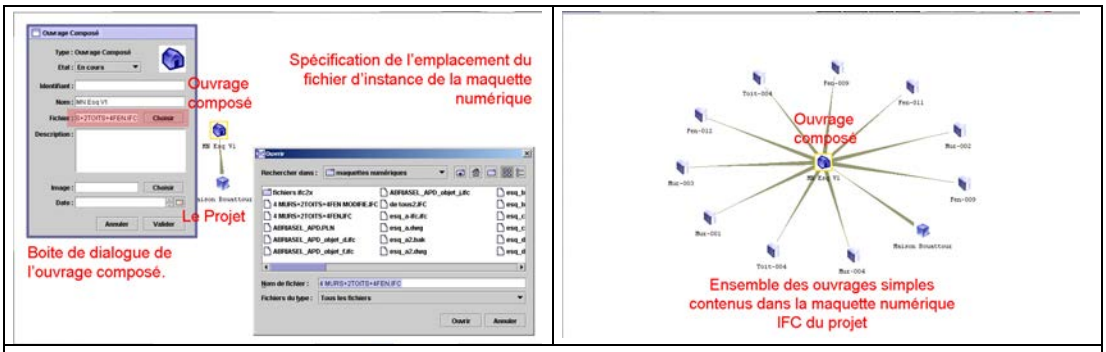
- une copie de la dernière mise à jour des 'ouvrages composés', ainsi que les 'ouvrages simples' (sauf avec les tâches et les requêtes de coordination validées) ;
- un nouveau dossier vide qui contiendra les nouveaux documents créés durant cette phase ;
- les acteurs, qui seront concernés par cette phase (ces liens seront validés par le coordinateur) ;
- les tâches et les requêtes de coordination qui ne sont pas validées (c'est-à-dire qui sont initiées, ou en cours de traitement, ou qui posent problème).



Figures 61– Le passage d'une phase à une autre

b- Récupération des ouvrages définis en IFC

Le champ 'fichier' de la boite de dialogue de 'l'ouvrage composé' (voir figure 62) permet à l'utilisateur d'importer une maquette numérique IFC. Bat'Map interprète, grâce à un parseur, les données relatives aux ouvrages IFC du fichier, et crée automatiquement dans le graphe les différents 'ouvrages simples' contenus dans 'l'ouvrage composé'.



Figures 62– L'importation d'un fichier IFC et l'interprétation de la maquette numérique

Dans le fichier d'instance IFC, chaque ligne est une classe IFC formée d'un numéro d'identification (id) #x suivi du nom de la classe et de ses attributs entre parenthèses. Ces attributs sont des références à d'autres objets ou données.

```
#301=IFCBOUNDINGBOX(#300,3.385800038677678,0.5,3.4);
#302=IFCSHAPEREPRESENTATION(#11,'','BoundingBox',(#301));
#283=IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,(#282,#298,#302));
```

Figure 63 – Extrait d'un fichier IFC

Par exemple, la classe principale d'un 'ouvrage simple' type mur est la classe 'IFCWALLSTANDARDCASE'. Ainsi, le nombre 'd'ouvrages simples' composant la maquette numérique IFC correspond au nombre de fois qu'apparaît cette classe dans le fichier d'instance.

```
#76 = IFCRELDEFINESBYPROPERTIES ('2T2H8Vz8L7JwPV_HewURwu', #6, 'ArchiCAD', 'ExtendedProperties', #60, #75);
#60 = IFCWALLSTANDARDCASE ('0ZE05P13j3BxPsgYTqYIUa', #6, 'Mur-005', $, $, #59, #57, $);
#57 = IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE ($, $, (#42, #51, #56));
#56 = IFCSHAPEREPRESENTATION (#55, '', 'BoundingBox', (#53));
#53 = IFCBOUNDINGBOX (#52, 5., 0.3, 2.5);
```

Figure 64– Extrait d'une séquence d'identification d'un ouvrage type 'mur'

Les attributs de chaque classe IFC sont classés suivant le tableau de classification des attributs IFC défini par l'IAI[86] (voir tableau 30). Ainsi, on retrouve parmi les attributs de la classe 'mur' : son identifiant unique, son nom, son emplacement typologique, sa représentation géométrique.

Entity **IfcWallStandardCase** *has the following local and inherited explicit attributes:*

Attribute	Type
GlobalId	IfcGloballyUniqueId (STRING)
OwnerHistory	IfcOwnerHistory (ENTITY)
Name	IfcLabel (STRING)
Description	IfcText (STRING)
ObjectType	IfcLabel (STRING)
ObjectPlacement	IfcObjectPlacement (ENTITY)
Representation	IfcProductRepresentation (ENTITY)
Tag	IfcIdentifier (STRING)

Tableau 30- Structuration des attributs dans la classe mur 'IfcWallStandardCase'

Compte tenu du nombre important de classes IFC, nous nous sommes limités à reconnaître et récupérer les objets les plus couramment utilisés dans le bâtiment : les murs, les poteaux, les poutres, les planchers, les toitures, les fenêtres, les portes, les gardes corps, les escaliers, les espaces, les zones, les niveaux, et les 'éléments composites'. L'analyseur syntaxique parcourt le fichier IFC et en respectant le modèle des classes IFC, il trace et récupère ces objets ainsi que leurs attributs suivant des diagrammes UML tels que celui de l'annexe 16.

Ces informations sont classées dans le tableau de la structuration des données géométriques, typologiques et sémantiques des ouvrages sur Bat'Map.

c- La structuration sémantique des ouvrages

Pour pouvoir, en premier lieu, structurer les attributs (textuels) des objets IFC récupérés dans le fichier IFC qui a été créé dans les logiciels de CAO, nous avons utilisé un tableau. Les tableaux sont particulièrement appropriés pour classer et représenter dans une

[86] http://www.steptools.com/support/stdev_docs/express/ifc/t_ifcwa-01.html

liste des informations textuelles indexées, facilitant aux concepteurs l'accès et la recherche des données relatives aux propriétés et aux caractéristiques des ouvrages. L'affichage du tableau sur l'interface est géré par une division de la fenêtre d'affichage de Bat'Map, comme le montre la figure suivante.

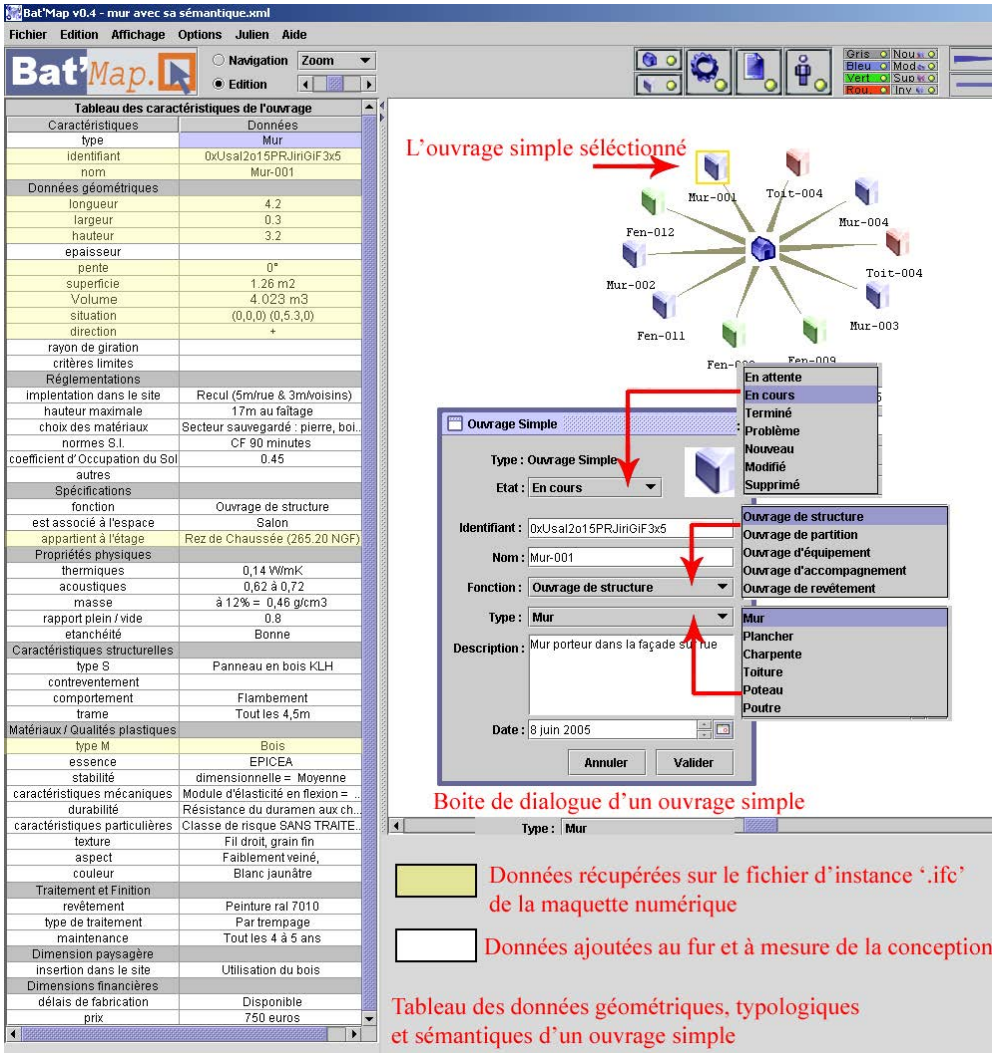


Figure 65– Le tableau de la classification des attributs d'un 'ouvrage simple'

Nous avons conçu ce tableau suivant la classification des informations géométriques, typologiques et sémantiques élaborées dans le modèle des ouvrages (tableau 19 - chapitre 5). Ce tableau constitue, en second lieu, une structure que le concepteur peut consulter et continuer à enrichir les données relatives aux ouvrages, et ceci en œuvrant à remplir les champs vides du tableau. Ces champs correspondent à des informations manquantes lors de la conception des ouvrages, qui n'existent donc pas dans le fichier CAO, et qui sont cependant fort intéressantes à connaître et à déterminer lors de la conception (essence d'un matériau bois, texture, couleur, stabilité dimensionnelle, comportement mécanique, etc.)

d- L'évolution des ouvrages

Au fur et à mesure de l'avancement de la conception, les acteurs déposent de plus en plus de maquettes numériques. Ces dernières évoluent, ainsi que les ouvrages qu'elles contiennent. Pour identifier les changements apportés par chacun des acteurs, nous avons adopté quatre états évolutifs des ouvrages qui qualifient chacun des changements que subit une maquette numérique d'une version à une autre. Ces états seront identifiés automatiquement par Bat'Map grâce à une comparaison des fichiers d'instance des maquettes numériques IFC lors de chaque mise à jour : (voir tableau 31)

Ouvrage nouveau	Ouvrage supprimé	Ouvrage modifié	Ouvrage sans changement

Tableau 31- Les états évolutifs d'un 'ouvrage simple'

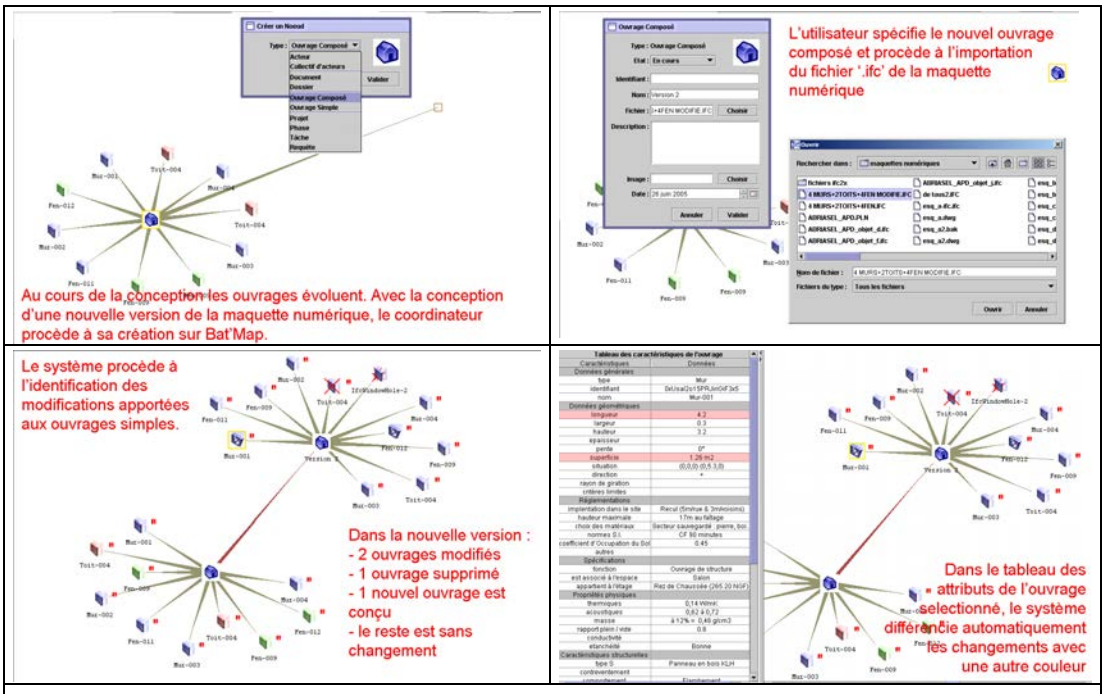
- ouvrage 'nouveau' : c'est un ouvrage qui a été créé dans la nouvelle version de la maquette numérique ;

- ouvrage 'supprimé' : c'est un ouvrage qui existait dans la version précédente de la maquette numérique et qui n'y est plus ;

- ouvrage 'modifié' : c'est un ouvrage qui a subi un changement de propriété (épaisseur, hauteur, longueur, matériau, position, etc.) ;

- ouvrage 'sans changement' : c'est un ouvrage qui n'a pas été modifié.

Exemple d'utilisation : identification des modifications



Figures 66– Identification des modifications apportées aux 'ouvrages simples' entre deux versions de maquettes numériques

Cette démarche a pour objectif de retracer l'évolution des ouvrages tout au long du cycle de vie du projet. Nous essayerons de valider cette approche à travers la réalisation d'expérimentations présentées dans le sous chapitre suivant. Cette gestion de l'évolution est une réponse aux lacunes constatées lors de l'analyse du modèle IFC (chapitre 4). De plus, une telle démarche est source d'économie de temps car l'acteur n'aura plus à comparer les maquettes numériques en les ouvrant sur un logiciel CAO et en cherchant avec tâtonnement ce qu'un autre acteur a modifié, supprimé, etc.

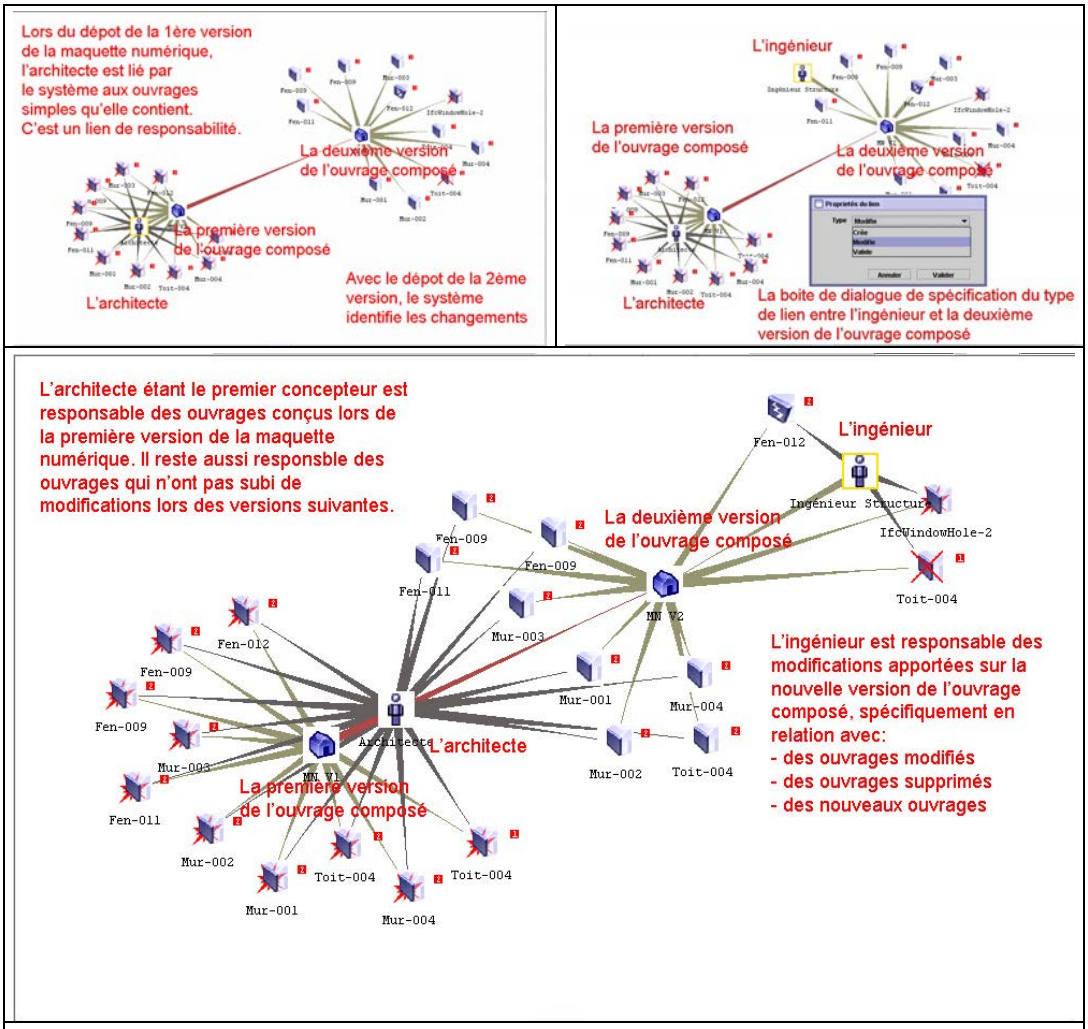
L'architecte procède souvent à la conception de la première version de la maquette numérique d'un projet de bâtiment. Le BET télécharge cette dernière, pour vérifier la structure du bâtiment. C'est une des premières tâches de conception coopérative qui se réalise avec des échanges et des discussions avec l'architecte (par exemple, autour d'ouvrages de structure qui sont sous-dimensionnés). Au retour du BET, une deuxième maquette numérique est remise à l'architecte qui va poursuivre la conception en tenant compte des modifications faites par le BET (un poteau qui a changé de place, un mur qui a rétréci, etc.). D'où l'identification automatique des changements sur Bat'Map qui facilite la tâche de l'architecte. C'est une garantie pour l'architecte de ne rien avoir oublié.

La nouvelle version de chaque ouvrage hérite automatiquement des attributs de l'ancienne version (les liens avec les documents, les acteurs, les tâches), étant donnée que ces informations n'existent pas dans le fichier IFC. Cette continuité de données a pour objectif de garantir le contexte coopératif des objets tout au long du cycle de vie.

e- La traçabilité des actions des acteurs sur les ouvrages

Tout au long du projet, les acteurs déposent les documents du projet (par le collecticiel Bat'Group, via Bat'Classic ou Bat'Map). Chaque acteur qui est intervenu sur un document est relié à ce dernier dans un souci de traçabilité de ses actions. Si ce n'est que concrètement, l'utilisateur de Bat'Map, jusqu'à sa version 3, ne peut avoir idée de ce qui a changé d'une version à une autre d'un document sans avoir lu et comparé leurs contenus.
Dans la version 4 de Bat'Map, le créateur qui dépose la première version de la maquette numérique sur Bat'Group (par exemple l'architecte), aura un lien automatique avec tous les ouvrages présents dans le modèle. Ce lien sera spécifié suivant le tableau des relations entre les acteurs et les ouvrages défini dans le modèle des ouvrages. Avec l'avancement de la conception, le coordinateur procède à des mises à jours des maquettes numériques. Bat'Map assure alors, et automatiquement, un travail d'identification des ouvrages modifiés, supprimés ou nouvellement conçus. Ainsi, l'acteur ou les acteurs auteurs de la nouvelle version de la maquette numérique seront automatiquement liés et identifiés responsables de ces ouvrages. Enfin, les ouvrages sans changement restent liés à leur concepteur initial, c'est à dire à l'auteur de la première version (dans cet exemple).

Exemple d'utilisation : identification des actions des acteurs sur les ouvrages



Figures 67– Identification des actions des acteurs apportées aux 'ouvrages simples' entre deux versions de maquettes numériques

6.3 -4 Interactivité dans Bat'Map V4

Nous avons œuvré dans Bat'Map à utiliser des méthodes de visualisation, de navigation et de communication adaptées aux types de données à représenter. Ce sont ces méthodes qui densifient et mettent en valeur les particularités et les variations majeures de l'ensemble des concepts du projet, ceci afin de rendre possible une analyse globale et rapide du contexte.

a- Assistance à visualisation dans Bat'Map

Bien que la visualisation par graphe (adaptatif aux besoins des utilisateurs) soit intéressante pour représenter sous forme d'icônes les divers éléments du contexte du projet et les liens qui existent entre eux, nous avons offert à l'utilisateur de Bat'Map V4 la

possibilité de spécifier des liens entre le système et ses propres logiciels de visualisation ou d'édition. Ainsi, pour faciliter l'accès et la consultation d'informations liée au projet, l'utilisateur peut visualiser d'une façon plus interactive les acteurs (photos et certaines informations sommaires) et les différents types de documents, qu'il s'agisse d'images, de textes, de dessins vectoriels, etc. (voir figure 68)

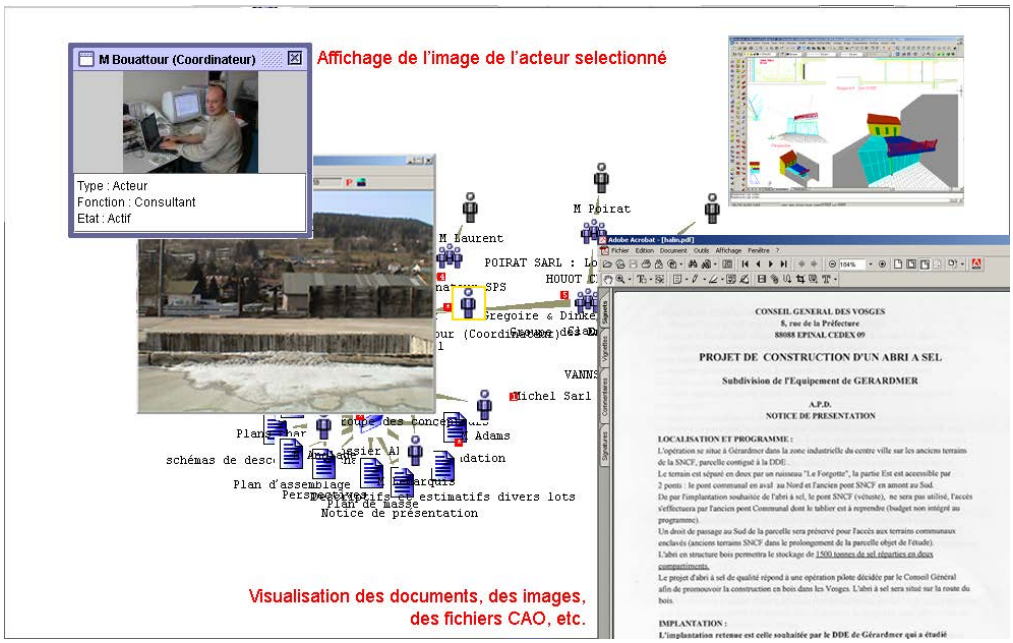


Figure 68– Visualisation graphique des acteurs et des documents

Un fichier IFC contient couramment plusieurs milliers d'objets. Pour consulter un ouvrage ou un nombre d'ouvrages sans avoir recourt à l'application de CAO qui l'a généré, des 'visualiseurs' sont nécessaires (à l'instar des solutions de consultation des fichiers de plans au format 'DWG'). Plusieurs solutions sont aujourd'hui disponibles. Elles gèrent simultanément une arborescence des objets IFC et leur représentation dans un espace tridimensionnel. Nous avons tiré parti des capacités offertes par un 'visualiseur' IFC ('Fivx.exe' V0.93.2.0 communément appelé 'Climaview') développé en France par la société BBS Slama[87] avec le chapitre Français de l'IAI [Ferries 2004]. Ce 'visualiseur' présente l'avantage d'être facile à utiliser et de ne pas nécessiter d'installation préalable. Si l'outil de visualisation est bien choisi, l'effort cognitif d'interprétation sera moins important [Dumas 1999]. A l'aide de ce 'visualiseur', l'utilisateur peut visualiser sur Bat'Map des modèles 3D dynamiques des ouvrages qui englobent dans leur représentation l'ensemble des données géométriques et typologiques. L'utilisateur peut alors les isoler et les

[87] http://www.bbs-slama.com/

manipuler dans l'espace tridimensionnel afin de les annoter ou de les analyser (voir figure 69).

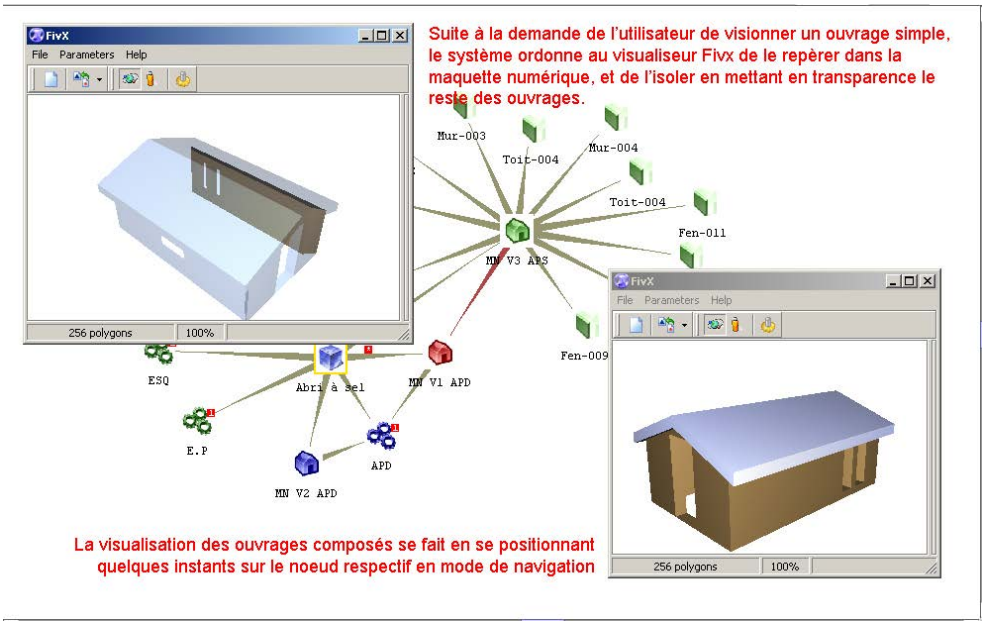


Figure 69– Visualisation graphique des 'ouvrages composés et simples'

b- Assistance à la navigation dans Bat'Map

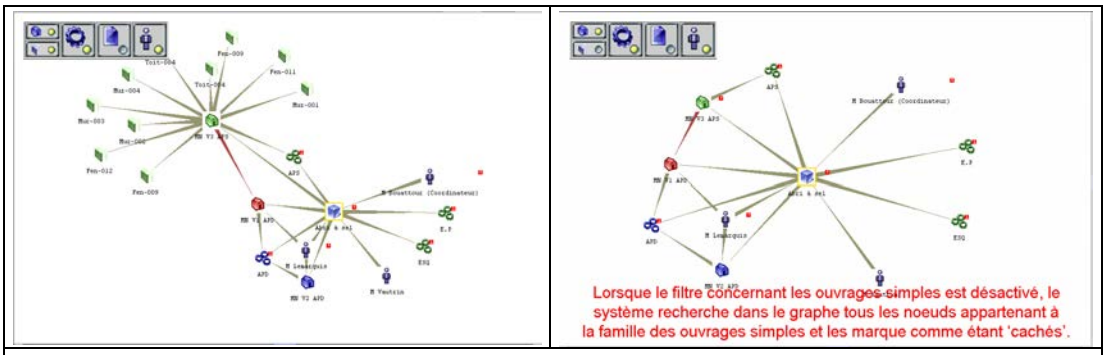
Nous avons mis en œuvre dans Bat'Map un ensemble de filtres qui reposent sur la classification typologique des ouvrages et sur l'utilisation du tableau de structuration sémantique des données relatives aux ouvrages selon les points de vue des acteurs (tableau 20 - chapitre 4). D'une manière similaire à l'utilisation des calques dans les outils de CAO-DAO comme 'Autocad', ces filtres restreignent le nombre de noeuds et de liens affichés simultanément en fonction de certaines caractéristiques dans l'objectif d'adapter la visualisation des graphes à la demande des utilisateurs (voir figure 70).

La mise en place des filtres passe par l'examen de chaque noeud visible contenu dans le graphe et le retrait de ces noeuds lorsqu'ils correspondent à des types non souhaités. Cette opération est réalisée automatiquement à chaque changement de localité des noeuds, ou à chaque fois que le graphe visible est 'régénéré'.

Figure 70- Les nouveaux filtres de Bat'Map V4

- Les filtres sur les types de nœuds (1): ces filtres activent, désactivent les divers concepts identifiés dans Bat'Map (les acteurs, les activités, les documents et les ouvrages). Un autre filtre intégré au menu 'Affichage-Nœuds' active et désactive chacun des sous concepts de Bat'Map à savoir : projets, phases, tâches, requêtes de coordination, groupes de projets, collectifs d'acteurs, simple acteur, dossier, simple document, 'ouvrage simple' et 'ouvrage composé'.

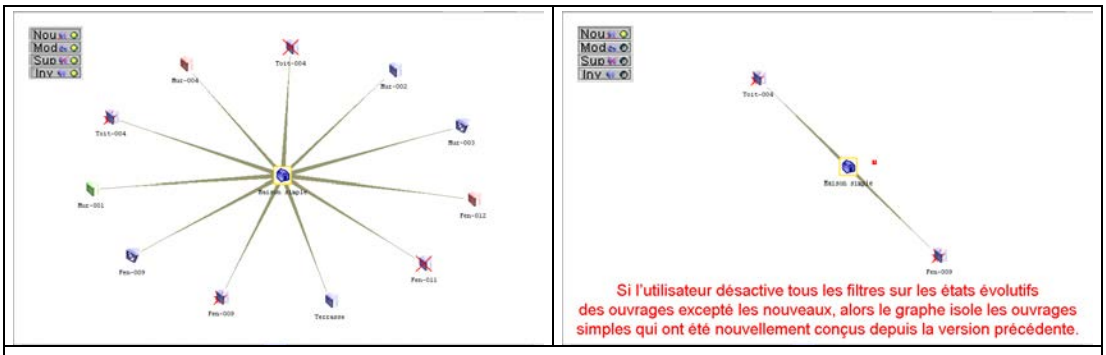
Exemple d'utilisation :



Figures 71– Exemple d'utilisation des filtres sur les types de nœuds

- Les filtres sur les états évolutifs des 'ouvrages simples' (2): ces filtres activent et désactivent les ouvrages 'supprimés', 'sans changement', 'modifiés' ainsi que les 'nouveaux ouvrages'.

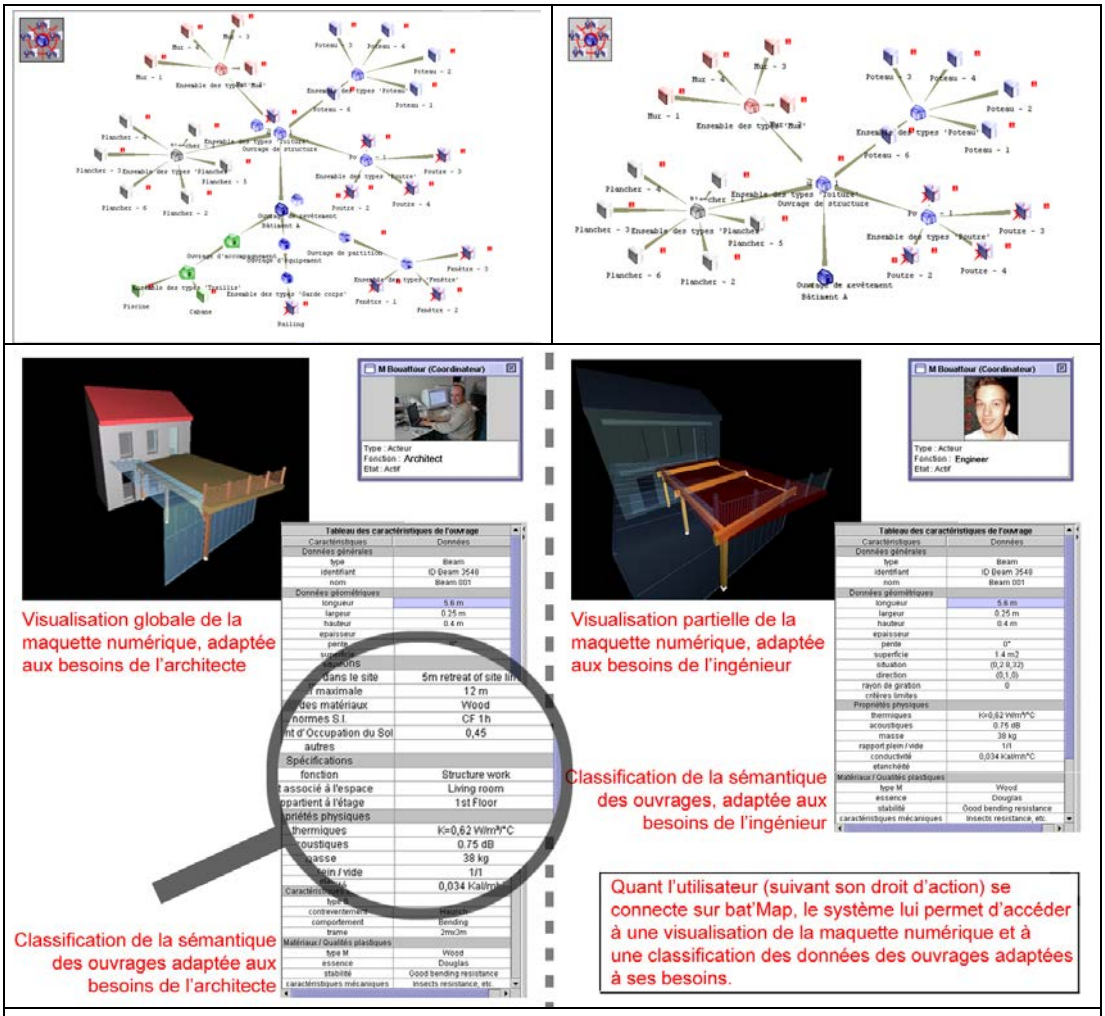
Exemple d'utilisation :



Figures 72– Exemple d'utilisation des filtres sur les états évolutifs des 'ouvrages simples'

- Le filtre tenant compte des points de vue des divers acteurs (6) : en activant ce filtre, et suivant le rôle et le métier de l'utilisateur, Bat'Map affiche seulement les données des ouvrages qui ont été cochés dans le tableau de la structuration sémantique des informations relatives aux ouvrages suivant les points de vue des acteurs du bâtiment (qui ont été prédéfinis précédemment) et cache le reste. L'affichage obtenu représente la vue la plus adaptée des ouvrages et de leurs attributs par rapport au métier de l'utilisateur. Toutefois, l'utilisateur reste libre de redéfinir le tableau à sa manière (activer des champs supplémentaires) pour personnaliser son espace de travail.

Exemple d'utilisation :



Figures 73– Exemple d'utilisation du filtre tenant compte des points de vue des divers acteurs

Les filtres (3), (4) et (5) sont expliqués et montrés en annexe 17.

L'utilisation des filtres ainsi que leur activation simultanée permet à chaque acteur de construire de manière incrémentale et dynamique son propre point de vue. Cependant, leur activation non appropriée risque d'occulter certaines informations importantes à la conception du projet.

L'évolution des besoins des concepteurs peut engendrer l'utilité de faire évoluer ces filtres ou d'en concevoir d'autres.

c- Communication via Bat'Map

Tout au long du cycle de vie du bâtiment, les utilisateurs de Bat'Map s'échangent des informations pour se synchroniser (par exemple : à propos des états des ouvrages, du dépôt de maquettes numériques, d'un changement de statut). Ces dernières doivent être propagées entre les participants par une notification, et ceci sans créer de surplus de messages

électroniques. Cet échange se fait toujours de manière 'orientée' : lorsqu'un acteur envoi un ensemble d'informations, il associe toujours un traitement attendu à cet envoi. Le concept de 'requête typée' [Malcurat 2002] est la formalisation de ces interactions entre acteurs, appliquée par le destinataire dans un message typé. Nous distinguons huit types de requêtes :

- requêtes pour consultation ;
- requêtes pour information ;
- requêtes pour avis ;
- requêtes pour validation ;
- demande de réunion ;
- demande de modification ;
- demande de document ou de maquette numérique ;
- demande d'informations.

Ce système de requêtes passe par l'utilisation de la messagerie électronique. Les mécanismes de mise à jour des envois peuvent être automatiques ou personnalisables manuellement.

Exemple d'utilisation :

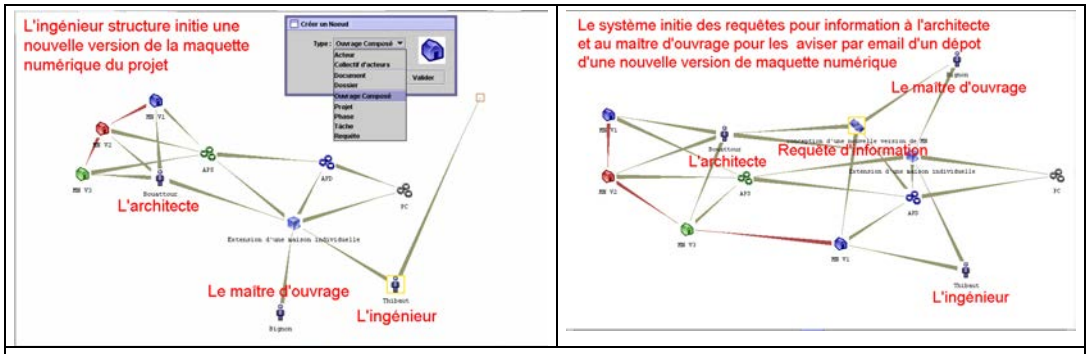


Figure 74– L'envoi automatique des requêtes pour information aux acteurs concernés lors de la conception d'une nouvelle maquette numérique

6.3 -5 La structuration du fichier d'instance 'XML'

Les paramètres concernant la définition des nœuds (tels que la forme, la couleur ou les coordonnées) et la définition des liens (comme la couleur, la longueur ou le type) sont spécifiés dans le fichier 'XML' chargé lors de la visualisation du graphe. Ce fichier est généré par Bat'Group pour Bat'Map. L'adoption du format d'enregistrement 'XML' permet d'envisager l'utilisation de procédés de transformations développés autour du langage 'XML', afin d'entreprendre des conversions entre 'méta-modèle de coopération (niveau

M2), modèle des ouvrages (niveau M1) et son instanciation dans un exemple de projet de bâtiment (niveau M0).

Ci-joint l'exemple du fichier 'XML' d'un graphe sur Bat'Map qui représente un 'ouvrage composé' contenant un 'ouvrage simple' :

```
<NODESET>
(Le nœud de l'ouvrage composé)
<NODE nodeID="MN 1119859648281"> (L'identifiant)
        <NODE_LOCATION x="-115" y="-21" visible="true"/>
        <NODE_LABEL label="Maison exemple" shape="151"/> (Le nom)
        <NODE_ATTRIBUTS Date="26/6/2005" Etat="En cours" Fichier="exemple.ifc" Image="maison.jpg"
Description="Ceci est une maison exemple"/>
        <NODE_URL url="" urlIsLocal="false" urlIsXML="false"/>
        <NODE_HINT hint="Type : Ouvrage composet#xe9;
" width="300" height="-1" isHTML="false"/> (Les paramètres d'affichage du noeud )
</NODE>

(Le nœud de l'ouvrage simple)
<NODE nodeID="Ouvrage 1119859659828"> (L'identifiant)
        <NODE_LOCATION x="-38" y="-85" visible="true"/>
        <NODE_LABEL label="Mur 001" shape="121"/> (Le nom)
        <NODE_ATTRIBUTS Date="27/6/2005" Etat="En cours" Origine="manuel" (Type de création :
manuelle ou  importé depuis un fichier) TypeGeneral="Ouvrage de structure" Description="Ceci est un mur
exemple" TypeOuvrage="Mur"/>
        <NODE_URL url="" urlIsLocal="false" urlIsXML="false"/>
        <NODE_HINT hint="Type : Ouvrage simple
width="300" height="-1" isHTML="false"/> (Les paramètres d'affichage du noeud )
</NODE>
</NODESET>

<EDGESET>
(Le lien qui existe entre les deux noeuds)
<EDGE fromID="MN 1119859648281" toID="Ouvrage 1119859659828" type="2" length="100"
visible="true" name="Contient"/>
</EDGESET>
```

Figure 75- La spécification de deux nœuds et d'un lien dans le fichier 'XML'

Ce fichier 'XML' spécifie non seulement la position de chaque nœud (node), mais aussi sa visibilité lors du premier affichage, son identifiant, son nom, sa date de conception, son état coopératif ou évolutif, son fichier d'instance, l'image qui le décrit, sa description, son type, ses données géométriques, typologiques et le reste de ses données identifiées dans le tableau de la structuration sémantique des informations relatives aux ouvrages. En ce qui concerne les liens (edge), les paramètres donnés dans le fichier sont : le nœud de départ, le nœud d'arrivée, la longueur, la visibilité et le type. Les paramètres donnés à la fin du fichier sont la sauvegarde de la position de la dernière vue affichée du graphe (offset x et y), la valeur de zoom, la rotation appliquée et les états des divers filtres. Ce procédé

garantit que l'utilisateur retrouve la visualisation de son graphe tel qu'il l'a laissé lors du dernier enregistrement (voir figure 76).

```
<PARAMETERS>
        <PARAM name="jtbOuvNouv" value="true"/>
        <PARAM name="jtbRoProject" value="true"/>
        <PARAM name="zoomSB" value="0"/>
        <PARAM name="jtbEvolOuvSimpleIsolValeur" value="true"/>
. . .
        <PARAM name="rotateSB" value="0"/>
        <PARAM name="jtbRoPhase" value="true"/>
        <PARAM name="jtbOuvSimple" value="true"/>
</PARAMETERS>
```

Figure 76– Les paramètres d'affichage du graphe sur Bat'Map

La structure de ces fichiers suit une hiérarchie bien précise. Celle-ci est décrite dans le fichier 'configstart.xml' qui donne une description formelle des éléments devant être soumis à l'application de visualisation (voir annexe 18).

Ainsi, nous avons spécifié les fonctionnalités de Bat'Map V4 dans l'objectif de structurer le contexte de la conception coopérative dans le cadre d'un projet de bâtiment, ceci en se focalisant sur les notions d'objets et de maquettes numériques. Cependant, déterminer la capacité d'appropriation du système Bat'Goup et plus spécifiquement de l'interface Bat'Map par les utilisateurs passe inévitablement par un travail d'instrumentation dans des situations de conception coopérative. Ainsi, une fois le développement avancé (voir l'environnement de programmation de Bat'Map en annexe 19) nous avons réalisé deux expérimentations en collaboration avec des praticiens, afin de déterminer la fiabilité de l'interface, de cerner les rapports que les utilisateurs peuvent entretenir avec ce type d'outils, et d'en déduire des perspectives à suivre dans de futures recherches.

6.4 Confrontation de Bat'Map avec le domaine de la conception coopérative

Dans l'objectif de tester l'interface Bat'Map V4, nous avons mené deux expérimentations d'assistance à la coopération sur deux projets de bâtiments en bois[88]. Et, afin de mettre en place les scénariis d'utilisation de l'interface dans un cadre expérimental, nous avons identifié les actions à mener en amont. Ainsi, il a fallu : prévoir une plateforme de stockage des données du projet (Bat'Goup, un serveur ftp, etc.), sélectionner un projet auquel participent plusieurs acteurs, gérer les besoins des acteurs liés à l'utilisation des logiciels munis d'une interface IFC, s'accorder sur les modes de travail coopératif, etc.

La mise en œuvre des expérimentations sur Bat'Map en situation réelle de conception fut relativement problématique, et ceci pour trois raisons :

- La première est que le contexte économique général de déroulement d'un projet ne permet pas aux professionnels de s'impliquer dans l'utilisation d'un outil en cours de développement.
- Ensuite, nous avons vu à travers les questionnaires que l'utilisation des maquettes numériques IFC en situation réelle dans le domaine du bois en est encore à son début. Ceci constitue une contrainte à l'application de notre proposition reposant sur l'utilisation des objets interopérables IFC.
- Enfin, l'utilisation de Bat'Map en situation concrète de conception coopérative nécessite que tous les acteurs participants soient équipés d'outils utilisant le format IFC et qu'ils sachent bien sûr les utiliser (logiciels de CAO, de métrés, de calcul de structure, etc.).

Ainsi, nous avons jugé utile de préparer, dans un premier temps, un scénario[89] qui décrive la conception d'un bâtiment en bois, afin de tester la capacité de Bat'Map à visualiser le contexte coopératif du projet centré autour de la notion d'objet. Puis nous avons présenté les résultats à quelques professionnels du domaine afin de recueillir leurs réactions. Dans un second temps, et lorsque l'outil a été plus fiabilisé, nous avons conduit une expérimentation d'assistance à la conception coopérative d'un bâtiment en bois (en situation réelle), ceci en utilisant la structuration sémantique des ouvrages.

[88] A cette étape, nous abordons le niveau M0 défini lors de l'adoption de l'architecture à niveaux d'abstraction dans notre recherche (dans le chapitre précédent).

[89] L'utilisation des scénarii dans les sciences de l'informatique permet la description des interactions de divers acteurs dans un contexte spécifique. Un scénario peut décrire une situation réelle ou imaginaire, passée ou future [halin et al. 2004].

6.4 -1 Construction d'un abri à sel à Gérardmer

Le scénario que nous allons étudier simule une utilisation réaliste de la plateforme au cours d'un projet de construction en bois d'un abri à sel à Gérardmer. Nous avons choisi de reprendre une partie du travail de conception de ce projet, et ceci grâce à la complicité qui s'est établie avec certains des acteurs dans le domaine du bois rencontrés lors de l'élaboration des questionnaires précédents. En effet, l'architecte V. Lemarquis fut particulièrement intéressé par nos recherches et très ouvert à l'innovation. Les remarques qu'il a formulées ont été pour nous très utiles à la construction d'un scénario d'expérimentation pour Bat'Map. Du fait de ce rapport privilégié entretenu avec ce groupe d'acteurs, nous avons pu réunir tous les documents du projet (dès les études préliminaires jusqu'à la réception du projet) et réaliser une mise en situation de notre interface dans un projet en cours d'exécution (2003-2005).

Les interactions décrites dans ce scénario montrent l'apport de l'outil dans les actions qui visent à recueillir toutes les données relatives aux ouvrages. Ce scénario fait interagir deux collectifs d'acteurs en mode de coordination asynchrone distribuée à savoir :

- le groupe des concepteurs constitué par V. Lemarquis (Maître d'œuvre et coordinateur du projet), Mr. Anglade (Ingénieur Structures bois) et Mr. Adam (Ingénieur Béton) ;
- et le groupe de maîtrise d'ouvrage constitué par Mr. Pruvot et Mr. Vautrin, tous deux ingénieurs chargés de projets au Conseil général des Vosges.

Le système de Bat'Map au centre de ces acteurs interprète les données du projet, automatise certaines actions, etc.

Nous nous concentrons dans cet exemple sur une étape de travail de courte durée (l'avant projet détaillé 'APD') regroupant des interactions variées : notifications, conception de maquettes numériques, ajout de documents, mise à jour, envoi de requêtes et recherche d'informations. Ce scénario est représenté par la figure suivante en utilisant un diagramme de séquence du langage UML.

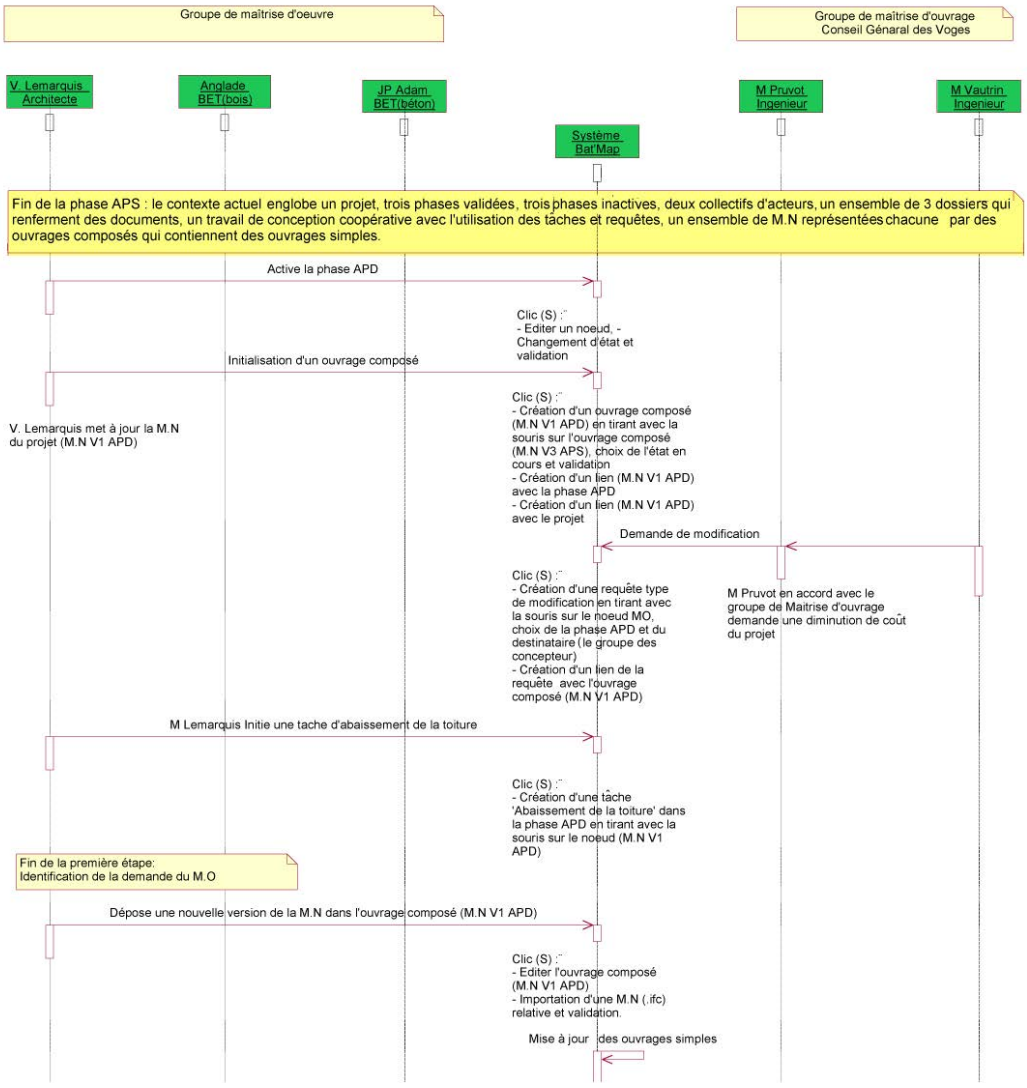


Figure 77- Extrait du diagramme de séquences du scénario expérimental de l'abri à sel

Le déroulement détaillé de ce scénario agrémenté de captures d'écran et montrant l'interface de la plateforme Bat'Map est présenté dans l'annexe (voir annexe 20).

Jusqu'à la fin de la phase Avant Projet Sommaire (APS), le scénario montre :

- un projet (Abri à sel à Gérardmer) ;
- trois phases validées (les Etudes Préliminaires (EP), la phase d'esquisse (ESQ) et l'APS) et trois phases initiées (l'APD, le Permis de Construire (PC) et la phase projet (PRO)) ;
- deux collectifs d'acteurs avec chacun des participants, la DDE88 (acteur consultatif) et la Mairie de Gérardmer (acteur décideur) ;
- trois dossiers qui contiennent les documents du projet (dossiers EP, ESQ et APS) ;
- la dernière version de la maquette numérique 'MNV3 APS' conçue durant la phase d'esquisse par l'architecte.

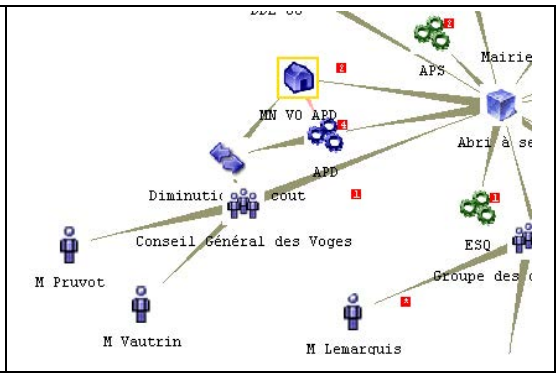
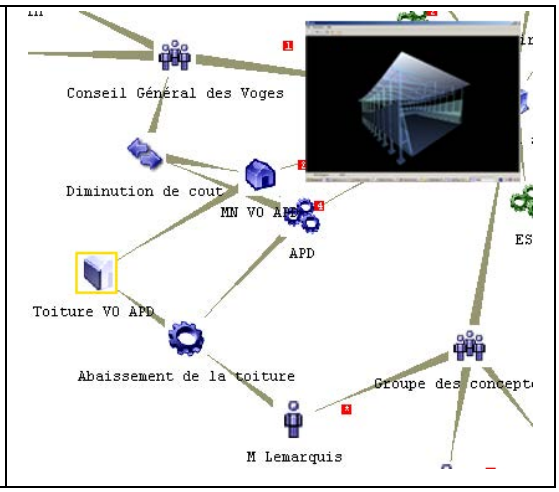
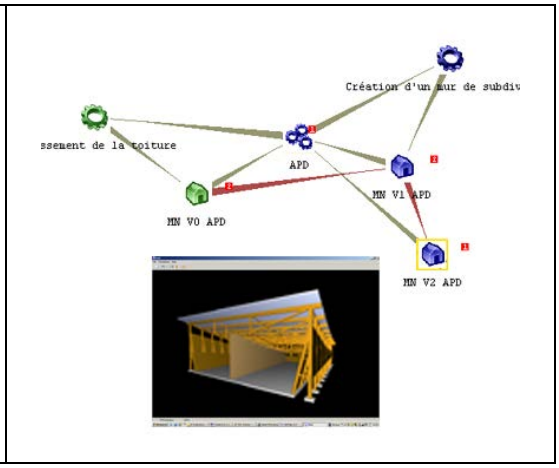
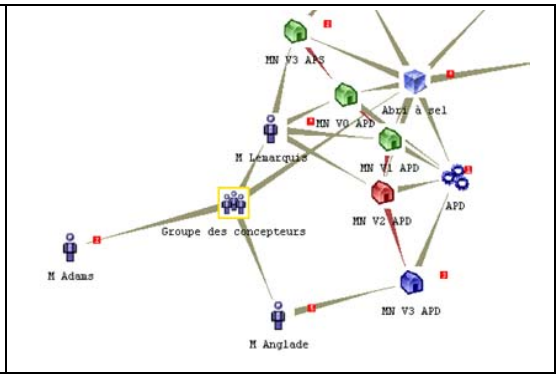
Le scénario commence par l'action de V. Lemarquis qui active la phase APD. Cette phase étant déjà initiée auparavant (couleur grise) passe 'en cours' (couleur bleue). Au début de cette phase, le groupe de maîtrise d'ouvrage demande au moyen d'une requête typée sur Bat'Map une diminution du coût du projet. Cette requête fait l'objet de la première version de 'l'ouvrage composé' qui est copié sur la dernière version de la phase précédente 'MNV0 APD'.	
Cette première interaction se termine par une réunion de synthèse avec le groupe de maîtrise d'ouvrage où sont proposées les différentes options dégagées au cours de ce travail de conception. Les représentants du Conseil Général des Vosges examinent les propositions et formulent des suggestions qui vont conduire le maître d'œuvre à modifier ses esquisses afin d'intégrer leurs remarques. La boucle d'interactions se termine lorsqu'ils acceptent l'esquisse et valident la solution d'abaisser la toiture de l'abri. Cette modification est signifiée par la création d'une tâche sur Bat'Map, liée à 'l'ouvrage simple' (toiture) du projet par le coordinateur.	
Ainsi, cette modification fait l'objet du dépôt d'une nouvelle version de la maquette numérique du projet 'MNV1 APD'. Une fois la maquette téléchargée et consultée par les acteurs, le collectif de la maîtrise d'ouvrage exprime encore une fois une volonté de division de l'espace de stockage du sel en deux parties par le biais d'un mur. Cette demande est alors représentée par une autre requête à laquelle l'architecte V Lemarquis répond par la création d'une tâche de subdivision de l'espace et l'initiation d'un ouvrage 'mur' (en gris). Une nouvelle version 'MNV2 APD' est conçue par l'architecte et déposée sur la base de donnée de Bat'Map.	
Une fois la maquette téléchargée et consultée par l'ingénieur structure du projet M. Anglade, ce dernier recommande de changer la forme de la charpente actuelle puisqu'elle a maintenant la possibilité de s'appuyer sur le nouvel ouvrage qui divise l'espace de stockage. M. Anglade conçoit un nouvel ouvrage 'charpente' et devient responsable des changements survenus dans la nouvelle version de la maquette numérique du projet 'MNV3 APD'.	

Tableau 32– Développement du scénario élaboré

Une fois le scénario finalisé, nous l'avons présenté à V. Lemarquis qui a apprécié l'interactivité de l'interface et sa facilité d'utilisation. Cependant, il a exprimé quelques remarques telles que :

- il est difficile de distinguer la dernière version d'un document, d'où la nécessité par exemple de pouvoir faire une recherche par la date de création ;
- la coordination par succession de notifications risque de saturer l'environnement virtuel créé, et les utilisateurs pourraient finir par ne plus en tenir compte, d'où la nécessité de savoir quelle information est à notifier et laquelle ne l'est pas ;
- enfin la représentation de l'ensemble des ouvrages dans un seul graphe génère une surcharge d'informations. Face à cette observation, nous avons choisi d'avancer sur la programmation des filtres de structuration des 'ouvrages simples'. Ceci nous a permis de mieux gérer la visualisation par graphe de ces ouvrages.

La modélisation de ce scénario sur Bat'Map nous a aidé à tester notre interface en cours de développement pour faire évoluer l'interactivité et la fiabilité de celle-ci, surtout en ce qui concerne l'automatisation de certaines actions telle que celle de lier un document à une catégorie 'd'ouvrages simples' (exemple : les fenêtres, la charpente), changer un état coopératif ou évolutif d'un certain nombre 'd'ouvrages simples' isolés grâce aux filtres. Cependant, l'utilisation des scénariis d'expérimentation limite la dynamique temporelle des projets de conception coopérative, et rend difficilement 'l'appréhendable' et la notion de durée (dates limites, temps des prises de rendez vous) Ainsi, à la différence de la cette expérimentation, au cours de la quelle nous avons repris un travail de conception, nous avons essayé dans une seconde de mener une conception simulée d'un projet de bâtiment.

6.4 -2 Extension d'une maison individuelle à Nancy

Cette deuxième expérimentation fut réalisée en collaboration avec mon co-directeur de thèse M. JC Bignon qui a joué le rôle de Maître d'ouvrage. J. Thibaut un étudiant de DEA 'Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis', a joué le rôle d'ingénieur de structure bois (choisi suivant son expérience professionnelle). J'ai moi-même participé à cette expérimentation en jouant le rôle de l'architecte et du coordinateur du projet. La méthode de l'expérimentation consistait à mener le projet en notant toutes les interactions entre le concepteur et l'interface. L'observation de ces interactions a servi à tester leurs apports vis à vis de la conception coopérative. L'objet du projet consistait à concevoir l'extension d'une maison individuelle à Nancy. L'expérimentation s'est déroulée au sein de notre

laboratoire, pendant la duré du stage de J. Thibaut. Etant donné que le collecticiel Bat'Goup n'était pas finalisé et présentait quelques dysfonctionnements, nous avons utilisé un serveur FTP pour stocker les données du projet (telles que les documents, les maquettes numériques, les fichiers d'instance de Bat'Map). Nous avons aussi procédé à l'installation de l'interface Bat'Map sur les différents postes de travail des participants et à sa mise en corrélation avec les logiciels utilisés lors du processus de conception simulé. Selon ses droits d'actions, chacun des participants créait, modifiait, validait, etc. les concepts du projet sur Bat'Map.

a- Le déroulement de l'expérimentation

L'objectif de cette expérimentation est de tester l'interface Bat'Map en jouant les rôles des concepteurs-utilisateurs et d'évaluer sa capacité à représenter et à structurer les concepts du projet. Le travail de conception a débuté par une réunion pour recueillir les attentes du maître d'ouvrage. En jouant le rôle du coordinateur, j'ai commencé par initier le projet sur l'interface en définissant les acteurs, les premières phases ainsi que les premiers documents du projet. Ensuite, en jouant le rôle de l'architecte, j'ai travaillé sur trois esquisses différentes qui ont débouché sur trois maquettes numériques. Une fois que ces dernières ont été déposées sur la base de données et ont été consultées par le maître d'ouvrage, ce dernier a fait le choix de la troisième esquisse 'MN V3 ESQ', comme celle qui répondait le plus à ses attentes.

Dans la phase suivante, nous avons continué à concevoir la maquette numérique du projet en utilisant le logiciel de CAO 'Architectural Desktop' et en tenant compte de son contexte dans le projet représenté sur Bat'Map. Ceci a abouti à la version suivante 'MN V1 APS'. Les tâches ayant été formulées durant la phase d'esquisse étaient :

- trouver une solution pour mieux éclairer l'espace Cuisine,
- changer l'emplacement des poteaux esquissés au milieu de l'espace Séjour.

Lors de la conception de la maquette numérique 'MN V1 APS', l'interface identifie automatiquement les changements dans la nouvelle maquette et trace les actions des acteurs. Une fois que J. Thibaut (en jouant le rôle de l'ingénieur structure) a visualisé la dernière version, il a formulé des remarques au moyen d'une requête typée de 'demande de modification' afin d'affiner la structure en bois. Ainsi, l'ingénieur a pu à son tour avancer sur la maquette numérique, et a déposé une nouvelle version 'MN V2 APS'. L'ingénieur ayant modifié la structure que j'avais proposée, il est devenu responsable de ces changements. Après avoir visualisé cette version, j'ai pu exprimer mon accord en créant une requête de validation qui a été acceptée par le maître d'ouvrage.

En passant à la phase de l'Avant Projet Détaillé (APD), j'ai, en premier lieu, activé la phase puis créé un nouveau dossier pour déposer les nouveaux documents. Enfin, après avoir avancé sur la conception du projet, j'ai déposé une nouvelle version de la maquette numérique 'MN V1 APD'. Le travail a continué suivant ce principe jusqu'au passage à la phase suivante du Permis de Construire (PC). Le graphe suivant représente certains éléments majeurs de cette expérimentation.

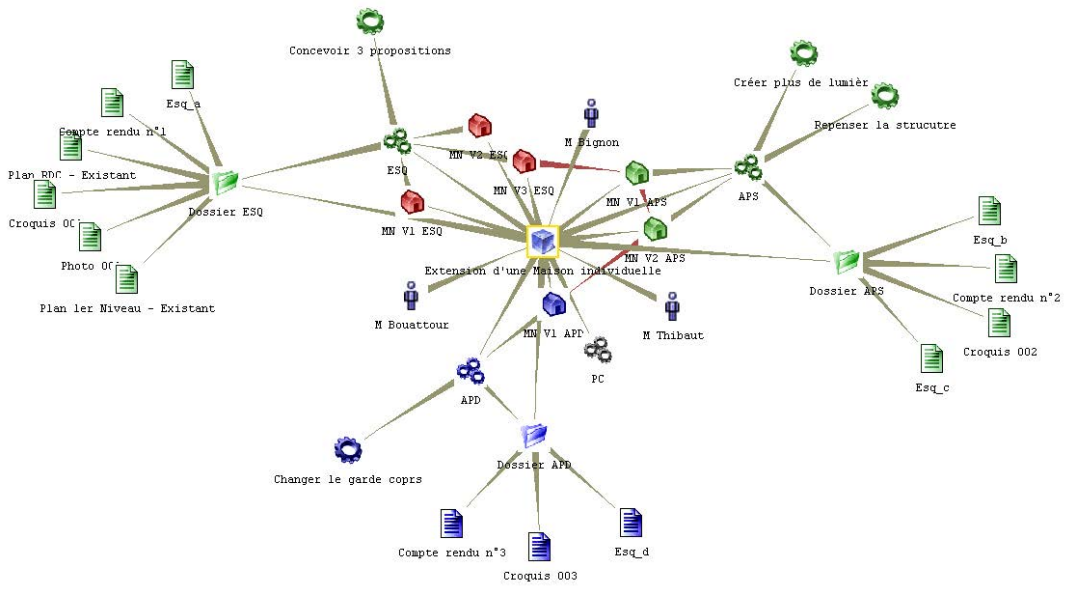


Figure 78- Représentation du contexte général de l'expérimentation sur Bat'Map

Cette représentation en graphe du contexte du projet d'expérimentation montre le projet qui se trouve au centre avec les acteurs, les dossiers et les documents qu'ils renferment (voir certains documents en annexe 21), les différentes phases (ESQ, APS, APD et PC), et les diverses versions de maquettes numériques. Il est certain que le nombre restreint des acteurs participant limite la validité de nos résultats. Nous avons toutefoissimulé une conception coopérative en utilisant Bat'Map entre trois des acteurs principaux des projets de bâtiments et ceci a permis de statuer certaines conclusions.

b- Bilan de l'expérimentation

La modélisation des relations apparues au cours du projet expérimental de l'extension de la maison individuelle nous a permis de vérifier la capacité de Bat'Map (conçu selon le 'méta-modèle' de coopération) à représenter, en situation de conception simulée, des interactions apparaissant au cours de la conception coopérative d'un projet de bâtiment.

La structuration des données relatives aux ouvrages :

L'utilisation du tableau de la structuration sémantique des données relatives aux ouvrages nous a permis de disposer d'une grille préalable pour classer des informations liées à la conception du projet. Certaines données sont récupérées sur les fichiers d'instances des maquettes numériques IFC. D'autres sont complétées par les concepteurs (composition du 'plancher terrasse', propriétés des panneaux 'KLH', la dimension financière, essences de bois à privilégier). Certaines de ces données ont influé sur les décisions à prendre lors des réunions telles que le fait de rendre accessible la terrasse.

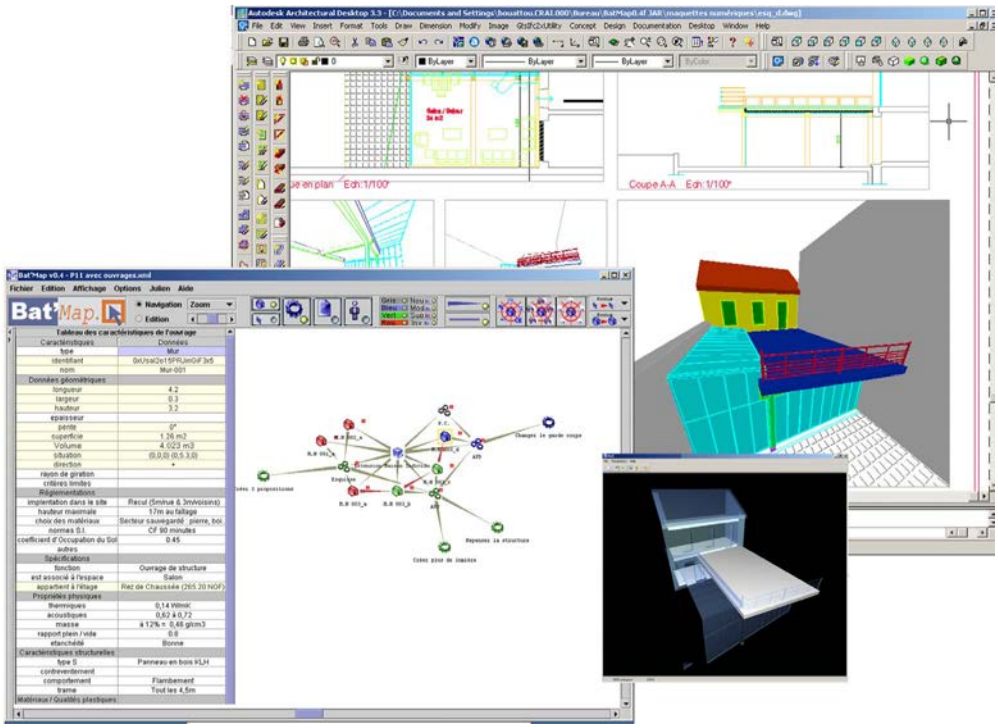


Figure 79– Utilisation du tableau de structuration sémantique des informations relatives aux ouvrages lors de la conception du projet

Ce projet en bois était très exigeant en détails (comme démontré lors des chapitres précédents). Ainsi, il a fallu appréhender relativement tôt davantage de contraintes dans la phase de conception (comme la composition du plancher terrasse et les sections des poutres préfabriquées).

La détermination de l'évolution des ouvrages :

Lors de cette expérimentation, trois 'ouvrages composés' dans la phase d'esquisse, deux en phase d'APS et un en phase d'APD, ont été conçus par les acteurs du projet. Le graphe analytique suivant de Bat'Map montre les étapes de leur évolution. Cette progression tant convoitée lors de l'analyse du modèle IFC donne au concepteur le moyen

de se situer, de tracer le cycle de vie du projet et de revenir sur une version précédente pour comparaison, de reprendre des objets, etc. (voir figure 80)

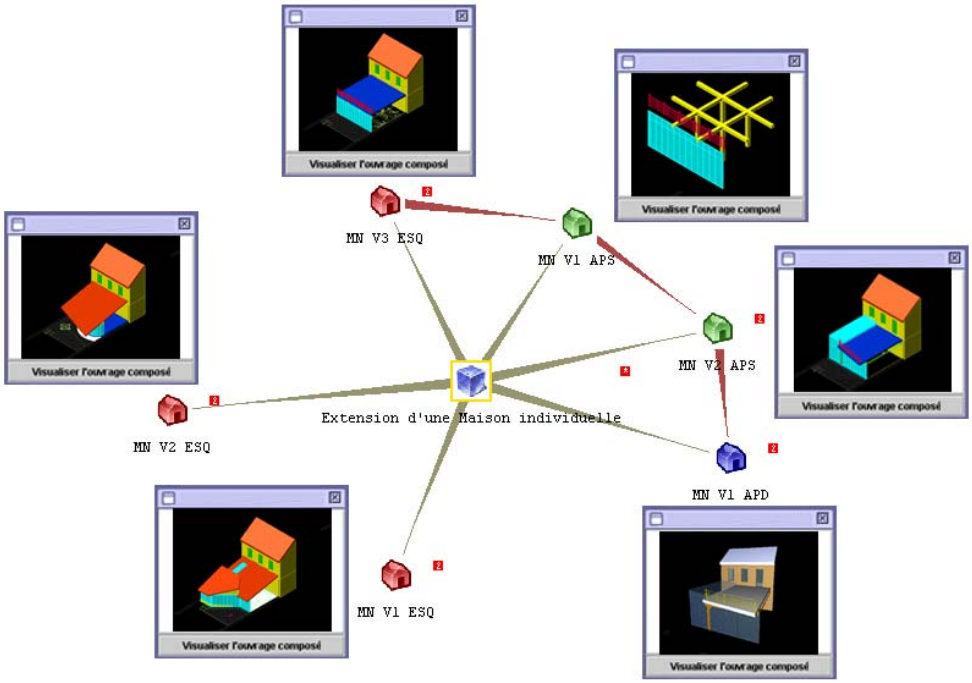


Figure 80- Evolution des 'ouvrages composés'

Le graphe suivant, en forme d'étoile, montre les divers 'ouvrages simples' de structure lors du cycle de vie du projet qui ont abouti à la dernière version de la maquette numérique (voir figure 81).

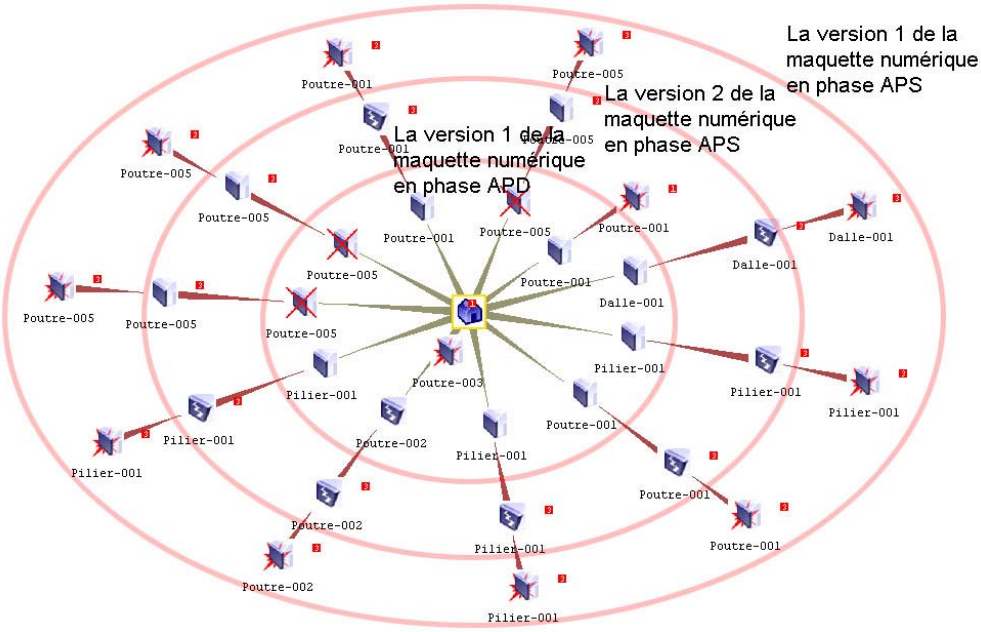


Figure 81- Evolution des ouvrages de structure dans Bat'Map V4

En effet, l'utilisateur de Bat'Map peut constater dans le graphe précédent qu'entre la première version de la maquette numérique en phase APS (dans le 1er cercle) et la deuxième version (dans le 2ème cercle), il y a eu 6 'ouvrages simples' modifiés, un nouveau conçu et que le reste n'a pas subi de changement. Entre la troisième et la deuxième versions, il y a eu un 'ouvrage simple' modifié, trois supprimés, et un nouveau conçu, et le reste n'a pas subit de changement. Une telle structuration retrace l'ensemble des versions d'un 'ouvrage simple' sélectionné, et montre son évolution dans le temps.

La spécification du contexte coopératif d'un ouvrage :

Les relations entre un 'ouvrage simple' tel que le 'mur de subdivision' et le reste des éléments du projet (comme le montre la figure 82 suivante) constituent le contexte coopératif du processus de conception de 'l'ouvrage simple'. Ainsi, les relations entre les acteurs et les ouvrages cernent les actions de chacun. Les relations entre les objets et les documents facilitent la recherche d'informations qui concernent les ouvrages (par exemple : les documentations techniques, les détails, les plans ou les façades).

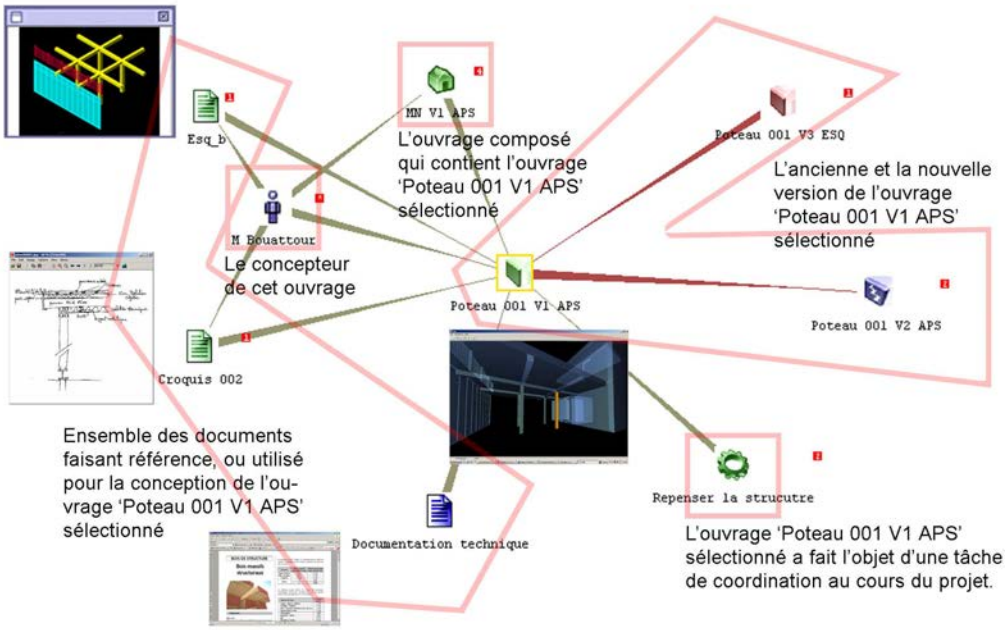


Figure 82- Le contexte d'un 'ouvrage simple' (mur de subdivision) dans la phase 'APD'

L'interface Bat'Map du système Bat'Group nous a permis de représenter l'ensemble des relations entre acteurs, activités, documents et ouvrages. La modélisation de cet exemple d'éléments nous a permis de faire évoluer notre recherche en précisant les interactions que nous avons identifiées lors du processus de conception de ces expérimentations.

6.5 Validation de Bat'MapV4

En nous appuyant sur les bilans des expérimentations et sur la grille d'analyse de systèmes coopératifs élaborée par Matta [Matta et al. 1999], nous avons essayé de cerner les informations que le concepteur peut traiter sur Bat'Map : (voir tableau 33)

Les caractéristiques du projet	Le contexte	- de l'ouvrage : récapitulation des données, des exigences, de la réglementation ; traçabilité des actions des acteurs, identification de son cycle de vie, etc. - du document : structuration et aide à la visualisation, traçabilité des auteurs, etc. - de l'activité : situation dans le temps, phasage, etc.
	L'organisation	- identification des acteurs, des rôles, etc. - la définition et la distribution des tâches
	Les résultats	maquettes numériques, prototypes, simulations, dessins techniques, bases de données, essais, plannings, documents de projet, etc.
La logique de conception coopérative	La rencontre des problèmes	- identification par notion d'état, nature, etc. - orientation autour des objets du projet, etc.
	Les résolutions	demande de réunions, arguments, avantages et inconvénients, etc.
	Les évaluations	demandes de validation par requêtes 'typées'
	Les décisions	validation par argumentation, avantages et inconvénients, etc.

Tableau 33– Traitement des informations dans Bat'Map selon la grille d'analyse de Matta

Ainsi, nous retiendrons de nos études expérimentales que :

- l'utilisation de la structuration sémantique des informations constitue une trame que le concepteur peut suivre afin d'œuvrer à l'enrichissement des données relatives aux ouvrages ;
- la modélisation de ces scénariis nous a permis de prendre conscience de la complexité du réseau relationnel existant entre les éléments d'un projet ;
- la coordination à base de requêtes 'typées' constitue une valeur ajoutée pour des utilisateurs courants car ces dernières permettent le suivi de l'exécution d'un processus, et de se concentrer sur des ouvrages précis lors de la conception, etc.
- l'utilisation des objets IFC limite les problèmes de l'interopérabilité entre les logiciels intégrant le modèle IFC. Ce modèle constituerait une structure de base à enrichir pour un éventuel réenregistrement des informations liées aux activités coopératives et récoltées sur l'interface Bat'Map ;
- le fait de pouvoir visualiser les documents, les objets et les acteurs, contribue efficacement à donner une idée plus claire et complémentaire à leur représentation par

nœuds dans le graphe Bat'Map. L'utilisateur dispose ainsi d'une méthode simple pour identifier l'information qu'il cherche,

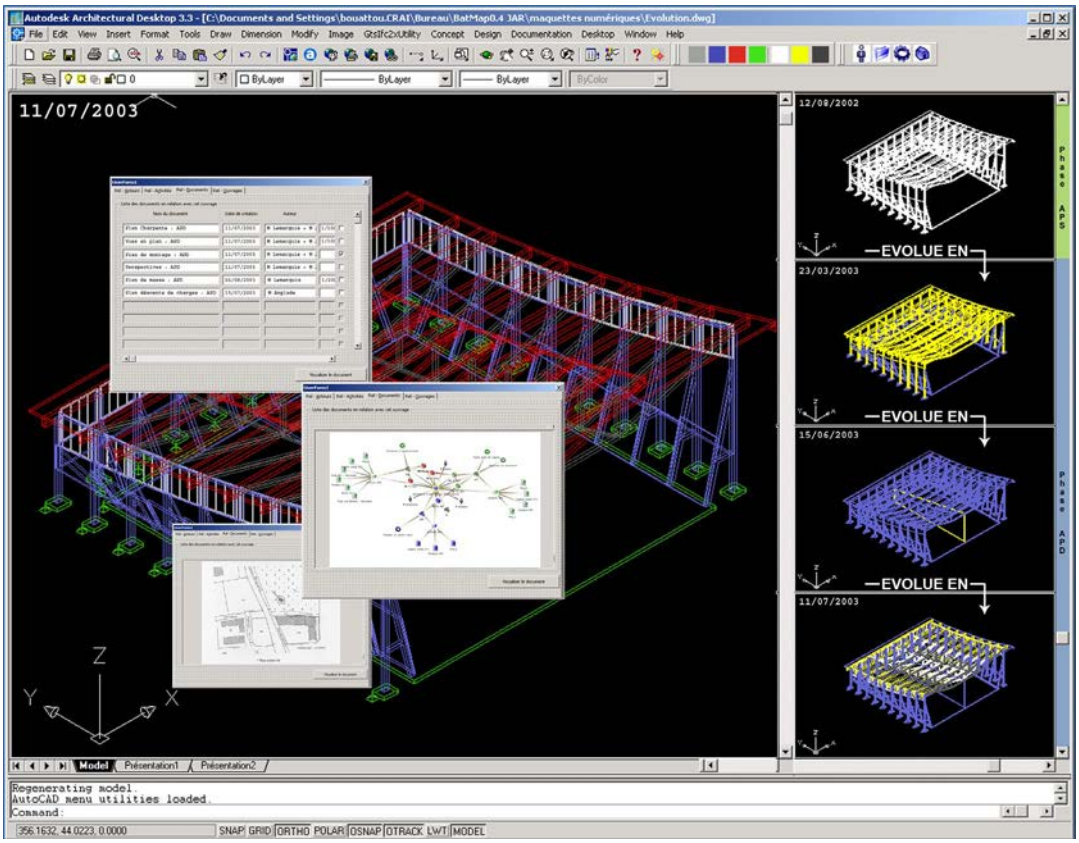
- la visualisation sous forme de graphes filtrés des concepts du projet permet aux utilisateurs de se faire une image de l'avancement du projet adaptée à leurs besoins ;
- l'interface et le mode d'édition par 'glisser-déposer' permet de rendre les opérations d'édition plus intuitives (ajout d'un ouvrage, définition des phases et des tâches, etc.)
- bien que cela n'ait pas pu être testé lors de ces expérimentations, en raison de la non connexion de Bat'Map au serveur de Bat'Group, la coordination implicite par requêtes de 'notifications' constituerait un moyen intéressant pour informer les concepteurs des changements du projet entre deux connexions. Il faudrait cependant trouver le bon rythme de notification afin de limiter le risque de surcharge cognitive ;
- si la durée des expérimentations n'avait pas été limitée, il aurait été intéressant de vérifier que l'interface Bat'Map proposée (associée au système coopératif Bat'Group) permettent aux acteurs de se coordonner plus efficacement en situation de projet faisant intervenir un nombre important de concepteurs ;
- le tableau suivant identifie les différents utilisateurs potentiels de l'interface, certaines des opérations proposées et leur moment d'exécution :

Qui ?	**Quoi ?**	**Quand ?**
Le Coordinateur	- Mise en place du projet sur le système (identification des acteurs et activités) - Identification des droits d'actions - Initiation des requêtes de validation, des tâches, etc. - Changement d'état des éléments	- Avant le projet - Début du projet - Durant le projet - Durant le projet
Le système de Bat'Map	- Initiation des requêtes de notifications - Affectation des liens automatisables - Identification des modifications des ouvrages - Extraction et structuration des données géométriques, typologiques et sémantiques des ouvrages IFC.	- Durant le projet - Durant le projet - Durant le projet - Durant le projet
Les divers acteurs du projet : Le Maître d'ouvrage, le Maître d'œuvre, l'ingénieur et l'entreprise, etc.	- Création des documents - Conception des ouvrages - Visualisation et interprétation des données relatives aux ouvrages - Compléter les données manquantes dans le tableau de la structuration sémantique des données des ouvrages IFC. - Coordination implicite au moyen des requêtes 'typées'	- Durant le projet - Durant le projet - Durant le projet - Durant le projet - Durant le projet

Tableau 34– Récapitulatif du contexte d'utilisation de Bat'Map

Ce tableau récapitule le contexte d'utilisation de Bat'Map. Ainsi, comme défini dans les hypothèses de départ, Bat'Map cible une assistance des activités coopératives durant le projet et principalement lors du processus de conception coopérative d'un projet. Sa version 4 vise une coopération centrée sur l'utilisation des objets IFC, et plus généralement sur le modèle d'objet, tout en tenant compte des documents.

Finalement, l'implémentation du 'méta-modèle' de coopération dans un outil utilisant des modes de visualisation adaptatifs nous a permis de commencer à confronter nos hypothèses à la réalité de la conception. Les mises en situation que nous avons réalisées nous ont permis de vérifier que la visualisation interactive adaptée aux besoins des concepteurs apporte une meilleure compréhension du contexte de projet. « La compréhension est une activité finalisée par la construction d'une trace mémorielle cohérente » [Denhiere et Baudet 1992]. Ce mode de représentation permet de déterminer les relations entretenues par les objets mais peut rapidement devenir complexe à manipuler lorsque le projet grandit. Dans ce cas, une quantité conséquente de nœuds et de liens apparaît et il devient indispensable d'activer les filtres afin de simplifier le graphe affiché. Cette remarque concernant la complexité du réseau relationnel tissé entre les éléments d'un projet, ainsi que les limites rencontrées avec la visualisation des nombreux nœuds par graphes, nous a conduit à orienter nos observations vers la possibilité d'adapter l'interface Bat'Map et ces fonctionnalités dans les outils utilisés couramment par les concepteurs sur leur espace de travail de CAO (par exemples : le logiciel 'ADT' ou 'ARCHICAD').



Légende

Gris clair : Ouvrages initiés	Blanc : Nouveaux Ouvrages
Bleu : Ouvrages en cours	Jaune : Ouvrages modifiés
Rouge : Ouvrages qui posent problème	Bleu clair : Ouvrages sans changement
Vert : Ouvrages qui sont validés	Gris foncé : Ouvrages supprimés

Figure 83– Visualisation de l'évolution d'un 'ouvrage composé' sur un logiciel CAO

En effet, la visualisation au moyen des logiciels CAO-DAO est basée sur une navigation dans l'espace tridimensionnel de la maquette numérique. Cet espace constitue l'espace de travail des acteurs, et pourrait être mis en relation avec les graphes de Bat'Map. Ainsi, avec la subdivision de l'espace de travail, on pourrait imaginer la représentation du cycle de vie des ouvrages, et sur d'autres fenêtres pourraient être représentés : les documents liés à un ouvrage sélectionné, les requêtes et les tâches qui le concernent, un retour vers Bat'Map afin de représenter son contexte dans un graphe hypermédia, les différentes phases et étapes du projet. L'ensemble des filtres définis sur Bat'Map pourrait aussi être programmé, en vue de proposer des vues tenant compte des besoins des utilisateurs. Enfin, le tableau de la structuration sémantique des données relatives aux ouvrages pourrait facilement être implémenté dans ce type de logiciel, fournissant une structure à suivre pour enrichir et mieux identifier les informations nécessaires à leur conception.

Conclusion partielle

Bat'Map est une adaptation de l'application 'TouchGraph link browser' utilisée généralement dans le domaine de la gestion des connaissances. Bat'Map était restreinte (jusqu'à sa version 3) à une interface de visualisation, utilisant un affichage interactif de la représentation des acteurs, des activités et des documents pour parcourir le contexte d'un projet de bâtiment. Ces entités sont représentées par des nœuds qui entretiennent des relations représentées par des liens. L'adoption de la notion d'objets dans le 'méta-modèle' de la coopération et de la notion d'ouvrage au cours de la conception d'un Projet Virtuel Coopératif nous a permis de continuer à développer cette interface en intégrant ces notions. Aujourd'hui, Bat'Map représente un outil informatique de représentation du contexte de la conception coopérative de projet de bâtiment, intégrant des fonctionnalités qui facilitent la navigation, la visualisation et l'interprétation de données (filtres, fonctions d'automatisation et de personnalisation des vues, 'visualiseurs', etc.).
Lors de la mise en place de Bat'Map nous avons cherché à simplifier les méthodes de visualisation afin de donner aux utilisateurs une vision simple et globale de l'état dans lequel se trouvent les éléments du projet. Nous avons œuvré aussi à simplifier l'utilisation de l'interface afin que les utilisateurs puissent se concentrer sur leurs activités coopératives.

Une fois que les principales fonctionnalités de l'outil Bat'Map ont été développées, nous avons confronté nos connaissances à la réalité de la conception afin de mieux cerner les dysfonctionnements du système et la fiabilité du modèle à représenter le contexte coopératif d'un projet. Cette mise en situation a été réalisée au cours des deux expériences menées à la fin de cette thèse. Tout d'abord, à travers le scénario expérimental d'utilisation du système au cours de la conception du projet d'abri à sel en bois. Nous avons ensuite participé à une expérience de conception en situation réelle d'une extension d'une maison individuelle, et ceci en jouant le rôle de concepteurs. Nous avons pu bénéficier de contacts permanents avec quelques praticiens du domaine du bois afin de mener des actions ponctuelles de précision et de vérification de nos hypothèses.

Nous avons pu conclure que les utilisateurs de l'interface Bat'Map œuvrant dans un environnement coopératif virtuel peuvent bénéficier des avantages suivants :
- Le fait de disposer des informations relatives aux divers concepts telles que celles des documents, des maquettes numériques, des acteurs, des activités, et plus spécifiquement des données relatives aux ouvrages (grâce à la trame définie dans le tableau de la structuration sémantique) facilite et aide à organiser et à compléter les informations nécessaires à la conception d'un projet de bâtiment. Cette assistance à la conception est

renforcée par un agencement des relations qu'entretient chaque ouvrage avec son environnement.

- L'utilisation du tableau de la structuration sémantique des données relatives aux ouvrages est très intéressante lors du processus de conception coopérative dans un domaine tel que celui du bois, où il existe une telle quantité d'informations à produire, à compléter et à gérer.
- Certaines fonctionnalités de Bat'Map, telles que l'identification des modifications entre deux versions, facilitent la tâche des acteurs à repérer les actions de leurs confrères dans les maquettes numériques du projet. Ceci représente un gain de temps et la garantie de ne rien omettre dans l'identification des responsabilités respectives à la conception, à la modification, à la suppression ou à l'oubli d'un ouvrage.
- La gestion sur Bat'Map des diverses versions et états des ouvrages et des documents dans les diverses phases participe à l'organisation des données du projet au moyen de graphes hypermédia. Ces données sont facilement consultables grâce à l'utilisation de 'visualiseurs' et à la création de liens avec des logiciels externes à l'application.

Cependant, nous avons constaté que la visualisation actuelle de Bat'Map n'est pas totalement adéquate pour une utilisation dans un cadre de pratiques d'agences. Ainsi nous avons essayé d'imaginer l'application de nos résultats de recherche dans les logiciels couramment utilisés dans l'espace de conception assisté par ordinateur des acteurs du bâtiment.

Conclusion Générale

La conception d'un bâtiment est le fruit du travail collectif de tout un système d'acteurs, dont les interventions doivent être coordonnées, compatibles et complémentaires. Le travail collectif passe par le partage d'un espace d'objets communs, sans cesse enrichi par des contributions collectives (lors d'une collaboration) et par des contributions individuelles (lors d'une coopération). Cette co-production est structurée par une coordination des acteurs.

L'aide à la conception coopérative représente un enjeu important dans le bâtiment, plus spécifiquement dans le domaine de la construction en bois qui est plus exigeant au niveau des détails de conception, et qui requiert une grande maîtrise des solutions techniques, ainsi qu'une importante rigueur dans le processus de conception.

Les théories étudiées nous ont permis de mieux comprendre le travail collectif et de définir des concepts intermédiaires nécessaires à la structuration de son contexte. Ces concepts (activités, actions, opérations, phases, tâches) sont la base de la conception de modèles indispensables au développement de divers systèmes coopératifs.

Nous avons tenté, dans ce travail, d'expertiser la capacité des outils de TCAO à assister la conception coopérative et d'en déduire pourquoi ces logiciels sont si peu utilisés dans le domaine du bâtiment. Actuellement, les systèmes coopératifs disponibles dédiés à l'utilisation des documents proposent une vue encore trop proche d'une organisation documentaire des données (classification dans des listes, date de création, propriétés des fichiers) qui ne peut en aucun cas aider à comprendre le contexte de leur création ni refléter l'organisation sociale du projet. La complexité de la mise en place de tels systèmes résulte de la complexité même du travail coopératif (difficultés de traçabilité des actions, non-disposition sur chaque document de l'ensemble des informations requises pour accomplir une tâche donnée, problèmes de coordination, 'discontinuité' des données).

Ainsi, nous avons mis en évidence que ces systèmes ne favorisent pas l'accession et l'interprétation du contenu des documents qu'ils gèrent alors qu'ils devraient favoriser l'obtention de plus d'informations, pour une meilleure objectivité dans l'évaluation des situations et les prises de décisions.

Certains secteurs industriels tels que l'aéronautique et l'automobile présentent des systèmes coopératifs particulièrement efficaces reposant, entre autres, sur l'utilisation de maquettes numériques, et qui fédèrent toutes les informations relatives à un produit : identification des modifications apportées aux éléments de la base de données et gestion

des versions successives des documents en définissant les auteurs, les paramètres et l'objet des diverses modifications. En d'autres termes, ces systèmes permettent d'assurer la maîtrise complète de toutes les informations au cours des étapes du cycle de vie d'un produit. A condition de savoir l'adapter en réglant en particulier le problème de l'interopérabilité des données, la maquette numérique paraît être un support informatique qu'il serait pertinent d'exploiter davantage dans le domaine du bâtiment.

Le modèle IFC constitue un 'standard' international mis en place pour pouvoir harmoniser et échanger des données informatisées dans le domaine du bâtiment. Or, bien qu'il évolue d'une version à une autre, il n'est pas capable, à ce jour, de structurer suffisamment d'informations sémantiques autour de la notion d'ouvrage et ainsi contenir toutes les données du projet. Pourtant, disposer de cet ensemble de données est essentiel pour structurer les activités coopératives des acteurs durant le cycle de vie du bâtiment. Ainsi, nous avons identifié la notion de « projet numérique » qui constitue la base de notre recherche d'un environnement virtuel coopératif capable de donner une vision riche du contexte des activités qui évoluent dans le projet.

La représentation du contexte d'un projet de conception permet aux acteurs de mieux appréhender leur contexte d'action, de suivre le déroulement des opérations, et ceci en représentant les relations existantes entre les éléments constitutifs d'un projet (acteurs, activités, documents et objets de bâtiment) et en les décrivant dans un modèle conceptuel.

Ce modèle a pour objectif d'assister la conception coopérative en architecture. Il est une interprétation des théories existantes orientées vers la représentation des protocoles sociaux sous-jacents d'une activité de groupe, et il permet d'objectiver les concepts et les liens existants dans un projet de conception de bâtiment.

Ainsi, notre proposition repose sur un 'méta-modèle' de coopération permettant la prise en compte des relations existantes entre les éléments d'un projet, tout en s'intéressant plus particulièrement aux informations sémantiques véhiculées par les objets de la conception. Par l'intégration des « objets » dans ce 'méta-modèle' et la spécification des types de relations qu'ils peuvent entretenir avec le reste des concepts, nous avons intégré la notion de maquette numérique dans la structuration du contexte de la conception coopérative dans un projet de bâtiment.

L'adoption et de la notion 'd'ouvrage' au cours de la conception d'un Projet Virtuel Coopératif nous a permis de continuer à développer l'interface Bat'Map faisant parti du système coopératif Bat'Group développé dans notre laboratoire. Aujourd'hui, Bat'Map est un outil informatique de représentation du contexte de la conception coopérative de projet de bâtiment, intégrant des fonctionnalités qui facilitent la navigation, la visualisation et

l'interprétation de données (filtres, fonctions d'automatisation et de personnalisation des vues, 'visualiseurs').

Une fois que les principales fonctionnalités de l'outil Bat'Map ont été développées, nous avons confronté nos connaissances à la réalité de la conception afin de mieux cerner les dysfonctionnements de l'interface et la fiabilité du modèle dans sa représentation du contexte coopératif d'un projet. Ainsi, nous avons mis en place un scénario expérimental d'utilisation de Bat'Map au cours de la conception d'un projet en bois qui nous a aidé à tester notre interface pour faire évoluer l'interactivité et la fiabilité de celle-ci, surtout en ce qui concerne l'automatisation de certaines actions. Nous avons également participé à une expérience de simulation de conception d'une extension d'un bâtiment, ce qui a permis de vérifier la capacité de Bat'Map à représenter des interactions apparaissant au cours de la conception coopérative d'un projet de bâtiment, à structurer des données relatives aux ouvrages, à déterminer l'évolution des ouvrages et à spécifier leur contexte coopératif.

Tout au long de ce travail, nous avons dû faire face à certaines difficultés telles que la mise en œuvre des expérimentations sur Bat'Map en situation réelle de conception. En effet, celle-ci fut relativement problématique, ceci pour des raisons liées au contexte économique général de déroulement d'un projet ne favorisant pas l'utilisation d'un outil expérimental, ainsi que pour des raisons liées à l'utilisation du modèle IFC (non connaissance par beaucoup de praticiens de l'approche objet, non disposition des logiciels et des connaissances du format IFC). Nous avons également constaté que la visualisation actuelle offerte par Bat'Map n'est pas totalement adéquate pour une utilisation dans un cadre de pratiques d'agences. Aussi, nous avons essayé d'imaginer l'application de nos résultats de recherche à des logiciels couramment utilisés dans l'espace de conception assistée par ordinateur des acteurs du bâtiment.

Perspectives

La problématique présentée dans cette thèse ouvre plusieurs perspectives de recherches :

- Sur le plan du 'méta-modèle'de coopération, le contexte du projet de coopération pourrait être étendu à d'autres concepts tels que celui 'd'outil' qui tient une place capitale dans la coopération et les activités de conception. En effet, ce concept influe sur le déroulement des projets de bâtiments et sur les modes opératoires qui seraient adaptés aux diverses situations.
- Il serait intéressant de continuer de développer Bat'Map afin d'intégrer toutes les fonctionnalités et les filtres spécifiés dans ce travail. Une fois finalisé, le travail sur la notion d'objet pourrait se poursuivre en se focalisant sur la notion d'espace qui représente un concept très utile à développer pour les architectes.

Faire le lien ‘réciproque’ entre Bat’Map, Bat’Classic et Bat’Group constitue une phase importante dans la mise en place d’un système coopératif reposant sur la structuration du contexte du projet selon les quatre concepts du ‘méta-modèle’ de coopération : les acteurs, les activités, les documents et les objets de bâtiment.

- Par ailleurs, l’exploitation des maquettes numériques IFC par l’interface Bat’Map pourrait être développée afin d’écrire et retransmettre les informations regroupées (relatives aux objets et à l’environnement coopératif du projet) sur le fichier IFC. Ainsi, un ajustement du modèle IFC (qui pourrait être exprimé en langage Express) pourrait être entrepris en tenant compte de la structuration sémantique des données des ouvrages et du contexte coopératif du projet.
- Expérimenter l’interface Bat’Map dans des situations de conception réelle de projets de bâtiments ne peut se concrétiser sans disposer de moyens et d’acteurs confirmés, aptes à travailler avec le modèle des IFC. Ainsi, il serait souhaitable de répondre à ces conditions afin d’entreprendre des études sur la fiabilité de l’application (spécifier un niveau de granularité des ‘objets’ plus adéquat, vérifier le modèle des ouvrages dans d’autres domaines que celui de la construction en bois, mettre à jour le modèle avec d’autre concepts).
- Finalement, suite aux constatations évoquées à la fin de ce travail, il serait intéressant d’adapter l’interface Bat’Map et ses fonctionnalités aux outils utilisés couramment par les concepteurs sur leur espace de travail de CAO. Cette perspective est déterminante quant à la bonne visualisation des objets de bâtiments et de leur contexte dans l’environnement coopératif du projet. Ainsi, nous avons pensé à la possibilité d’intégrer Bat’Map à des logiciels de CAO/DAO orientés « bois » comme ‘Wood Engine’ ou encore ‘CadWork’, etc. Un tel partenariat, inciterait les acteurs du domaine du bois à découvrir, essayer et opter pour l’utilisation de tels outils afin de les aider dans leur travail de conception coopérative, et leur permettre ainsi de donner toute sa place à une technique constructive pleine d’avenir.

Liste des références bibliographiques

[AFITEP 2000] Le management de projet, Principes et pratiques, AFITEP, AFNOR 2000, pp2-9.

[Anwer 2005] Anwer N, CAO et Infographie, LURPA - ENS Cachan, Université Paris Nord Villetaneuse, Master : SdI Spécialité: MIS Orientation 'Robotique – Productique', 2005, pp43.

[Audinet 2000] Audinet P, Collaboration dans l'entreprise étendue : outil indispensable pour maîtriser l'avenir, Etats généraux de la CFAO, Micado, octobre 2000.

[Autran et Florenzano, 1988] Autran J., Florenzano M., Réalisation du prototype d'un système d'aide à la gestion de données pour l'architecture et le bâtiment : DESBAT - Application à la rédaction du devis descriptif de bâtiment. Rapport final de recherche. Convention N° 86-61145 - Plan Construction - Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, décembre 1988.

[Bales 1951] Bales R.F. Interaction process analysis, a method for study of small groups. Cambridge: addision wesley press, 1951.

[Balpe 1990] Balpe J.P., Hyperdocuments, hypertextes, hypermedias – Eyrolles Paris, 1990.

[Bassereau et Duchamp 1995] Bassereau J.F et Duchamp R, Concevoir, inventer, créer, Réflexions sur les pratiques, Sous la direction de Prost R, Colloque Villes et entreprises, Paris, 1995, pp189.

[Barros de Sa et al. 1994] Barros de Sá J., Nagui-Raïss N., A Cooperative Design Environment Using an Active Repository, Laboratoire PRiSM - Université de Versailles, 1994, pp03.

[Bedny 1997] Bedny G, The Russian theory of activity, Current Applications to Design and Learning, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1997, pp25.

[Bedrune et al. 1994] Bedrune J.P., Dubois A.M., Ferries B., Mangin J.C., 'Integration of models : from experience of GSD group to the definition of French reference models'. Première conférence européenne sur la modélisation des produits et des process dans l'industrie du bâtiment, Dresde, octobre 1994.

[Beetz et al. 2004] Beetz, J. et al., Towards a Multi Agent System for the Support of Collaborative Design Assembling a toolbox for the creation of a proof of concept, 7th international conference on Design et Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, Michielsgestel, 2004, pp3.

[Benali et al. 2002] Benali K, Bourguin G, David B, Derycke A, Ferraris C, Collaboration / Coopération, Acte des deuxièmes assises nationale du GdR I3, Nancy, décembre 2002, pp82

[Benoit 2002] Benoit B, CNDB, Enquête sur la promotion de la filière bois dans la construction, Conférence ENSTIB, Epinal 2002.

[Bernodat, 2002] Bernodat J,C, Airbus France, Article, La démarche Concurrent Engineering appliquée au développement des nouveaux AIRBUS, 2002.

[Beuscart et al 1994] Beuscart R et al, Travail coopératif et groupeware, Collection: Informatique et santé, Paris, Springer-Verlag, France 1994.

[Bignon 1986] Bignon J.C, La maison à ossature bois, une nouvelle pratique architecturale, EAN, pp25.

[Bignon 1999] Bignon J.C, Le bois réinventé, Conférence - JCBE 99. Les Journées de la Construction Bois, Epinal, 5-6 février 1999, pp01.

[Bignon et al. 1999] Bignon J.C., Malcurat O., Halin G. Coopération et Conception, Vers une coopération assisté pour les acteurs du bâtiment, Colloque - 6ème table ronde sur la conception des nouveaux systèmes d'information - 01Design'99, Saint Ferréol, Décembre 1999, pp01-04.

[Bignon et al. 2001] Bignon J.C., Halin G., Hanser D. CoCAO: Un environnement logiciel coopératif pour les acteurs de l'architecture et du B.T.P.

[Bignon 2004] Bignon J.C, Vers une coopération ouverte, 2ème Atelier de réflexion sur l'assistance à la coopération en Architecture : Coordination et maquette Numérique, Ecole d'architecture de Nancy, 16 Décembre 2004.

[Billon 1999] Billon R, Comprendre les concepts des IFC, Décrire son projet en vue des échanges, MediaConstruct, Plan Construction Urbanisme et Architecture, septembre 1999, pp11.

[Billon 2001] Billon R, Keops Informatique, CLAIRE, Visualiseur-Extracteur IFC, Manuel d'utilisation, MédiaConstruct, octobre 2001, pp09.

[Billon 2002] Billon R., Optimiser et échanger son projet CAO avec les IFC, Support dédié à l'autoformation des architectes, MédiaConstruct, UNSFA, PUCA, septembre 2002.

[Bjork 1994] Bjork, B.C., 'RATAS project- Developing an infrastructure for computer-integrated construction', Journal of Computing in Civil Engineering, 8(4),1994 , pp401–419.

[Boniver et al. 2003] Boniver J, Pasleau F, Rigo J.M, Vanoirbech J, Xhignesse F, Techniques d’apprentissage «Communication et recherche d’informations», Belgique, 2003.

[Bouattour 2001] Bouattour M, Critique des IFC, Un standard d’échanges de données informatisées, DEA ‘Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis’, Nancy, octobre 2001.

[Boudon 1997] Boudon P., Sur l’espace architectural. Essai d’épistémologie, Dunod, 1997.

[Boudon 2003] Boudon P, Sur l’espace architectural, Essai d’épistémologie de l’architecture, Collection eupalions, 2003, pp14.

[Bourguin 2000] Bourguin G, Un support informatique à l’activité coopérative fondé sur la Théorie de l’Activité : le projet DARE, Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2000, pp 09-87.

[Bousquet 2002] Bousquet F, Lepage C, Müller JP, Modélisation et simulation multi-agent, Acte des deuxièmes assises nationale du GdR I3, Nancy, Décembre 2002, pp173.

[Boutinet 1990] Boutinet J.P. Anthropologie du projet, Paris, Presses Universitaires de France, 1990.

[Blanco et al. 2001] Blanco E. et al. Une expérience de conception collaborative à distance, GRACC, Rapport final, 2001, pp07.

[Bréand, 2002] Bréand A, Dassault Aviation - le Falcon 7X, Aviation Design Revue, octobre 2002 pp62-65.

[Braghieri 2004] Braghieri N, Maisons en bois, éditeur :Actes du sud, octobre 2004.

[Brechet et Desreumaux 2004] Brechet J.P. et Desreumaux A. Le projet dans l'action collective, communication à la Journée Association (GREGOR, IAE de Paris), 2004.

[Brézillon 2003] Brézillon P, Représentation de pratiques dans le formalisme des graphes contextuels. In: J.M.C. Bastien (Ed.), Actes des Deuxièmes Journées d'Etude en Psychologie Ergonomique – EPIQUE'2003, INRIA, 2003, pp.263-268

[Brossy et Fontan 1985] Brossy V et Fontan J, Structures bois : principes de conception, CSTB, Cahier n°2034, novembre 1985.

[Brousseau et Rallet 1995] Brousseau E. et Rallet A., Efficacité et inefficacité de l'organisation du bâtiment : Une interprétation en termes de trajectoire organisationnelle, Revue d'Économie Industrielle,N°74, 4°trim, 1995.

[Bruley 1999] Bruley C., Analyse des représentations graphiques de 'information - extension aux représentations tridimentionnelles. Thèse de doctorat, spécialité informatique. Université J. Fourier, 1999.

[Brusilovsky 2001] Brusilovsky, P., Adaptive hypermedia, User modelling and User-Adapted Interaction, 2001, pp87-110.

[Calvi 1998] Calvi D, Les ponts en bois, Journées de la construction bois 1998, Epinal, 20-21 février 1998, pp117-159

[Campagnac 1992] Campagnac E. Les enjeux de l'informatisation dans la conception et la recomposition des relations entre les acteurs. In : L'informatisation du secteur de la construction

- Stratégies et évolution des relations entre acteurs - Actes de la journée d'étude du 14 avril 1992. Edité par Bonnet, Paris : Plan Construction et Architecture, 1992. pp 143-155.

[Carrieu-Costa 1995] Carrieu-Costa M.J. Concevoir, inventer, créer, Réflexions sur les pratiques, Acte de colloque villes et entreprises, Sous direction de Prost R, Paris, 1995, pp37.

[Cavallini et Raffestin 1991] Cavallini C. et Raffestin Y, Le guide de la construction, les hommes, les moyens, les méthodes, Editions du moniteur, 1991, pp66.

[Cerisier 1999] Cerisier, Environnements d'apprentissages collectifs en réseaux, Poitiers, Paris 8, Groupe de recherche sur l'apprentissage et les médias en éducation, 1999.

[Chasseur 2002] H. Chasseur, Visualisation interactive par un graphe hypermédia des relations entre acteurs, activités et documents au cours de la conception d'un bâtiment. Mémoire de DEA, Spécialité modélisation et simulation des espaces bâtis. Université Henri Poincaré, Nancy, 2002.

[Cissé A et al. 1998] Cissé A et al., Travail en réseau et intelligence économique, Revue sur Internet « Information Solaris Communication », GIRSIC, Dossier n°5, Coopération et auto-organisation, 1998.

[Cook 2000] Cook Steve, The Architecture of UML, UML in the .com Enterprise, IBM Global Services, 2000, pp6.

[Clark et Wheelwright 1992] Clark K. et Wheelwright J, Revolutionizing product development, Harvard Business Press, 1992.

[CNDB 2005] CNDB: Comité national pour le développement du bois, Péguillan C, Dossier de presse, 'Vivre c'est habiter' avec le CNDB, 2005, pp2.

[Cruz et al. 2004] Cruz, C. et al., ACTIVe3D: Semantic and 3D Databases for Civil Engineering Projects, International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE 04) Monte Carlo Resort, Las Vegas, Nevada, USA, 2004, pp01.

[CSTB 1998] Le bois, matériau de construction, CSTB Magazine, N°117 septembre 1998, pp 5.

[CSTB 2001] CSTB, PUCA, Conférence : Pratiques de Projets et Ingénieries, Paris, Décembre 2001.

[d'Architecture 2000] d'Architecture, La loi MOP mode d'emploi, numéro hors série du magasine "d'architectures", SEA éditions, Paris, 2000.

[D'alfonso et Samsa 1995] D'alfonso E. et Samsa D., L'architecture : les formes et les styles, de l'antiquité à nos jours, Edition Solar, 1995.

[Dameron 2000] Dameron S, Génération de la coopération dans l'organisation, Le cas d'équipes projet, Thèse, Université Paris IX Dauphine, 2000.

[Dameron 2001] Dameron S, La dynamique relationnelle au sein d'équipes transversales de conception, Acte du 10ème atelier du travail humain : Modéliser les activités coopératives de conception, INRIA, Paris, 27-28, juin 2001, pp195.

[Darses et Falzon 1996] Darses F. et Falzon P. La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive, Coopération et conception, De Terssac G et Friedberg E, Edition Octares, 1996, pp 123-135.

[Dassault 2001] Dassault Aviation, Rapport annuel 2001, Compte-rendu du Président du Conseil d'Administration à l'Assemblée Générale des actionnaires sur les travaux du Conseil d'Administration, 2001.

[Dassault systèmes 2005] Dassault Systèmes, Simulation pour vos Process Industriels, Dassault Delmia, 2005, pp3.

[Dechaume 2000] Dechaume A.F. Guide pratique : Technologies de l'information et de la communication dans la construction, Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la constrcution, novembre 2000, pp12-26.

[De la Rochebrochard 2001] De la Rochebrochard Y, Les synergies entre l'automobile et l'aéronautique dans le 'Collaborative development' ? Conclusion de l'étude Andersen 2001, Actes de conférence Micado, Commission Travail Collaboratif, 8 novembre 2001, pp 10.

[Denhiere et Baudet 1992] Denhiere G. et Baudet S., Lecture, compréhension de texte et sciences cognitives, Paris, P.U.F., 1992, pp82.

[Deshpande et al. 2004] Deshpande N., de Vries B., van Leeuwen J.P., Collocated, Multi-Disciplinary, Collaborative Design space: An

overview, 7th international conference on Design et Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, July 2004, Michielsgestel, pp3-10.

[Desnoyers, 1993] Desnoyers L, Les indicateurs et les traces de l'activité collective. In F. SIX, X. VAXEVANOGLOU (Eds), Les aspects collectifs du travail, Editions Octarès, Toulouse, 1993.

[De Terssac et Friedberg 1996] De Terssac G et Friedberg E. Coopération et conception, Le travail de conception : de quoi parle-t-on ? Edition Octares, 1996, pp9.

[Dewan 2001] Dewan Prasun, An Integrated Approach to Designing and Evaluating Collaborative Applications and Infrastructures, Computer Supported Cooperative Work Volume 10, novembre 2001, pp75-111.

[Dicobat 1992] De Vigan J, Dicobat, Dictionnaire Général du Bâtiment, Editions Arcature, 1992.

[Dillenbourg et al. 1995] Dillenbourg P et al. « The Evolution of Research on Collaborative Learning » Learning in humans and machines, Towards an interdisciplinary learning science, London, 1995, pp189- 211.

[Dillenbourg et al. 2001] Dillenbourg P et al. L'évolution de la recherche sur l'apprentissage collaboratif, Acte de séminaire de recherche « Apprentissage collaboratif et co-formation », IUFM Nord Pas de Calais, 2001, pp4.

[Donada et Dostaler 2005] Donada C. et Dostaler I., Les déterminants de la résistance des fournisseurs face aux exigences de flexibilité de leurs clients, XIVième Conférence Internationale de Management Stratégique, Pays de la Loire, Angers 2005.

[Du Castel et al. 2005] Du Castel N, Excoffier C, Duquenne A, Airbus choisit le groupe France Télécom, sa filiale Equant et Cisco Systems, pour la mise en oeuvre d'une solution de téléphonie sur IP, Communiqué du 12 juillet 2005.

[Dugelay 1993] Dugelay M, Format d'échange, le projet MOB, Acte du séminaire franco-japonais, Les échanges de données informatisées dans la construction, n°36, Plan communication construction, 19993, pp83.

[Dumas 1999] Dumas C, Un modèle d'interaction 3D : Interactions homme-machine et homme-machine-homme dans les interfaces 3D pour le TCAO synchrone, Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Octobre 1999, pp 21-38.

[Dumesnil et al. 1997] Dumesnil J.L, Aussel C, Marquis L, Harmonisation et normalisation des échanges graphiques informatisées dans les projets de construction, Plan Construction et Architecture, Rapport Final, CSTB, novembre 1997, pp13-24.

[Durey 2000] Durey, P., Conception assistée par ordinateur (Outil stratégique de l'entreprise), [http :www .afmicado.com/archives/ooegene/eg-gr1.pdf] , 2000, pp1

[Du Tertre 1988] Du Tertre C, Technologie, Flexibilité, Emploi, l'Harmattan, Paris, 1988.

[El Hadj Mimoune 2004] El Hadj Mimoune M, Contribution à la modélisation explicite et à la représentation des données de composants industriels : application au modèle PLIB, Doctorat de l'université de Poitiers, juillet 2004, pp26.

[El-Hadj Mimoune et al. 2001] El-Hadj Mimoune M, Pierra G, Ait-Ameur Y, Une approche pour l'échange entre bases de données hétérogènes basée sur des méta modèles génériques exprimés en langage EXPRESS, Journée GDR I3 Lyon, décembre 2001, pp03.

[Ellis et Wainer 1994] Ellis C., Wainer J., A conceptual model of groupware. Actes de la conférence CSCW'94, conference on Computer Supported Cooperative Work, Chapel Hill, 1994, pp79-88.

[Engeström 1987] Engeström Y, Learning by Expanding : An Activity Theoretical Approach to Developmental Research, 1987.

[Farel 1992] Farel A, Architecture et complexité, Intervention au séminaire 'Modélisation de la complexité', Aix-en-Provence, mai 1992.

[Favereau 1989] Favereau O, Marchés internes, Marchés externes, Revue Economique, Volume 40, n°2, pp273-328, 1989.

[Favereau 1993] Favereau O., Suggestions pour reconstruire la théorie des salaires sur une théorie des règles, Miméo, Université Paris X, 1993.

[Faure 2001] Faure P, Dassault Aviation – Gifas, e-design dans l'industrie aéronautique et automobile, Actes de conférence Micado, Commission Travail Collaboratif, 8 novembre 2001, pp 10.

[Ferries 2002] Ferries B, Maquette numérique et ingénierie collaborative : Le point sur la situation dans les autres secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, Les enseignements pour le secteur de la construction. Laurenti V1.0, Aout 2002, pp5.

[Ferries 2004] Ferries B., Les derniers progrès en matière d'interopérabilité entre logiciels de description de projet et outils de simulation, Journée SFT, Toulouse, 4 Mars 2004, p01.

[Forest 1999] Forest J. L'Économie de la conception au cœur du processus d'innovation, Doctorat, Université Lumière Lyon II, janvier 1999.

[Fowler 1995] Fowler J., 'STEP for Data Management, Exchange and Sharing. Great Britain : Technology Appraisals', 1995, pp214.

[Frankel 1998] Frankel D, Technology-independent business object – the concept of a meta-model, Java Report, November 1998, pp 71 -78.

[Frank et al. 2002] Franck M, Bellon B, Cadix A, Pointet J.M, Le management à l'épreuve des changements technologiques, Impact sur la société et les organisations, Edition d'Organisation, 2002, pp 14.

[Gardavaud 2004] Gardavaud S, Intérieur systèmes: La construction sèche en action, Dossier: Perspectives constructives, Magazine, n°63, sepembre 2004, pp26.

[Gauzin-Müller 1999] Gauzin-Müller D, Construire avec le bois, Collection Techniques de Conception, Le moniteur, Paris 1999, pp18.

[Gauzin-Müller 2001] Gauzin-Müller D, L'architecture écologique, 29 exemples européens, Edition : Le moniteur, 2001, pp25.

[Gérard et al. 2005] Gérard S, Favre J.M, Muller P.A et Blanc X., Actes des 1ères journées sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles, IDM05, Paris, 30 juin-1 juillet 2005, pp05.

[Giard et Midler, 1993] Giard V. et Midler C, Pilotages de projet et Entreprises, Diversités et convergences, ECOSIP, Colloque : Gestion, Paris 1993, pp37-48.

[Godard et al. 2001] Godart C., Halin G., Bignon J.C., Bouthier C., Malcurat O., Molli P. Implicit or Explicit Coordination of Virtual Teams in Building Design. CAADRIA 2001 (Computer-Aided Architectural Design Research in Asia), Sydney, Australia, pp 429-434.

[Green et Hoc 1991] Green T.R.G, Hoc J.M, What is Cognitive Ergonomics ?, Le travail humain. Volume.54 (4), 1991, pp 291 -304.

[Halin et al 2002] Halin G, Benali K, Bignon J.C, Godart C,Cooperation models in co-design : application to architectural design, Conférence - The Netherlands, août 2002, pp2.

[Halin et al.-a 2004] Halin, G., Hanser, D., Bignon, JC., User Adaptive Visualization of Cooperative Architec-tural Design, International journal of architectural computing, Issue 01, Volume 02, 2004, pp89-107.

[Halin et al.-b 2004] Halin G., Hanser D., Otjacques B. et Bignon J.-C. (2004), A Scenario Approach to Validate and Demonstrate the Tool Usefulness in Cooperative Design, Conférence eCAADe 2004 (Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe), Copenhague, Danemark, 15-18 septembre 2004, pp418-425.

[Hanrot et al. 1986] Hanrot S, Quintrand P, Zoller J, Chouraqui E, Le projet TECTON: un systeme expert de CAO integrant le savoir architectural, 1986.

[Hanrot 1989] Hanrot S., Modélisation de la connaissance architecturale pour un outil de CAO intelligent, Plan Construction et Architecture, 1989, pp12.

[Hanrot 2003] Hanrot S, Enjeux pour l'ingénierie de maîtrise d'œuvre, plan d'urbanisme construction architecture, juin 2003, pp35.

[Hanser 2003] Hanser D. Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment, Thèse de doctorat, Nancy 2003.

[Hascöet et Beaudoin-Lafon 2001] Hascöet M., Beaudoin-Lafon M., Visualisation interactive d'information. in Information - interaction - Intelligence. Volume. 1. Numéro 1, pp04, 2001.

[Hatchuel 1996] Hatchuel A, Coopération et conception collective, Variétés et crises des rapports de prescription, Article dans le livre : Coopération et conception de Terssac G et Friedberg E, Edition Octares, 1996, pp118.

[Hégron 1994] Hégron G, La modélisation géométrique des scènes tridimensionnelles, IRISA-INRIA, Renne, 1994.

[Henocque 1997] Henocque L, Cours de génie logiciel, Conception Orienté Objet, Université de la Méditerranée, janvier 1997, pp02.

[Herman et al. 2000] Herman, I., Malançon, G., Marshall, S., Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2000, pp 24-43 .

[Hoc 1998] Hoc J.M, L'ergonomie cognitive, un compromis nécessaire entre des approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme, Actes du colloque «Recherche et Ergonomie», Toulouse, fevrier 1998, pp14.

[HQE 2001] HQE Association, Définition explicite de la qualité environnementale. Référentiels des caractéristiques HQE, novembre 2001, pp2.

[Hutchins 1995] Hutchins E, Cognition in the wild, Cambridge, MA, Massachussets Institute of Technologie Press, 1995.

[I.A.I –a 2000] I.A.I, International Alliance for Interoperability, IFC Technical Guide, enabling interoperability to the AEC/FM Industry, Version 2.x, (2000)

[I.A.I -b 2000] I.A.I, International Alliance for Interoperability, IFC 2.X Beta Implementers' Release, Full Wallpaper Version – EXPRESS-G, avril 2000.

[I.A.I –c 2000] I.A.I, IFC object model EXPRESS definitions for the IFC2x platform, Modeling Support Group of the International Alliance for Interoperability, octobre 2000.

[I.A.I -d 2004] I.A.I France, ‘Interoperability day Conference’, IFC Interoperability experimentation in building domain, I.A.I international meeting, FFB, Paris, 2004.

[I.A.I-e 2004] I.A.I Data Modelling Using EXPRESS-G for IFC Development, IAI Documentation, http://cig.bre.co.uk/iai_uk/documentation/Data%20Modelling%20Using%20EXPRESS-G%20for%20IFC%20Development.pdf, 2004.

[IAI Fr 2003] IAI France, Action Bativeille, MédiaConstrcut, Veille technologique pour appréhender l'ensemble des développements des NTIC dans le bâtiment, Rapport final, février 2003, pp09.

[Idelmerfaa 2001] Idelmerfaa Z., Richard J. Analyse des processus coopératifs de conception pour la définition de spécifications d’organisation des activités coopératives, Acte du 10ème atelier du travail humain (Modéliser les activités coopératives de conception), INRIA, Paris, 27-28 juin 2001, pp173.

[Inbar 1979] Inbar M, Routine Decision-Making. The Future of Bureaucracy Beverly, Hills: Saje 1979.

[Jarry 2005] Jarry P, Dossier coopération industrielle, 'Airbus, une belle aventure européenne', La lettre de confrontations europe, avril-juin 2005, pp23.

[Johansen 1988] Johansen R, Groupware: Computer support for business teams. The Free Press, New York, 1988.

[Jouini et al. 1996] Jouini S., Midler C. et al, L’ingénierie concourante dans le bâtiment, Synthèse des travaux du groupe de réflexion sur le management de projet (GREMAP), Décembre 1996, pp08-30.

[Jourdan 2005] Jourdan F., Visualisation d'information : dessin, indices structuraux et navigation, SIF 'Séminaire d'Informatique Fondamentale', LIRMM - Université Montpellier, 15 Avril 2005.

[Kalay 1999] Kalay, Y.E. "The future of CAAD: From computer-aided design to Computer-aided collaboration", in: G. Augenbore and C. Eastman (eds.), Proceedings of the

CAADFutures'99, Atlanta, Georgia, USA, Kluwer Academic,1999, pp 13 -30.

[Kant 1781] Kant E, Critique de la raison pure, Esthétique transcendantale, première section, Première publication 1781.

[Katzy et Ma 2002] Katzy B et Ma X, A research note on virtual project management systems, 8th Internatinal Conference on Concurrent Entreprising, june 2002, pp 518.

[Kubicki et al. 2004] Kubicki S, Halin G, Bignon J.C, Nakapan W, Collaborative Design: A French / Thaï experiment of co-design, Conférence - VIII Congreso Iberoamericano de Gràfica Digital, SIGraDi Unisinos 2004, Porto Alegre, Brésil, novembre 2004.

[Landry et Ouimet 2004] Landry R et Ouimet M, La mesure de l'interaction entre l'entreprise et son environnement, Etat des lieux, Colloque : Des indications et des stratégies régionales d'innovation à l'ouevre au Québec, Des indicateurs pour des stratégies régionales d'innovation au Québec, ACFAS, 2004, pp 15.

[Lasserre 2003] Lasserre S. Un système d'information pour le bâtiment, Approche métiers, Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille III, octobre 2003.

[Laurillau 2002] Laurillau Y, Conception et réalisation logicielles pour les collecticiels centrées sur l'activité de groupe: le modèle et la plate-forme Colver, Thèse de doctorat, Laboratoire de Communication Langagière et Interaction Personne-Sytème, Université Joseph-Fourier- Grenoble I, septembre 2002.

[Lemale 2004] Lemale J, Rapport de Stage, DESS CCI (Compétences Complémentaires Informatiques), ISIAL, UHP Nancy 1, Septembre 2004, pp07.

[Le Pallec 2003] Le Pallec X, RAM3 : vers un contact plus intuitif de la métamodélisation MOF, Laboratoire Trigone, Université de Lille 1, OCM, février 2003, pp2.

[Liebich 2004] Liebich T, I.A.I, International Alliance for Interoperability, IFC2x Edition 2, Model Implementation Guide, 2004, pp16.

[Lochu 1983] Lochu S, Technique et Architecture, mai 1983.

[Lonchamp 2003] Lonchamp J. Le travail coopératif et ses technologies, Edition Hermes, Lavoisier, Paris, 2003, pp 46-240.

[Lonchamp et Muller 2001] Lonchamp J, Muller F, Computer-Supported Deliberations for Distributed Teams, IICS, 2001, pp167-174.

[Lopez 1998] Lopez N, Migueis J, Pichon E, Intégrer UML dans vos projets, Eyrolles, Informatique magazine, Paris, 1998, pp12.

[Leplat et Pailhous 1977] Leplat J, Pailhous J, La description de la tâche: statut et rôle dans la résolution de problèmes, Bull. psychol, 332-31, 1977, pp 149-156.

[Leplat 1985] Leplat J, Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail. (Paris: A. Colin), 1985.

[Lubich 1995] Lubich P. H, Towards a CSCW framework for scientific cooperation in Europe, LNCS 889, Springer Verlag 1995.

[Malcurat 2002] Malcurat O. Spécification d'un environnement logiciel d'assistance au travail collaboratif dans le secteur de l'architecture et du B.T.P, Thèse de doctorat, CRAI, Nancy, 2002, pp24-101.

[Malculrat et al. 2001] O. Malculrat, D. Hanser, J.C. Bignon, G. Halin, V. Andre, A. Peupion, Projet Cocao : Expérimentation d'un collecticiel en situation de conception de projet architectural, 2001.

[Malone et Crowston 1994] Malone T, Crowston K, The interdisciplinary study of coordination. in ACM computing survey, Volume 1, Numéro 26, 1994.

[Malone et al. 1993] Malone T et al, Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes. Proceedings of the 2nd IEEE Workshop of Enabling Technologies Infrastructure for Collaborative Enterprises, Morgantown, WV, 20-22 avril 1993.

[Malone et al. 1999] Malone et al, Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes, Published in Management Science 45(3), March, 1999, pp 425-443.

[Matta et al. 1999] Matta N, Ribière M, Corby O, Définition d'un modèle de mémoire de projet, Rapport technique, INRIA, 1999, pp20-37.

[Marin et Riboulet, 2004] Marin P, Riboulet V, 'Dynamic building of shared technical information in synchronous collaboration', 1st International Conference, "Virtual Design and Automation" juin 3-4, Poznan 2004

[Mark et al. 1997] Mark G., Haake J., Streitz N., Hypermedia Use in Group Work: Changing the Product, Process, and Strategy. in Computer Supported Cooperative Work: The Journal of Collaborative Computing. numéro 6, 1997, pp. 327-368.

[Martin 2001] Martin C., L'ergonome dans les projets architecturaux, Colloque ADEO, Ergonomie et Conception Architecturale, 29 mai 2001, Paris, pp07.

[Matlin 2001] Matlin M.W, La cognition, une introduction à la psychologie cognitive, traduction : Brossard A, Collection : Neurosciences et cognition, 2001, pp 17.

[McGrath 1984] McGrath J, Groups: interaction and performance, Ed Prenticehal, New Jersey, 1984, pp 60-66.

[MédiaConstruct, 2003] MédiaConstruct, Autodesk et l'interropérabilité, Conférence MédiaConstruct, Fédération Française du Bâtiment, Paris 2003.

[Midler-a 1996] Midler C, Développement de la logique projet, crises et mutations des fonctions techniques. In cohérence, pertinence et évaluation, ECOSIP (ouvrage collectif dirigé par P. Cohendet, J.H. Jacot et P. Lorino), Economia, Paris, 1996, pp 93-109.

[Midler-b 1996] Midler C, Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception, Coopération et Conception, éditions Octares, sous la direction de G.de Terssac et E. Friedberg, Toulouse, 1996, pp67-69.

[Monceyron et Poyet 1997] Monceyron J.L et Poyet P, Cahiers du CSTB, Etudes et Recherches, Méthodes et outils d'intégration des données techniques: exemples d'applications au contrôle du règlement de construction, Paris, Mai 1997, pp 20.

[Muller 1997] Muller P-A., Modélisation objet avec UML, Edition Eyrolles, 1997.

[Natterer et al. 1994] Natterer J, Herzog T, Volz M, Construire avec le bois 2, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994 pp77.

[Newell et Simon 1976] Newell A. et Simon H.A. Computer science as empirical enquiry. Communication ACM, 1976.

[OMG 2002] Object Management Group, "Meta Object Facility (MOF) Specification", Version 1.4, OMG document, disponible sur : http://www.omg.org/technology/documents/formal/mof.htm, Avril 2002.

[Pavard 1994] Pavard B, Systèmes coopératifs: de la modélisation à la conception, Edition Octares, 1994.

[Perrin et al. 1996] Perrin J, Villeval M.C, Lecler Y, Les différents modes de coordination mobilisés pour promouvoir la coopération dans une démarche de 'concurrent engeneering'. Trois études de cas en Rhône-Alpes, Article dans 'Coopération et conception', Edition Octares, 1996, pp45-63.

[Perrocheau 1998] Perrocheau C, Une planification interactive, Rex Chassieu, Plan Urbanisme Construction Architecture, Chantier 2000, novembre 1998, pp12.

[Pimenta 2001] Pimenta M, EADS CIMPA, Airbus Concurrent Engineering, Actes de conférence Micado, Commission Travail Collaboratif, 8 novembre 2001, pp 11-25.

[Polanyi 1966] Polanyi M, The Tacit Dimension. London: Routledge et Kegan Paul, 1966, pp 6.

[Poyet et Brisson 1992] Poyet P., Brisson E., 1992. COMBINE Project, Implementation of the Integrated Data Model. Proc. of the COMBINE Seminar, Sponsored by the EC DGXII Directorate, Stuttgart, Germany, 18-20th november 1992, 15 pp.

[Poyet et Monceyron 1997] Poyet P. et Monceyron J.I. Les Classes d'objets IFCs : mode d'emploie, Adaptation en langue française du document de l'IAI intitulé : End user guide to industry fondation classes, mars 1997, pp 6.

[Prost 1992] Prost R, Conception architectural, une investigation méthodologique, Collection: Villes et entreprises, 1992, pp13.

[Prost 1995] Prost R., Concevoir, inventer, créer, Réflexions sur les pratiques, Colloque Villes et entreprises, Paris, 1995, pp51-230.

[PSA Peugeot Citroën 2005] PSA Peugeot Citroën, Le groupe en 2005, Direction de la communication, 2005, pp01.

[Raby et Dessus 1998] Raby F. et Dessus P., L'ergonomie cognitive comme outil de recherche appliquée à la foirmation : le cas des mémoires professionnels, Deuxième Colloque Recherche(s) et Formation des enseignants. Grenoble : IUFM, 5-7 février 1998, pp03.

[Renault 2005] Renault, Atlas Renault, Direction de la communication, mars 2005, pp30.

[Rommer et Peschl 2003] Rommer B et Peschl M.F, CSCW—Towards a Third Dimension Taking Seriously the Social Dimension in Virtual Cooperation, 1st International Workshop on Socio-Cognitive Grids, 4 juin 2003, Santorini, Greece, pp2.

[Rueppel et al. 2002] Rueppel, U., Meissner, U., Theiss, M., Anagent-based Plateform for Collaborative Building Engineering, 9th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Taiwan, avril 2002.

[Sahnouni 1999] Sahnouni Y. Modélisation des données dans le bâtiment pour le développement d'outils d'assistance à la conception technique, Thèse de doctorat, Université de Nancy, 1999, pp 18-41.

[Salber et al. 1995] Salber D, Coutaz J, Decouchant D, Riveill M, De l'observabilité et de l'honnêteté : le cas de la Communication Homme-Homme Médiatisée. In Actes Septièmes Journées sur l'Ingénierie des Interfaces Homme-Machine (IHM), Toulouse, Octobre 1995, pages 27-34.

[Sarfati 1978] Sarfati A, L'architecture intérieure créée, 1978, pp90-93.

[Schäl 1996] Schäl T, Workflow Management for Process Organisations, volume 1096, série Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 1996.

[Schwegler et al. 2000] Schwegler B, Fischer M, Liston K, New information technology tools enable productivity improvements, Proceedings for AISC, Janvier 2000.

[Schweitzer 2005] Schweitzer R, Le bois dans l'art de bâtir, Techniques et Architecture, Bois1, Structure Timber, Revue n° 476, fevrier-mars 2005, pp23-31.

[Simon 1957] Simon HA. Model of man. New Your : John Wiley 1957.

[Simon 1981] Simon, H. A. The Sciences of the Artificial, MIT Press, Cambridge, MA. 1981.

[SNCCBLC 1994] SNCCBLC, Charpente en bois lamellé collé, Guide pratique de conception et de mise en œuvre, Collection Eyrolles, Paris, 1994.

[Talhi 2003] Talhi F, Co-conception: L'exemple de Renault, journal Industrie et Technologie, Conférence: bureau d'études et PLM : comment optimiser les processus de développement au sein de votre entreprise et avec vos partenaires, octobre 2003.

[Tanyer et Aoud 2005] Tanyer A.M, Aoud G., 'Moving beyond the fourth dimension with an IFC-based single project database', 'Automation in Construction', Vol.14, n°1, janvier 2005, pp15-32.

[Tarpin 1997] Tarpin-Bernard F., Travail coopératif synchrone assisté par ordinateur : Approche AMF-C, Thèse de doctorat, Centrale de Lyon, Spécialité Ingénierie Informatique, Lyon, Juillet 1997, pp154.

[Tata 2000] Tata S, Outils pour la description et la mise en oeuvre des interactions coopératives dans les équipes virtuelles, Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy1, 2000, pp13.

[Thibault 2004] Thibault J, Un outil d'aide à la coopération pour la conception d'ouvrages en bois, Construction de points de vue à partir de filtres de données à caractère sémantique, DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis, EAN, Nancy, octobre 2004.

[Trancart 1997] Trancart H, L'ingénierie concourante, Colloque « La construction sèche, réponse au marché du logement », Colloque du 24 juin 1997, pp26.

[Tunçer et al. 2002] B. Tunçer, R. Stouffs, S. Sariyildiz, Cooperation on architectural analyses. Actes de la conférence Education in Computer Aided Architecture and Design in Europe (eCAADe). pp. 20-27. Varsovie, 2002.

[Water 1997] Water J.P, Colloque « La construction sèche, réponse au marché du logement », Colloque du 24 Juin 1997, pp43.

Table des matières

Remerciements----------03
Sommaire----------05
Introduction----------07

Première partie : Activités coopératives, contexte de la construction en bois et expression des besoins ----------13

Chapitre 1
Le projet de conception de bâtiment et le contexte de la construction en bois--15

1.1 Le projet, une notion structurante dans le domaine du bâtiment----------17
1.1-1 Le concept de Projet----------17
1.1-2 L'organisation des activités dans le projet de bâtiment : en phases et en tâches----------19
a- Les phases dans un projet----------19
b- Les tâches----------21
1.2 La conception architecturale, une phase spécifique dans le domaine du bâtiment-----22
1.2-1 Le processus de conception----------22
1.2-2 La conception architecturale----------24
1.2-3 La conception coopérative----------26
1.3 La conception dans le domaine du bois : une activité coopérative exigeante----------28
1.3-1 Les exigences techniques de la construction en bois----------29
a- La construction à ossature bois, un système réglé au centimètre ----------30
b- La construction poteaux – poutres, un système nécessitant une qualité des détails----------30
c- La construction en bois massif/madriers empilés, un système nécessitant une anticipation de l'assemblage-----31
d- Les charpentes bois ----------32
1.3-2 Les exigences du processus de conception d'un bâtiment en bois ----------32
a- La maîtrise des solutions techniques----------33
b- La rigueur et la précision de la conception du projet----------33
c- L'anticipation de l'organisation de chantier----------34
d- L'intégration de la maintenance dans le processus de conception----------34
1.4 Identification des acteurs du domaine du bâtiment----------35
1.4-1 Les acteurs définis par la loi MOP----------35
a- Le maître d'ouvrage----------36
b- Les acteurs de l'ingénierie----------37
c- Les équipes de réalisation----------38
d- Les autres acteurs décisionnaires et consultatifs----------38
1.4 -2 Les acteurs incontournables de la construction en bois ----------39
a- Les entreprises de construction en bois et les charpentiers----------39
b- Les bureaux d'études techniques et les ingénieurs en bois----------39
c- Les fabricants----------39
d- Les organismes de recherche et de promotion ----------40
e- Organisations professionnelles ----------40
1.5 Les contraintes et les problématiques inhérentes à la conception et à la coopération dans le domaine du bâtiment----------41
1.5 -1 L'évolution des exigences dans le bâtiment ----------41
1.5 -2 La fragmentation des actions des acteurs ----------42
1.5 -3 Le caractère éphémère des relations entre acteurs du domaine du bâtiment----------43
1.5 -4 L'optimisation du processus 'conception-construction'----------44
1.5 -5 La décentralisation des décisions----------45
1.5 -6 Les outils informatiques et les modes d'échange d'informations ----------45
1.5 -7 La maintenance----------46
Conclusion partielle ----------47

Chapitre 2
Le travail collectif : approche sociale et développement de systèmes coopératifs d'aide à la conception----------49

2.1 Coordination, Collaboration et Coopération----------50
2.1 -1 La coordination ----------50

2.1 -2 ***La collaboration***----51
2.1 -3 ***La coopération***----52
2.2 Activité de groupe et relations sociales ----58
2.2 -1 ***La 'Théorie de l'Activité'***----58
a- L'activité ----58
b- L'action ----59
c- L'opération ----59
2.2 -2 ***La Cognition Distribuée***----61
2.2 -3 ***La Théorie de la Coordination*** ----62
2.2 -4 ***L'Ergonomie Cognitive***----64
a- La tâche selon l'Ergonomie Cognitive----64
b- L'activité selon l'Ergonomie Cognitive----64
2.3 Analyse des outils du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO) ----66
2.3 -1 ***Les outils de communication*** ----70
a- Le courrier électronique----70
b- Les forums électroniques----70
c- Les messageries instantanées----70
d- Les environnements virtuels de collaboration ----70
e- Les conférences synchrones audio/vidéo et la télé-ingénierie----71
f- La réalité virtuelle augmentée----71
2.3 -2 ***Les collecticiels***----71
2.3 -3 ***Les gestionnaires de flux***----73
2.3 -4 ***Le partage d'applications*** ----74
2.3 -5 ***Les systèmes d'aide à la décision de groupe***----75
2.4 Expérimentation de systèmes coopératifs dans une situation de conception coopérative ---- 77
2.4 -1 ***La mise en place du projet***----77
2.4 -2 ***Les interactions entre concepteurs***----79
2.4 -3 ***Les apports des outils de TCAO choisis***----79
Conclusion partielle----81

Chapitre 3
La coopération dans le domaine du bâtiment, notamment dans le domaine du bois, comparaison avec les secteurs automobile et aéronautique----83

3.1 La coopération dans le secteur du bâtiment----84
3.1-1 ***L'environnement de la coopération et la pérennité de l'organisation dans le domaine du bâtiment*** ----84
3.1-2 ***L'échec de l'importation de l'ingénierie concourante dans le domaine du bâtiment*** ----85
3.1-3 ***Les divers flux d'informations échangés entre les acteurs de la construction***----88
a- La communication directe----88
b- Le partage de données lors du travail coopératif dans le domaine du bâtiment----90
3.2 Identification des pratiques réelles de la coopération dans le domaine de la construction en bois ----93
3.2-1 ***Mise en place d'un questionnaire et analyse des résultats***----93
a- La spécificité des activités de conception dans un projet de bâtiment en bois----93
b- La nature des relations entre les acteurs du domaine de la construction en bois----94
c- La coopération entre les acteurs du domaine de la construction en bois----94
d- Les échanges de données entre les acteurs du domaine de la construction en bois----95
e- Les outils informatiques dans le domaine de la construction en bois----95
3.2-2 ***Les outils informatiques dans le domaine de la construction en bois***----96
a- Etat des lieux des outils informatiques répartis----96
b- Les potentialités des outils informatiques intégrés----98
3.3 La co-production dans les secteurs automobile et aéronautique----99
3.3 -1 ***Les acteurs des secteurs automobile et aéronautique***----100
3.3 -2 ***Le cycle de vie du produit, dans les secteurs automobile et aéronautique***----101
a- Les études préliminaires----102
b- La conception sommaire (virtuelle et 3D) ----102
c- La conception détaillée ----102
d- La phase de 'définition' ----104
e- La phase de fabrication ----104
3.3 -3 ***La coordination dans un projet automobile ou aéronautique***----104
3.3 -4 ***Exemple d'un projet*** ----106
3.3 -5 ***Les systèmes coopératifs dans les secteurs automobile et aéronautique***----107
3.4 Etude comparative de la coopération dans les secteurs du bâtiment, de l'automobile et de l'aéronautique----110
3.4-1 ***La durée du processus de conception – production***----110
3.4-2 ***Comparaison des diverses phases***----111
3.4-3 ***L'utilisation des plateaux virtuels***----112
3.4-4 ***L'organisation des acteurs et la nature des relations***----113
Conclusion partielle ----115

Chapitre 4
La maquette numérique et le modèle IFC----------117

4.1 Les objets sémantiques et la notion de maquette numérique----------118
4.1 -1 L'interopérabilité des données techniques----------118
4.1 -2 Le format d'objet----------119
4.2 Le modèle IFC----------123
4.2 -1 ***Etude des ouvrages du bâtiment dans le modèle IFC***----------127
4.2 -2 ***Les limites du modèle IFC*** ----------130
a- La prise en compte de la réalité des pratiques dans le domaine du bâtiment----------130
b- La compatibilité des différentes versions métier de la maquette numérique ----------132
4.3 Les outils actuels utilisant la maquette numérique IFC----------135
4.4 De la maquette au projet numérique----------137
Conclusion partielle ----------139

Deuxième partie : Spécification d'un modèle utilisant la sémantique des ouvrages et mise en place d'un système coopératif ----------141

Chapitre 5
De la modélisation conceptuelle des ouvrages au Projet Virtuel Coopératif---143

5.1 La modélisation du contexte du projet de bâtiment----------144
5.1 -1 La notion de modèle----------145
5.1 -2 La notion de 'méta-modèle'----------145
5.2 Le 'méta-modèle' de coopération----------147
5.3 Le Projet Virtuel Coopératif ----------150
5.3 -1 Définition du Projet Virtuel Coopératif ----------150
5.3 -2 Les concepts fondamentaux----------151
a- Le modèle des acteurs----------151
b- Le modèle des activités ----------153
c- Le modèle des documents ----------154
d- Le modèle des objets----------155
5.3 -3 Les relations entre les concepts fondamentaux du 'méta-modèle' de coopération----------167
Conclusion partielle ---------- 173

Chapitre 6
Conception et expérimentation d'une interface contextuelle d'un système coopératif orienté 'ouvrage' ----------175

6.1 Mise en place d'une visualisation interactive pour le projet virtuel coopératif--------176
6.1 -1 Les méthodes de visualisation----------176
6.1 -2 Présentation de 'TouchGraph LinkBrowser'----------177
a- Le mode de fonctionnement de 'TouchGraph link browser'----------178
b- L'architecture logique de 'TouchGraph link browser'----------179
6.2 Evolution de Bat'Map---------- 180
6.3 La mise en œuvre de Bat'Map V4----------182
6.3 -1 Contexte d'utilisation de Bat'Map V4----------183
6.3 -2 Mise à jour de l'interface graphique de Bat'Map V4----------184
6.3 -3 Utilisation de la notion d'ouvrage pour assister la coopération dans Bat'Map V4---------- 187
a- La notion d'états coopératifs----------187
b- Récupération des ouvrages définis en IFC ----------189
c- La structuration sémantique des ouvrages---------- 190
d- L'évolution des ouvrages----------192
e- La traçabilité des actions des acteurs sur les ouvrages----------193
6.3 -4 Interactivité dans Bat'Map V4----------194
a- Assistance à visualisation dans Bat'Map----------194
b- Assistance à la navigation dans Bat'Map----------196
c- Communication via Bat'Map----------198
6.3 -5 La structuration du fichier d'instance 'XML'----------199
6.4 Confrontation de Bat'Map avec le domaine de la conception coopérative ----------202
6.4 -1 Construction d'un abri à sel à Gérardmer----------203
6.4 -2 Extension d'une maison individuelle à Nancy----------206

a- Le déroulement de l'expérimentation----------207
b- Bilan de l'expérimentation----------208
6.5 Validation de Bat'Map V4----------212
Conclusion partielle ---------- 216

Conclusion générale----------219

Liste des références bibliographiques----------223

Table des matières---------- 241

Liste des illustrations----------245

Liste des tableaux---------- 247

Liste des illustrations

Figure 1- Aperçu de l'évolution de l'art de construire ---------- 16
Figure 2- La dynamique de la situation de projet ---------- 19
Figure 3- Les actes de conception ---------- 22
Figure 4- Typologie des problèmes de conception ---------- 24
Figure 5- La co-conception et la conception distribuée---------- 26
Figure 6– Quelques techniques d'assemblages utilisés dans la construction en bois---------- 31
Figure 7– Les divers types des charpentes en bois---------- 32
Figure 8- Arbre organisationnel des acteurs du domaine du bâtiment---------- 35
Figure 9- L'importance des entreprises de petites taille dans le secteur du bâtiment---------- 42
Figure 10- Différenciation terminologique détaillée entre la coopération et la collaboration--- 52
Figure 11- Les trois niveaux de la théorie de l'activité---------- 59
Figure 12- Structuration d'une activité ---------- 60
Figure 13– Différences entre un modèle cognitif classique et un modèle cognitif distribué --- 62
Figure 14- Le 'circumplex model' de McGarth ---------- 66
Figure 15- Certaines fonctionnalités relatives aux espaces du trèfle fonctionnel---------- 68
Figure 16– Evolution dans le temps du rôle fonctionnel d'un système coopératif ---------- 69
Figure 17– Exemple d'un collecticiel (PhPGoupWare)---------- 72
Figure 18– Exemple d'un gestionnaire de flux de tâches (WorkflowGen)---------- 73
Figure 19- Capture d'écran du projet sur le collecticiel PhPCollab avec le système de vidéo conférence---------- 78
Figure 20- Représentation 3d du projet final---------- 79
Figure 21- L'environnement de l'activité coopérative---------- 84
Figure 22– Les différents modes d'organisation du travail coopératif ---------- 86
Figure 23– Les pratiques d'échanges de données dans le domaine du bâtiment---------- 90
Figure 24- La chaîne de traitement des données de WoodEngine---------- 98
Figure 25- La structure en direction et coordination de projets (exemple : Renault)---------- 100
Figure 26– Les principales phases dans le cycle de vie d'une automobile ---------- 102
Figure 27– La maquette numérique et le 'produit numérique'---------- 103
Figure 28– Les principales étapes de la phase 'de définition' ---------- 104
Figure 29- Les principaux services offerts sur le plateau virtuel de PSA Peugeot Citroën------ 106
Figure 30- Le programme adopté par Airbus pour la fabrication des A340 ---------- 106
Figure 31- Exemple d'un objet fenêtre conçu dans un objet mur---------- 121
Figure 32– Représentation d'une maquette numérique selon deux points de vue différents--- 122
Figure 33a - Complexité des communications avec les moyens d'échanges d'informations actuels---------- 123
Figure 33b - Uniformisation des échanges entre acteurs avec la maquette numérique des modèles IFC---------- 123
Figure 34- Architecture du modèle IFC (Version 2x.2) ---------- 124
Figure 35– Représentation en EXPRESS – G de la classe 'IfcWall'---------- 126
Figure 36- Représentation en UML de l'arborescence de la classe des ouvrages du bâtiment jusqu'à la racine développée sur trois niveaux hiérarchiques---------- 127
Figure 37- La relation qui existe entre les classes 'IfcActor' et 'IfcBuildingElements' -------- 130
Figure 38- Représentation de l'évolution d'un ouvrage tout au long du cycle de vie du bâtiment---------- 131
Figure 39– La conversion entre certains modèles de représentation---------- 133
Figure 40–La perte de certains ouvrages du projet lors d'une exportation vers le modèle IFC- 134
Figure 41– Structuration des échanges de maquettes numériques dans Active3D---------- 136
Figure 42- Les diverses dimensions d'un projet numérique---------- 137
Figure 43- La pyramide relationnelle---------- 144
Figure 44– Schéma principal d'une classe en langage UML---------- 146
Figure 45- Vue générale du 'méta-modèle' de coopération orienté relation ---------- 147
Figure 46- Adoption de l'architecture à niveaux d'abstraction dans notre recherche---------- 149

Figure 47- Extrait du ‘méta-modèle’ de coopération évolué ---------- 149
Figure 48- Les concepts du VCP selon la théorie de l’activité---------- 151
Figure 49- Le modèle des acteurs ---------- 152
Figure 50- Le modèle des activités---------- 153
Figure 51- Le modèle des documents ---------- 154
Figure 52– Exemple de relations entre espace et ouvrage---------- 155
Figure 53– Le modèle des ouvrages---------- 165
Figure 54- L’interface de ‘TouchGraph link browser’---------- 178
Figure 55- Base de stockage de données sur Bat’Group et Bat’Map---------- 180
Figure 56– Capture d’écran de l’interface de Bat’Group---------- 180
Figure 57- Capture d’écran de l’interface de Bat’Map V3 181
Figure 58- Contexte d'utilisation de Bat'Map V4---------- 184
Figure 59- Capture d’écran de l’interface de navigation de Bat’Map V4---------- 185
Figures 60 – La validation d’un ‘ouvrage composé’---------- 188
Figures 61– Le passage d’une phase à une autre---------- 189
Figures 62– L’importation d’un fichier IFC et l’interprétation de la maquette numérique------ 189
Figure 63 – Extrait d’un fichier IFC---------- 189
Figure 64– Extrait d’une séquence d’identification d’un ouvrage type mur---------- 190
Figure 65– Le tableau de la classification des attributs d’un ‘ouvrage simple’---------- 191
Figures 66– Identification des modifications apportées aux ‘ouvrages simples’ entre deux versions de maquettes numériques---------- 192
Figures 67– Identification des actions des acteurs apportées aux ‘ouvrages simples’ entre deux versions de maquettes numériques---------- 194
Figure 68– Visualisation graphique des acteurs et des documents---------- 195
Figure 69– Visualisation graphique des ‘ouvrages composés et simples’---------- 196
Figure 70- Les nouveaux filtres de Bat’Map V4---------- 196
Figures 71– Exemple d’utilisation des filtres sur les types de nœuds ---------- 197
Figures 72– Exemple d’utilisation des filtres sur les états évolutifs des ‘ouvrages simples’ -- 197
Figures 73– Exemple d’utilisation du filtre tenant compte des points de vue des divers acteurs ---------- 198
Figure 74– L’envoi automatique des requêtes pour information aux acteurs concernés lors de la conception d’une nouvelle maquette numérique---------- 199
Figure 75- La spécification de deux nœuds et d’un lien dans le fichier ‘XML’---------- 200
Figure 76– Les paramètres d’affichage du graphe sur Bat’Map---------- 201
Figure 77- Extrait du diagramme de séquences du scénario expérimental de l’abri à sel------- 204
Figure 78- Représentation du contexte général de l’expérimentation sur Bat’Map---------- 208
Figure 79– Utilisation du tableau de structuration sémantique des informations relatives aux ouvrages lors de la conception du projet---------- 209
Figure 80- Evolution des ‘ouvrages composés’ ---------- 210
Figure 81- Evolution des ouvrages de structure dans Bat’Map V4---------- 210
Figure 82- Le contexte d’un ‘ouvrage simple’ (mur de subdivision) dans la phase ‘APD’----- 211
Figure 83– Visualisation de l’évolution d’un ‘ouvrage composé’ sur un logiciel CAO--------- 214

Liste des tableaux

Tableau 1– Les missions et les phases préconisées par la loi MOP---------- 20
Tableau 2- Exemples de types et de tâches dans un projet de bâtiment---------- 21
Tableau 3- Les divers types de variables dans un projet de bâtiment---------- 26
Tableau 4- Prix des maisons bois suivant les techniques de réalisation---------- 28
Tableau 5– Tableau récapitulatif de la différence entre coopération et collaboration---------- 53
Tableau 6- Comparatif des deux formes de coopération---------- 54
Tableau 7- La typologie de l'activité de coordination---------- 63
Tableau 8– La matrice des modes de coopération ---------- 67
Tableau 9– Les principales fonctionnalités 'd'ENOVIA'---------- 109
Tableau 10– Comparaison des durées de processus de conception production ---------- 110
Tableau 11– Etude comparative des différentes phases des trois secteurs---------- 112
Tableau 12– Identification de la participation des acteurs dans les phases du projet---------- 113
Tableau 13– Les principaux logiciels ayant implémentés et certifiés leur interface IFC -------- 124
Tableau 14- Les attributs des ouvrages du bâtiment dans le modèle IFC---------- 128
Tableau 15- Les relations des ouvrages du bâtiment avec les autres classes IFC---------- 129
Tableau 16 - L'architecture de 'méta-modèle' en quatre couches---------- 148
Tableau 17- Questionnement orienté 'ouvrages', relevant de l'observabilité mutuelle et de la perception du contexte du projet---------- 156
Tableau 18– Description sommaire des projets abordés dans le questionnaire---------- 160
Tableaux 19– Classification typologique des informations utilisées dans la conception des ouvrages---------- 162
Tableau 20– Types d'informations intéressant les acteurs ---------- 169
Tableau 21- Traçabillité des informations relatives aux ouvrages dans les documents et à chaque étape du projet---------- 170
Tableau 22– Traitement des informations relatives aux ouvrages dans les phases de la loi MOP ---------- 171
Tableau 23- Les modes de visualisation d'information---------- 176
Tableau 24- La représentation des quatre entités de base dans Bat'Map V4 au niveau du 'méta-modèle'---------- 182
Tableau 25- Les icônes représentant les divers concepts de base des activités coopératives avec Bat'Map V4---------- 182
Tableau 26– Les étapes de création de deux nœuds et leur lien---------- 185
Tableau 27- Les types de relations avec les ouvrages représentées dans Bat'Map V4---------- 186
Tableau 28 – 'Boite de dialogue' d'un 'ouvrage composé'---------- 187
Tableau 29- Les états coopératifs d'un 'ouvrage composé'---------- 188
Tableau 30- Structuration des attributs dans la classe mur 'IfcWallStandardCase'---------- 190
Tableau 31- Les états évolutifs d'un 'ouvrage simple'---------- 192
Tableau 32– Développement du scénario élaboré---------- 205
Tableau 33– Traitement des informations dans Bat'Map selon la grille d'analyse de Matta 212
Tableau 34– Récapitulatif du contexte d'utilisation de Bat'Map---------- 213

Publication

• **A cooperation model for architectural design**
Mohamed Bouattour, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin, Pascal Trioboulot.
Revue (avec comité de lecture) publié dans la revue internationale (spécialisée dans la conception architecturale) 'International Journal of Design Sciences and Technology', Volume 12 Number 1, Pages 55-68, Mars 2005.

• **The Virtual Cooperative Project: Taking into Account Work Semantic Meaning in Architectural Cooperative Design**
Mohamed Bouattour, Gilles Halin, Jean-Claude Bignon.
Revue (avec comité de lecture) - Publisher: Springer-Verlag Heidelberg, Volume 3292/2004, Chapitre: p.3-4, Octobre 2004. Poster publié dans 'Lecture Notes in Computer Science'.

• **The Virtual Cooperative Project: An aid to building cooperative design**
Mohamed Bouattour, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin, Pascal Trioboulot.
Article de conférence (avec comité de lecture) publié dans la conférence CIB 2005 (Le concile international de recherche et de l'innovation dans le bâtiment) 'COMBINING FORCES - Advancing Facilities Management and Construction through Innovation', Juin 13-16, 2005 Helsinki, Finlande.

• **A cooperative model using semantic works dedicated to architectural design**
Mohamed Bouattour, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin, Pascal Trioboulot.
Article de conférence (avec comité de lecture) publié dans la conférence CAADRIA 2005 (l'association de la recherche dans la conception architecturale assistée par ordinateur en Asie) '10th Internationa Conference of the Association for Computer Aided Architectual Design Research In Asia', Avril 28-30, 2005. New Delhi, Inde.
Publication primée : Woung CAADRIA Award 2005

• **The Virtual Cooperative Project: Taking into Account Work Semantic Meaning in Architectural Cooperative Design**
Mohamed Bouattour, Gilles Halin, Jean-Claude Bignon.
Article de conférence (avec comité de lecture) - Papier présenté comme poster dans CoopIS, International Conference on Cooperative Information Systems OTM Confederated International Workshops and Posters, 25-29 Octobre 2004, Agia Napa, Chypre.

• **A cooperation model for architectural design. The virtual cooperative project.**
Mohamed Bouattour, Gilles Halin, Jean-Claude Bignon.
Article de conférence (avec comité de lecture) - EIA9, E-Activities and Intelligent Support in Design and the Built Environment, the 9th EuropIA International Conference, 8-10 Octobre 2003, Istanbul, Turquie.

• **Assistance à la coopération en Architecture: Coordination et maquettes numériques. Deuxième atelier de réflexion**
Mohamed Bouattour. Pascal Trioboulot, Jean-Claude Bignon, Gilles Halin.

Colloque/Atelier de réflexion – Recueil de séminaire (MAP). 16 Décembre 2004, Nancy, France

- **Conception d'un outil d'assistance à la coopération en architecture : Le projet virtuel coopératif**

Mohamed Bouattour.

Colloque/Atelier de réflexion – Recueil séminaire (MAP). Novembre 2003, Arc et Senans, France.

- **Assistance à la coopération en Architecture. Premier atelier de réflexion**

Gilles Halin, Jean-Claude Bignon, Damien Hanser, Mohamed Bouattour.

Colloque/Atelier de réflexion – Recueil de séminaire (MAP). 5 Decembre 2002, Nancy, France

RESUME en français
La complexité de l'utilisation des systèmes d'aide à la conception coopérative dans le domaine du bâtiment résulte de la complexité même du travail coopératif (difficultés de traçabilité des actions, non-disposition sur chaque document de l'ensemble des informations requises pour accomplir une tâche donnée, problèmes de coordination, 'discontinuité' des données, etc.). En considérant cet état de fait, nous proposons une étude des activités liées au travail de groupe dans le cadre de projets de conception de bâtiments, et plus spécifiquement dans le domaine du bois qui nécessite une importante coopération entre les concepteurs. Cette étude présente ensuite le concept de projet numérique déduit de l'analyse du modèle des IFC 'Industry Foundation Classes' et de l'approche de coopération basée sur l'utilisation de la maquette numérique dans les secteurs de l'industrie automobile et aéronautique. En effet, l'échange des données basé sur l'utilisation des objets interopérables constitue une approche nouvelle à approfondir dans le domaine du bâtiment. Ainsi, afin de concevoir un environnement virtuel coopératif regroupant ces notions étudiées, nous proposons un modèle tenant compte des informations sémantiques relatives aux ouvrages échangés par les acteurs. Nous avons mis en œuvre celui-ci dans une interface d'un système coopératif. Cet outil prototype offre une représentation graphique d'un contexte coopératif de projet favorisant l'organisation et le regroupement des informations nécessaires à la conception de bâtiments.

TITRE en anglais
A cooperative design assistance based on semantic building works : Application to wooden domain

RESUME en anglais
The use of systems adapted to the cooperative design assistance for the building domain is very complex. This results from the complexity of the cooperative work (difficulties in tracking actor's work, lack of the whole required information to realize tasks in every document, coordination problems, discontinuity of data, etc.) According to this aspect, we propose a study of group activities in building design project and specifically in wooden domain whère deseigners cooperat a lot. Following this, our research presents the concept of the digital project deduced from the analysis of the IFC model (Industry Foundation Classes) and the cooperation approach based on use of the digital mock-up in automobile and aeronautic sectors. Indeed, the data exchange based on use of interopable objects constitute a new approach to follow in building domain.
Thus, to design a virtual cooperative environnement using these notions, we expose a model tanking in to account the semantic meaning of the building works exchanged by actors. This modelisation al-lows us to create a computer tool adapted to the aid of cooperative design by representing the cooperative contexte of the project and the management of building data.

DISCIPLINE
Sciences de l'Architecture

MOTS-CLES
Architecture, conception, coopération, IFC, maquette numérique, sémantique des ouvrages, méta-modélisation, interfaces adaptatives, bois.

INTITULE ET ADRESSE DU LABORATOIRE D'ACCUEIL
Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie (CRAI) – UMR MAP CNRS N°694
École d'Architecture de Nancy, 2 rue Bastien-Lepage
54000 Nancy