

Liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments : PROJECTOR, un prototype pour la planification.

Denis Morand

▶ **To cite this version:**

Denis Morand. Liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments : PROJECTOR, un prototype pour la planification.. Autre. Université de Savoie, 1994. Français. NNT : . tel-00689988

HAL Id: tel-00689988

https://theses.hal.science/tel-00689988

Submitted on 20 Apr 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Laboratoire
Génie Civil et Habitat

THESE

présentée devant

l'**Université de Savoie** pour obtenir le

Diplôme de **DOCTORAT**

Spécialité : **GENIE CIVIL**

par

Denis MORAND

le 21 février 1994

Liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments : PROJECTOR, un prototype pour la planification.

Jury :

M. Alain COURTOIS
M. Jean Claude HUOT Rapporteur
M. Jean-Claude MANGIN Directeur de thèse
M. Marcel MIRAMOND Rapporteur
M. Francis PIERRE
M. Gérard SAUCE

Avant-propos :

Jean Claude Mangin, Professeur, directeur du Laboratoire Génie Civil et Habitat et Gérard Sauce, Maître de Conférences, m'ont encadré pendant toute la durée de mon travail de thèse. Je leur suis très reconnaissant de l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée et je tiens à les en remercier vivement.

Francis Pierre, responsable du secteur Recherche et Développement de la société Méthodes et Construction, a très tôt montré son intérêt pour le sujet sur lequel nous travaillions et sa collaboration a dès lors été constante et d'une richesse jamais démentie : qu'il en soit ici vivement remercié.

Monsieur Jean Claude Huot, Professeur d'Université à Montréal (Canada), spécialiste des grands projets, et Monsieur Marcel Miramond, Professeur et directeur du Laboratoire Méthodes de l'INSA de Lyon ont accepté d'être rapporteurs de mon mémoire de thèse : je leur en suis très reconnaissant. Je remercie également Monsieur Alain COURTOIS, Professeur et directeur du département Organisation et Gestion de la Production de l'IUT d'Annecy d'avoir bien voulu faire parti du jury.

Je tiens par ailleurs à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes que j'ai côtoyées d'une façon ou d'une autre au cours de ma thèse.

Je pense notamment à Nahed et Michel, avec qui nous avons suivi le même itinéraire depuis le DEA commencé à Lyon en 1989. Arrivé à Chambéry, j'ai aussi apprécié de travailler aux côtés de Frédéric et Philippe : j'aurais préféré que vous redoubliez votre thèse afin de profiter plus longtemps de votre complicité.

Catherine et Geneviève, vous n'imaginez pas à quel point vous contribuez à l'épuisement intellectuel d'un thésard : pendant trois années, chercher en permanences de bons mais faux prétextes pour faire un détour par le secrétariat, cela force l'imagination. Mais on est à coup sûr récompensé par la compétence et la gentillesse dont vous faites preuve à chaque sollicitation. Merci...

Je n'oublie pas tous mes autres collègues thésards et enseignants, ils contribuent tous à faire du LGCH un lieu où j'étais content de me retrouver. Je pense également au personnel de choc de la BU qui a su répondre à mes demandes éventuellement intempestives et qui n'a jamais refusé de se laisser corrompre par quelques viennoiseries pour fermer les yeux sur des prêts prolongés...

Pascal, je te sens t'impatienter : "De quoi, il ne parle même pas de moi ???". Voilà

qui est fait. Et tu sais que j'aurais souhaité en écrire plus, mais ce mémoire de thèse comprend déjà plus de 200 pages, alors on s'appelle et on reparle de tout ça au téléphone. D'accord ? En attendant, je sais que je te laisse en excellente compagnie avec Pierre.

Michelle et Serge, le couple de l'année 1993 et des suivantes (merci qui ?), j'ai apprécié de vous compter parmi mes proches, dans les moments difficiles comme dans les moments agréables.

Christine, courage ! Tu es plus près du début que de la fin mais tu y arriveras vite et brillamment, j'en suis persuadé.

J'arrête ici les citations mais nombreuses sont les autres personnes à qui j'aurais envie de faire un clin d'œil dans cet avant-propos. Alors, j'exprimerai ma gratitude à chacun et chacune d'entre vous de vive voix...

Résumé :

La maîtrise du processus de la gestion de projet dans le domaine de la construction de bâtiments constitue l'un des enjeux majeurs pour assurer des gains de qualité et de productivité dans l'avenir. Nous proposons d'améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments en intégrant les connaissances nécessaires dans un système informatique, PROJECTOR, dont nous présentons le prototype.

L'analyse de la liaison a permis d'identifier les fonctions, les acteurs et les informations en jeu et de montrer le rôle important du maître d'œuvre d'exécution dans la maîtrise des délais et des coûts. Son savoir faire est fondamental pour assurer la transformation, la maintenance et la cohérence de ces informations.

La description de ce savoir faire a nécessité l'élaboration d'un modèle conceptuel précisant l'organisation des différentes informations en jeu, la formalisation des connaissances de base du maître d'œuvre d'exécution et la recherche des stratégies d'utilisation de ces connaissances. Afin de vérifier la faisabilité informatique de nos propositions, nous avons réalisé le prototype PROJECTOR. Ce prototype inclut une base de connaissances expertes, constituée grâce à des contacts avec des professionnels. Nous montrons comment nous réalisons, en liant un logiciel de planification à PROJECTOR, un planning enveloppe puis un planning détaillé à partir d'une base d'informations de conception provenant d'un système de CAO pour le bâtiment.

Abstract :

Project control process in building construction is one of the major stakes in securing quality and productivity improvement in the future. We propose to improve the connection between building design and project control by integrating knowledge in a computerised tool, PROJECTOR, whose prototype we present.

The analysis of the connection permits the identification of actors, functions and information involved and shows the project manager large part in costs control and scheduling control. His know-how is fundamental to insure information transformation that is linked with the connection.

This know-how description has required the elaboration of a conceptual model which describes information organisation, the project manager's basic knowledge formalisation and the research of the different the way of making use of this knowledge. In order to validate our propositions, we have realised the prototype PROJECTOR. This prototype includes a knowledge base obtained from interviews of professionals. We show how a global schedule and then a detailed schedule can be realised from design information (obtained from a CAD system) by connecting a planning software to PROJECTOR.

Introduction générale

Chapitre 1

La gestion de projet de bâtiments

I - Le projet de bâtiment - les fonctions, les acteurs, les étapes, les documents : 19

I - 1 Les fonctions, les acteurs : 20

I - 1 - 1 La maîtrise d'ouvrage : 20

I - 1 - 2 La maîtrise d'œuvre : 20

I - 1 - 3 Le contrôle : 21

I - 1 - 4 La réalisation : 21

I - 2 Les grandes étapes d'une opération de construction : 22

I - 2 - 1 - Les études préalables et le programme : 22

I - 2 - 2 L'esquisse : 22

I - 2 - 3 L'avant-projet sommaire : 23

I - 2 - 4 L'avant projet détaillé : 23

I - 2 - 5 Les études de projet, la constitution du dossier de consultation des entreprises (DCE) : 24

I - 2 - 6 La préparation du chantier : 25

I - 2 - 7 Les études d'exécution : 25

I - 2 - 8 Les travaux de construction : 26

II - La gestion de projet de bâtiments : 28

II - 1 Gestion de production et gestion de projet : 28

II - 2 La planification et la maîtrise des coûts : 30

II - 2 - 1 La planification et les différents niveaux de détail : 30

II - 2 - 2 Les coûts : 31

II - 3 Interaction réalisation/conception : 32

III - La planification : 33

III - 1 Les plannings : 33

III - 1 - 1 Le planning global : 33

III - 1 - 2 Le planning enveloppe : 33

III - 1 - 3 Le planning détaillé tous corps d'état : 34

III - 1 - 4 Le planning détaillé d'exécution : 34
III - 1 - 5 Le planning très détaillé : 35
III - 2 Les différents éléments du planning : 35
III - 2 - 1 Les tâches : 35
III - 2 - 2 Les zones de planification : 38
III - 2 - 3 Les contraintes : 40

Chapitre 2

La liaison conception-gestion de projet : analyse et propositions

I - La liaison conception - gestion de projet : 45
II - La problématique liée à la liaison Conception - Gestion de projet : 49
III - Une solution informatique pour améliorer la liaison : 53

Chapitre 3

Réalisation d'un module de gestion de projet : fonctionnalités et principe de fonctionnement

I - Objectif général et fonctionnalités : 59
II - Le principe de fonctionnement du module de gestion de projet : ... 61
II - 1 Première génération d'un réseau de tâches : 62
II - 2 Nouvelle génération d'un réseau de tâche : 64
II - 2 - 1 Génération d'un réseau de tâches enveloppes : 65
II - 2 - 2 Génération d'un réseau de tâches très détaillées : 65
II - 3 Répercussion d'une modification : 66

Chapitre 4

Gestion de projet de bâtiments : modélisation des informations et formalisation des connaissances

I - La modélisation des informations de conception : 72
I - 1 La conception des bâtiments : 72
I - 2 La modélisation des espaces : 73
I - 3 La modélisation des composants du bâtiment : 76

I - 4 Les acteurs : 78
I - 5 Exemple illustratif : 78
II - La modélisation des informations pour la gestion de projet : 80
II - 1 L'objet de planification : 81
II - 2 Les tâches : 83
II - 3 Les contraintes : 84
III - La modélisation des informations de réalisation : 85
III - 1 Les options de construction : 85
III - 2 Les documents : 86
III - 3 L'entreprise : 88
IV - La formalisation des connaissances : 89

Chapitre 5

Constitution d'une base de connaissances pour la gestion de projet

I - Principe du recueil des connaissances : 100
II - Les options de construction génériques : 103
III - Les objets de planification génériques : 107
IV - Les tâches génériques : 117
V - Les contraintes de planification génériques : 123

Chapitre 6

Propositions pour une mise en œuvre : le prototype PROJECTOR

I - PROJECTOR - Objectifs et description générale : 133
I - 1 Le logiciel de planification PSN 5 : 134
I - 2 Les informations de conception : 135
I - 3 Le langage choisi pour programmer PROJECTOR : GRAM v2 : 137
II - L'implémentation du modèle dans PROJECTOR : 139
II - 1 Le schéma de base : 139
II - 2 La base de connaissances : 142
III - Exemple d'utilisation de PROJECTOR : 147

III - 1 Le projet : 147

III -2 Génération d'un premier planning enveloppe : 149

III - 2 - 1 Le choix des options de construction : 150

III - 2 - 2 L'identification des zones de planification : 151

III - 2 - 3 Identification des objets de planification : 153

III - 2 - 4 Identification des tâches : 156

III - 2 - 5 Identification des contraintes de planification : 157

III - 2 - 6 Utilisation de PSN5 : 157

III - 3 Génération d'un planning plus détaillé : 159

III - 3 - 1 Affinement des options de construction : 159

III - 3 - 2 Décomposition des objets de planification : 160

III - 3 - 3 Utilisation de PSN5 : 161

III - 4 Les liens entre les différentes informations : 162

Conclusion générale 165

Glossaire 171

Références bibliographiques 181

Annexes

Annexe 1 : exemples de plannings 189

Annexe 2 : un cahier des charges pour la de gestion de projet de bâtiments 195

Annexe 3 : les documents relatifs au projet de bâtiment 201

Annexe 4 : dictionnaire des principaux concepts de la modélisation .. 213

Annexe 5 : le Projet CONCEPTOR 221

Introduction générale

La complexité et la diversité du secteur bâtiment, aussi bien au niveau des acteurs que des documents, des pratiques quotidiennes, des étapes du processus de conception-réalisation, font qu'il existe de nombreuses lacunes à combler. Elles sont dues à la coupure ou au manque de liaisons fortes, structurées, entre les intervenants, les outils qu'ils utilisent, notamment les outils informatiques, les documents produits, les données disponibles. Ainsi, dans l'ensemble du processus qui s'étend de la genèse du projet jusqu'à sa mise en service, la liaison entre la conception et la réalisation du projet apparaît comme une phase particulièrement problématique. La maîtrise du processus de la gestion de projet dans le milieu du B.T.P. constituant l'un des enjeux majeurs pour assurer les gains de qualité et les gains de productivité dans l'avenir, nous avons choisi d'effectuer un travail de recherche autour de la liaison conception-réalisation, dans le but d'identifier clairement les problèmes rencontrés et de proposer des solutions aptes à apporter des améliorations.

Cette recherche nécessitait, dans un premier temps, un important travail de recueil d'informations sur la gestion de projet de bâtiments et sur son interdépendance avec la conception. Cette phase d'expertise a reposé d'une part sur une étude bibliographique et d'autre part sur des contacts suivis avec des professionnels du bâtiment. Ces contacts ont notamment été pris au cours d'une enquête faite dans le cadre d'un travail relatif à un contrat de recherche pour le Plan Construction et Architecture [PCA 93]. Ils ont été plus particulièrement suivis avec la société Méthodes et Construction[1].

Sur la base de l'expertise, nous devions préciser la problématique afin de spécifier un outil destiné à améliorer la liaison conception-réalisation. Ce travail a posé le problème de la disponibilité des connaissances de l'expert et nous devions alors procéder à une phase de modélisation et de formalisation. Afin de vérifier la faisabilité informatique de nos propositions, nous devions finalement constituer une base de connaissances, après avoir précisé les limites de notre application, puis réalisé le prototype de l'outil informatique destiné à améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet.

[1]La société Méthodes et Construction est un cabinet de consultants en organisation et gestion de la production dans le domaine de la construction de bâtiments. A ce titre, elle intervient en préparation et méthodes sur de nombreux chantiers, et, par ailleurs, elle assure la conception et le développement d'un ensemble de logiciels regroupés sous le nom de Progap (Prévision, Rationalisation, Optimisation et Gestion Avancée de Production).

Le résultat de l'ensemble de ces travaux est présenté à travers six chapitres.

Le premier chapitre présente les informations que nous avons recueillies sur la base d'une étude bibliographique et de contacts suivis avec des professionnels du domaine de la conception et de la réalisation des bâtiments. Il décrit le projet de bâtiment, puis les différentes fonctions de la gestion de projet. Il aborde enfin plus particulièrement la planification dont nous avons choisi de privilégier l'analyse.

Dans le deuxième chapitre, nous centrons notre préoccupation sur la liaison entre la conception et la gestion de projet en décrivant l'interdépendance entre ces deux aspects et la difficulté de faire communiquer les informations de l'un à l'autre. Nous en déduisons l'intérêt d'élaborer un outil informatique destiné à améliorer cette liaison.

Le troisième chapitre développe les spécifications et les fonctionnalités de cet outil.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons une modélisation de la gestion de projet de bâtiments et une formalisation des connaissances nécessaires pour assurer la liaison entre la conception et la gestion de projet.

Le cinquième chapitre présente une partie de ces connaissances, recueillies en vue de réaliser un prototype de l'outil informatique destiné à améliorer la liaison.

Ce prototype, réalisé dans un contexte de CAO pour le bâtiment, est présenté dans le sixième et dernier chapitre.

Les principales abréviations utilisées dans ce document :

APD : avant projet détaillé.

APS : avant projet sommaire.

APTS : avant projet très sommaire.

CAO : conception assistée par ordinateur.

CCAG : cahier des clauses administratives générales.

CCAP : cahier des clauses administratives particulières.

CCTG : cahier des clauses techniques générales.

CCTP : cahier des clauses techniques particulières.

DAO : dessin assisté par ordinateur.

DCE : dossier de consultation des entreprises.

LOO : langage orienté objet.

SGBD : système de gestion de bases de données.

TCE : tout corps d'état.

Chapitre 1

La gestion de projet de bâtiments

La gestion de projet est une activité exercée dans des domaines aussi divers que le génie civil, le génie logiciel, la construction navale, l'urbanisme, et, plus généralement, les grands projets industriels [AFI 91]. Dans chaque domaine, elle est réalisée de façon différente parce qu'elle concerne des projets eux-mêmes de types très différents. Dans le domaine de la construction de bâtiments, la gestion de projet recouvre différents aspects qui font intervenir un grand nombre d'acteurs. Le vocabulaire lié à notre domaine d'étude est, en conséquence, très riche et présente de nombreuses ambiguïtés. Afin de lever ces ambiguïtés et de décrire le contexte de notre étude, nous présentons dans ce premier chapitre le projet de bâtiment puis la gestion de projet de bâtiments elle-même (à la fin de ce document, un glossaire reprend et définit les principaux termes spécifiques utilisés dans ce chapitre). Nous abordons enfin plus particulièrement un aspect de la gestion de projet que nous avons choisi de privilégier dans notre recherche : la planification.

Ce chapitre résulte d'une importante étude bibliographique mais aussi de nombreux contacts avec des professionnels du domaine de la conception et de la réalisation des bâtiments. Compte tenu de cette dernière méthode "d'investigation", la présentation de la gestion de projet de bâtiments faite ici correspond à la pratique observée en France. Cependant, l'analyse bibliographique du domaine ([BEN 90], [STU 87],...) a montré que les grands principes de la gestion de projet de bâtiments que nous développons ci-dessous peuvent être généralisés, indépendamment du pays où on les observe.

I - Le projet de bâtiment - les fonctions, les acteurs, les étapes, les documents :

Les nombreux acteurs [PIE 91] qui interviennent sur un projet de bâtiment ne jouent pas toujours le même rôle selon le projet et son organisation. On doit donc distinguer l'acteur (personne physique ou morale) de sa fonction. Dans ce paragraphe, nous recensons les différentes fonctions de la gestion de projet et les acteurs qui les remplissent habituellement. Puis, nous situons ces fonctions par rapport aux différentes phases du projet de bâtiment, en précisant les types de document utilisés au cours de chacune d'elles. Nous en déduisons alors une représentation

théorique de la circulation des informations entre les fonctions au cours du projet.

"Le guide de la construction" [CAV 88] constitue une source précieuse d'informations sur le projet de bâtiment : il nous a été très utile et le lecteur pourra y trouver des renseignements complémentaires sur les notions présentées dans cette première partie.

I - 1 Les fonctions, les acteurs :

I - 1 - 1 La maîtrise d'ouvrage :

Le maître d'ouvrage doit vérifier la faisabilité du projet, définir la localisation, le programme, l'enveloppe prévisionnelle, assurer le financement, choisir le processus de réalisation et conclure les contrats. On attribue généralement la fonction de maîtrise d'ouvrage au client, celui pour le compte duquel le projet est réalisé.

Les compétences du maître d'ouvrage se décomposent en deux grands pôles : un pôle administratif, juridique et financier (assuré par un directeur d'investissement) et un pôle technique (assuré par un conducteur d'opération, ou éventuellement délégué au maître d'œuvre).

Les acteurs : Les maîtres d'ouvrage professionnels peuvent être les producteurs de logement (HLM, SEM, promoteurs...), l'Etat et ses établissements publics, les collectivités locales, les grands groupes privés. Le maître d'ouvrage peut aussi être occasionnel (particulier construisant sa maison, industriel agrandissant son usine, ...). Parfois, la maîtrise d'ouvrage est déléguée lorsque le client considère qu'il n'a pas les capacités pour l'assurer lui-même.

I - 1 - 2 La maîtrise d'œuvre :

Le maître d'œuvre est choisi par le maître d'ouvrage pour sa compétence afin de concevoir le projet et d'en assurer la réalisation.

Le maître d'œuvre vérifie la cohérence du programme, conçoit le bâtiment, demande les autorisations administratives, consulte et désigne les entreprises, prépare les marchés, coordonne les études et les travaux, contrôle la qualité, les coûts. On peut dès lors décomposer la maîtrise d'œuvre en deux grandes sous-fonctions :

- **la maîtrise d'œuvre de conception** (architecturale et technique) ;

- **la maîtrise d'œuvre d'exécution** (ou de réalisation), relative aux opérations de coordination et de suivi.

Les acteurs : Les maîtres d'œuvre de conception sont généralement les **architectes** et agréés en architecture ainsi que les bureaux d'études techniques. Le maître d'œuvre d'exécution est l'architecte lui-même pour de petits chantiers ; sinon, c'est un **coordinateur** (ou coordonnateur) travaillant pour l'entreprise générale adjudicataire de tous les lots, ou alors le **pilote**, adjudicataire d'un lot spécifique "coordination".

I - 1 - 3 Le contrôle :

Il s'agit soit du **contrôle technique**, exigé par certains maîtres d'ouvrages et qui consiste en un examen critique des dispositions techniques du projet et de la réalisation, soit d'une **vérification technique**, généralement demandée par les assureurs, qui consiste à vérifier le respect de certaines règles (sécurité incendie, ...) ou les caractéristiques de matériaux spécifiques.

Les acteurs : le contrôle est assuré par les bureaux de contrôle.

I - 1 - 4 La réalisation :

Il s'agit, sur la base des études de conception, d'assurer les fournitures et d'exécuter les travaux nécessaires à la réalisation du projet.

Les acteurs : Il s'agit bien sûr des entreprises, lesquelles peuvent intervenir de différentes façons :

- en **marchés séparés** : chaque entreprise signe un marché particulier et n'a aucun lien juridique ni contractuel avec les autres entreprises. Le maître d'ouvrage joue alors un rôle important de coordination qu'il pourra déléguer à un pilote.

- en **entreprise générale** : l'ensemble des travaux est confié à une seule entreprise qui, généralement, sous-traite a des entreprises spécialisées les travaux qui ne relèvent pas de sa compétence. Elle demeure néanmoins directement et personnellement responsable vis à vis du maître d'ouvrage. A ce titre, elle assure la coordination tant dans la phase préparatoire que pendant les travaux.

- en **entreprises groupées** : soit les entreprises signent chacune un marché et désignent un mandataire commun qui devra assurer la coordination, soit elles signent solidairement un seul marché et sont alors chacune responsables pour la réalisation de l'ensemble du marché.

Le tableau ci-dessous récapitule la répartition des fonctions par acteur :

Fonction	**Acteur**						
	Client	Architecte	Bureau d'étude	Pilote	Econo-miste	Bureau de contrôle	Entreprise
Maîtrise d'ouvrage	**X**						
Maîtrise d'œuvre :							
conception architecturale		**X**					
conception technique			**X**				**X**
marché de travaux		**X**					
coordination		**X**		**X**			**X**
maîtrise des coûts		**X**		**X**	**X**		**X**
Contrôle						**X**	
Réalisation							**X**

I - 2 Les grandes étapes d'une opération de construction :

Les différentes fonctions décrites ci-dessus n'ont pas toujours la même importance relative au cours de l'évolution du projet. Dans ce paragraphe, nous décrivons les principales étapes d'une opération de construction en précisant pour chacune les fonctions sollicitées et les documents résultants (on trouvera en annexe 3 un récapitulatif des principaux documents liés au projet de bâtiment).

I - 2 - 1 - Les études préalables et le programme :

Sur la base d'un besoin immédiat ou à long terme, d'une volonté politique, le **maître d'ouvrage** va dans un premier temps procéder à une analyse de la situation en considérant le contexte, les impacts du projet, les moyens nécessaires. Il définira la localisation, envisagera la libération de l'emprise foncière. Sur la base de la définition de l'enveloppe financière prévisionnelle (établie en récapitulant les coûts des différents postes, de la charge foncière jusqu'à l'éventuelle marge bénéficiaire), il commencera à envisager le financement.

Ces études aboutiront à la rédaction d'une **note de synthèse**, démontrant la faisabilité dans le temps et dans l'espace, et la faisabilité financière et technique.

Le maître d'ouvrage pourra alors établir le **programme :** il s'agit d'un document qui comprend une présentation de l'opération (nature et historique de l'opération, principaux acteurs, études préalables). Il présente les principaux objectifs qualitatifs, le contexte physique et urbain (plan de situation, de nivellement et de limites, des ouvrages existants), la vie de l'équipement, les contraintes et exigences générales, les exigences de délai et de coût. Il constituera le document qui amorcera le dialogue avec le maître d'œuvre.

Après établissement du programme, le maître d'ouvrage choisira les concepteurs, établira le contrat de maîtrise d'œuvre.

Les fonctions : la maîtrise d'ouvrage.

Les documents : note de synthèse de faisabilité, le programme.

I - 2 - 2 L'esquisse :

C'est la première étape de la réponse architecturale et technique au programme. Son élaboration fait l'objet d'un important dialogue entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre de conception**.** Sur la base de l'analyse du programme, ce dernier procédera à une recherche documentaire (réglementation technique et administrative, documents techniques, organismes à consulter) afin de définir le principe de fonctionnement du projet. Cela se traduit par une organisation des différents volumes composant les bâtiments du projet. A ce stade de la conception, on pourra choisir le **parti général de construction**.

Les fonctions : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre.

Les documents : une série de plans peu détaillés (plan masse au 1/1000, plan des différents niveaux, perspectives et façades au 1/500), une note explicative destinée

à expliquer certains choix. Parfois, une maquette est jointe à l'esquisse, surtout lorsque cette dernière constitue la réponse à un concours d'architecture. Cette liste indicative de documents masque en fait une grande diversité dans la façon de présenter l'esquisse. Par exemple, si les plans produits sont dans l'ensemble peu précis à ce niveau de la conception architecturale, on pourra en revanche avoir certains schémas très détaillés représentant des ouvrages ou éléments d'ouvrages particuliers.

I - 2 - 3 L'avant-projet sommaire :

Il s'agit d'un prédimensionnement, qui permettra notamment d'établir la **demande de permis de construire**.

A la suite de l'esquisse et sur la base du programme, l'APS proposera les possibilités techniques les mieux adaptées aux caractéristiques du projet.

Les études d'APS portent sur les contraintes d'environnement dans l'espace et le temps, la définition du programme éventuel des reconnaissances nécessaires à cette phase (études de sol) et l'appréciation des résultats de ces reconnaissances, la solution d'ensemble (parti général et solution technique) retenue pour l'ensemble des ouvrages, ainsi que la répartition des ouvrages et leurs liaisons dans l'espace.

Les fonctions : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre.

Les documents :

- un mémoire descriptif, explicatif et justificatif abordant :
  - l'étude comparative des différentes solutions ;
  - la justification du choix de la solution d'ensemble notamment par référence au coût total ;
  - la description sommaire de la solution d'ensemble préconisée, énumérant les ouvrages et indiquant les caractéristiques fonctionnelles de chacun d'eux.
- une estimation sommaire des dépenses :
  - dépenses des reconnaissances supplémentaires, des études et de la construction ;
  - frais de libération de l'emprise, de raccordements, droits et taxes, frais financiers ;
- le dossier de la solution d'ensemble préconisé : croquis, esquisses, schémas, plans masse et de situation, notes techniques et de calcul.

I - 2 - 4 L'avant projet détaillé :

Il s'agit d'un travail qui permettra d'élaborer le **dossier de consultation des entreprises.**

La solution d'ensemble retenue à l'APS est ici affinée afin de présenter les choix architecturaux et techniques et d'établir une estimation détaillée des dépenses d'exécution. Cette étude porte sur l'appréciation des reconnaissances complémentaires, des règlements, sur le principe de construction, les fondations et

structures et leur dimensionnement, les dispositions générales et les principes d'équipement, la nature et la qualité des matériaux et matériels employés, les modalités générales et délais d'exécution.

Les fonctions : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre.

Les documents :

- un mémoire à caractère descriptif, explication et justificatif portant sur :
  - l'indication de l'ensemble des données utiles (sol, climat et autres contraintes de site) et de leurs conséquences ;
  - l'indication de l'ensemble des dispositions réglementaires et de leurs conséquences ;
  - la justification des types d'ouvrage préconisés et, éventuellement, les variantes susceptibles d'être admises ;
  - la description des ouvrages et de leurs composants afin d'expliquer les modes de construction et d'exploitation et de faciliter la compréhension des plans ;
  - l'identification des différents lots techniques ;
  - l'indication du planning d'exécution ;
- une évaluation détaillée des dépenses, liées à l'exécution des ouvrages, généralement fondée sur un avant-métré ;
- le dossier technique des ouvrages :
  - les plans d'ensemble représentant les ouvrages dans leur site ;
  - les plans de disposition générale et des divers niveaux au 1/200° ou 1/100° avec indication des surfaces ;
  - les plans et schémas des principaux équipements (chauffage, sanitaire,...) ;
  - les plans de principe de fondations et de structure ;
  - les plans de principe des réseaux et des raccordements aux réseaux publics ;
  - les plans détaillés (1/20°, 1/10°) de certains éléments répétitifs, de certains assemblages, détails de fabrication de certains composants (détails de menuiserie,...).

I - 2 - 5 Les études de projet, la constitution du dossier de consultation des entreprises (DCE) :

Il s'agit d'études de détail relatives à l'exécution des ouvrages sur la base d'un APD accepté par le maître d'ouvrage. Ces études portent sur la détermination dans tous leurs détails des dispositions architecturales et techniques des ouvrages et la spécification des lots techniques : caractéristiques fonctionnelles, dimensionnelles et de positionnement de tous les détails des ouvrages, choix des matériaux et équipements, allotissement des travaux, planning d'exécution détaillé tout corps d'état, estimation détaillée du coût du bâtiment et des réseaux.

C'est également lors de cette phase de la conception que l'on déterminera la nature du marché (entreprises groupées, entreprise générale, ...) dans la mesure où ce choix aura une forte influence sur le rôle du maître d'œuvre.

Les fonctions : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre.

Les documents : Les documents du DCE seront essentiellement extraits de l'APD :

- modèle d'acte d'engagement (précisant les parties contractantes, le prix et les modalités de paiement, le délai) ;

- planning d'exécution détaillé ;

- plans complétés par des schémas fonctionnels, des notes techniques et de calcul ;

- spécifications techniques détaillées (cahier des clauses techniques particulières ou CCTP) ;

On trouvera en plus un devis quantitatif énumérant les diverses unités d'œuvre employées dans la construction et indiquant la quantité nécessaire pour chacune d'elles. Dans le cadre d'un marché à prix forfaitaire, l'entreprise consultée indiquera le prix unitaire et le prix total relatifs à chaque ligne du quantitatif de manière à calculer le prix total de son intervention qui deviendra alors contractuel si le marché est signé.

Dans le cas des marchés à prix unitaires, l'entreprise remplira seulement un bordereau de prix unitaires, lesquels seront affectés ensuite de la quantité des travaux effectivement réalisés.

Enfin, seront joints au DCE, le cahier des clauses administratives particulières ainsi que le cahier des clauses techniques générales (documents normatifs à caractère technique).

I - 2 - 6 La préparation du chantier :

Il y a souvent conflit entre l'intérêt de l'ouvrage collectif et les intérêts internes à chaque entreprise. La phase de préparation de chantier devra y remédier.

A l'intérieur de l'entreprise, le dossier est passé du service commercial, qui avait élaboré la réponse à l'appel d'offre, au service technique ou de travaux qui révisera les objectifs à atteindre en fonction des contraintes qui pèsent sur l'entreprise (plan de charge, disponibilité de la main d'œuvre et des matériels, ...).

La phase de préparation de chantier consiste en fait à préparer la production.

Les fonctions : la maîtrise d'œuvre, la réalisation.

Les documents : planning d'exécution détaillé, l'échéancier de versement des acomptes, le plan d'installation de chantier et le plan d'hygiène et sécurité, le planning d'arrivée des documents sur le chantier.

I - 2 - 7 Les études d'exécution :

Les modes opératoires n'ayant généralement pas été pris en considération dans le devis descriptif, on va définir la manière dont les entreprises vont exécuter leur travail ainsi que les modification de détail qui faciliteront leur travail.

Les fonctions : la maîtrise d'œuvre, la réalisation.

Les documents : plans d'exécution détaillés, dessins et schémas fonctionnels tels que les plans de ferraillage.

I - 2 - 8 Les travaux de construction :

Il s'agit de contrôler les opérations, d'organiser les réunions, de diffuser les informations, de veiller de la conformité des travaux aux pièces contractuelles, de lancer les ordres de service.

Elle intègre une importante composante de "comptabilité de travaux" : en fonction de l'avancement des travaux et selon différents processus possibles, des acomptes sont versés aux entreprises. Il convient de comparer ces versements à l'échéancier qui avait été établi au cours de la conception. La comptabilité de travaux abordera également le problème du compte inter-entreprises, c'est à dire la répartition des dépenses communes relatives au chantier (installations, eau, électricité,...).

Les fonctions : la maîtrise d'œuvre, la réalisation.

Les documents : les situations, les comptes-rendus de réunion de chantier, les fiches journalières de travail.

On trouvera page suivante (Fig. 1.1) un schéma représentant les échanges théoriques d'informations entre fonctions au cours d'un projet. D'autres schémas peuvent être établis : ils correspondent à des contextes différents d'opération ou de collaboration entre acteurs, ou ne présentent pas les mêmes niveaux de détail et de globalité. Les différences avec notre schéma portent alors essentiellement sur les détails et non sur le fond.

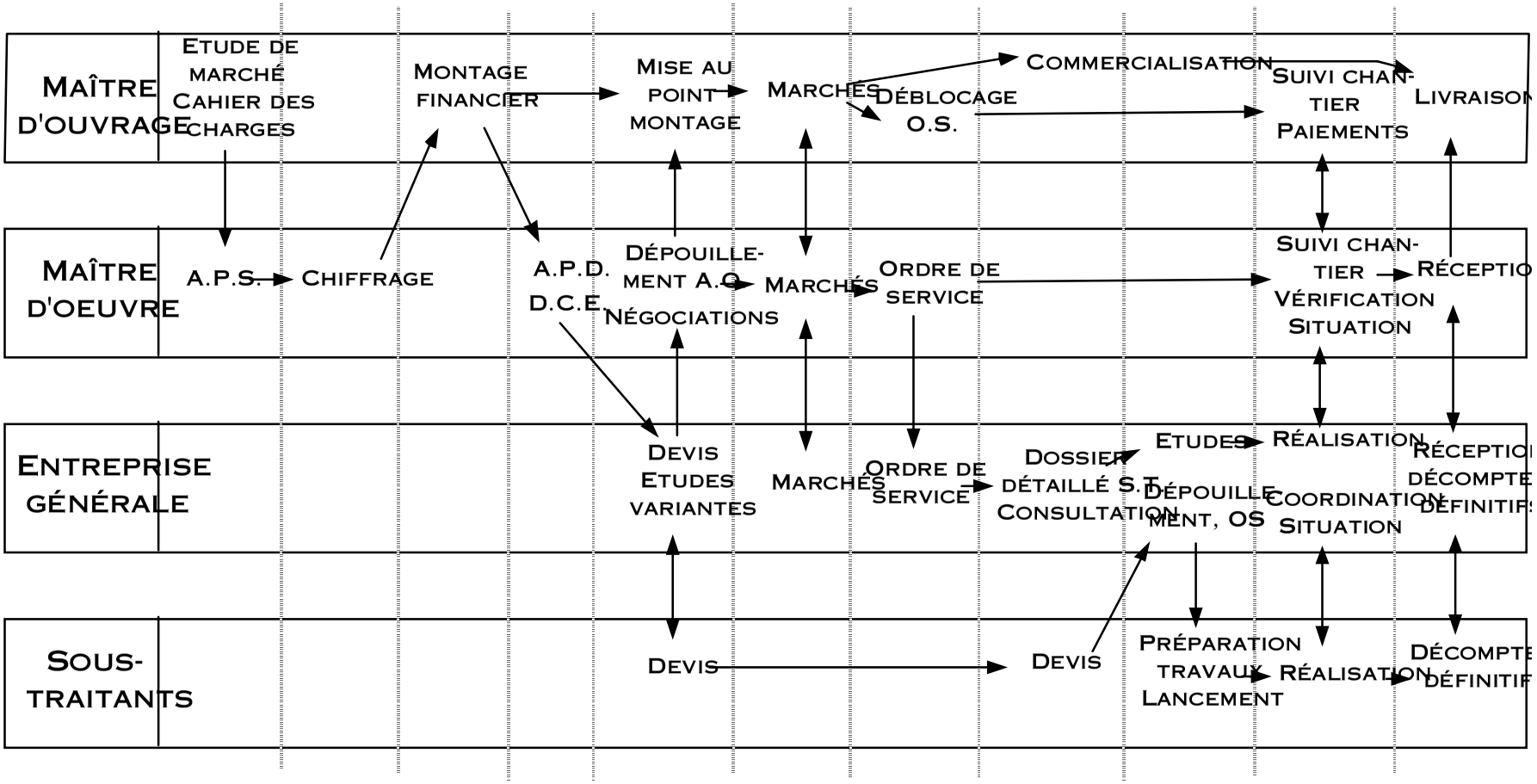


Figure 1.1 : Les échanges théoriques d'informations au cours d'un projet de bâtiment

II - La gestion de projet de bâtiments :

Dans cette deuxième partie, nous apportons quelques définitions [AFI 89] [AFI 92] [MOR 90] afin de préciser les différents aspects de la gestion de projet que nous aborderons par la suite. Nous ferons également un bilan sur la pratique actuelle de la gestion de projet dans le milieu du bâtiment.

L'un des résultats de cette analyse est l'élaboration d'un cahier des charges pour la réalisation d'un outil complet de gestion de projet de bâtiments (annexe 2).

II - 1 Gestion de production et gestion de projet :

Compte tenu du grand nombre d'acteurs concernés par le déroulement d'un projet de bâtiment, la gestion de projet dans ce domaine peut être vue sous différents angles. Par exemple, pour le maître d'ouvrage, elle commencera par la définition du programme et finira avec la fin de la garantie décennale ; pour le maître d'œuvre, elle commencera avec la conception et finira avec l'achèvement de la réalisation ; pour l'entreprise, elle se limitera à son intervention sur le projet et sera en fait intégrée à l'organisation interne de sa production.

Parallèlement aux différentes façons de définir les limites du projet, il existe différents niveaux de détail dans sa décomposition qui peut évoluer de façon presque continue entre la définition de grandes étapes (telles que le programme, les études, la réalisation et l'utilisation du bâtiment) et la définition de "micro-tâches" qui pourraient correspondre à la programmation de chaque mouvement d'un robot.

Malgré la coexistence de ces nombreux points de vue, on observe deux grands types d'activités, dont les noms respectifs ne sont pas toujours utilisés à bon escient :

- la **gestion de projet** elle-même, qui consiste à établir l'ensemble complet et précis des caractéristiques du projet, à mettre au point un système de contrôle et de prise de décisions, et à faire fonctionner ce système, notamment en répartissant les moyens de production et en optimisant leur utilisation, jusqu'à l'aboutissement du projet. Elle ne concerne qu'un seul projet mais , en revanche, implique plusieurs entreprises dont les interventions sur ce même projet devront être coordonnées de manière à optimiser le délai et le coût ;

- la **gestion de production** propre à une seule entreprise et qui consiste pour celle-ci à optimiser l'utilisation des moyens de production qu'elle mettra en œuvre pour participer à la réalisation des projets sur lesquels elle intervient. Elle doit alors répondre à la question: comment fabriquer, quand et à quel prix? La réponse est apportée par la définition des actions, par le plan de production, par la gestion des stocks et des approvisionnements, par le suivi de la qualité, par la maîtrise des coûts, et aussi par la maintenance de l'outil de production. Par conséquent, la gestion de production correspond généralement à un niveau de détail beaucoup plus fin.

On représente ci-dessous l'imbrication (décrite plus précisément dans [MOR 90]) qui existe entre gestion de projet et gestion de production (Fig. 1.2).

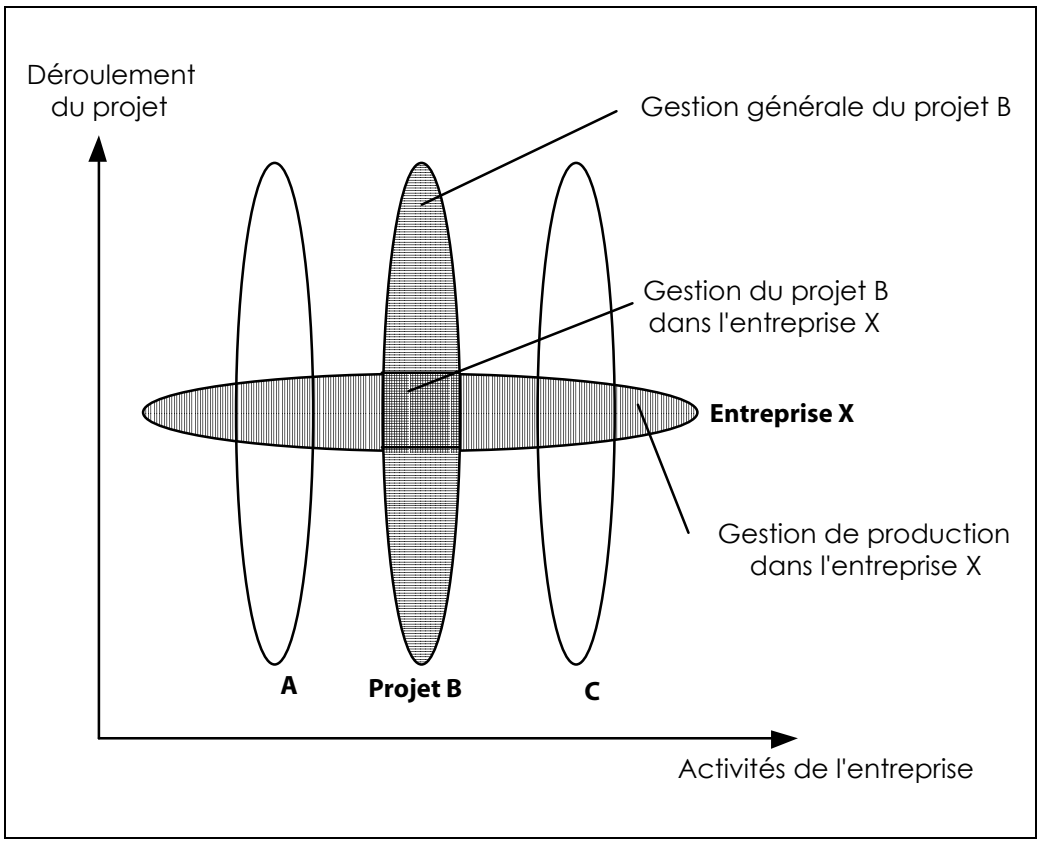


Figure 1.2 : gestion de production et gestion de projet

L'intersection entre l'axe vertical (le projet) et l'axe horizontal (l'entreprise) illustre la nécessité de trouver un compromis entre les intérêts de l'entreprise, intervenant sur plusieurs projets, et le bon déroulement du projet, confié à plusieurs entreprises.

Sans négliger les aspects de gestion de production, nous avons choisi de centrer notre étude sur la **gestion de projet**. La définition que nous en donnons plus haut laisse entrevoir divers aspects. En fait, la description de la gestion de projet n'est pas figée : elle varie notamment en fonction de celui qui en a la charge, du type de projet et de son contexte. Cependant, deux aspects, étroitement liés, caractérisent typiquement la gestion de projet de bâtiments :

- la **planification**, qui concerne la gestion du temps et des ressources ;

- la **maîtrise des coûts**, qui aborde les problèmes d'enveloppe financière, des budgets prévisionnels, des situations et de la comptabilité des travaux.

A ces deux aspects fondamentaux, on peut ajouter :

- la gestion des différents documents relatifs au projet (organisation de leur production, de leur classement, de leur mise à jour, la diffusion de l'information,

la constitution du dossier des ouvrages exécutés) ;

- la vérification de la conformité (présentation des échantillons, gestion de la qualité, organisation de la réception des travaux) ;

- l'analyse des variantes proposées par les entreprises.

L'annexe 2 détaille ces différents aspects en précisant notamment leurs préoccupations respectives en termes de prévision, de suivi et de bilan.

Dans le paragraphe suivant, nous privilégions les deux aspects fondamentaux (maîtrise des coûts et planification) que nous décrivons successivement. Nous montrons les différences dans leur principe ainsi que les interactions qu'ils présentent.

II - 2 La planification et la maîtrise des coûts :

II - 2 - 1 La planification et les différents niveaux de détail :

La planification consiste à traduire la description des bâtiments, élaborée au cours des phases de conception, en termes de travaux à exécuter pour réaliser le projet. Ces travaux sont décomposés en différents lots et en différents lieux d'exécution, autrement dit, en un certain nombre de **tâches**. La planification détermine également les attributs reliés à ces tâches (durée, consommation, contraintes,...) et, par une technique d'**ordonnancement**, organise leur exécution de manière à optimiser le délai total mais aussi l'utilisation des moyens de production. Le résultat de l'ordonnancement est généralement présenté sous forme de **plannings**.

Nous avons évoqué, dans le paragraphe précédent, la progression quasi-continue des différents niveaux de gestion de projet de bâtiments. Néanmoins, en observant la pratique, nous avons distingué certains niveaux de détail significatifs :

- niveau 0 ou global ;

- niveau 1 ou enveloppe ;

- niveau 2 ou détaillé ;

- niveau 3 ou très détaillé.

Ces quatre niveaux apparaissent successivement au cours de l'évolution de la définition du projet. Le tableau suivant montre le lien que l'on peut ainsi établir entre niveau de détail de la planification et niveau de conception. Ce même tableau indique quels sont les principaux utilisateurs de chaque niveau de détail.

Niveau de détail	Avancement du projet	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Entreprise générale	Sous-traitants
0	Programme	X	(X)		
1	Avant projet		X	(X)	
2	Programme détaillé			X	X
3	Chantier			(X)	X

Si les différents niveaux de détail apparaissent successivement au cours de l'évolution du projet, en revanche, ils doivent ensuite coexister de façon cohérente.

On verra plus loin que cette notion de niveau de détail sera fréquemment prise en compte.

Comme nous l'avons évoqué plus haut, l'articulation entre la gestion de projet et la gestion de production est liée à la notion de niveau de détail. En terme de type de planning produit, cela se traduit de la façon suivante :

Niveau de détail	Objectif : Gestion de projet	Gestion de production
0	Global	
1	Enveloppe	*(éventuellement)*
2	Détaillé tout corps d'état	Détaillé exécution
3	*(éventuellement)*	Détaillé jour par jour

Chaque planning est réalisé d'une part à partir d'informations relatives au projet et aux entreprises, et, d'autre part grâce à la "valeur ajoutée" qu'apportent les connaissances du planificateur.

II - 2 - 2 Les coûts :

Le problème de la maîtrise des coûts ne peut pas être abordé de manière tout à fait parallèle. Dans ce domaine, deux méthodes de calcul peuvent être employées : la première correspond à une estimation très globale, d'après des ratios, la seconde, plus précise, correspond à une estimation faite à partir d'informations plus précises, telles que le quantitatif. L'utilisation de l'une ou de l'autre méthode dépend de la précision et de la rapidité souhaitées, ainsi que de la quantité et de la nature des informations disponibles.

Pour le maître d'ouvrage, l'aspect coûts va consister à estimer, lors de l'élaboration du programme et selon la première méthode de calcul, une première **enveloppe financière prévisionnelle**.

Le maître d'œuvre, afin de confirmer cette enveloppe financière, disposera de plus d'informations sur le projet et pourra donc utiliser la seconde méthode de calcul pour établir un **budget prévisionnel.** Dans les phases plus avancées de la conception, il devra établir l'**échéancier de versements des acomptes**, c'est à dire prendre en compte le planning afin de prévoir l'étalement des dépenses au cours du projet. Enfin, au cours de la réalisation, il interviendra pour établir les **situations** afin de déterminer les versements effectifs et de les comparer à l'échéancier.

Au niveau de l'entreprise, l'aspect coût sera également abordé de différentes manières au cours de l'évolution du projet :

- dans un premier temps, c'est un diagnostic ou **chiffrage rapide**, de manière à savoir si le dossier d'appel d'offre présente un intérêt pour l'entreprise. Ce chiffrage sera fait avec la première méthode de calcul (en fonction de certains indicateurs

tels que le linéaire de façades en fonction de la surface de plancher,...) ;

- ensuite, c'est l'**étude de prix**, un chiffrage détaillé fait avec la deuxième méthode de calcul (d'après le dossier d'appel d'offre, les plans). Dès ce stade, on peut aussi faire une pré-étude, c'est à dire une approche plus fonctionnelle (quels moyens seront mis en œuvre,...). Cette méthode sera privilégiée pour les tâches où la plus grande partie des déboursés correspond à l'emploi de la main d'œuvre et à l'utilisation de matériel (comme le terrassement par exemple). Il s'agit de cas où le choix des moyens mis en œuvre a une grosse incidence sur le coût, contrairement aux tâches faisant appel à l'utilisation de quantités importantes de matériaux, quantités indépendantes de la méthode choisie. La pré-étude imposera donc d'avoir déjà établi un planning de manière à évaluer la durée d'utilisation des divers matériels ;

- ensuite, après l'étude de prix, une fois le marché obtenu, démarre l'étude travaux, sur la base de plans plus détaillés. Cette étude ne sera pas forcément plus précise que la précédente mais elle correspondra à un découpage différent (par tâche, plutôt que par ligne du quantitatif) de manière à préparer un **budget de chantier**. Cette étude distinguera les coûts des matériaux (directement proportionnels au métré) des coûts matériel/main d'œuvre (liés à la méthode).

- enfin, au cours de la réalisation, l'entreprise générale devra assurer la **comptabilité de travaux**, c'est à dire, sur la base des situations, comparer prévisionnels et versements réels, et aussi gérer les comptes inter-entreprises. Des tâches qui en fait ne font pas appel aux règles générales de la comptabilité telle qu'on la définit habituellement.

II - 3 Interaction réalisation/conception :

Même si la phase "réalisation" apparaît chronologiquement à la fin du projet, certaines de ses caractéristiques doivent être prises en compte en amont, compte tenu de leur répercussion sur la conception du projet.

Ainsi, le choix des moyens de production peut interdire certaines solutions techniques envisagées lors de la conception. Et dans tous les cas, les coûts prévisionnels devront prendre en compte (qualitativement et quantitativement) les moyens de production utilisés. Ce choix des moyens de production peut être dictés par des contraintes de délais à respecter. Ces mêmes contraintes de délais peuvent interdire, au moment de la conception, certains choix techniques dont la mise en œuvre serait dans tous les cas trop longue. Enfin, les contraintes qui s'exercent sur la réalisation (conditions particulières d'accès au chantier, de voisinage, de climat, ...) se traduisent par une organisation spécifique du chantier dont les répercussions peuvent se propager jusqu'aux choix techniques.

Exemples :

> *- un système de chauffage électrique individuel peut être choisi en remplacement d'un chauffage central au gaz en vue de réduire les coûts et délais d'installation. Ce choix, imposé par des considérations relatives à la planification et à la maîtrise des coûts, se traduit par des choix techniques*

imposés dans les phases de conception.

- les contraintes climatiques particulières des sites de haute altitude imposent souvent l'utilisation d'ouvrages en béton préfabriqué : ce choix doit alors être pris en compte dans les phases de conception et se traduit, au moment de la réalisation, par l'existence de tâches caractéristiques de la mise en œuvre d'ouvrages préfabriqués.

De cette interaction entre conception et réalisation résulte une forte liaison entre la conception et la gestion de projet. Cette liaison et la problématique qui en résulte sont à l'origine de ce travail de recherche. Elles sont décrites plus précisément dans le prochain chapitre. Elles nous amèneront à faire des propositions dont nous vérifierons ensuite la faisabilité pour un domaine restreint de la gestion de projet, la planification, que nous présentons ci-dessous.

III - La planification :

Le contexte de notre étude est la planification vue par le maître d'œuvre d'exécution, autrement dit, la maîtrise des délais et la gestion des moyens, qui nécessite l'identification des travaux à réaliser.

Les résultats de la planification s'expriment, entre autres, sous forme de **plannings**. Dans cette troisième partie, nous décrivons les différents niveaux de détail de la planification à travers les différents types de plannings les plus courants, puis nous décrivons les principales notions utilisées dans l'établissement de ces plannings : les tâches, les zones, les contraintes.

III - 1 Les plannings :

Nous avons vu dans le paragraphe précédent comment nous avions été amenés à considérer différents types de plannings. La description de ces différents types de plannings permet de montrer les différents niveaux de détail de la planification. Nous donnons ci-dessous la description des cinq principaux d'entre eux. Nous présentons, en annexe 1, un exemple pour chacun des types de plannings présentés ci-dessous.

III - 1 - 1 Le planning global :

Il est établi par le maître d'ouvrage (éventuellement en collaboration avec le maître d'œuvre) à partir de ratios et visualise quelques grandes phases du déroulement du projet dans son ensemble, y compris les phases d'études et de commercialisation [HUO 90]. A ce niveau, on parle en fait plus de "calendrier" dont l'un des buts est d'évaluer la faisabilité du projet dans le temps.

III - 1 - 2 Le planning enveloppe :

Il s'agit d'un document de référence qui aura pour objet d'indiquer les intervalles de temps attribués à chaque lot ou corps d'état (c'est à dire à un ensemble de travaux correpondant à un découpage technique du projet). Il est élaboré par le maître œuvre, ou éventuellement par les services spécialisés du maître d'ouvrage, par le pilote ou par l'entreprise générale. Il représente l'enchaînement de 10 à 20 **tâches enveloppes** (pouvant regrouper plusieurs corps d'état) avec une échelle de temps de l'ordre du mois et il est destiné aux entreprises et au maître d'ouvrage.

Le planning enveloppe est élaboré à partir d'informations relatives au projet à un niveau d'APS ou APTS (forme générale du bâtiment, surfaces de planchers,...) et aux moyens mis en œuvre, et d'après des ratios de cadence et de coûts. De ce planning, on pourra déduire les prévisions d'engagement de dépenses, l'enveloppe et les simulations financières, les dates "buttoirs" (dates fixes à respecter, comme la date de livraison du bâtiment par exemple).

III - 1 - 3 Le planning détaillé tous corps d'état :

Il a pour objet de synchroniser l'exécution, et éventuellement de remettre en cause certaines parties du planning enveloppe. Il est établi après la réalisation des plans détaillés et le choix des entreprises (avant le démarrage des travaux, théoriquement), par le pilote mandaté par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre lorsque sa fonction est étendue au suivi de l'exécution ou le coordinateur en entreprise générale. Il représente l'enchaînement d'une ou de quelques centaines de **tâches unitaires** dont la durée est de l'ordre de la semaine. Il est destiné aux entreprises sous-traitantes et au maître d'ouvrage.

Le planning tous corps d'état est réalisé à partir des informations sur la topologie et la géométrie de l'ouvrage, auxquelles s'ajoutent les connaissances relatives au délai d'enclenchement des tâches (par exemple, ratios sur les délais de séchage d'un enduit, cadence de pose,...) ainsi que les contraintes d'enclenchement entre les tâches. Les informations résultantes sont, pour chaque tâche, une date de début, une date de fin et une marge. Elles donneront au maître d'ouvrage des précisions sur la prévision des engagements de dépenses et, aux entreprises, des indications sur les dates d'approbation des plans, de présentation des échantillons, sur l'utilisation et la consommation des ressources.

III - 1 - 4 Le planning détaillé d'exécution :

Le planning détaillé d'exécution (comme le planning très détaillé) entre dans le cadre de la gestion de production des entreprises.

Réalisé essentiellement pour le gros œuvre, il a pour objet d'optimiser l'utilisation des différentes ressources, l'optimisation de certaines étant prioritaire par rapport à d'autres. Il est établi au démarrage du gros œuvre par le conducteur de travaux ou son mandataire. Il fait appel à la même partition de l'ouvrage que le planning tout corps d'état mais il représente l'enchaînement de tâches plus précises (par exemple, une tâche "réalisation d'un voile" du planning détaillé tout corps d'état se

décompose en "mise en place des banches", "coulage du béton" et "finitions" dans un planning détaillé d'exécution). Il est destiné à l'entreprise de gros œuvre, aux sous-traitants et, de fait, au responsable du planning tout corps d'état.

Les informations de départ proviennent des plans, des descriptifs, des moyens mis en œuvre, du système constructif et, théoriquement, du planning tout corps d'état qui devrait indiquer les dates "buttoirs". En fait, c'est ce dernier qui est la plupart du temps établi en tenant compte du planning détaillé d'exécution. Outre les dates, ce planning donnera des informations sur l'utilisation des moyens.

III - 1 - 5 Le planning très détaillé :

Dans ce type de planning, la tâche correspond à la réalisation d'un élément de l'ouvrage (tâche élémentaire). Il est établi au cours du chantier, pour chaque corps d'état concerné, par le conducteur de travaux, et aura pour objet d'optimiser le coût de production. Il est destiné aux chefs de chantier ou aux chefs d'équipes.

Réalisé à partir des informations relatives à l'ouvrage et aux moyens mis en œuvre, il permet de fournir une fiche d'instruction par équipe et par jour de travail.

III - 2 Les différents éléments du planning :

III - 2 - 1 Les tâches :

a) Les différents "niveaux" de tâche :

La nécessité d'aborder la planification à différentes étapes de la conception, pour différents acteurs, pour différents objectifs crée le besoin de définir une structure de hiérarchisation des tâches, de manière à pouvoir considérer différents niveaux de détails. On doit alors de définir les différents types de tâches correspondant aux différents types de plannings présentés dans le paragraphe précédent.

Par exemple, dans [DAR 88], les tâches de différents niveaux de détail sont partagées en deux catégories : d'une part les tâches simples (*simple actions*), celles qui ne peuvent être décomposées, d'autre part, les tâches composées (*compound actions*) regroupant en fait plusieurs tâches simples. Dans [HAP 76], les tâches sont répertoriées selon 5 catégories (Project - Activity - Operation - Process - Work task), la première représentant la mise en œuvre d'une technologie sur tout un bâtiment (par exemple, tous les travaux relatifs à la maçonnerie), la dernière représentant des interventions très ponctuelles (par exemple, mettre en place un parpaing).

Le premier cas semble plus adapté à un niveau conceptuel et non à la pratique de la gestion de projet de bâtiments. Notre notion de niveau de détail s'apparente davantage au deuxième cas, même si celui-ci présente une structure hiérarchique qui nous semble un peu "rigide" par rapport à la complexité de la représentation du bâtiment et de sa réalisation.

En ce qui nous concerne, nous avons retenu trois principaux types de tâche, en

regard des plannings les plus courants :

- La **tâche élémentaire** correspond au découpage le plus fin de la réalisation du projet. Elle représente un travail effectué par une petite équipe, avec un seul type d'outillage. Sa durée n'excédera pas quelques heures. Ce type de tâche sera utilisé pour organiser chaque journée de travail.

- La plus courante, la **tâche unitaire**, correspond à la réalisation, sans interruption, par une équipe donnée, d'un ouvrage ou ensemble d'ouvrages identifiable dans une zone donnée. L'ordre de grandeur de sa durée est la semaine. La tâche unitaire est utilisée pour établir un planning d'exécution détaillé tous corps d'état.

On peut en fait définir un niveau intermédiaire entre tâche élémentaire et tâche unitaire. En effet, si la tâche est considérée plus sous l'angle gestion de production que sous l'angle gestion de projet, on définit alors une sorte de tâche qui correspond au travail effectué par une équipe non plus dans une zone mais au cours d'une journée (planning détaillé d'exécution).

- La **tâche enveloppe** correspond à un regroupement de tâches unitaires qui représentera l'intervention, limitée éventuellement à un bâtiment ou à une tranche si le projet en comporte plusieurs, d'un corps d'état. Elle est utilisée par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre pour établir le planning enveloppe. L'ordre de grandeur de sa durée est le mois.

Exemples :

tâches élémentaires :

coulage d'un poteau ;

Pose d'un élément préfabriqué ;

*t**âches unitaires :***

lasure extérieur ;

carrelage d'un étage ;

tâches enveloppes :

menuiseries extérieures d'un bâtiment ;

réalisation de la superstructure d'un étage.

La description de ces différents types de tâches laisse apparaître une certaine **structure hiérarchique** : la tâche enveloppe regroupe des tâches unitaires qui elles-mêmes regroupent des tâches élémentaires. Connaissant les tâches élémentaires, on peut dès lors construire facilement, par regroupement, les tâches unitaires et les tâches enveloppes. Or, le niveau de détail de la planification généralement requis est d'autant plus global que le niveau de conception est précoce. Autrement dit, lorsque l'on souhaite identifier des tâches enveloppes, les informations relatives au projet ne sont pas assez précises pour identifier des tâches élémentaires susceptibles d'être regroupées pour constituer les tâches enveloppes. Ces dernières doivent alors être définies directement à partir des informations existantes, peu précises. Elles contraindront alors par la suite la définition des tâches présentant un niveau de

détail plus fin : les tâches enveloppes constitueront un cadre que devront respecter les tâches plus détaillées qui les composent. Cela impose des méthodes d'évaluation des tâches enveloppes suffisamment larges pour englober les différents cas de figures envisageables lorsque le niveau de détail s'affine.

Parallèlement à cette structure hiérarchique, certains types de tâches se distinguent de la définition classique :

- les **tâches fictives** : elles ne correspondent pas à des travaux mais elles sont définies de manière à pouvoir prendre en compte, lors de l'ordonnancement, certains événements ponctuels ou des contraintes spécifiques.

Exemples :

> *L'ordre de service et la réception des travaux (événements ponctuels), le séchage d'un ouvrage en béton (qui ne mobilise pas de ressources mais qui conditionne la poursuite des travaux) peuvent être prises en compte en tant que tâches fictives.*

- les **tâches "élastiques"** : elles correspondent à des travaux effectivement exécutés, cependant, leur durée n'est pas calculée en fonction de l'importance de ces travaux mais par rapport aux dates de début et de fin des autres tâches.

Exemple :

> *La tâche "électricité" dans un planning enveloppe débute généralement en même temps que le gros-œuvre et finit avec l'achèvement du chantier, les interventions de l'électricien étant réparties pratiquement tout au long du chantier.*

b) Les caractéristiques des tâches :

Une tâche se rattache à un contexte particulier de gestion de projet ou de gestion de production. En fonction de l'objectif recherché, on attribue un certain nombre d'informations aux tâches.

Les caractéristiques obligatoires :

- la localisation : celle-ci permet de lier la tâche à un espace. Cet espace correspond à une zone d'une partition du bâtiment (voir paragraphe suivant). La localisation consiste en la référence à une et une seule zone (une même tâche ne pouvant être exécutée sur plusieurs zones distinctes).

- la durée : elle s'exprime avec une unité de temps prédéterminée en fonction du niveau (de la minute au mois). Généralement, on donne plutôt un intervalle de durée variant entre une valeur optimiste et une valeur pessimiste, prenant en compte, par exemple, tous les aléas (ils sont nombreux !) susceptibles de ralentir l'exécution de la tâche.

Les caractéristiques optionnelles :

- les moyens : ils sont matériels, humains ou financiers. Les types de moyens ont un lien avec les niveaux : pour un planning global, on ne considérera que les

moyens financiers, alors que pour un planning très détaillé, on étudiera de manière très approfondie l'utilisation des moyens matériels.

- les contraintes : différents types de contraintes sont envisagés (voir paragraphe III-2-3).

- les attributs de tracé : il s'agit d'indiquer de quelle manière la tâche sera représentée sur le planning.

- Les attributs de suivi : cela consiste à indiquer un pourcentage d'avancement par exemple.

III - 2 - 2 Les zones de planification :

Le découpage en zones est le résultat de contraintes géographiques et de gestion de production. Il permet d'une part de localiser chaque tâche dans le projet et par rapport aux autres tâches, et, d'autre part, de décomposer l'exécution des travaux.

Les premières zones définies dans un projet sont les volumes résultant de la conception architecturale. A partir de ces volumes, on définit les locaux qui constituent des zones "de base" pour de nombreuses préoccupations. **Mais ces zones de bases sont ensuite regroupées différemment selon les utilisateurs, chacun d'eux réalisant sa propre recomposition spatiale en fonction de son point de vue** : le thermicien créera ainsi des zones thermiques [ZE 93], l'acousticien des zones acoustique [ACH 93],... En ce qui nous concerne, afin de répondre aux besoins de la planification, nous avons défini la **zone de planification**. **Cette zone est le regroupement continu et identifiable de locaux (ou zones élémentaires) qui constitue une unité vis à vis d'un type de tâche ; c'est un volume qui englobe un sous-ensemble du projet homogène vis à vis de sa réalisation.**

Exemple :

> *Dans un planning détaillé tout corps d'état, on définit généralement une tâche "pose des menuiseries extérieures" par étage de bâtiment. L'étage constitue alors une **zone de planification** pour ces tâches.*

On distingue différents types de zones de planification. Chacun est défini comme un regroupement de zones élémentaires - les locaux - et constitue la même zone globale - le projet lui-même (Fig. 1.3). Le rôle de la zone élémentaire est essentiellement d'établir une correspondance entre les zones ; la zone élémentaire n'est que très rarement utilisée comme zone de planification (sauf pour un niveau de détail très fin).

La figure 1.3 indique les différents types de zones identifiés et montre les liens hiérarchiques qui existent entre eux. Le cas des façades est particulier puisqu'il ne correspond à pas un regroupement de locaux, si l'on s'en tient à la définition habituelle de ces derniers. Nous montrerons dans le chapitre 4 la réponse que nous apportons à ce problème.

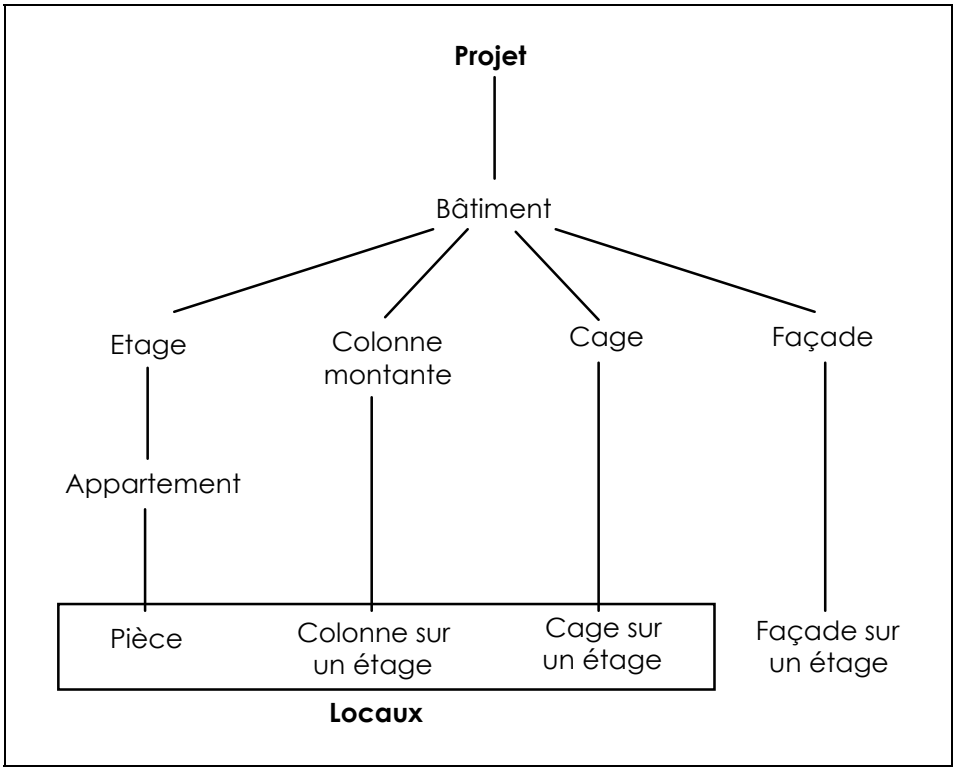


Figure 1.3 : la hiérarchisation des zones de planification

Le découpage en zones de planification est lié à la fois à la configuration géométrique et aux différents corps d'état. En effet, la "composition" des zones n'est pas la même selon les tâches. Le choix du type de zone pour un type de tâche prendra notamment en compte l'ordre de grandeur souhaité pour la durée des tâches.

Exemple :

> *Pour une tâche élémentaire telle que le terrassement, la zone est un bâtiment ; pour la peinture intérieure, c'est un étage d'un bâtiment ; pour l'isolation extérieure, c'est une façade.*

A tout instant, **le découpage en zones de planification représente une partition du projet,** mais cette partition n'est pas constante au cours de la réalisation, selon les tâches en cours d'exécution. On définit néanmoins une partition qui, elle, reste constante au cours du projet : c'est la partition en zones élémentaires. Elle doit être définie de manière très précoce.

Dans tous les cas, le découpage doit correspondre à des **zones continues et clairement identifiables** "sur le terrain". La notion de "zone identifiable" évolue au cours du projet : avant la pose des cloisons, on ne pourra pas forcément distinguer les différentes pièces d'un appartement alors que cela ne posera plus de problème une fois les cloisons installées.

On peut distinguer différentes sortes de relations entre zones de planification

voisines [MAN 79] :

- la **contiguïté simple** exprime le fait que deux zones ont une frontière commune (A est à côté de B) ;
- la **contiguïté orientée** (l'une est au-dessus de l'autre, par exemple) inclut en plus la notion de logique de progression, c'est à dire qu'elle permet d'envisager l'ordre de d'exécution d'une tâche dans deux zones voisines ;
- la **contiguïté** (simple ou orientée) **avec communication** permet de mettre en évidence les contraintes d'accessibilité à une zone lorsqu'une zone voisine est occupée ;
- la **contiguïté d'ensemble** caractérise des zones voisines formant un tout.

Ces relations constituent des attributs morphologiques des zones. De ces relations et des contraintes dues à la technologie vont être déduites les contraintes entre tâches (voir paragraphe suivant). Cela peut consister en une logique de progression ou de déclenchement qui n'est pas forcément la même selon les types de tâches

Exemple :

> *L'électricien, lorsqu'il installe ses gaines dans les colonnes montantes, progresse "verticalement", alors que lorsqu'il pose les appareillages électriques, il progresse "horizontalement", c'est à dire qu'il équipe tout un niveau avant de passer au niveau suivant.*

La non-simultanéité de l'exécution de deux tâches dans une même zone, l'interdiction de l'accès à une zone lorsqu'une zone voisine est occupée, la neutralisation d'une zone par le stockage de matériel ou par son utilisation provisoire comme bureau de chantier par exemple, constituent d'autres types de contraintes sur les zones. Ces contraintes deviennent particulièrement importantes dans le cas des travaux de rénovation ou de réhabilitation de bâtiments, c'est à dire lorsque des zones de planification habitées et des zones de planification en travaux coexistent dans un même bâtiment. [GLA 93] décrit plus précisément ce cas.

III - 2 - 3 Les contraintes :

La contrainte est le terme général désignant une relation entre deux ou plusieurs éléments susceptibles d'interagir.

Les différents types de contraintes :

- Les contraintes de succession :

Elles expriment la nécessité de démarrer ou de finir une tâche avec un certain délai par rapport au début ou la fin d'une autre tâche.

Exemple :

> *Dans une zone donnée, les travaux de fondation ne peuvent commencer avant la fin des terrassements ; dans une zone donnée, les travaux de pose de la moquette ne peuvent commencer avant la fin des travaux de peinture.*

Dans [TAT 77], les contraintes de succession (appelées *conditions*) sont séparées

en deux catégories : celles qui concernent un seul acteur de la réalisation (par exemple, commencer une tâche après la livraison des matériaux nécessaires) et celles qui lient différents intervenants (par exemple, construire les cloisons après le gros-œuvre).

- Les contraintes de disjonction entre tâches :

Elles traduisent la non-simultanéité de deux tâches. On les utilise lorsque l'on impose par exemple que deux tâches différentes ne peuvent pas être réalisées en même temps dans une même zone.

- Les contraintes de dates :

Il s'agit la plupart du temps de dates butoirs liées à des événements, indiquant la fin "au plus tard" d'une tâche.

Exemple :

> *Si telle tranche du projet doit être livrée à une date donnée, toutes les tâches doivent être achevées avant cette date.*

Ce type de contrainte peut aussi indiquer une date impérative "au plus tôt".

Exemple :

> *La date de livraison d'un matériau nécessaire à l'exécution de telle tâche correspondra à la date de début au plus tôt de celle-ci.*

- Les contraintes de moyens :

Ce sont des contraintes liées aux moyens de production tels que la main d'œuvre et le matériel. Elles traduisent les dates de disponibilité et de non-disponibilité, la limitation des moyens (contrainte plus ou moins forte suivant le type de moyens), la nécessité d'optimiser l'utilisation des moyens (avec une priorité pour certains d'entre eux). La prise en compte des contraintes de limitation de moyens est couramment appelée **nivellement**. Celle des contraintes d'optimisation dans l'utilisation des moyens peut consister à viser une certaine continuité dans la quantité de ces moyens affectés à la réalisation d'un projet : on parle alors de **lissage**.

- Les contraintes sur les consommations :

Elles traduisent les dates et les délais de disponibilité des ressources, les capacités et coûts de stockage et de production.

Certaines de ces contraintes peuvent être exprimées sous forme de tâches fictives telles que "production de plans", "transmission de documents", "réception d'un ouvrage", "commande d'un matériau",...

Ce premier chapitre a décrit le contexte de la gestion de projet de bâtiments qui correspond à notre domaine de recherche. Il a montré la complexité de ce domaine due à l'aspect typiquement multidisciplinaire de la conception et de la réalisation des bâtiments et au grand nombre d'acteurs qui en résulte.

Nous avons évoqué, dans ce chapitre, le lien existant entre la conception et la gestion de projet. Celui-ci est d'autant plus problématique qu'il se situe dans un domaine dont on a montré la complexité. Nous devons donc analyser plus particulièrement la liaison entre la conception et la gestion de projet. Le chapitre 2 présente cette analyse et montre la nécessité d'améliorer la liaison.

Chapitre 2

La liaison conception-gestion de projet : analyse et propositions

Les particularités de la gestion de projet de bâtiments et l'interaction entre la réalisation et la conception des bâtiments justifient un travail d'analyse spécifique de la liaison conception - gestion de projet. Cette analyse est présentée dans ce deuxième chapitre. Nous formulons ensuite des propositions en vue d'améliorer la liaison conception - gestion de projet ; les différentes étapes qui ont conduit à leur mise en œuvre ont constitué la trame de cette thèse.

Afin de préciser la notion d'interaction conception-réalisation, nous présentons une application de la gestion de projet faisant apparaître le processus d'analyse et de transformation des informations. Nous décrivons ensuite de manière plus globale la problématique de la liaison de la gestion de projet avec la conception. Enfin, nous proposons une solution informatique destinée à faciliter et optimiser cette liaison.

I - La liaison conception - gestion de projet ; l'exemple de l'élaboration d'un planning détaillé :

Afin d'illustrer la notion d'interaction conception-réalisation à travers une application de la gestion de projet, nous avons choisi de présenter le cas, assez représentatif, de la réalisation d'un planning détaillé : ce type de planning est suffisamment détaillé pour manipuler un nombre important d'informations et suffisamment global pour aborder l'ensemble des travaux de construction. Son élaboration est typiquement du ressort du maître d'œuvre d'exécution et elle prend en compte différentes informations qui sont analysées et transformées au cours de phases clés. Ces différentes phases sont présentées sur le schéma ci-dessous (Fig. 2.1).

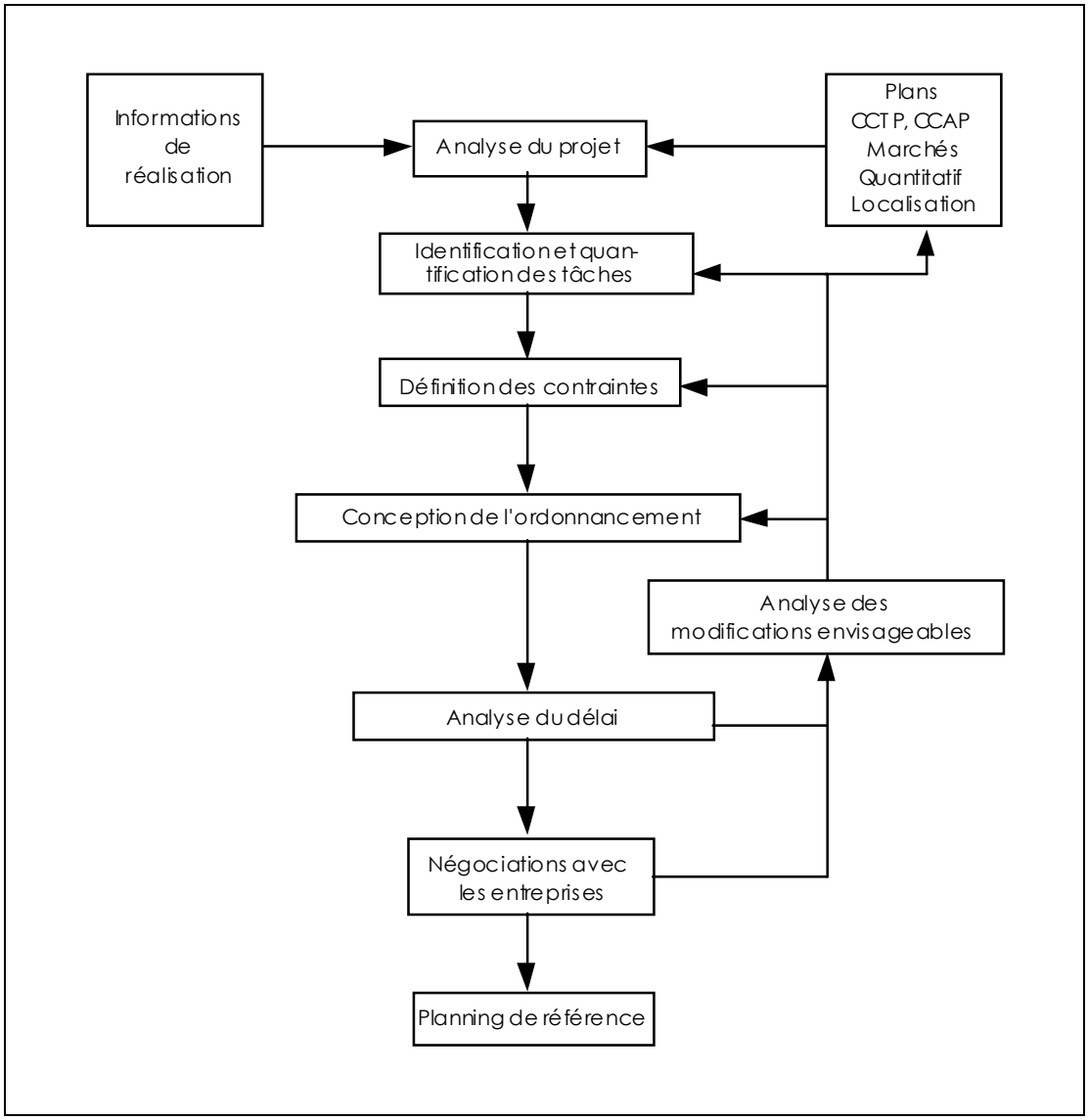


Figure 2.1 : principe d'établissement d'un planning détaillé TCE

Nous décrivons, dans les lignes qui suivent, les différentes étapes de l'établissement du planning détaillé tout corps d'état.

1 - Analyse du projet :

Elle se fait sur la base des documents suivants : les plans, le CCTP, le CCAP (y compris le planning enveloppe), le quantitatif, les marchés aux entreprises (ceux qui ont déjà été signés), les contraintes de localisation. Ces documents regroupent les informations de conception. L'analyse porte également sur les informations de réalisation fournies par les entreprises (moyens mis en œuvre) et par le maître d'ouvrage (climat, environnement, conditions d'accès,...).

Cette analyse permet dans un premier temps de "découper" le projet : en fait, un premier découpage existe déjà (découpage en lots, en entreprises). Le découpage

à définir dans cette analyse est **le découpage en zones de planification**. Celui-ci tient compte de la géométrie du bâtiment (c'est à dire de la possibilité d'identifier les zones au cours du chantier), de la programmation de la mise en service (en cas de livraison en plusieurs tranches successives par exemple), de la durée usuelle des tâches et de la méthode de travail liée à chacun des corps d'état.

2 - Identification des tâches :

Après le découpage en zones de planification, on aborde l'identification des tâches, c'est à dire que dans chacune des zones définies précédemment, on cherche quelles sont les interventions de chaque corps d'état. L'identification des tâches nécessite une phase préalable d'**identification des ouvrages à réaliser**. Chaque corps d'état a en charge la réalisation de certains types d'ouvrages et procède par rapport à un certain type de zone de planification. Cette recherche équivaut à remplir les cases d'un tableau constitué par autant de lignes qu'il y a de zones dans le projet et par au moins autant de colonnes qu'il y a de corps d'état (pour les corps d'états auxquels correspondent plusieurs types de tâches sur le projet, on prévoit autant de colonnes) ; dans chaque case de ce tableau, on dispose alors les ouvrages appartenant à une zone donnée et correspondant à une intervention donnée d'un corps d'état donné.

Exemple :

> *Le corps d'état **Gros œuvre** exécute deux types de tâches : la réalisation des porteurs verticaux et la réalisation des porteurs horizontaux. Le type de zone associé à ces interventions est l'étage. Dans le tableau ci-dessus, on définit ainsi deux colonnes pour le gros œuvre et autant de lignes que le bâtiment comporte d'étages. Dans la colonne correspondant à l'intervention réalisation des porteurs verticaux, chaque case contiendra tous les poteaux et murs porteurs de l'étage correspondant.*

Zone	Terrassements	**Gros œuvre**		Charpente	etc...
		réalisation des verticaux	**réalisation des horizontaux**		
RC		**mur1, mur2, mur3, mur4, ... poteau1, poteau 2**	**plancher1, plancher2, poutre 1, poutre 2**		
Etage 1		**mur 10, mur 11, mur12, mur14,...**	**plancher 3, plancher 4, poutre 3, poutre 4**		
Etage 2		**...**	**...**		
etc...					

3 - La quantification et l'homogénéisation des tâches :

En fonction de la quantité de travail liée à la tâche, on détermine sa consommation de ressources, sa durée et son coût. La quantification doit permettre de vérifier si la durée des tâches ainsi identifiées est correcte : pour un planning détaillé, l'ordre de grandeur de la durée d'une tâche est la semaine (bien que certaines tâches puissent avoir une durée très différente : le terrassement par exemple, dont la durée sera plutôt proche du mois, ou la réception, qui ne durera qu'un jour). Si tel n'est pas le cas, on remet en cause le découpage en zones (par regroupement ou décomposition suivant le résultat recherché) de manière à obtenir des tâches de durée correcte. **Il ne s'agit pas là d'optimiser la durée des tâches en accélérant le rythme des travaux mais de proposer un découpage des travaux adapté à l'échelle de temps liée au niveau de détail du planning.**

4 - La définition des contraintes de succession :

On ne dispose en fait que très tardivement de toutes les informations nécessaires qui permettraient de connaître l'ordre de succession entre toutes les tâches. **Celui-ci dépend notamment du processus de réalisation propre à chaque entreprise**.

Exemple :

> *Si une entreprise de gros œuvre réalise les ouvrages de béton armé avec des coffrages traditionnels, des contraintes de succession sont définies entre les tâches de réalisation des porteurs verticaux et celles de réalisation des porteurs horizontaux. En revanche, si elle utilise des coffrages tunnels, les porteurs verticaux et horizontaux seront réalisés en même temps.*

Dans certaines phases précoces de la gestion de projet, on pourra donc être amené à faire des hypothèses quant aux processus de réalisation qui seront employés.

5 - Conception de l'ordonnancement :

L'ordonnancement consiste à calculer les dates caractéristiques des tâches (date de début au plus tôt, au plus tard, ...) en fonction de leur durée et des contraintes de succession. A ce niveau de l'élaboration du planning, on prend en compte certaines "subtilités" de manière à être d'emblée le plus proche de ce qui se passera dans la réalité.

Exemples :

> *Contrairement à la pratique habituelle, il est intéressant de prendre en compte la durée du week-end pour certaines tâches "fictives" telles que le séchage du béton puisqu'en fait elle ne se déroule pas uniquement sur les jours ouvrables.*
>
> *Par ailleurs, suite à un premier ordonnancement, il est préférable de s'assurer le plus tôt possible du respect du planning en faisant par exemple débuter les tâches les lundis, de manière à ce que les entreprises ne démarrent pas leur semaine sur un autre chantier sur lequel elles risquent de prendre du retard. Dans le même ordre d'idée, si l'on a calculé que la durée d'une tâche était de 4*

jours, autant estimer d'emblée qu'elle sera plutôt de 5 jours, c'est à dire une semaine, puisqu'il y a de grandes chances pour que l'entreprise s'organise de sorte qu'il en soit ainsi.

Moyennant ces considérations, on trace le planning et on déduit de l'ordonnancement le délai global d'exécution.

6 - Analyse du délai et des modifications envisageables :

Le délai calculé est confronté aux exigences du maître d'ouvrage. **S'il n'est pas accepté, on doit alors analyser quelles sont les modifications que l'on doit apporter afin de répondre aux exigences partielles ou globales**. Ces modifications visent généralement à obtenir un délai de construction plus court. Cet objectif peut être atteint de différentes manières :

- en remettant en cause l'ordonnancement, par exemple en ne respectant plus certaines contraintes de disjonction ou de succession, ou en ne garantissant plus la continuité d'intervention pour toutes les entreprises ;

- en modifiant les moyens de production (augmentation des moyens, utilisation de moyens plus performants) ;

- en modifiant certains ouvrages (utilisation de procédés ou de matériaux permettant une mise en œuvre plus rapide, abandon de certaines prestations, diminution de surface, de volume, ...).

7 - Négociations avec les entreprises :

Lorsque le délai répond aux exigences du maître d'ouvrage, les négociations sont engagées avec les entreprises sur la base des dates respectives de leurs interventions déterminées à partir du planning. Si le plan de charge de l'entreprise ne permet pas de respecter le planning établi, une nouvelle analyse des modifications envisageables est faite, puis un nouveau planning élaboré et proposé.

8 - Etablissement d'un planning de référence:

Il est obtenu lorsque le délai imposé par le maître d'ouvrage est atteint et lorsque les négociations avec les entreprises ont abouti. Si ce planning est relativement "stabilisé" dans sa conception, on peut difficilement dire de lui qu'il est définitif : en effet, il sera très probablement remanié tout au long du chantier en fonction de l'avancement réel des travaux des modifications apportées au projet au cours de la construction. Il jouera alors le rôle de **planning de référence**, parallèlement auquel sera tenu à jour un **planning de suivi**, la différence entre les deux visualisant les retards ou (plus rarement !) les avances et permettant d'envisager les moyens d'action pour tenir le délai.

II - La problématique liée à la liaison Conception - Gestion de projet :

Actuellement, les phases du processus d'établissement du planning détaillé qui requièrent la plus grande partie du savoir faire du maître d'œuvre d'exécution sont les phases d'identification et de quantification des tâches et de définition des contraintes, à partir de l'analyse du projet. Les autres phases, telles que l'ordonnancement, le traçage des plannings et le suivi de chantier, correspondent à des traitements de l'information plus simples et, de plus, elles peuvent être largement facilitées par l'utilisation d'outils informatiques généralement performants.

Les phases de constitution d'un réseau de tâches à partir de l'analyse du projet correspondent à la génération d'informations d'un type différent de celles, résultant de la conception, qui décrivent le bâtiment d'un point de vue technique et géométrique.

On peut dès lors distinguer deux principaux types d'informations :

Les informations de conception :

Il s'agit de la description des différents composants du projet : leur nombre, leur localisation, leurs fonctions, leurs dimensions, les liaisons éventuelles entre eux. Ce sont par exemple les informations contenues dans un descriptif quantitatif.

Les informations pour la gestion de projet :
Il s'agit d'informations relatives à la réalisation des composants décrits ci-dessus. Ces informations sont essentiellement articulées autour de la notion de tâche et des caractéristiques qui lui sont associées. Nous rappelons alors ces caractéristiques, décrites dans le chapitre précédent : une localisation, une durée, des moyens, des contraintes, ...

Même si elles décrivent un même projet, ces informations présentent de grandes différences dans leur structuration : les informations de conception sont présentées selon un **découpage géométrique** des bâtiments eux-mêmes alors que les informations pour la gestion de projet découpent la **réalisation** des bâtiments en intégrant la notion de **temps**.

L'exemple de l'élaboration d'un planning détaillé n'est qu'un aspect très partiel de la liaison entre la conception et la gestion de projet. Il illustre cependant le type de difficultés qui lui sont liées en raison de la nature des différents informations manipulées. Ces difficultés sont d'autant plus importantes que les informations de conception peuvent être détenues par différents concepteurs (architecte, bureau d'étude structure, thermique, ...) et que les informations pour la gestion de projet doivent être adaptées aux besoins des différentes sous-fonctions (maîtrise des délais, des coûts,...). Il en résulte une certaine complexité liée par ailleurs à l'évolutivité du niveau de conception et à la coexistence des différents niveaux de détail de la gestion de projet.

La figure 2.2 représente les différents types de liaisons liés à la liaison entre conception, et gestion de projet. En fait, elle doit être reproduite pour chaque niveau de conception et pour chaque niveau de détail de la gestion de projet.

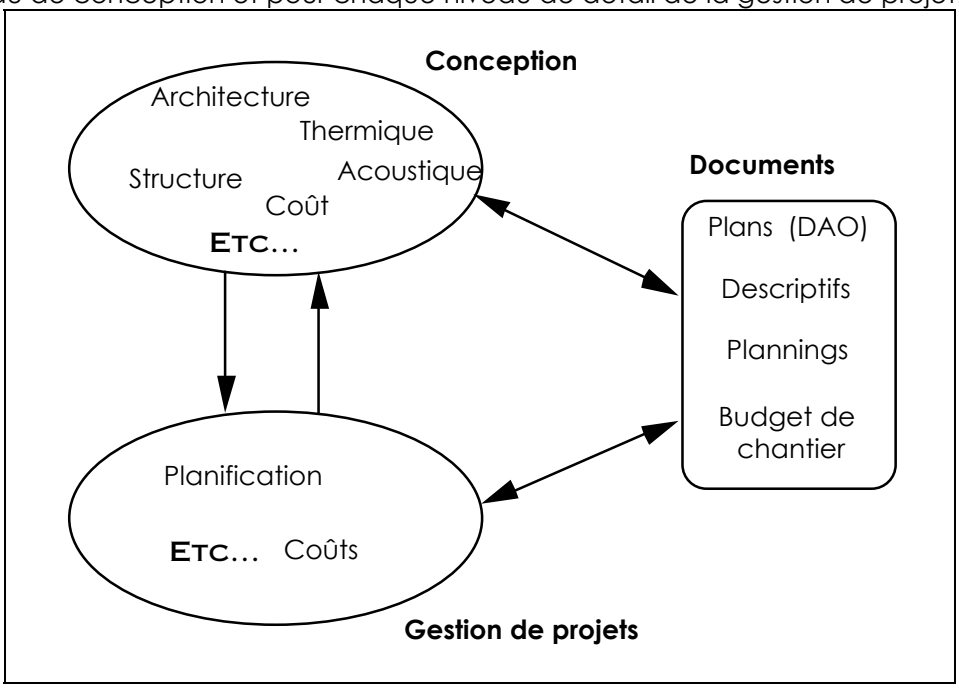


Figure 2.2 : l'interaction conception / gestion de projet

Après avoir distingué les informations de conception des informations pour la gestion de projet à travers l'établissement d'un planning détaillé tout corps d'état, nous avons souhaité proposer un schéma plus représentatif de l'ensemble du processus de conception-gestion de projet des bâtiments. Nous avons dû identifier les principaux éléments de ce processus ainsi que les liens existant entre eux. Nous aboutissons au schéma suivant (Fig. 2.3) :

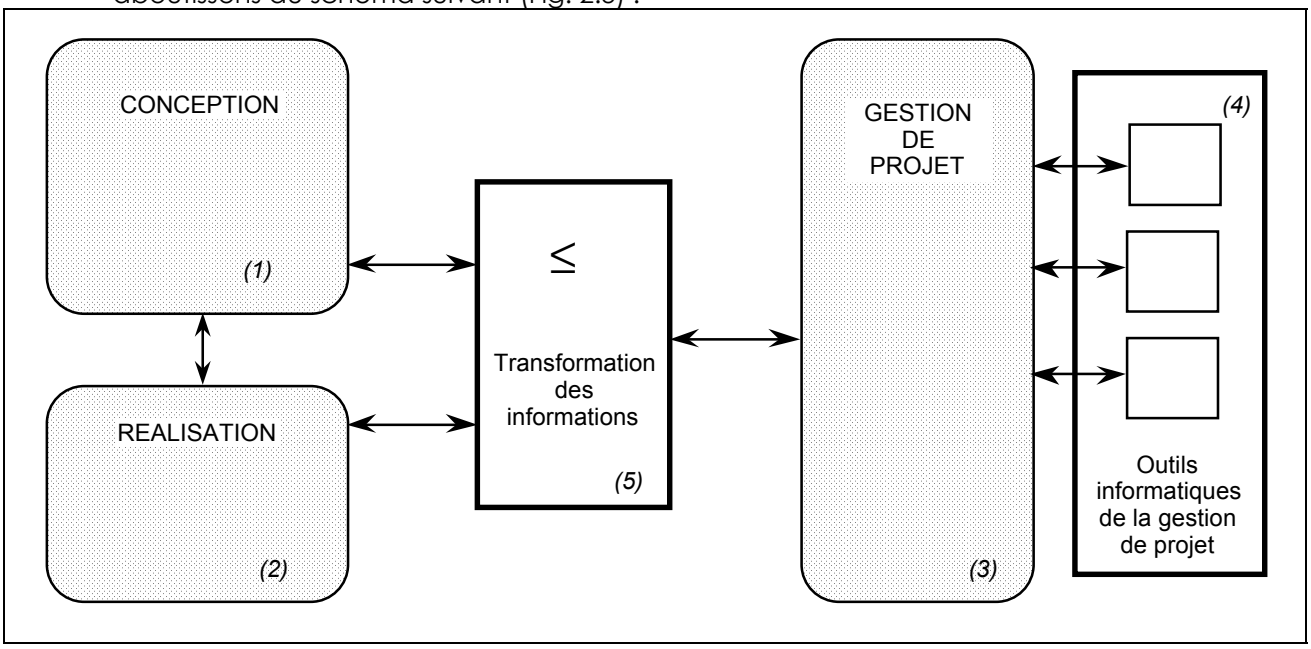


Figure 2.3 : le processus conception-gestion de projet

Les différents éléments du processus conception - gestion de projet :

- Les **informations issues de la conception *(1)*** décrivent la **géométrie** et la **technologie** de tous les composants du bâtiment : ces informations résultent des choix de l'architecte et des calculs qui ont été effectués dans les différents domaines techniques (structure, thermique,...). Leur élaboration est du ressort du maître d'œuvre de conception.

Exemple :

> *Les plans d'architecte, les plans techniques, le CCTP regroupent des informations de conception.*

- Les **informations pour la gestion du projet *(3)*** doivent permettre de gérer le projet, notamment de le planifier et d'en maîtriser les coûts. Les informations relatives au projet sont donc exprimées là en termes de **tâches à exécuter, de délais, de consommation, de prix, de contraintes de planification**. Cette base d'informations est construite à partir des informations de conception, puis elle est exploitée et complétée par des outils informatiques de la gestion de projet ***(4)***.

- L'identification et l'évaluation des informations pour la gestion de projet ne peuvent pas être assurées, en général, à partir des seules informations de conception : en effet, la description de la géométrie et de la technologie d'un composant d'un bâtiment ne permet pas systématiquement de préjuger de la façon dont ce composant sera réalisé, et donc de la nature des tâches qui devront être exécutées. Par ailleurs, l'évaluation des tâches identifiées ne prend pas en compte uniquement les caractéristiques des composants à réaliser mais aussi les moyens mis en œuvre. Nous devons dons définir un nouveau type d'informations, "intermédiaires" entre les informations de conception et les informations pour la gestion de projet : **Les informations de réalisation *(2).*** Elles précisent la méthode de réalisation des composants et le type et la quantité des moyens de production utilisés. Ces informations dépendent donc essentiellement de l'équipement et des habitudes de travail des entreprises intervenant dans la réalisation du projet. Elles sont étroitement liées aux informations de conception qu'elles complètent, mais cette liaison est du ressort de la gestion de projet dans la mesure où les informations de réalisation ont pour rôle de préciser la façon de **réaliser** les ouvrages.

- La transformation des informations ***(5)*** doit permettre d'assurer le lien CAO - Gestion de projet **dans chaque sens** : les études de conception (architecturale et technique) ont défini la nature et les dimensions des différents composants du bâtiment ; pour les besoins de la gestion de projet, ces informations doivent être traduites en type et en quantité de travail à exécuter pour réaliser le projet; inversement, si des informations relatives à la gestion de projet ne sont pas convenables (délai trop important par exemple), on doit pouvoir retrouver les informations de conception et de réalisation qui leur sont liées afin de les modifier en conséquence. La différence de structuration des différentes bases d'informations explique la difficulté de la liaison entre la conception et la gestion de projet et

l'importance de l'intervention de l'expert "humain" dans cette phase du processus.

Dans l'ensemble de ce processus, l'informatique n'a apporté, à ce jour, que des aides très locales [PIE 91] : **les outils existants ont généralement été conçus pour un type d'acteur et pour un type d'utilisation**. On trouve ainsi [MOR 90] :

- des outils de C.A.O. (bien que l'appellation soit de fait souvent usurpée) et de D.A.O., pour l'architecture, la thermique, la structure, ...

- des outils de calculs techniques ;

- des outils abordant les problèmes de la maîtrise des coûts et/ou de la planification [MOR 90].

Aussi intégrés soient-ils, ces outils informatiques restent dédiés à des domaines restreints :

Au niveau de la conception, des travaux de recherche ont été engagés, visant à intégrer les différents domaines techniques. Au LGCH de Chambéry, cela se traduit par la réalisation d'un prototype de système de CAO pour le bâtiment : CONCEPTOR (présenté dans le dernier chapitre de ce document). Il permet le maintien de la cohérence entre les différentes techniques (fondations, structure, thermique, acoustique, ...) au cours de l'évolution de la définition du projet [DUF 91].

Par ailleurs, certains outils informatiques abordent déjà de façon plus ou moins intégrée différents aspects de la gestion de projet de bâtiments.

Cependant, l'utilisation d'un logiciel de gestion de projet, même très complet, impose un important travail de préparation des données faisant appel à des connaissances expertes. **L'intervention du maître d'œuvre d'exécution au niveau de la liaison conception - gestion de projet reste nécessaire en raison de l'incompatibilité des outils informatiques utilisés en amont et en aval**. Cette incompatibilité reflète la différence dans la structuration des informations qu'ils traitent respectivement.

La liaison entre la conception et la gestion de projet reste alors problématique, même si elle a déjà fait l'objet de recherches (les principaux travaux dans ce domaines sont présentés dans [LEC 90] et [LEV 88]). **Nous souhaitons contribuer à ces travaux en visant un plus haut degré d'intégration des outils informatiques afin de supprimer la coupure existant entre les outils pour la conception d'une part et les outils pour la gestion de projet d'autre part.**

III - Une solution informatique pour améliorer la liaison :

L'utilisation de l'informatique tant au niveau de la conception que de la gestion de projet a permis d'atteindre, dans chacun de ces domaines, un certain degré d'intégration de leurs différents aspects. Dans un cas comme dans l'autre, le grand

nombre d'informations à manipuler, la diversité des utilisateurs et la dispersion des connaissances ont bénéficié de l'apport de l'informatique. Il n'est évidemment pas question de remettre en cause le choix de la solution informatique. Or, si nous voulons proposer une intégration du processus conception-gestion de projet sur la base des solutions adoptées dans chacun des deux domaines, nous devons respecter une certaine homogénéité dans les outils utilisés. **Nous proposons donc une solution informatique pour améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet.** Le but est d'assister le **maître d'œuvre d'exécution** dans le processus d'échange et de transformation des différents types d'informations.

Afin de préciser le contexte dans lequel l'outil informatique sera utilisé et le rôle qu'il aura, nous reprenons la figure 2.3 que nous adaptons au cas où la liaison entre la conception et la gestion de projet est assistée par l'ordinateur. Sur ce nouveau schéma (Fig. 2.4), nous délimitons (trait pointillé) la partie du processus conception-réalisation qui concerne directement l'outil informatique que nous souhaitons réaliser.

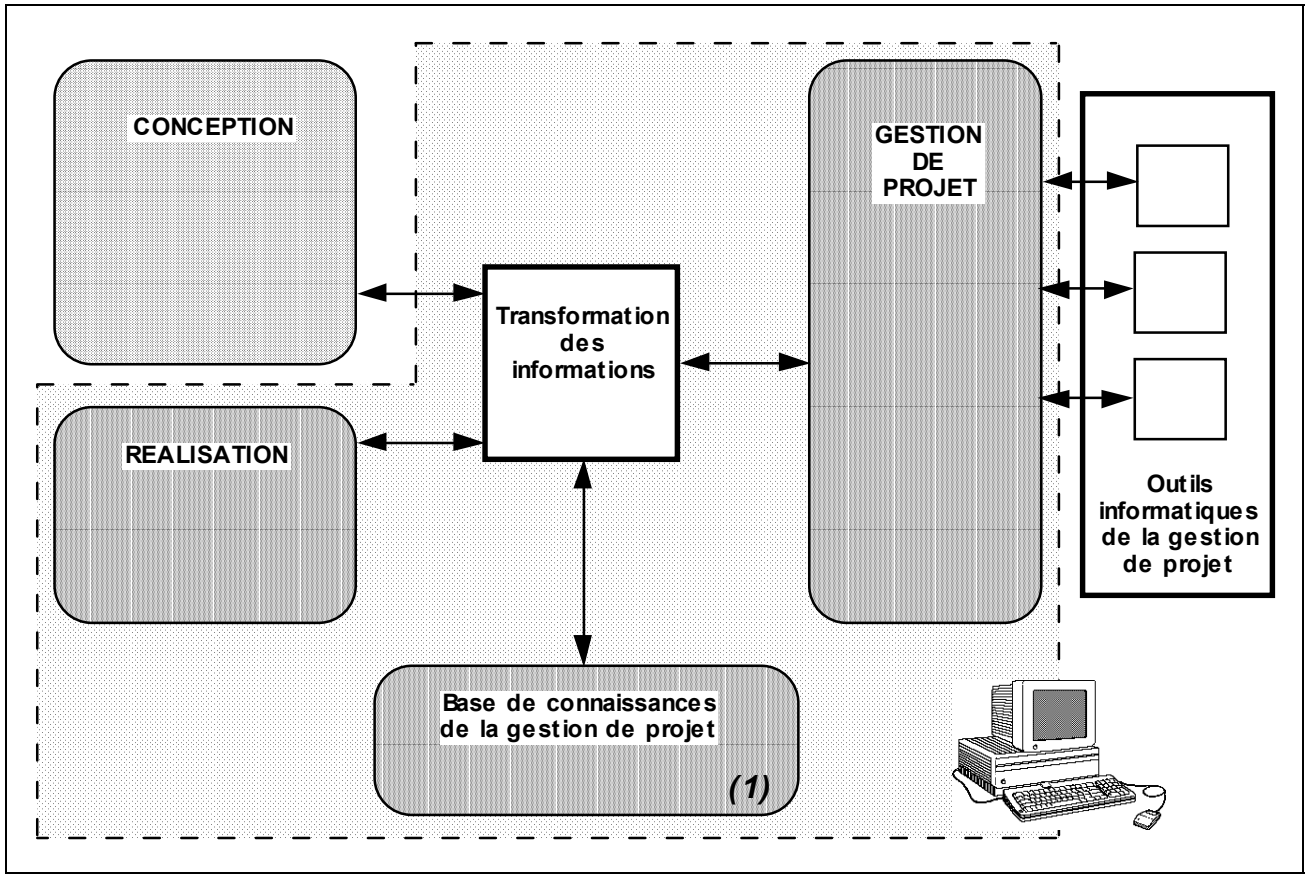


Figure 2.4 : le rôle de l'informatique dans la liaison conception - gestion de projet

L'outil informatique doit assister l'expert humain sur les points suivants :

- la constitution puis la gestion de la base d'informations de réalisation ;

- la constitution puis la gestion de la base d'informations pour la gestion de projet ;

- la gestion des relations entre les différentes bases d'informations et entre les différents outils de l'ensemble du processus.

L'expert humain assure ces différentes fonctions grâce au savoir-faire qu'il a acquis. La réalisation d'un outil informatique destiné à assister l'action de l'expert humain suppose la disponibilité de ces connaissances. Celles-ci sont organisées selon différents niveaux :

- un modèle conceptuel précisant les différents types d'informations en jeux et leur articulation ;

- les connaissances de bases du maître d'œuvre d'exécution, constituant la base de connaissances *(1)*

    - des tâches types avec les types d'ouvrages réalisés, les méthodes d'évaluation (calcul des durées, coûts, consommations) ;

    - des contraintes de planification types ;

    - des entreprises types (afin de faire des hypothèses sur les moyens de production mis en œuvre).

- les méta-connaissances constituées par les différents scénarios d'utilisation de ces connaissances de base pour assurer la liaison entre conception et gestion de projet.

En vue de réaliser l'outil informatique proposé, nous devons donc :

- élaborer un modèle conceptuel, sur la base des informations recueillies pour identifier la problématique de la liaison ;

- formaliser les connaissances de base du maître d'œuvre d'exécution en vue de constituer la base de connaisssances ;

- préciser les différents scénarios d'utilisation de ces connaissances en vue d'assurrer les différentes fonctionnalités retenues.

Nous avons présenté, dans ce chapitre, les caractéristiques de la liaison entre la conception et la gestion de projet et nous avons évoqué le vide auquel correspond cette liaison en termes d'outils informatiques. Nous avons alors rapidement décrit la solution que nous proposons pour palier ce manque.

Avant de réaliser un prototype de l'outil informatique destiné à améliorer la liaison conception-gestion de projet, nous devons décrire plus précisément les différentes fonctionnalités de cet outil et préciser son principe de fonctionnement. Cette phase est décrite dans le chapitre 3.

L'identification des éléments du processus de conception-gestion de projet et des liens existant entre eux montre la nécessité de modéliser les différents types d'informations en jeu afin de préciser la liaison. Cette modélisation permet ensuite de formaliser les connaissances mises en œuvre pour assurer la liaison. Le chapitre 4 présente ce travail.

La base de connaissances a été constituée, en cohérence avec la modélisation, grâce à des contacts avec le monde professionnel. Nous en présentons une synthèse dans le chapitre 5.

Enfin, le chapitre 6 présente le prototype d'un outil informatique que nous avons réalisé en vue d'améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet.

Chapitre 3

Réalisation d'un module de gestion de projet : fonctionnalités et principe de fonctionnement

Après avoir décrit, dans les chapitres précédents, la gestion de projet de bâtiments puis le problème spécifique de la liaison conception - gestion de projet qui a motivé notre recherche, nous précisons dans ce chapitre les fonctionnalités et le principe de fonctionnement d'un module informatique de gestion de projet que nous souhaitons réaliser afin d'améliorer cette liaison.

I - Objectif général et fonctionnalités :

Dans le premier chapitre, nous avons décrit, d'une part, le déroulement d'un projet en présentant les principales étapes rencontrées de la conception jusqu'à la réalisation, et, d'autre part, les différents aspects de la gestion de projet de bâtiments. Nous avons ainsi montré que le niveau de détail de la gestion de projet pouvait être d'autant plus fin que la conception était plus avancée et fournissait des informations plus précises.

Nous représentons ci-dessous (Fig. 3.1) l'évolution d'un projet avec le temps en confrontant l'aspect conception et l'aspect gestion de projet. **A un instant donné, les informations de conception doivent permettre de générer les informations pour la gestion de projet, et, en retour, les informations pour la gestion de projet doivent être prises en compte dans les actions de conception.**

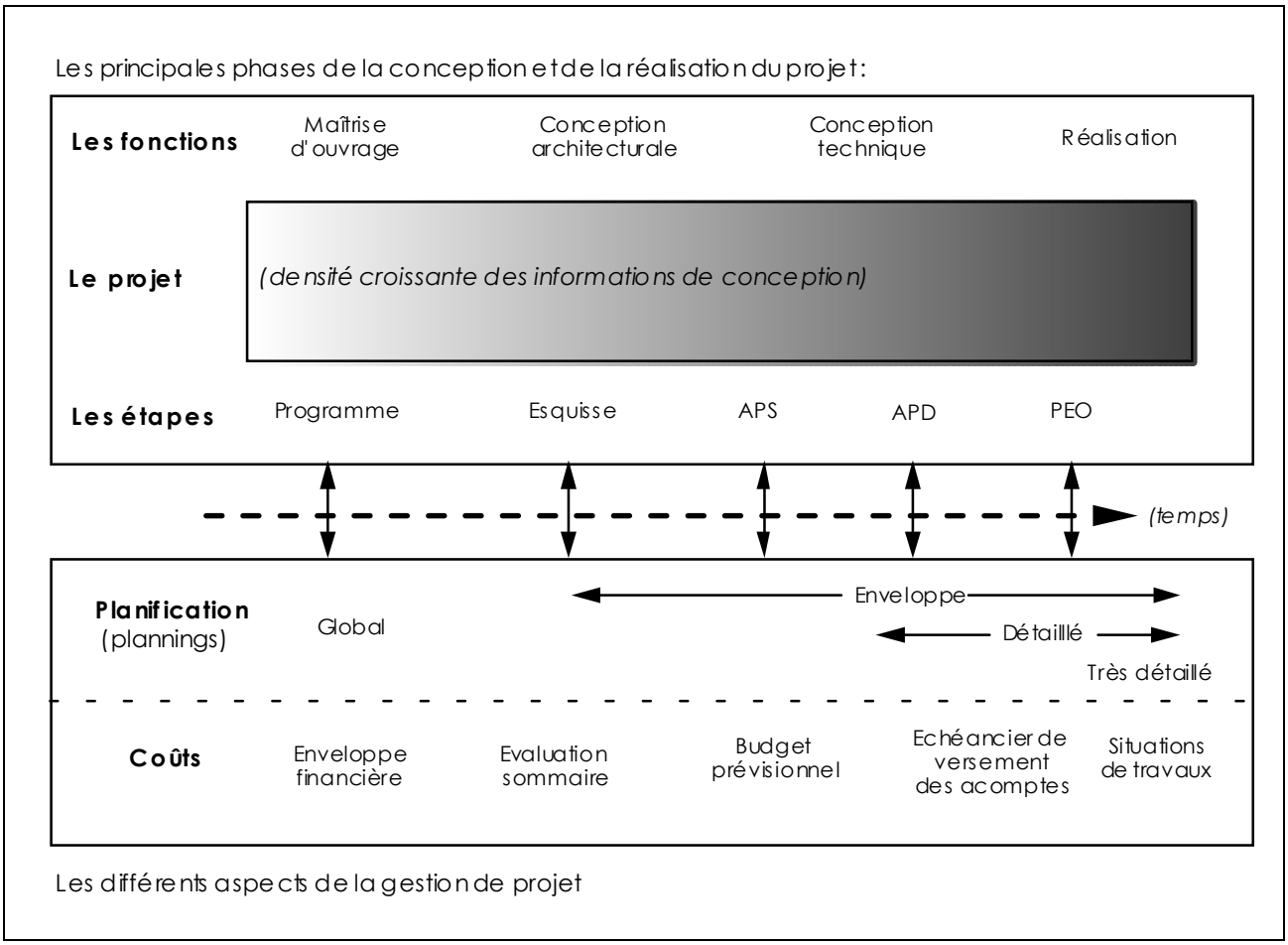


Figure 3.1 : l'évolution de la liaison conception - gestion de projet

La base d'informations pour la gestion de projet doit être susceptible d'être utilisée pour assurer les différentes fonctions de la gestion de projet de bâtiments L'annexe 2 de ce document présente un cahier des charges de la gestion de projet de bâtiments. De ce cahier des charges dont nous retenons les principales fonctions, nous déduisons les principales fonctionnalités du module de gestion de projet :

- à un niveau de conception précoce (esquisse), on doit pouvoir établir un planning enveloppe et effectuer une évaluation sommaire des coûts ;

- à partir de l'APS, le planning enveloppe doit être plus précis et la maîtrise des coûts doit se traduire par l'établissement d'un budget prévisionnel ;

- au niveau de conception correspondant à l'APD, on doit pouvoir établir un planning détaillé tout corps d'état (en respectant le planning enveloppe) ainsi qu'un échéancier de versement des acomptes ;

- à partir de l'exécution des travaux, la planification consiste à produire un planning très détaillé (en respectant le planning détaillé) et des fiches journalières de travail ; par ailleurs, les situations de travaux doivent être faites ;

- au cours des différentes phases de conception, si un délai calculé est trop long ou si un prix est trop élevé, on doit pouvoir identifier les choix techniques

à remettre en cause ;

- si le projet est modifié dans sa conception (technologie, dimensions, ...) ou dans sa méthode de réalisation, les modifications doivent être répercutées sur la planification et sur la maîtrise des coûts.

Pour chacune de ces fonctionnalités, le module de gestion de projet apporte une aide au maître d'œuvre d'exécution, c'est à dire qu'il propose des solutions élaborées à partir d'une base de connaissances mais que l'utilisateur doit pouvoir modifier ces solutions en fonction de son propre savoir-faire.

II - Le principe de fonctionnement du module de gestion de projet :

Dans le chapitre 2, nous avons représenté (Fig. 2.4) le système conception - gestion de projet et identifié puis décrit les différents éléments qui le composent :

- une base des informations issues de la conception du projet ;

- une base d'informations de réalisation précisant les conditions de mise en œuvre des ouvrages composant le projet ;

- une base d'informations pour la gestion de projet ;

- des logiciels exploitant les informations pour la gestion de projet ;

- une base de connaissances expertes.

Dans la mesure où nous avons choisi d'utiliser des logiciels de gestion de projet existants, les fonctionnalités du module de gestion de projet se traduisent par la nécessité de constituer la base d'informations de réalisation et de générer les informations susceptibles d'être exploitées par ces logiciels.

Nous avons distingué différents scénarios de fonctionnement du module :

- première génération des informations pour la gestion de projet ;

- nouvelle génération :

- pour un niveau de détail plus fin ;

- pour un niveau de détail plus global ;

- répercussion d'une modification :

- des informations de conception ;

- des informations de réalisation ;

- des informations pour la gestion de projet.

Nous décrivons ci-dessous ces différents scénarios en prenant comme exemple

d'informations pour la gestion de projet un réseau de tâches.

II - 1 Première génération d'un réseau de tâches :

Le schéma ci-dessous (Fig. 3.2) représente les principales étapes nécessaires à la génération d'un réseau de tâches. Nous décrivons par la suite ces différentes étapes.

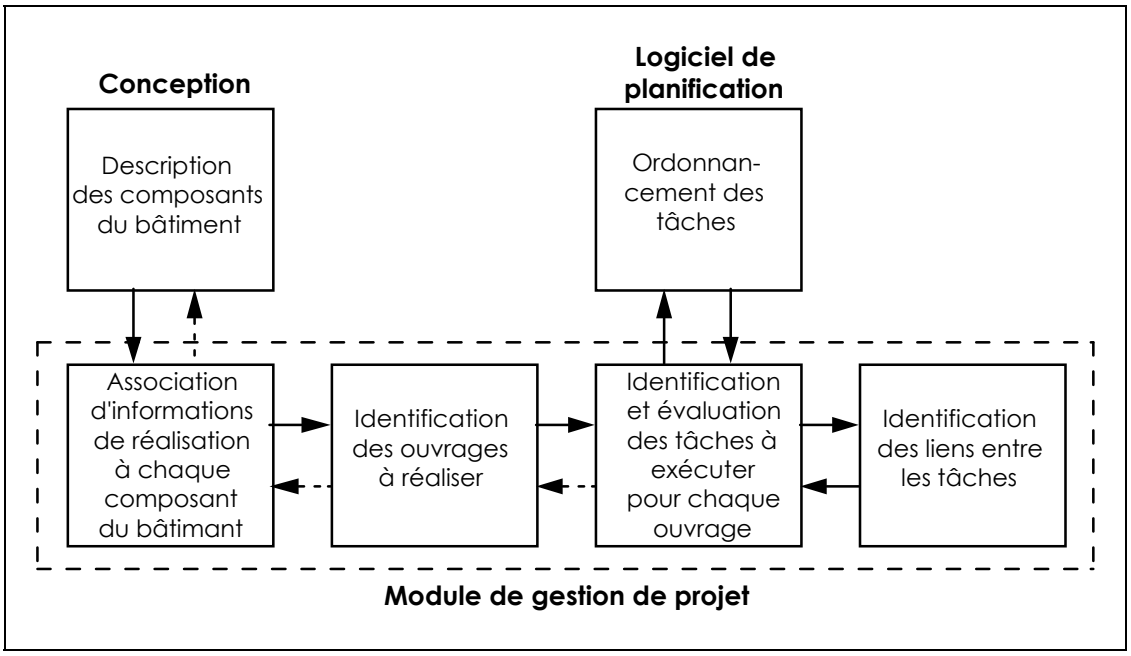


Figure 3.2 : principe de génération d'un réseau de tâches

Association d'informations de réalisation à chaque composant du bâtiment :

Les informations de conception issues de la CAO décrivent le projet à travers une liste de **composants** (des murs, des poteaux, des fenêtres, des convecteurs, ...), chacun étant caractérisé par une composition et des dimensions. Or, la composition et les dimensions des composants décrits dans la base d'informations de conception ne permettent pas systématiquement de préjuger de la méthode qui sera utilisée pour les réaliser.

Exemple :

> *Un mur est un composant d'un bâtiment. La partie béton armé d'un mur peut être soit préfabriquée, soit coulée en place. Dans le premier cas, on identifie une tâche "pose des éléments préfabriqués", dans le deuxième cas, on identifie les tâches "ferraillage", "coffrage" et "coulage".*

Une première étape dans l'analyse de la base d'informations de conception consiste alors à associer à chaque technologie de chaque ouvrage une information de réalisation permettant d'identifier le ou les types de tâches qui la réaliseront. Appelons cette information de réalisation **option de construction**. Chaque ouvrage

est caractérisé par au moins une option de construction. Chaque option de construction est associée à un ou plusieurs types de tâches (fig. 3.3).

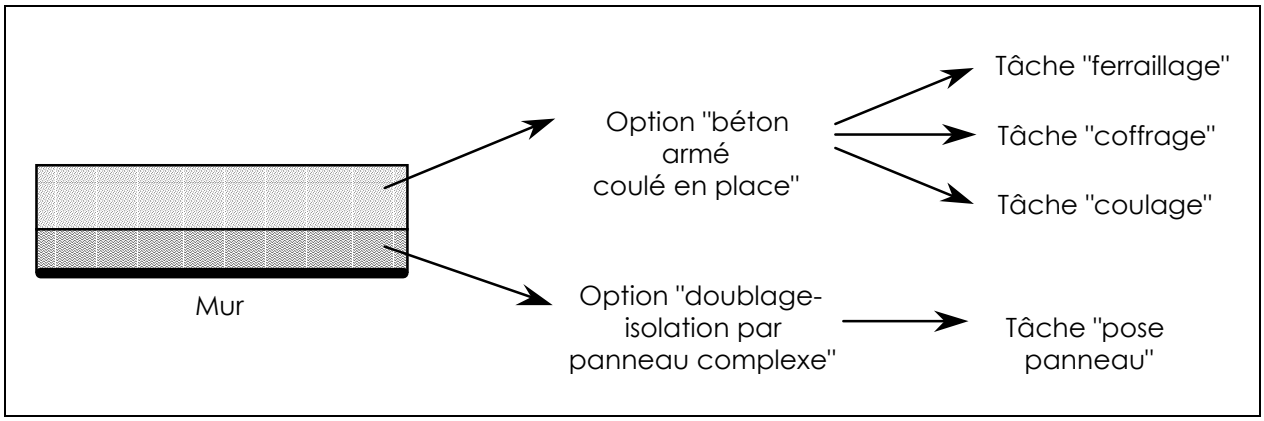


Figure 3.3 : l'option de construction

En fonction de la nature du composant du bâtiment, le module de gestion de projet propose, le cas échéant et pour un niveau de détail donné, les différentes options de construction possibles. Les options de construction choisies par l'utilisateur sont associées au composant analysé. Lorsque tous les composants du bâtiment ont été analysés, à chaque option de construction choisie sont associés les composants qu'elle caractérise.

Identification des ouvrages à réaliser :

Le choix d'une option de construction entraîne l'exécution d'un ou plusieurs types de tâche. L'exécution d'une tâche consiste à réaliser une partie homogène et identifiable du projet : **l'ouvrage**.

Exemple :

> *L'exécution de la tâche "réalisation des porteurs verticaux" consiste à réaliser la partie "béton" des murs et poteaux d'un même étage. L'ensemble des murs et des poteaux d'un étage constitue l'ouvrage que réalise la tâche.*

On doit ainsi identifier tous les ouvrages du bâtiment associés aux différents types de tâches. Le regroupement des composants du bâtiment est réalisé selon des critères technologiques, de géométrie et de mise en œuvre correspondant à des connaissances de la gestion de projet.

Identification et évaluation des tâches à exécuter :

Pour chaque ouvrage identifié, on génère la ou les tâches correspondantes. Les tâches générées sont ensuite évaluées (durée, moyens, coût) en fonction des caractéristiques des ouvrages qu'elles réalisent, autrement dit, en fonction des caractéristiques des composants regroupés dans chaque ouvrage, et en fonction des moyens de production mis en œuvre.

Identification des liens entre tâches :

Ces liens traduisent les contraintes définies entre les tâches : la base de connaissances inclut une liste de contraintes types, exprimées entre des types de tâches donnés et appliquées dans des conditions particulières. Au cours de l'analyse de la liste des tâches, lorsque deux tâches correspondent à une contrainte type, la condition d'application est testée afin de déterminer si une contrainte doit être posée entre les deux tâches.

Ordonnancement des tâches :

A la fin de ce processus, on a généré une liste de tâches évaluées et reliées entre elles par des contraintes. Cette liste peut alors être exploitée, par exemple par un logiciel d'ordonnancement afin de construire un planning.

II - 2 Nouvelle génération d'un réseau de tâche :

Le fonctionnement décrit ci-dessus est valable lorsque aucune information pour la gestion de projet existe. Lorsqu'un réseau de tâches a déjà été constitué, la génération d'un nouveau réseau pour un niveau de détail différent ne peut pas se faire indépendamment, pour deux raisons au moins :

- les informations de réalisation fournies par l'utilisateur lors de la première génération doivent pouvoir être réutilisées automatiquement afin de limiter les opérations de saisie ;

- les informations correspondant à des niveaux de détail différents doivent être cohérentes entre elles.

Supposons que les informations de réalisation (notamment les options de construction) aient été déterminées en vue de générer des informations pour la gestion de projet correspondant au niveau de détail 2 (type planning détaillé) (Fig. 3.4)

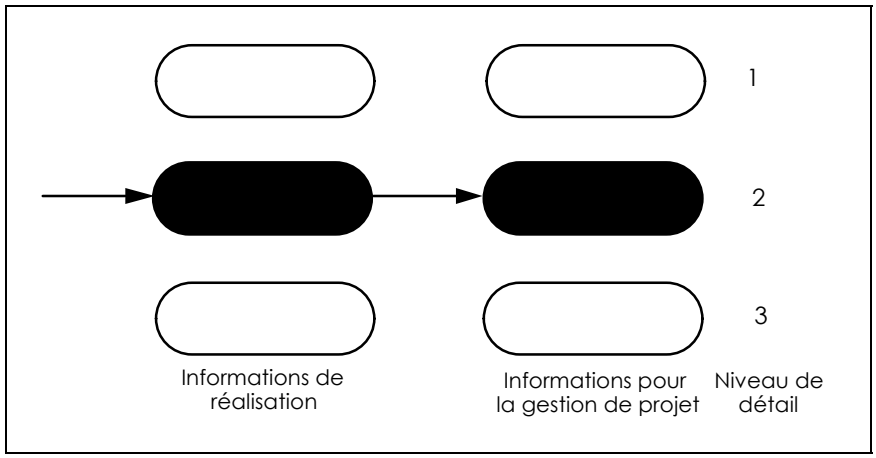


Figure 3.4 : première génération des informations pour la gestion de projet

A partir de cette situation, on distingue deux cas de figure :

- la génération d'information pour la gestion de projet avec un niveau de détail plus global ;

- la génération d'information pour la gestion de projet avec un niveau de détail plus fin.

Par exemple, si l'on dispose au départ d'un **planning détaillé** (niveau 2), on distingue le cas de la génération d'un **planning enveloppe** (niveau 1) de la génération d'un **planning très détaillé** (niveau 3).

II - 2 - 1 Génération d'un réseau de tâches enveloppes :

On souhaite générer des tâches avec un niveau de détail plus global (le niveau 1 correspondant à un planning enveloppe) après avoir construit un premier planning détaillé. Les informations de réalisation de niveau 1 sont des informations globales suffisamment vagues pour englober les différentes informations de réalisation possibles des niveaux de détail plus fins. Elles sont utilisées lorsque l'avancement du projet ne permet pas d'avoir des informations plus précises. Dans notre cas de figure, elles sont inutiles puisque l'on dispose d'emblée d'informations plus précises utilisées pour construire le planning détaillé. (Fig. 3.5) :

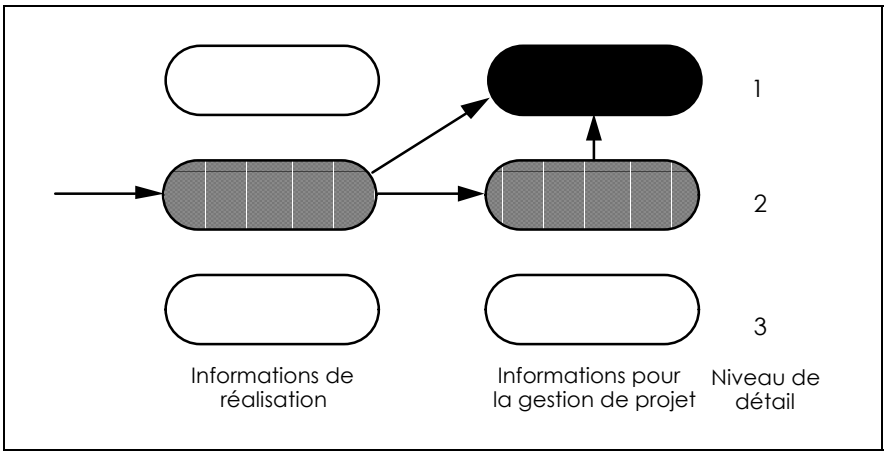


Figure 3.5 : nouvelle génération pour un niveau de détail plus global

Exemple :

> *La plupart des logiciels d'ordonnancement possèdent des fonctionnalités permettant de regrouper les tâches par familles. On peut alors générer les tâches d'un planning enveloppe en regroupant des tâches du planning détaillé, c'est à dire sur la base d'informations pour la gestion de projet d'un niveau de détail plus fin.*

II - 2 - 2 Génération d'un réseau de tâches très détaillées :

Supposons maintenant que l'on souhaite générer des tâches avec un niveau de détail plus fin (le niveau 3, correspondant à celui d'un planning très détaillé). Cela

nécessite la prise en compte d'informations de réalisation supplémentaires plus détaillées.

Exemple :

> *Pour un mur en béton armé, s'il suffisait, pour un niveau de détail donné, de préciser qu'il était réalisé selon l'option "béton armé coulé en place", pour un niveau de détail plus fin, on doit de préciser le type de coffrage utilisé afin de pouvoir évaluer plus précisément les tâches.*

On détermine les informations de réalisation du niveau de détail "très détaillé" par affinement des informations de niveau "détaillé". Cela évite de rappeler les choix déjà faits précédemment et de rester cohérent avec ces derniers. Les informations de réalisation obtenues par affinement permettent de générer les informations pour la gestion de projet à un niveau "très détaillé". A partir de ces dernières, par recomposition, on peut, si nécessaire, générer des informations de niveau plus global (Fig. 3.6).

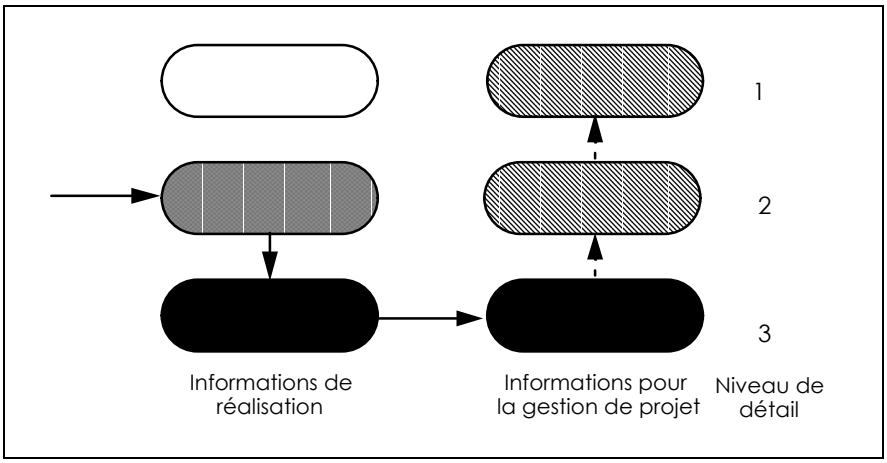


Figure 3.6 : nouvelle génération pour un niveau de détail plus fin

II - 3 Répercussion d'une modification :

Les informations de différents types sont interdépendantes : les paragraphes précédents ont montré comment **les informations pour la gestion de projet sont générées à partir des informations de conception en fonction des informations de réalisation**. Des relations sont créées entre ces différents types d'informations au cours du processus de génération des tâches : les composants du bâtiment (informations de conception) sont associés à des options de construction (informations de réalisation) ; ils composent des ouvrages qui sont réalisés par des tâches (informations pour la gestion de projet). Ces relations créées au cours du processus sont ensuite mémorisées : si une des informations est modifiée, on peut ainsi identifier les autres informations qui lui sont liées et sur lesquelles la modification doit être répercutée.

Exemple :

> *Un mur constitué de béton est **associé** à l'option de construction "béton coulé en place". Il **compose** l'ouvrage "porteurs verticaux de l'étage 1" et est **réalisé** par la tâche "réalisation des porteurs verticaux de l'étage 1". Si les dimensions du mur sont modifiées, la tâche est réévaluée ; si l'option de construction est changée, la nouvelle option ("béton préfabriqué" par exemple) est associée au mur et le processus d'identification de l'ouvrage et de la tâche est réitéré ; si les caractéristiques de la tâche ne donnent pas satisfaction (trop chère, trop longue), on doit remettre en cause le choix de l'option de construction "béton coulé en place" ou les caractéristique du mur (ses dimensions par exemple).*

A travers cette description du principe de fonctionnement du module de gestion de projet, nous avons introduit de nouvelles notions (option de construction, ouvrage associé à une tâche). Elles interviennent dans la génération des informations pour la gestion de projet. Ces notions sont apparues dans une description assez globale du principe de fonctionnement du module de gestion de projet : **elle montre la nécessité de procéder à une modélisation beaucoup plus détaillée des différentes informations manipulées afin de bien identifier tous les concepts en présence et les liens qui existent entre eux**.

Par ailleurs, les **connaissances de la gestion de projet** sont évoquées dans la description du principe de fonctionnement du module. Elles apparaissent sous différentes formes :

- la notion d'option de construction, précisant la façon dont les ouvrages sont mise en œuvre ;

- les critères de regroupement des composants du bâtiment pour constituer des ouvrages ;

- les types de tâches que l'on associe à chaque type d'ouvrage ;

- la méthode d'évaluation des tâches et d'identification des contraintes ;

- la façon de répercuter une modification sur les différentes informations concernées...

Sur la base de la modélisation des informations, nous devons formaliser ces connaissances de la gestion de projet en vue de constituer la base de connaissances du module que nous souhaitons réaliser.

La modélisation des informations et la formalisation des connaissances sont présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Gestion de projet de bâtiments : modélisation des informations et formalisation des connaissances

Nous avons identifié, dans le chapitre 2, trois types d'informations utilisés dans le processus de conception - gestion de projet que nous devons modéliser (Fig. 2.4) :

- les informations de conception ;

- les informations de gestion de projet ;

- les informations de réalisation.

Le Laboratoire Génie Civil et Habitat de Chambéry a réalisé de nombreux travaux de recherche dans le domaine de la conception des bâtiments. Ces travaux ont notamment abouti à une modélisation des bâtiments [GSD 91]. La modélisation des informations de conception que nous présentons dans la première partie de ce chapitre est extraite de ces travaux.

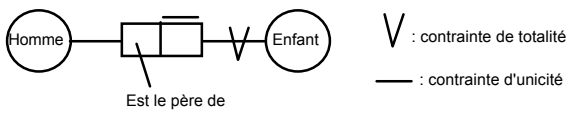
Nous modélisons ensuite les informations pour la gestion de projet, puis les informations de réalisation, en cohérence avec la modélisation des informations de conception.

La modélisation de ces différents types d'informations nous permet alors de formaliser les connaissances mise en œuvre pour assurer la liaison entre la conception et la gestion de projet.

Les différents concepts et relations identifiés au cours de cette modélisation sont représentés avec le formalisme NIAM [HAB 88][2]. A chaque concept, nous avons

---

[2]NIAM est une méthode de construction de schémas conceptuels de données. Elle permet de représenter des relations entre différents concepts. Dans l'exemple ci-dessous, on relie les concepts "Homme" et "Enfant".



Expression de la relation : un homme peut être le père d'un ou plusieurs enfants; tout enfant est le fils d'un homme et d'un seul.

associé des attributs. En annexe, on trouvera le dictionnaire des différents concepts présentés dans ce chapitre.

I - La modélisation des informations de conception :

Nous reprenons, dans ce paragraphe, la modélisation d'un bâtiment qui résulte des travaux réalisés au sein du Laboratoire Génie Civil et Habitat dans le cadre du projet CONCEPTOR, système de CAO pour le bâtiment. Cette modélisation a été confrontée et harmonisée avec d'autres propositions dans le cadre des travaux du **Groupe Structuration de Données** [GSD 91].

Après avoir rapidement décrit l'aspect multidisciplinaire de la conception des bâtiments, nous présentons ci-dessous la modélisation des ouvrages et des espaces d'un bâtiment, puis des acteurs du projet de bâtiment (il s'agit là d'un extrait de la modélisation, réalisée par le LGCH, permettant la compréhension des concepts utilisés dans les paragraphes suivants).

I - 1 La conception des bâtiments :

La conception des bâtiments comporte un aspect multidisciplinaire qui résulte de sa décomposition en différents domaines ; cette décomposition est rendue nécessaire par l'importance et la diversité des connaissances requises pour la conception d'un bâtiment. Elle reflète les pratiques actuelles puisque conception architecturale et conception dans chacun des domaines techniques sont généralement assurées par des acteurs différents. Elle correspond aussi à la distinction faite entre les différentes fonctions assurées par les composants du bâtiment (stabilité, isolation thermique, ...).

La conception des bâtiments comporte également un aspect dynamique : de la première réponse à l'esquisse architecturale jusqu'à la réalisation des plans d'exécution des ouvrages, la conception technique évolue et le niveau de définition du projet augmente [SAU 93]. Bien que cette évolution soit progressive, il nous a paru important de fixer certains **niveaux de conception** dont la définition reste la même pour tous les domaines :

- niveau 0 : choix des partis techniques ;

- niveau 1 : prédimensionnement des objets techniques ;

- niveau 2 : définitions de détails, optimisation, réalisation des plans d'exécution.

Le choix de ces différents niveaux de conception correspond aux grandes étapes de la conception observées dans la pratique. On les retrouve d'ailleurs chez d'autres auteurs ([QUI 85] par exemple).

Dans chaque domaine, le concepteur ne travaille pas uniquement sur la base de l'esquisse issue de la seule conception architecturale. Il a aussi besoin des résultats

de la conception dans les autres domaines. En revanche, le concepteur limite son action à la partie du projet qui correspond à son domaine de conception.

Exemple :

> *Le thermicien tient compte de l'épaisseur de béton dans ses calculs de déperdition. En revanche, il ne prendra pas l'initiative de modifier cette épaisseur.*

Certaines activités, telles que la gestion de la qualité ou la vérification de la cohérence et de la faisabilité, ont une vision plus globale du projet dans laquelle chaque domaine de conception a le même poids.

La modélisation de la conception doit donc proposer des **objets communs** à tous les utilisateurs, regroupant toutes les informations issues des différentes phases de la conception dans chacun des domaines. En outre, la structure de ces objets communs doit pouvoir évoluer au cours des différentes étapes de la conception afin de tenir compte de la restructuration ou de l'augmentation des informations liées aux objets. Enfin, chaque concepteur doit pouvoir, sur la base des objets communs, définir ses propres objets adaptés à ses besoins à travers des sur-modèles spécifiques.

Les objets communs sont articulés autour de deux notions : les espaces et les composants du bâtiment.

I - 2 La modélisation des espaces :

La modélisation proposée par le LGCH [GSD 91] organise le projet selon une hiérarchie des espaces, en partant du projet lui-même pour descendre jusqu'au local, espace de base (Fig. 4.1).

Le **projet** est associé au **site** dans lequel il est construit. La référence à un site permet de prendre en compte certaines informations sur l'environnement (acoustique, climatique, géologique, topographique) qui influent sur la conception technique. Du point de vue de la gestion de projet, certaines caractéristiques de l'environnement peuvent avoir une incidence sur le déroulement de la construction.

Exemple :

> *Les conditions climatiques d'un site (fréquence des intempéries, périodes de gel,...) ont une influence sur le calcul du délai de construction si l'on décide de prendre en compte les aléas dans le calcul des délais ; les conditions d'accès difficiles (présence de constructions avoisinantes, relief accidenté, ...) peuvent compromettre l'utilisation de certains matériels lourds et donc le choix de certains partis techniques de construction.*

Chaque projet comprend un ou plusieurs **bâtiments**. La modélisation proposée par le Groupe Structuration de Données [GSD 91] décompose ensuite le bâtiment en un certain nombre de divisions. Nous avons choisi d'ajouter une étape intermédiaire en introduisant la notion de **bloc**, regroupement de locaux présentant une certaine autonomie vis à vis de la gestion de projet.

Exemple :

> *Deux parties d'un même bâtiment séparées par un joint de dilatation, ou deux tranches d'un bâtiment livrées séparément constituent des blocs disjoints. Dans ces deux cas (parfois confondus), les blocs sont le plus souvent considérés, d'un point de vue gestion de projet, comme s'ils étaient deux bâtiments distincts.*

Chaque bloc est décomposé en **divisions**. Celles-ci présentent une certaine homogénéité vis à vis de l'utilisation qui en sera faite. On distingue ainsi quatre sortes de divisions : les appartements, les communs, les dépendances et les circulations (horizontales et verticales).

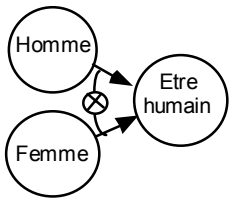
Enfin, la division est elle-même décomposée en **locaux**. On emploie ici le mot local au sens large : l'ensemble des locaux d'un bâtiment doit constituer une partition de celui-ci, si bien que des espaces tels que les gaines techniques seront considérés comme des locaux, au même titre que les pièces. Par ailleurs, pour les besoins de la planification, on a introduit la notion de l**ocal extérieur** qui correspondra à l'espace semi-infini limité par une façade. Cette notion de local extérieur permet de définir des zones de planification associées à des tâches relatives à des travaux sur les façades.

On trouvera dans le glossaire la définition des autres concepts apparaissant sur le schéma suivant (Fig. 4.1)[3].

---

[3]Le formalisme NIAM permet de représenter les liens de spécialisation ( ) ainsi que les contraintes d'exclusion ( ) :

Les hommes et les femmes sont des "**sortes**" d'êtres humains ; un être humain est **soit** un homme, **soit** une femme.



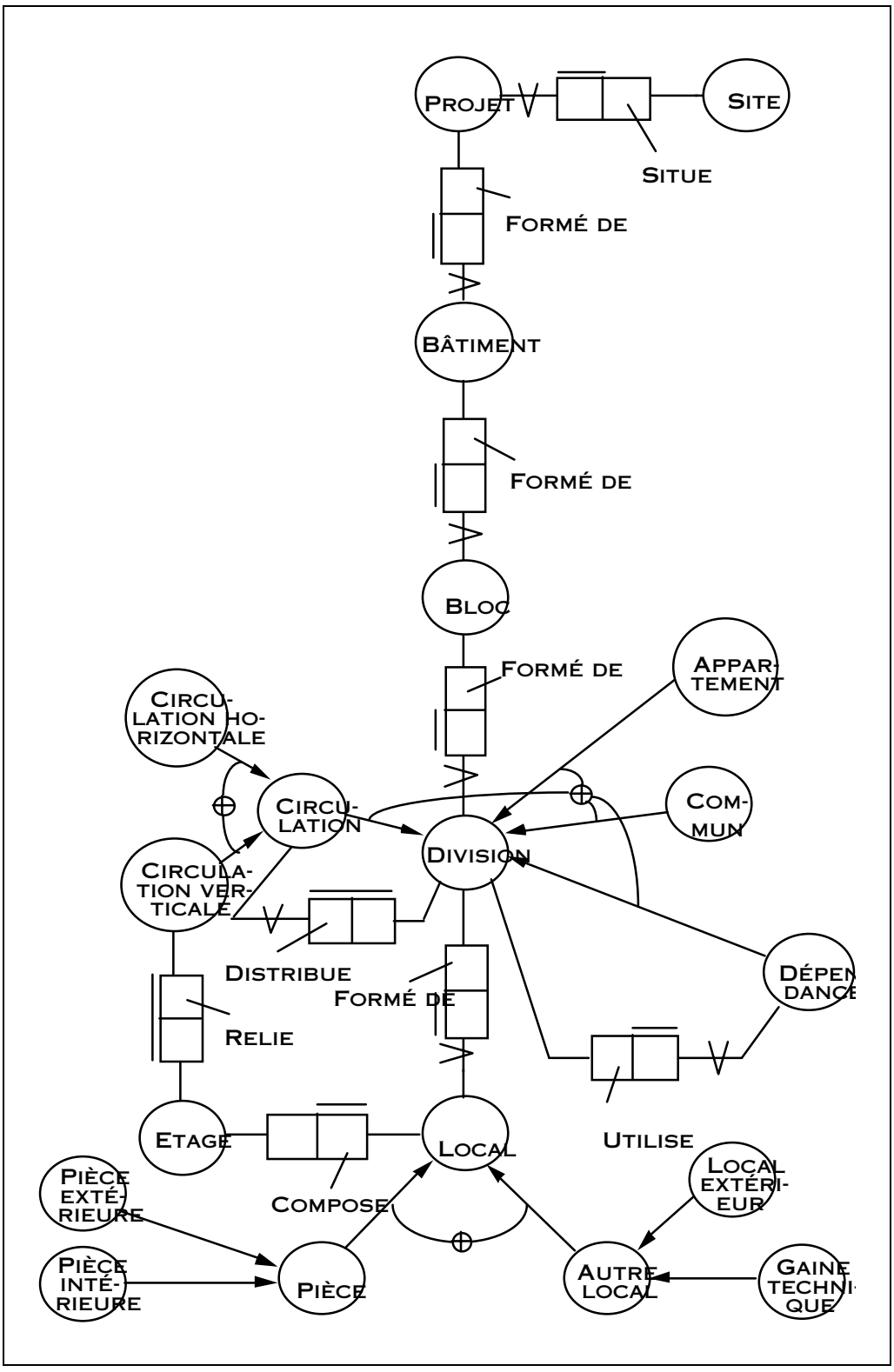


Figure 4.1 : les espaces

I - 3 La modélisation des composants du bâtiment :

Dans la modélisation proposée par le LGCH, les composants du bâtiment sont modélisés par les **objets physiques**. L'objet physique est représenté par une **géométrie** et est constitué par une **technologie**, il satisfait à des **fonctions** et il est le résultat d'**actions de conception**.

Exemple :

> *Un objet physique **mur** est constitué d'une couche **béton**, d'une couche **isolant** et d'une couche **doublage** (ces couches décrivent sa technologie). Il a une fonction de stabilité, de séparation et d'isolation phonique et thermique.*

Les sur-modèles spécifiques comportent des **objets techniques** propres à chaque fonction.

Exemple :

> *L'objet technique Voile-BA est constitué par la partie béton de plusieurs murs contigus. Il modélise la fonction porteuse du mur.*

On définit ainsi différents espaces articulés autour de l'objet physique (Fig. 4.2) :

- l'espace conception, caractérisant la multidisciplinarité de la conception, notamment à travers les différents espaces techniques spécifiques ;

- l'espace évolution, caractérisant l'aspect dynamique ;

- l'espace morphologie, correspondant à la partie description de l'objet physique. La morphologie de l'objet physique évolue au gré des actions de conception.

L'objet physique correspond à une partie du projet qui présente une certaine homogénéité vis à vis des différentes technologies qui le composent et des différentes fonctions qu'il assure. L'objet physique peut être un mur, une poutre, un poteau, un équipement ou un séparateur. Le séparateur délimite les locaux; afin d'assurer l'homogénéité, l'objet physique ne doit pas séparer plus de deux locaux, il doit être porté par une seule surface ou une seule ligne et sa composition au sens technologique doit être constante. Tout objet physique appartient à un et un seul bloc (fig. 4.3).

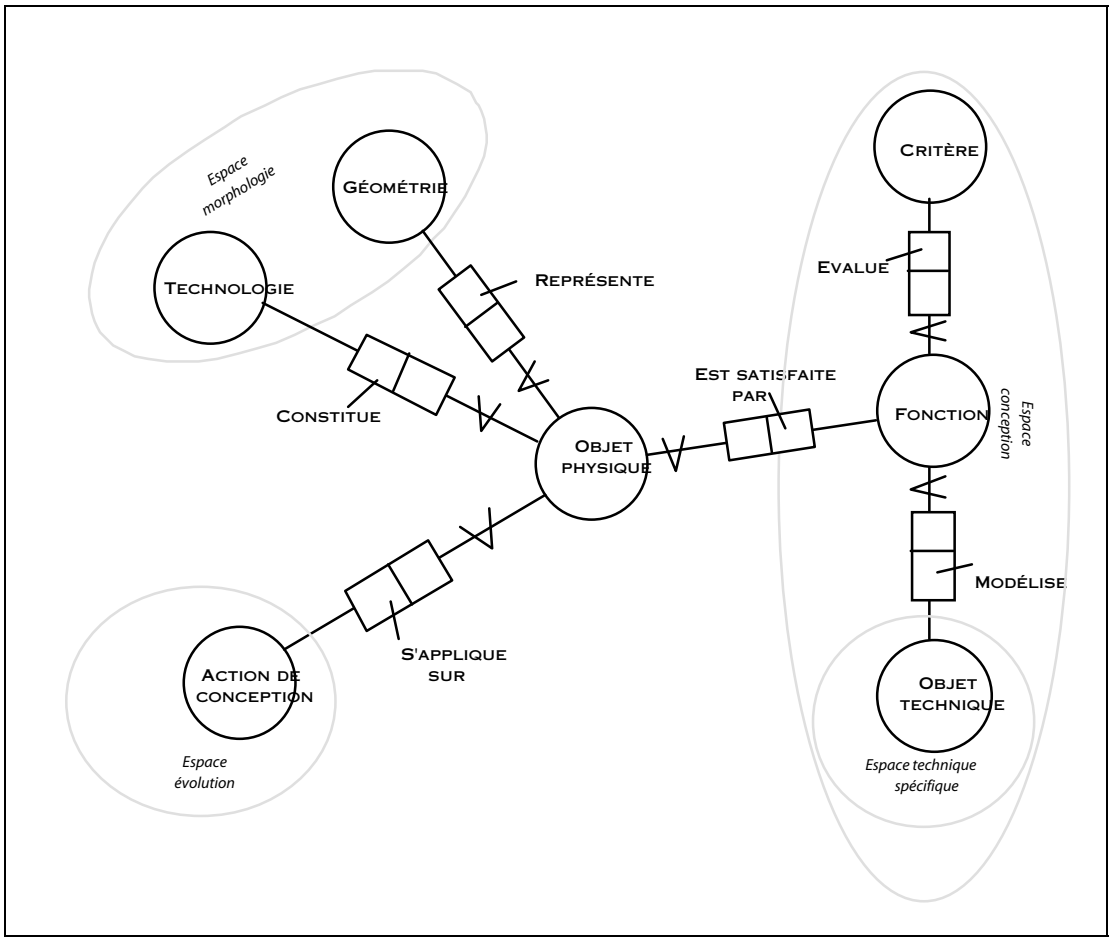


Figure 4.2 : morphologie, conception et évolution des objets physiques

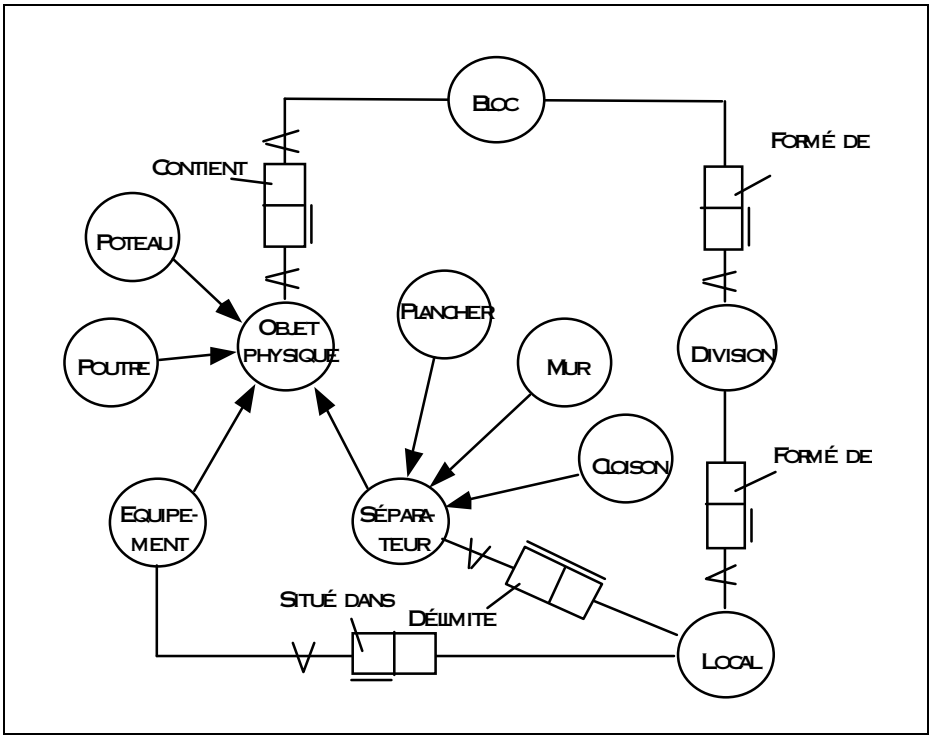


Figure 4.3 : l'objet physique

L'objet physique est le noyau de la modélisation des informations de conception et il doit être interprété en fonction du point de vue de l'utilisateur, notamment du maître d'œuvre d'exécution en ce qui nous concerne.

I - 4 Les acteurs :

Chaque **acteur** a un **rôle** (architecte, client, bureau d'étude, ...) qui correspond à une **fonction** de gestion de projet (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, contrôle, réalisation).

D'autres objets du projet peuvent également être reliés aux fonctions. C'est le cas, par exemple, des objets physiques qui doivent assurer la fonction de conception en répondant à certains critères.

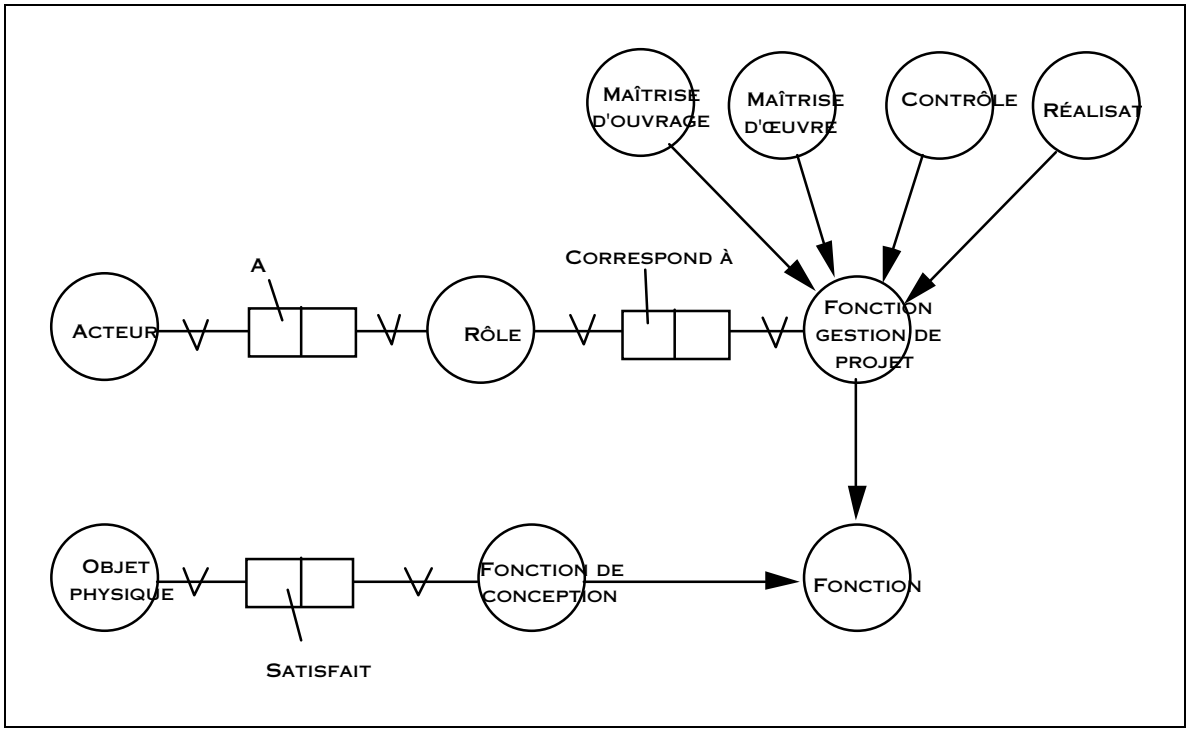


Figure 4.4 : les acteurs

I - 5 Exemple illustratif :

On considère un projet (Fig. 4.5) constitué d'un seul **bâtiment**, lui même composé d'un seul **bloc**. Le bloc est composé d'une **cage** et de trois **appartements**. La cage est un **commun** qui est formé des **locaux** 1, 2 et 8 (le local 1 étant une **circulation verticale**) ; l'appartement 1 est formé des locaux 3, 4, 5 et 6; l'appartement 2 est formé des locaux 9, 10 et 14; l'appartement 3 est formé des locaux 11, 12 et 13. Les locaux 1 à 6 composent l'étage 0 ; les locaux 8 à 14 composent l'étage 1. Les locaux 15 à 18 sont des **locaux extérieurs** correspondant aux quatre façades du bâtiment.

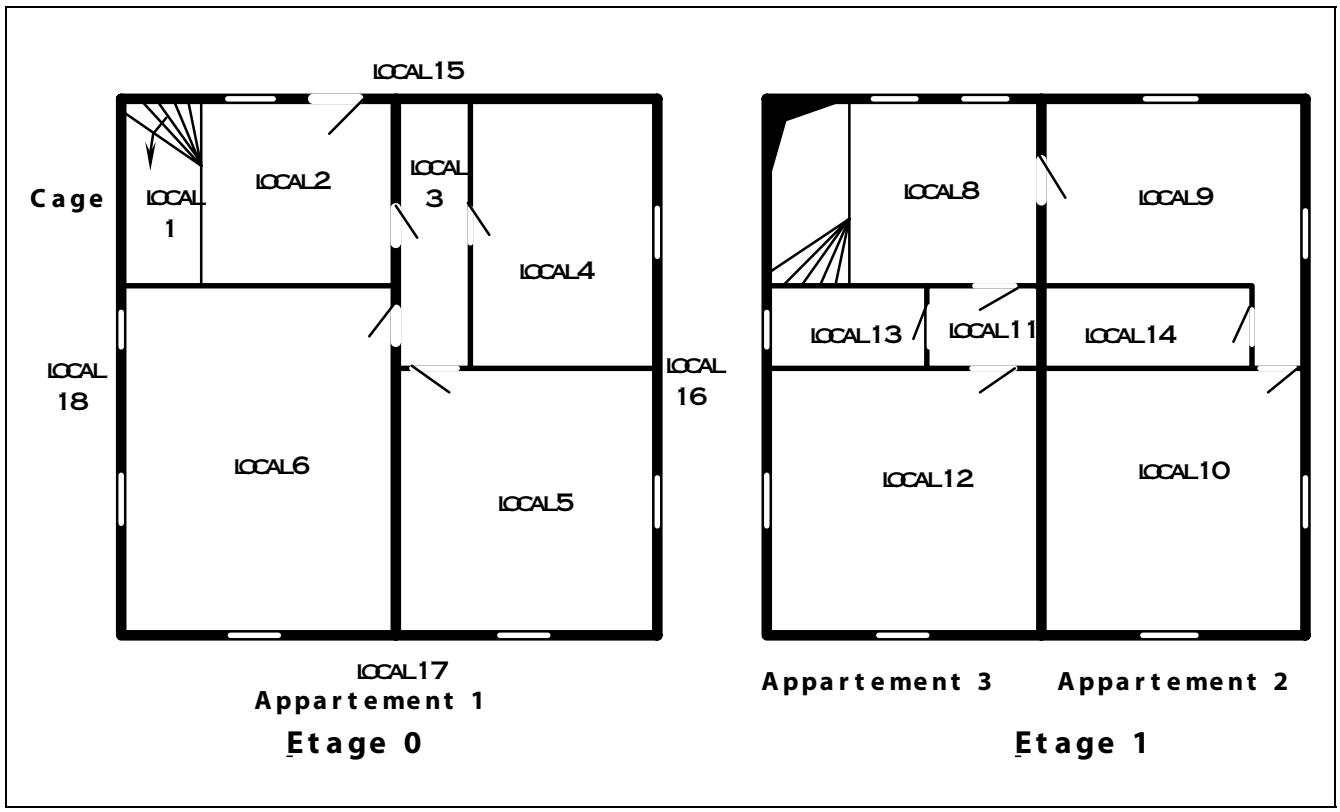


Figure 4.5 : les zones de planification du projet

Ce bâtiment est composé d'un certain nombre d'**objets physiques** (Fig. 4.6) :

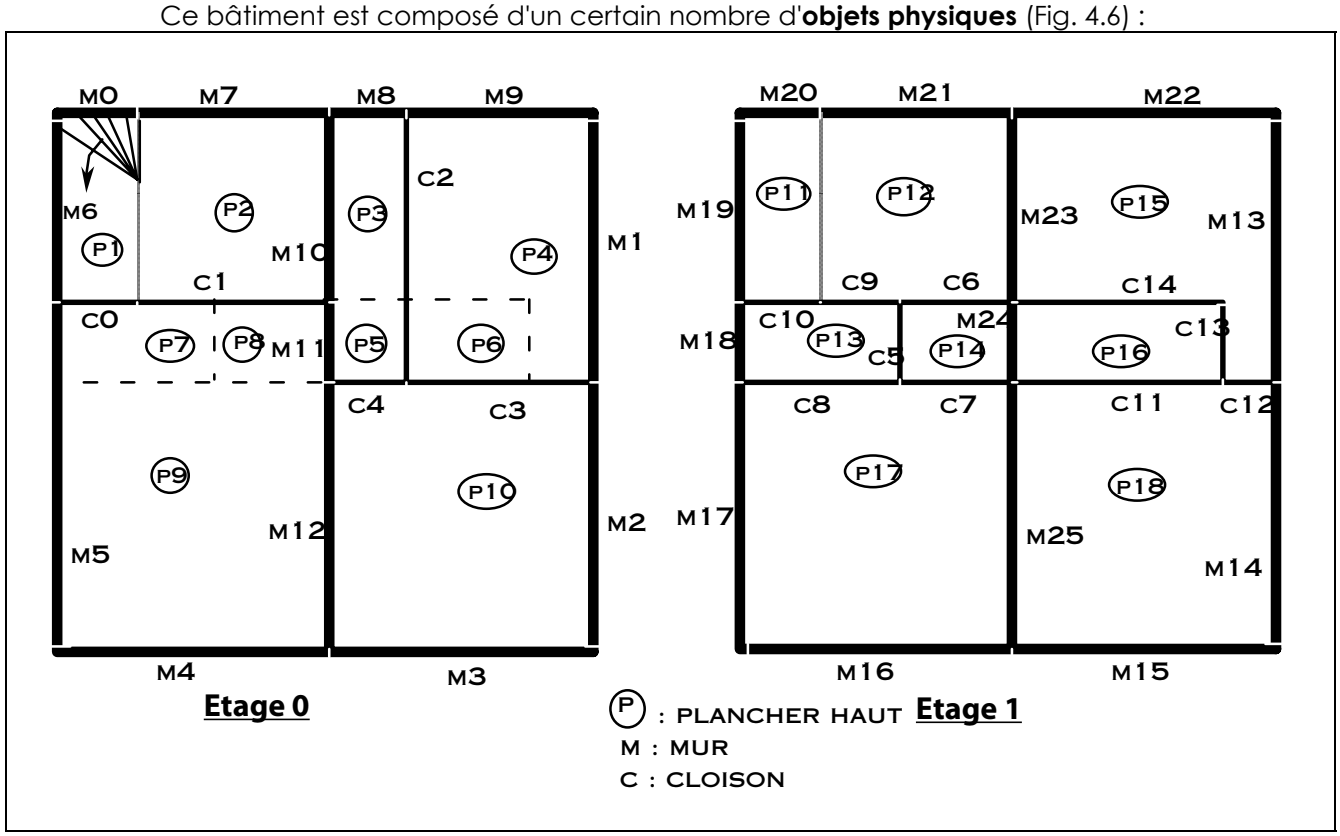


Figure 4.6 : les objets physiques du projet

Dans cet exemple, nous avons retenu trois types d'objets physiques :

Les murs :

Exemple : le mur m0 sépare le local 1 de l'extérieur, a une surface de 4 m^2, est composé d'une couche d'enduit extérieur, de 15 cm de béton armé, de 10 cm d'isolant, d'un doublage plâtre et d'une couche de peinture intérieure.

Les planchers :

Exemple : le plancher p9 sépare les locaux 6 et 12. Il est composé d'une couche de peinture, de 1 cm de plâtre, 20 cm de béton armé, de 3 cm de chape, de moquette. Sa surface est 25 m^2.

Les cloisons :

Exemple : La cloison c1 est composée d'une couche de peinture, de 1 cm de plâtre, de 5 cm de brique creuse, de 1 cm de plâtre et d'une couche de papier peint. Elle sépare les locaux 2 et 6 et a une surface de 11 m^2.

II - La modélisation des informations pour la gestion de projet :

Sur la base de la présentation du domaine de recherche faite dans le premier chapitre, nous avons élaboré une modélisation des informations pour la gestion de projet de bâtiments. **Elle doit être cohérente avec la modélisation des informations de conception présentée dans le paragraphe précédent**. Compte tenu de la définition de l'objet physique, la cohérence entre la modélisation des informations de conception et la modélisation des informations de gestion de projet passe par l'interprétation de l'objet physique d'un point de vue gestion de projet.

L'exécution des tâches consistant à réaliser les composants du bâtiment, il existe donc un lien entre la tâche et les objets physiques que l'on doit préciser. Des travaux de recherche ont déjà été faits sur ce lien. Nous présentons ci-dessous deux grandes classes de solutions qui ont été proposées pour modéliser ce lien, puis nous proposons un modèle qui nous a semblé mieux répondre à notre problématique.

Dans [ASS 89], le bâtiment est représenté par une arborescence de *nœuds* selon la hiérarchie : chantier -> bâtiment -> infrastructure/superstructure -> verticaux/horizontaux -> fondations (cette notion de nœud avait déjà été introduite dans [TAT 77]). Chaque nœud correspond alors à un type de composant du projet. A chaque type de composant est associé un jeu de "sous-plans", sortes de réseaux partiels de tâches. Pour chaque nœud du projet, il s'agit alors, en fonction de l'environnement, de sélectionner un de ces sous-plans, puis, dans ce sous-plan, de sélectionner les tâches qui seront réellement exécutées. Ces tâches sont ensuite évaluées puis reliées entre elles en fonction des contraintes de succession. Dans [MAR 87], on retrouve également la notion de hiérarchie des objets à réaliser mais une autre hiérarchie est définie en parallèle : celles des tâches. Les deux hiérarchies se rejoignent à leur base où un *nœud d'activité* relie chaque objet "élémentaire" à

une tâche "élémentaire".

Dans ce premier type de proposition [ASS 89] [MAR 87], la notion de hiérarchisation semble un peu trop rigide pour être adaptée directement aux projets de bâtiments dont les composants sont structurés de façon plus complexe qu'une simple hiérarchie, notamment en raison de leur aspect multitechnique.

Un autre type de solution est présenté dans [HEN 87] : chaque *élément de conception* (design element), objet dont la définition est proche de celle de l'objet physique, est associé à des *éléments de tâches* (element activity). Les tâches sont ensuite construites par composition à partir des éléments de tâche. Chaque élément de tâche étant évalué indépendamment des autres, nous percevons deux problèmes :

- le très grand nombre de calculs à effectuer et le nombre important d'informations en résultant ;

- l'impossibilité de modifier la méthode d'évaluation (durée, consommations) de la tâche "composée" en fonction de l'importance du travail à laquelle elle correspond puisqu'elle est évaluée par simple cumul des valeurs calculées indépendamment pour chaque élément de tâche.

En outre, les règles de regroupement des éléments de tâche peuvent être les mêmes pour différents types de tâches mais elles seront réactivées pour la constitution des tâches de chaque type, d'où un manque d'optimisation du processus. Enfin, cette modélisation intègre la description du bâtiment alors que nous souhaitons reprendre la modélisation des bâtiments élaborée au cours des nombreux travaux de recherche du LGCH.

Nous avons par conséquent préféré élaborer notre propre modélisation de la gestion de projet. Or, le principe de base de l'objet physique, noyau de la modélisation du bâtiment que nous souhaitons utiliser, fait qu'il doit être systématiquement interprété par l'utilisateur. Nous avons alors défini un objet correspondant à une interprétation d'un point de vue "gestion de projet". En fait, le principe de cet objet a été introduit dans les chapitres 1 et 2 lorsque l'identification des tâches nécessitait le regroupement de différents composants du bâtiment de manière à construire une entité vis à vis des travaux de construction. Sa définition est proche de celle de l'ouvrage en tant que "résultat d'un travail" mais nous avons préféré ne pas retenir ce terme courant mais utilisé avec des sens très variés. Nous l'avons appelé **objet de planification**, rappelant ainsi dans quel contexte nous l'avons identifié et défini.

II - 1 L'objet de planification :

L'objet physique est composé de différentes technologies réalisées par différentes tâches ; par ailleurs, sa géométrie correspond au plus petit découpage du bâtiment de manière à en faire un élément commun que chaque utilisateur peu recomposer selon ses besoins. Le maître d'œuvre d'exécution doit ainsi regrouper des objets physiques jusqu'à constituer un ouvrage constituant une entité vis à vis d'un ou

plusieurs types de tâches. Nous en déduisons la définition suivante :

L'objet de planification est le regroupement d'une partie (au sens technologique) d'un ou plusieurs objets physiques. Sa réalisation est assurée par l'exécution d'une seule tâche de même type. Une même tâche ne contribue à réaliser qu'un seul objet de planification.

Cette définition est assez proche de celle de l'objet composé (*compound object*) proposée dans [DAR 88], bien que cette dernière réponde beaucoup plus à des critères géométriques que technologiques.

La figure 4.7 représente la relation établie entre la tâche et l'objet physique par l'intermédiaire de l'objet de planification.

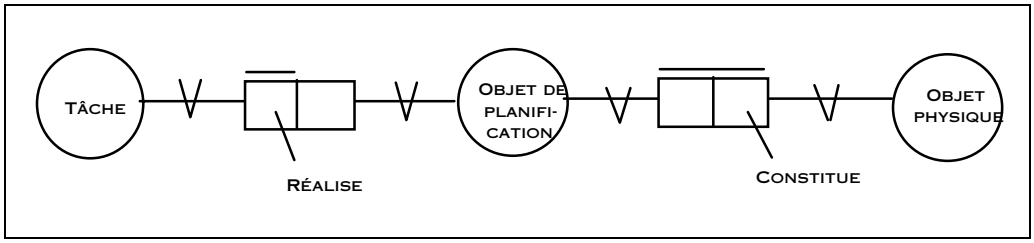


Figure 4.7 : l'objet de planification

Exemple (Fig. 4.8) :

Un objet de planification "voile béton" est constitué par le regroupement de la partie béton des objets physiques de type mur m1, m2 et m3. Pour réaliser cet objet de planification, on exécute, pour un niveau de détail donné, une seule tâche : la tâche "réalisation du voile béton". Pour un niveau de détail plus fin, on peut imaginer l'exécution de plusieurs tâches pour ce même objet de planification : le ferraillage, le coffrage et le coulage. En revanche, on n'envisagera pas deux tâches de coffrage pour cet unique objet de planification. Si les contraintes de réalisation imposaient ce genre de décomposition, on décomposerait alors de la même sorte l'objet de planification de manière à n'avoir qu'une seule tâche de même type sur un même objet de planification.

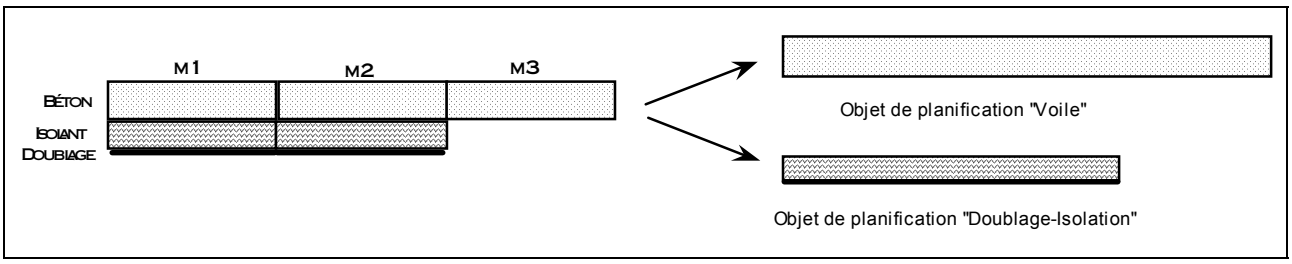


Figure 4.8 : constitution d'un objet de planification

II - 2 Les tâches :

L'exécution d'une **tâche** consiste à réaliser un objet de planification dans sa totalité ou au moins la totalité d'une de ses technologies (par exemple, le ferraillage d'un objet de planification voile-béton).

L'exécution de la tâche entraîne au moins l'utilisation de **ressources renouvelables** (sinon, on considérera que la tâche n'existe pas, le cas des tâches fictives étant traité plus loin à travers la notion d'événement), et, la plupart du temps, la consommation de **ressources renouvelables** (Fig. 4.9)[4].

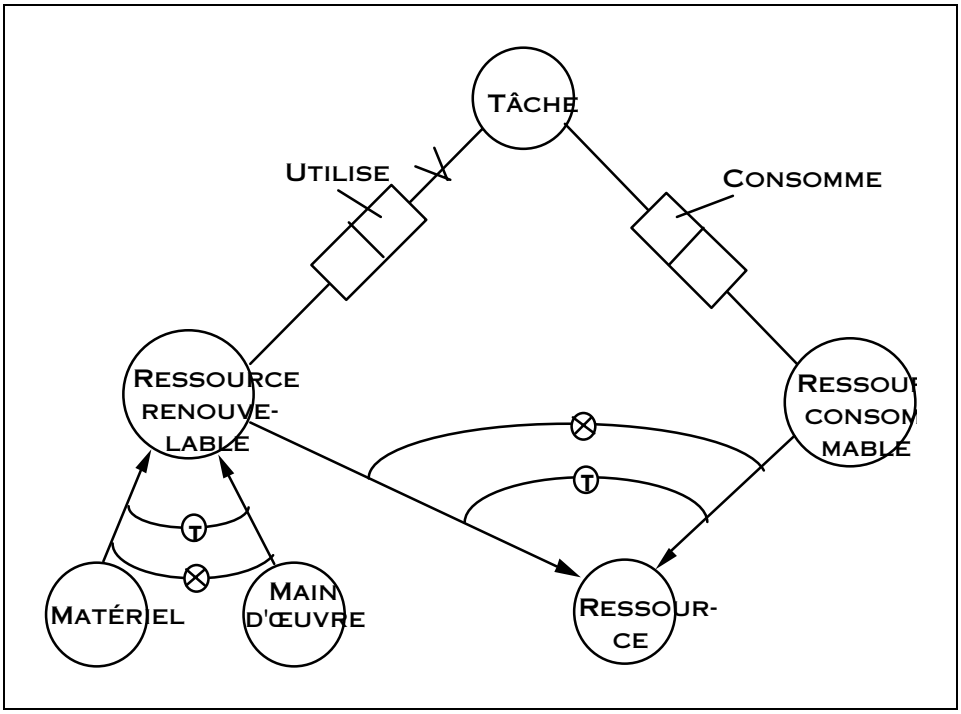


Figure 4.9 : la tâche

Les tâches sont regroupées par **lot**, c'est à dire généralement par corps d'état.

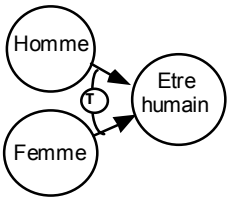
La relation entre les tâches et les objets de planification permet de localiser les tâches par rapport aux **zones de planification**. Ces zones de planification regroupent des **locaux**, et, éventuellement, des zones de planification de dimension inférieure. Elles contiennent des objets de planification.

La figure suivante (Fig. 4.10) récapitule les principales notions aboutissant à l'identification d'une tâche.

---

[4]Le formalisme NIAM permet de représenter les contraintes de totalité (T) :

les hommes et les femmes constituent la totalité des êtres humains.



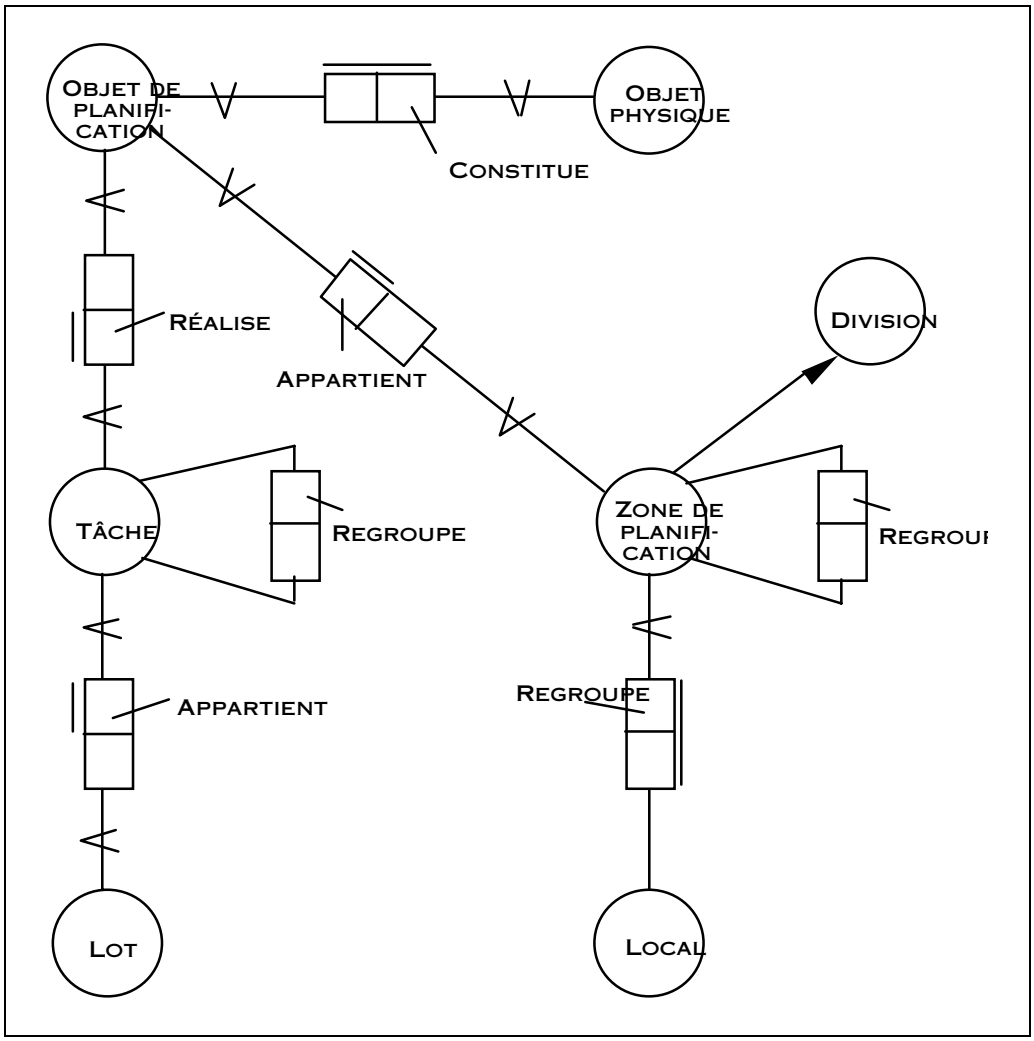


Figure 4.10 : identification d'une tâche

II - 3 Les contraintes :

Le problème des contraintes a été abordé par le Groupe Structuration de Données [GSD 91]. Les concepts et relations qui avaient alors été définis sont compatibles avec les caractéristiques des contraintes de planification. Nous avons donc repris le même schéma en introduisant la contrainte de planification comme type de contrainte (Fig. 4.11).

Nous avons ajouté à ce schéma la notion d'**événement**, sorte d'objet du projet. L'événement peut être un ordre de service, une réunion de chantier, des intempéries, l'obtention d'un permis de construire, le démarrage ou la réception des travaux qui sont à l'origine ou visent une contrainte (pour réaliser l'ordonnancement, on peut le prendre en compte en tant que tâche fictive).

De manière générale, **la contrainte est fixée par un acteur, elle vise et a pour origine un objet du projet, dépend de conditions d'application et donne lieu à une action** (relâchement, nouvelle contrainte). On peut distinguer différents types de

contraintes (pour la planification, on aura des contraintes de succession, de disjonction, de date imposée,...).

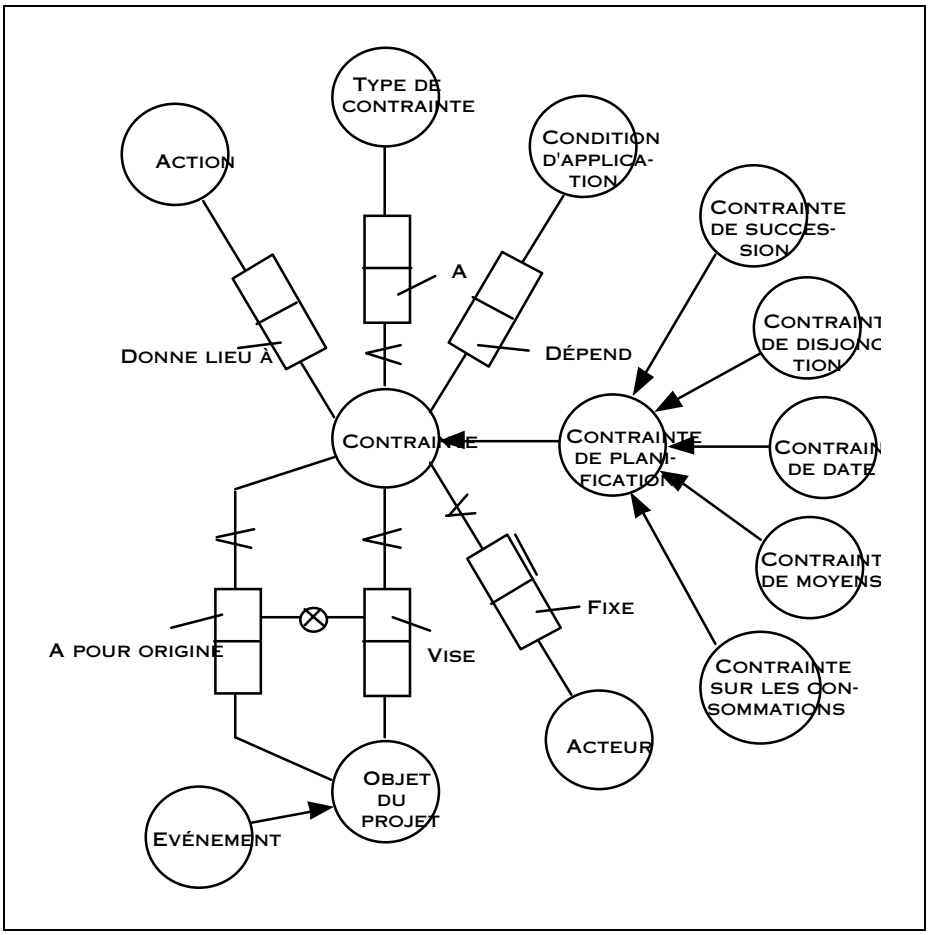


Figure 4.11 : les contraintes

Exemple :

> *Une contrainte peut avoir pour origine un local et viser toutes les tâches. Elle exprime le fait que deux tâches distinctes ne peuvent être exécutées simultanément dans un même local. Il s'agit là d'une contrainte de réalisation.*

III - La modélisation des informations de réalisation :

Il s'agit de modéliser les informations qui permettent de déterminer la façon dont les composants du bâtiment seront réalisés et les moyens qui seront employés dans ce but. Nous présentons également dans ce chapitre une modélisation des documents, éléments importants de la gestion de projet.

III - 1 Les options de construction :

Nous avons introduit la notion d'option de construction dans le chapitre 3. Nous rappelons ci-dessous le raisonnement qui nous a amené à définir ce concept.

L'objet de planification est relié aux différents objets physiques qui le composent. Cette relation dépend du type d'objet physique et des technologies qui le composent. Or, une même technologie peut être mise en œuvre de différentes façons. Selon la méthode choisie, les ouvrages et les tâches correspondants ne sont pas forcément les mêmes. D'où la nécessité de définir un nouveau concept, intermédiaire entre l'objet physique et l'objet de planification : l'**option de construction** (Fig. 4.12).

Exemple :

> *Pour un niveau de détail relativement global, à la partie technologique "béton armé" d'un mur, on peut associer soit l'option de construction "béton coulé en œuvre", soit l'option "béton préfabriqué". Pour un niveau de détail plus fin, l'option "béton coulé en œuvre" se décompose en deux sous-options : "coffrages tunnels" et "coffrages traditionnels".*

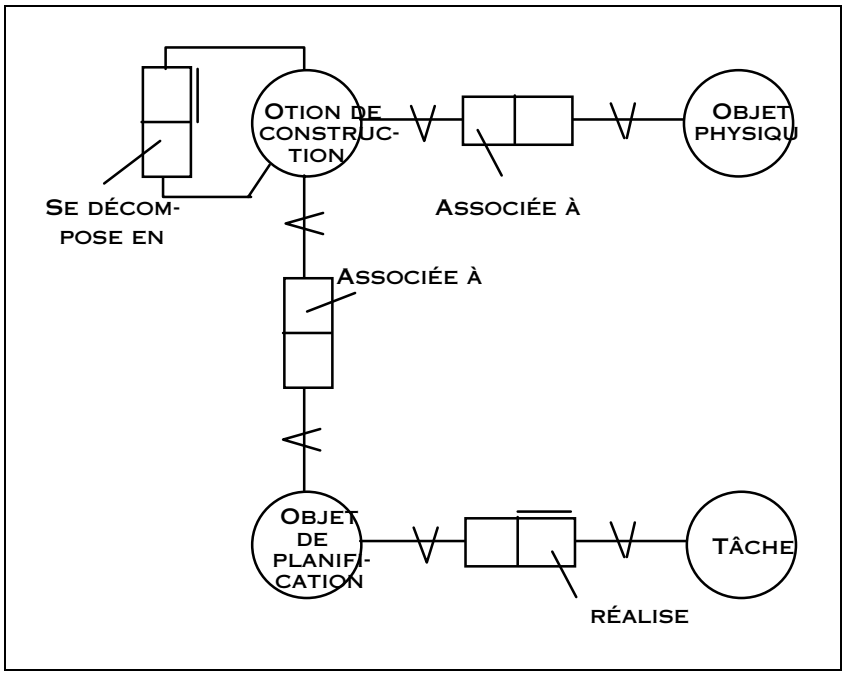


Figure 4.12 : l'option de construction

III - 2 Les documents :

Au cours du projet, l'information sera portée et véhiculée par les documents (Fig. 4.13) : chaque document a pour rôle d'**informer sur des objets du projet**. On peut envisager différents types de document, tels que les plans, les descriptifs, les comptes-rendus, les plannings... Le document est rarement transmis seul : il fait

généralement partie d'un **dossier**. C'est ce dossier qui est commandité et/ou reçu par un **acteur**. En revanche, chaque document d'un même dossier peut avoir été établi par un acteur différent.

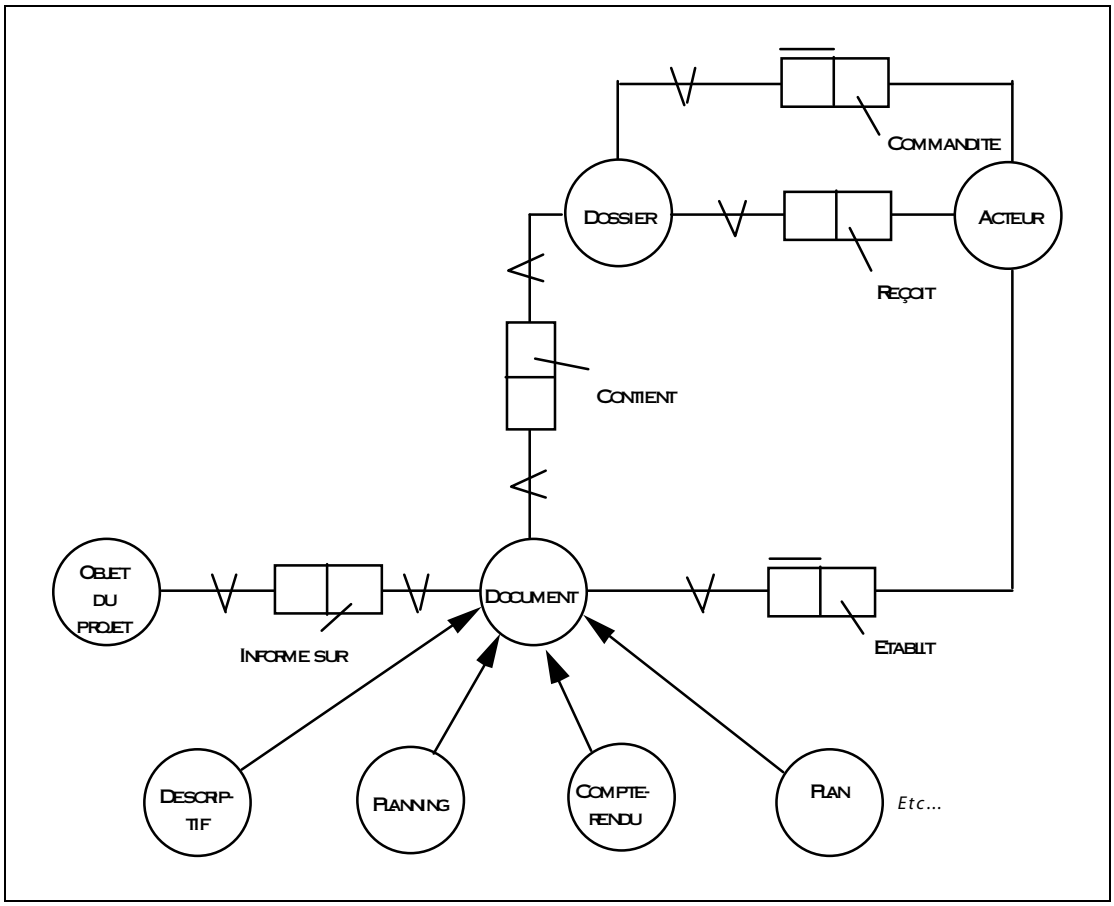


Figure 4.I3 : les documents et les acteurs

La modélisation des documents relatifs à un projet de construction est abordée dans [GSD 91]. On y retrouve une partie de la modélisation que nous avons présenté ainsi que différentes propositions dont nous retenons les suivantes (Fig. 4.14) : les documents sont soit informatiques, soit sous forme "papier". Ils correspondent à un type principal : document contractuel, document relatif à la gestion de projet ou document relatif à la conception (dans ce dernier cas, on précise le domaine de conception). Un document peut être relié à d'autres documents : celui qui est sa version antérieure et ceux qui ont été utilisés pour le constituer.

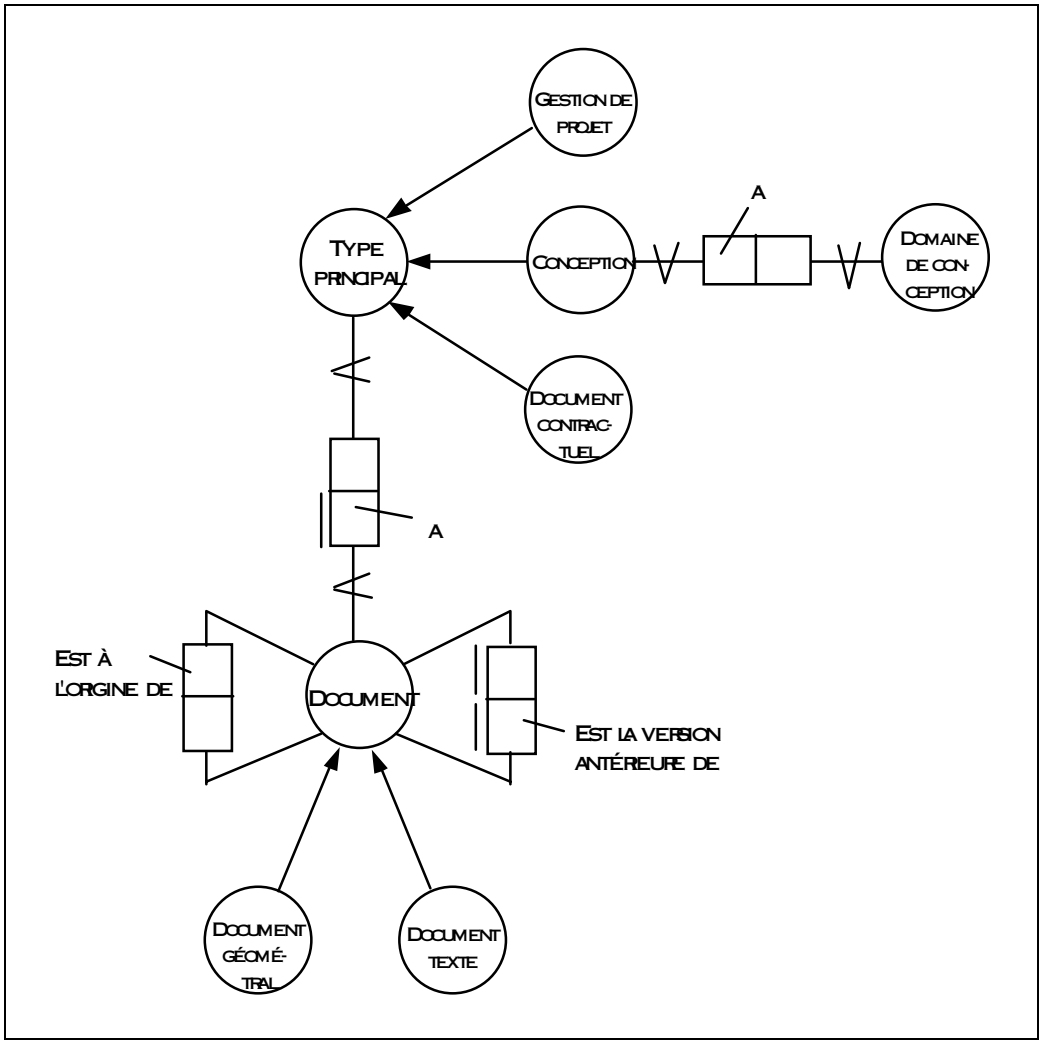


Figure 4.I4 : les documents

III - 3 L'entreprise :

L'entreprise dispose d'une certaine quantité de **ressources renouvelables**. Elle choisit des **options de construction** pour chacune desquelles elle affecte des ressources renouvelables, ceci afin d'exécuter des **tâches**.

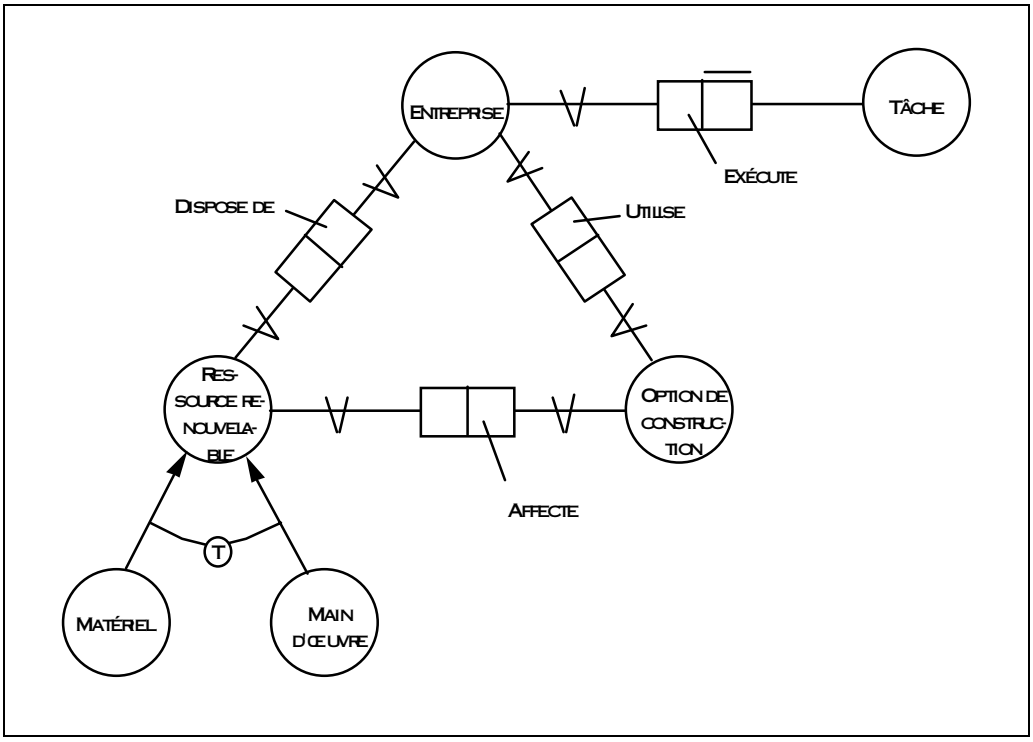


Figure 4.I5 : l'entreprise

Un acteur signe ou établit des **contrats**, ceux-ci faisant partie d'un **lot**.

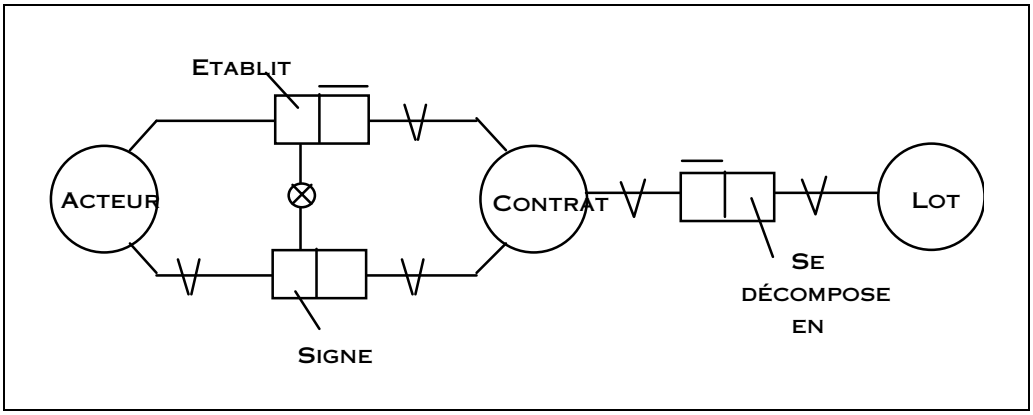


Figure 4.I6 : le contrat

IV - La formalisation des connaissances :

Le but est de formaliser le *savoir-faire* du maître d'œuvre d'exécution, celui qui permet de passer du "quoi" (la description du bâtiment) au "comment" (tâches à exécuter) [ASS 89] [LAU 92]. Ce *savoir-faire* correspond à des connaissances générales qui, confrontées à un projet particulier, permettent de générer des

informations pour la gestion de projet à partir d'informations de conception et de réalisation, c'est à dire de construire les zones de planification et les objets de planification à partir des objets physiques, puis de générer les tâches ainsi que les contraintes de planification.

Nous avons donc défini des objets types, indépendants de tout contexte de projet particulier : des tâches types, des objets de planification types, des zones de planification types, des contraintes de planification types. Nous appelons ces objets types des **objets génériques**.

Exemple :

> *Quel que soit le projet considéré et quelle que soit la zone de planification de ce projet, une tâche "réalisation des ouvrages verticaux en béton armé" a toujours les mêmes types d'attributs (durée, coût, consommations), les mêmes méthodes d'évaluation de ces attributs, elle appartient toujours au même lot, réalise toujours le même type d'objet de planification, ... On peut donc définir dans un même objet, une **tâche générique**, la structure communes à toutes les tâches de type "réalisation des ouvrages verticaux en béton armé" (Fig. 4.17).*

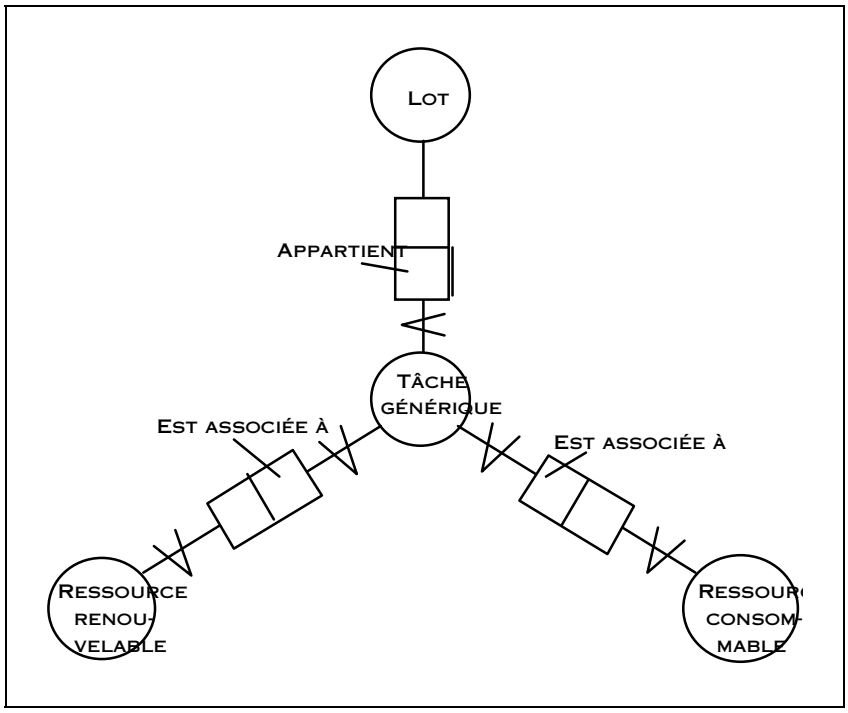


Figure 4.17 : les caractéristiques d'une tâche générique

Sur le schéma ci-dessus (Fig. 4.17), la relation **Tâche générique**-Utilise-Ressource renouvelable a pour attribut la **méthode de calcul** de la quantité de ressource renouvelable utilisée alors que l'attribut de la relation **Tâche**-Utilise-Ressource renouvelable est la **quantité** utilisée (et calculée selon la méthode définie au niveau générique).

La génération d'une tâche consiste ensuite, à partir de la structure définie dans la tâche générique, à déterminer les caractéristiques d'une tâche "réelle".

Exemple :

> *T**âche générique** "réalisation d'un voile en béton" :*
>
> *- réalise : ouvrage de type voile.*
>
> *- consommation de béton : volume de l'ouvrage réalisé.*
>
> *- durée : 5h + 3h par m^3 de béton.*
>
> ***Tâche** "réalisation du voile n°3 du bâtiment n°1" :*
>
> *- réalise : voile n°3*
>
> *- consommation de béton : 5m^3.*
>
> *- durée : 20h.*

Cette notion de tâche générique est également utilisée dans [GLA 93] où des "opérations types" ont été prédéfinies : on leur associe un type d'élément à réaliser, la qualification et le nombre minimum d'ouvriers requis, la dimension de référence (surface, volume ou nombre d'unités) et la durée unitaire par ouvrier.

Le principe d'objet générique est généralisé pour tous les principaux types d'informations pour la gestion de projet (Fig. 4.18) :

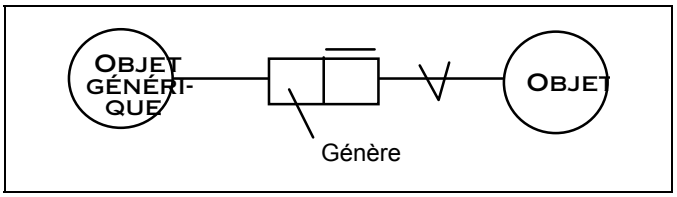


Figure 4.18 : les objets génériques

Nous avons ainsi défini les **tâches génériques**, **zones de planification génériques**, les **objets de planification génériques** et les **contraintes de planification génériques** (Fig. 4.19).

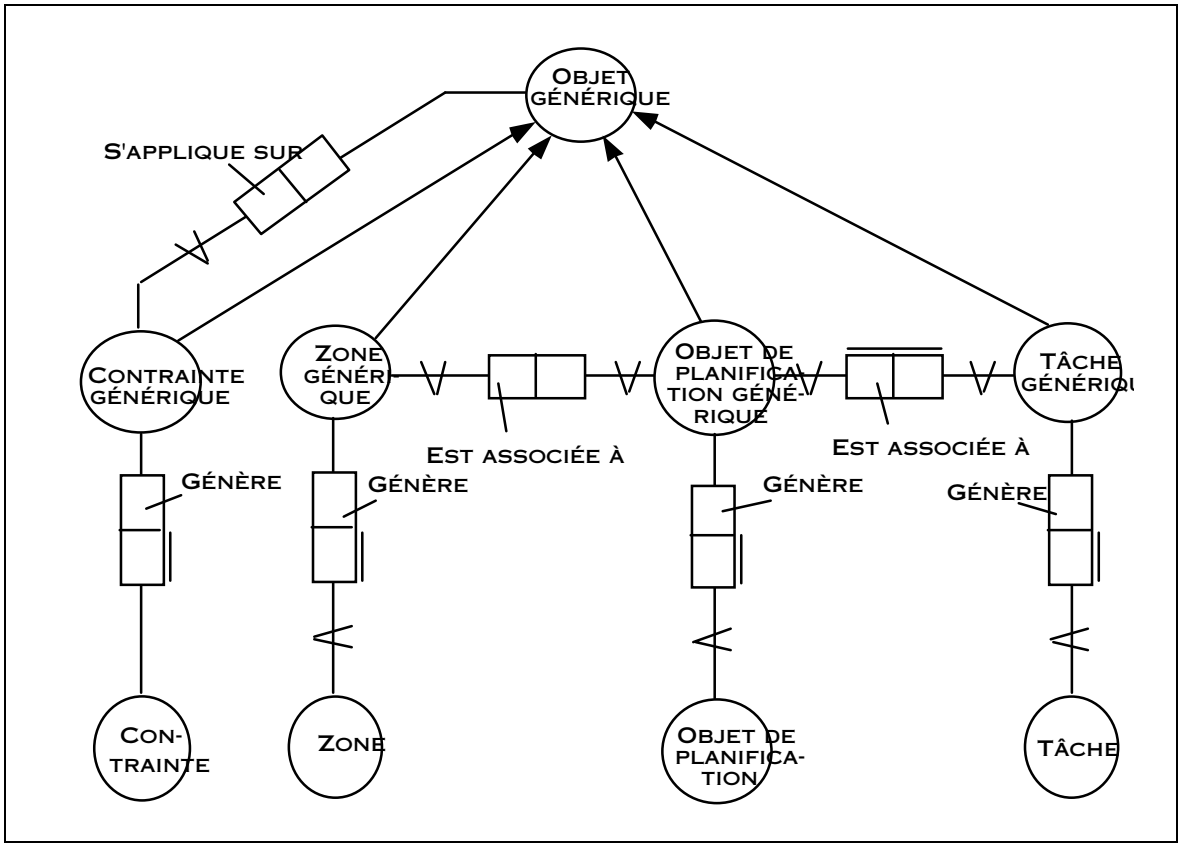


Figure 4.19 : génération des objets

Le schéma ci-dessus (Fig. 4.19) introduit la notion de relation entre objets génériques. La relation "*tâche générique - est associée à - objet de planification générique*" traduit le fait qu'un certain type de tâche consiste à réaliser un certain type d'objet de planification.

Exemple :

> *Pour reprendre l'exemple ci-dessus, la tâche générique "réalisation des ouvrages verticaux en béton armé" est associée à l'objet de planification générique "ouvrages verticaux en béton armé".*

Nous avons vu dans un paragraphe précédent (voir fig. 4.11) que **l'objet de planification est en fait lié aux objets physiques qui le composent par l'intermédiaire de l'option de construction qui pallie le manque d'informations de réalisation explicite résultant de la conception**. On peut alors formaliser la connaissance mise en œuvre pour construire les objets de planification en définissant des relations à un niveau générique. On définit ainsi l'option de construction générique et l'objet physique générique (Fig. 4.20).

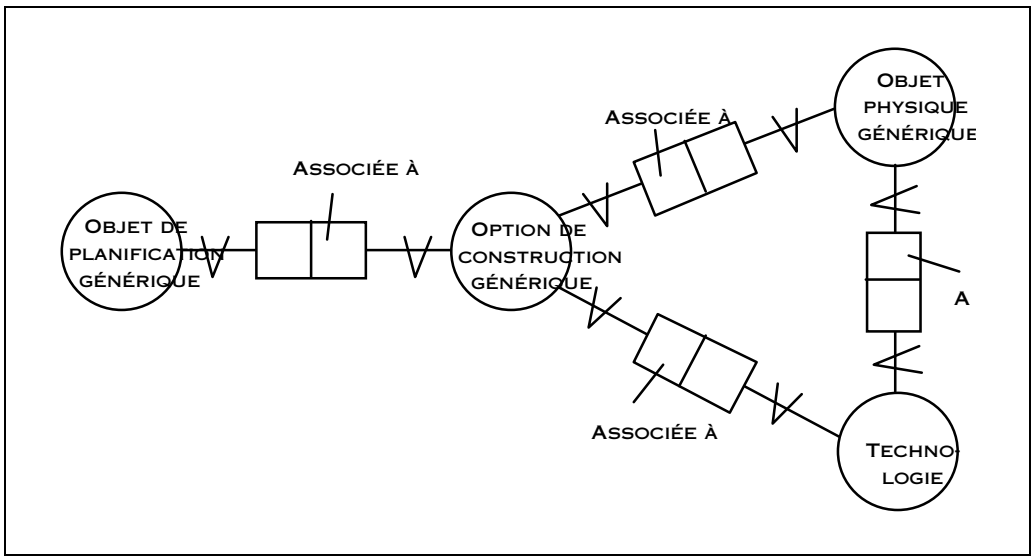


Figure 4.20 : le rôle de l'option de construction générique

Exemple :

> *L'option de construction générique "béton armé coulé en place" est associée aux objets de planification génériques "superstructure" et "infrastructure". Elle caractérise la technologie "béton" des objets physiques de type "mur", plancher", "dalle", "poteau", "poutre", ...*

L'objet de planification générique est relié à la notion de zone de planification. **L'appartenance à une même zone de planification constitue en effet le critère de base pour le regroupement des objets physiques en objets de planification**. Comme la partition du projet n'est pas la même suivant les types de tâche en cours d'exécution, on ne considère pas toujours les mêmes types de zones de planification selon les types d'objets de planification. Autrement dit, à chaque objet de planification générique, on associe une zone de planification générique.

Exemple :

> *L'objet de planification "superstructure", correspondant au niveau de détail de type planning enveloppe, est associé à la zone de planification générique "étage". Un bâtiment est constitué par (au moins) autant d'objets de planification "superstructure" qu'il comporte d'étages de superstructure.*

Le schéma suivant (Fig. 4.21) récapitule les différentes relations présentées ci-dessus afin de montrer le cheminement qui conduit de l'objet physique à la tâche.

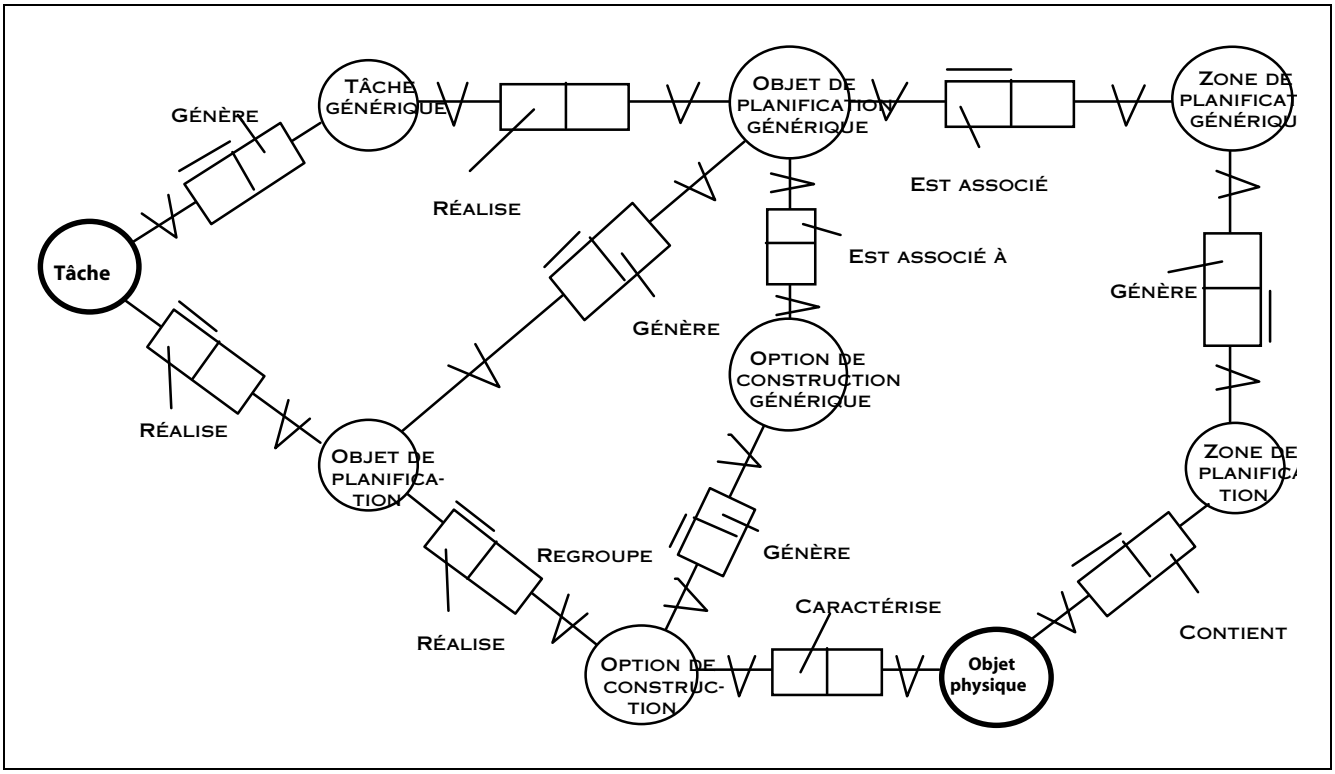


Figure 4.21 : génération de la tâche

Enfin, constatant que les contraintes de planification pouvaient être généralement regroupées par familles selon certains critères de ressemblance (même type d'objet cible et origine, même type de conditions d'application, même expression), nous avons également introduit la notion de **contrainte de planification générique**, associée à différents objets génériques (Fig. 4.22).

Au niveau générique, un même objet peut être à la fois origine et cible (par exemple, une tâche de type "réalisation du gros œuvre" peut contraindre une tâche de même type mais exécutée sur l'étage supérieur). En revanche, les objets générés ne peuvent se contraindre eux-mêmes en étant à la fois cible et origine.

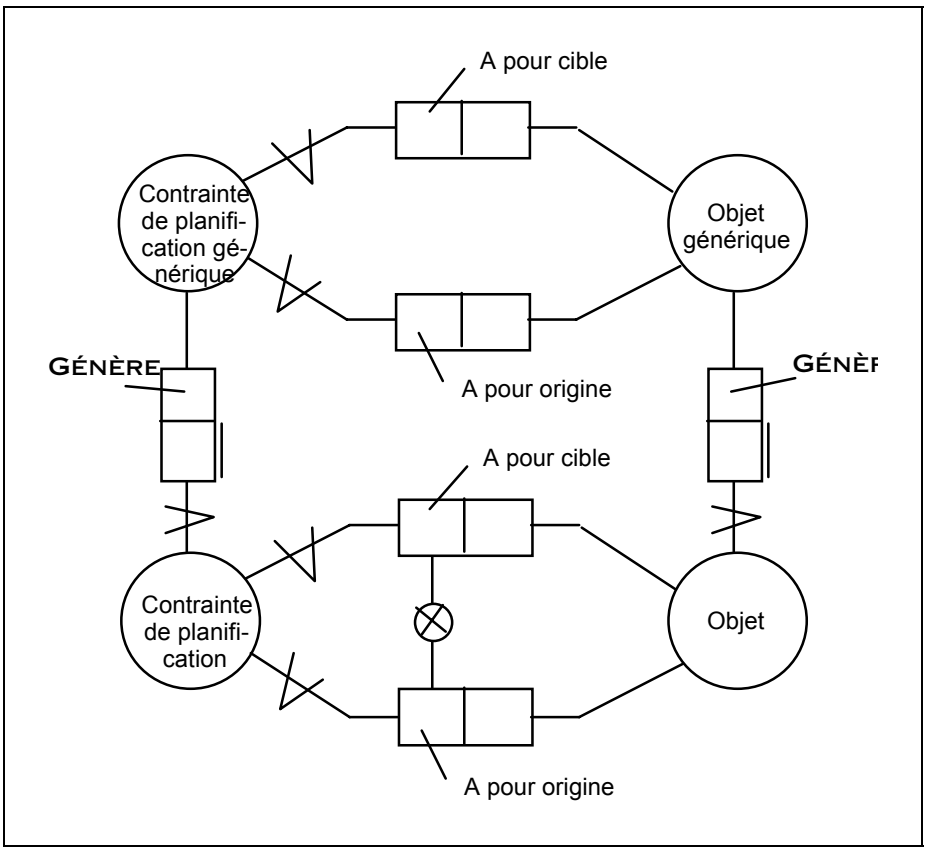


Figure 4.22 : la contrainte de planification générique

Exemple :

> *La notion de contrainte générique est employée pour exprimer le fait que pour tout objet de planification de type "porteur vertical", la tâche "coffrage" précède la tâche "coulage du béton".*

Dans ce chapitre, nous avons identifié puis décrit les différents concepts liés respectivement aux informations de conceptions, aux informations pour la gestion de projet et aux informations de réalisation. Les relations entre ces concepts montrent comment s'articule la liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments.

Le modèle conceptuel élaboré permet alors de formaliser les connaissances de base du maître d'œuvre d'exécution à travers la définition des objets génériques. Nous avons ainsi structuré ces connaissances selon cinq principales catégories :

- des zones de planification génériques ;

- des options de construction génériques ;

- des objets de planification génériques ;

- des tâches génériques ;

- des contraintes de planification génériques.

La constitution de la base de connaissances consiste alors à recenser et décrire les connaissances, dans chacune de ces catégories, correspondant à la gestion de projet de bâtiment, dans un contexte préalablement défini. Il s'agit là de l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 5

Constitution d'une base de connaissances pour la gestion de projet

Nous avons montré, au cours des premiers chapitres, l'importance de la base de connaissances pour la gestion de projet de bâtiments. La modélisation et la formalisation présentée dans le chapitre précédent ont permis de définir la structure de cette base de connaissances, guidant ainsi le recueil de l'expertise auprès de professionnels. Ce recueil d'expertise a d'abord été fait de façon relativement informelle auprès de divers acteurs du projet de bâtiment (des architectes, des conducteurs de travaux, des ingénieurs, des pilotes, ...). Puis nous avons privilégié une collaboration avec la société Méthodes et Construction pour construire la base de connaissances conformément à la formalisation présentée dans le chapitre précédent, c'est à dire en identifiant les occurrences des différents objets génériques.

Nous avons retenu deux niveaux de détail de la planification : le niveau enveloppe et le niveau détaillé :

- le niveau détaillé (**niveau 2**) est très utilisé dans le domaine du bâtiment ; il est typiquement du ressort du maître d'œuvre de réalisation ;

- afin d'illustrer l'articulation entre les différents niveaux de détail, nous devions en choisir un second pour notre application, plus global ou plus détaillé. Le niveau très détaillé correspond davantage à la gestion de production : il fait appel à des connaissances très nombreuses, plus difficilement formalisables et généralement dispersées entre les représentants de chaque corps d'état. Nous avons donc préféré retenir le niveau enveloppe (**niveau 1**), plus global, également très utilisé.

Nous avons par ailleurs retenu un certain nombre de lots : nous ne pouvions pas, en raison de la quantité de travail que cela aurait représenté, faire une étude aussi exhaustive que possible quant aux différents lots. Nous avons dû faire une sélection et nous avons choisi les lots qui nous semblaient être les lots de base pour une grande partie des travaux de construction des bâtiments :

- fondations profondes ;
- gros œuvre ;
- doublage-cloisons-isolation ;
- menuiseries intérieures.
- menuiseries extérieures ;
- électricité ;
- charpente-couverture ;

En outre, le choix de ces diffrents lots permet d'aborder l'aspect multitechnique des objets physique (un mur comporte une partie béton, une partie isolation, une partie doublage ; il peut porter une menuiserie intérieure ou extérieure). On pourra ainsi montrer les différentes façon de regrouper les objets physiques en fonction du type d'objet de planification à construire.

I - Principe du recueil des connaissances :

Les différents types d'objets génériques identifiés lors de la modélisation de la gestion de projet de bâtiments (chapitre précédent) sont :

- les options de construction génériques ;

- les tâches génériques ;

- les objets de planification génériques ;

- les contraintes de planification génériques ;

- les zones de planification génériques.

Les zones de planification génériques ne constituent qu'une partie très restreinte de la base de connaissances que nous présentons ci-dessous : les différents types de zones ont déjà été présentés dans le premier chapitre. Nous complétons, ci-dessous, cette liste et établissons les relations entre zones génériques.

Nom	Compose
Projet	
Bâtiment	Projet
Bloc	Bâtiment
Etage	Bâtiment
Division	Bloc
Local	Division

L'étage se spécialise en étage d'infrastructure et en étage de superstructure. La division se spécialise en appartement, commun, circulation.

Pour les autres objets génériques, le recueil des connaissances ne s'est pas fait selon la logique de progression résultant de la modélisation, c'est à dire en définissant les objets de planification génériques à partir des options de construction génériques pour aboutir aux tâches génériques. Nous avons dû nous adapter au mode de raisonnement de l'expert humain qui associe des tâches, et non des objets de planification, aux options de construction ; à nous ensuite d'identifier les objets de construction correspondants.

Concrètement, pour chacun des lots retenus et pour le niveau de détail "enveloppe", nous avons recensé les différentes options de construction envisageables, et, pour chacune d'elles, les tâches potentiellement réalisables, autrement dit, les tâches génériques. Cette première étape a d'abord été réalisée à

travers l'analyse de différents projets de construction (consultation d'appels d'offres, de divers types de plannings...) puis a été affinée auprès de l'expert. Pour chacune des tâches ainsi identifiées, nous avons alors déterminé la méthode de calcul de la durée. Ensuite, nous avons recensé les contraintes de succession en indiquant leur type (fin-début, fin-fin, ...) et le délai éventuel qui leur est associé. Enfin seulement, nous avons défini pour chaque tâche générique l'objet de planification générique correspondant, un même objet de planification pouvant être associé à plusieurs tâches. A chaque objet de planification générique ainsi identifié, nous avons associé les types d'objets physiques regroupés, la technologie concernée, les dimensions caractéristiques (celles qui permettront d'évaluer les tâches) et la méthode d'évaluation de ces dimensions.

Ensuite, pour le niveau de détail "détaillé", nous sommes partis de chacune des options de construction génériques et des tâches génériques "enveloppes" que nous avons décomposées pour obtenir les options et les tâches correspondant au niveau "détaillé". Puis nous avons déterminé les objets de planification génériques correspondants, de la même façon que pour le niveau enveloppe.

Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons d'abord les options de construction, puis les objets de planification, les tâches et, enfin, les contraintes de planification. Chacun des types de connaissances est présenté sous forme de tableau. La page suivante montre l'articulation entre les différents tableaux.

Les liens entre les tableaux :

Lot	Option de construction	Code	Types d'objets physiques	Technologie
Gros œuvre	Béton armé coulé en œuvre	OCG01	Mur Plancher Poteau Poutre	Béton

Option de construction	Objet de planification	Code	Technologie	Types d'objets physiques	Zone par défaut	Dimensions caractéristiques	Méthode de calcul
OCG01 OCG02 OCG03	Infrastructure	OPG05	Béton	Mur Poteau Poutre Plancher	Etage d'in-frastructure	Surface de plancher	Somme de la surface des planchers

Objet de planification	Tâche générique	Code	Méthode de calcul de la durée
OPG05	Réalisation infrastructure	TG05	1 semaine + 1jour par 45 m^2 de plancher

Nom de la contrainte	Tâche origine	Tâches cibles	Type de contrainte	Délai	Conditions d'application
CG01	TG05	TG06	fin-début	- 1 semaine	cible sur l'étage immédiatement supérieur à l'origine

II - Les options de construction génériques :

Pour chaque lot et pour chacun des deux niveaux de détail retenus, nous avons identifié un certain nombre d'**options de construction**. Pour certains lots, et particulièrement pour le niveau de détail 1, nous n'avons identifié qu'une seule option de construction, considérant qu'il n'y avait pas lieu de distinguer différents cas pour lesquels les tâches identifiées ne seraient pas notablement différentes.

Le tableau représentant les options de construction génériques est structuré en deux parties :

- les colonnes de gauche comportent les options de construction correspondant au niveau de détail 1 ;

- à chacune des options de construction de niveau 1 correspondent des options de construction de niveau 2, plus précises. Les colonnes de droite décrivent ces dernières.

Description des différentes colonnes du tableau "options de construction génériques" :

- **lot** : les options de construction ont été identifiées et décrites lot par lot. Nous indiquons dans cette colonne le nom des différents lots retenus.

- **option de construction** : en face de chaque lot, on indique le nom des différentes options identifiées.

- **code** : nous avons choisi de référencer chaque option de construction avec un code C'est ce code, de préférence au nom, qui sera repris dans les autres tableaux pour faire référence à une option.

- **types d'objets physiques** : une option de construction caractérise certains types d'objets physiques seulement. Ceux-ci sont indiqués dans cette colonne.

- **technologie** : les objets physiques caractérisés par l'option de construction peuvent comporter plusieurs technologies. Nous précisons dans cette colonne celles qui sont concernées par l'option de construction.

- **options de niveau de détail 2** : en regard de chaque option de niveau 1, on indique dans cette colonne les différentes options de niveau 2 correspondantes. Pour chacune de ces dernières, on précise ensuite le **code** et les **types d'objets physiques** concernés.

Exemple :

> *Pour le lot gros œuvre et pour le niveau de détail 1, trois options de construction sont possibles : "béton armé coulé en œuvre", "béton armé préfabriqué" et "maçonnerie". L'option "maçonnerie" concerne la technologie "maçonnerie" des murs, planchers et cloison. Pour le niveau de détail 2, l'option "maçonnerie" se décompose en deux sous-options : "Agglos béton" ou "Briques creuses".*

Les options de construction génériques :

Lot	Option de construction	Code	Types d'objets physiques	Technologie		Option de niveau de détail 2	Code	Types d'objets physiques
Gros œuvre	Béton armé coulé en œuvre	OCG01	Mur Plancher Poteau Poutre Semelle Radier Rampe Longrine	Béton	-	Planchers prédalles	OCG01.01	Mur Plancher Poteau Poutre Semelle Radier Rampe Longrine
						Planchers coffrages alu	OCG01.02	
						Planchers coffrages traditionnels	OCG01.03	
	Béton armé préfabriqué	OCG02	Mur Plancher Poteau Poutre Semelle Radier Rampe Longrine	Béton	-	Béton armé préfabriqué	OCG02.01	Mur Plancher Poteau Poutre Semelle Radier Rampe Longrine
	Maçonnerie	OCG03	Mur Plancher Cloison	Maçonnerie	-	Agglo. de béton	OCG03.01	Mur Plancher Cloison
						Briques creuses	OCG03.02	

Menuiseries extérieures	Menuiseries extérieures	OCG04	Percement Fermeture	Porte extérieure Porte garage Fenêtre	-	Menuiseries extérieures avec précadres	OCG04.01	Porte extérieure Porte garage Fenêtre
				Fermeture		Menuiseries extérieures sans précadre	OCG04.02	Fermeture
Menuiseries intérieures	Menuiseries intérieures	OCG05	Percement Porte de placard	Fenêtre Porte de passage	-	Menuiseries intérieures avec précadres	OCG05.01	Fenêtre Porte de passage
				Porte de placard		Menuiseries intérieures sans précadre	OCG05.02	Porte de placard
Electricité	Electricité	OCG06	Electricité	Electricité	-	Electricité	OCG06.01	Electricité
Fondation-spéciales	Fondation-spéciales	OCG07	Pieux	Béton	-	Fondation-spéciales	OCG07.01	Pieux
Charpente couverture	Couverture ardoise	OCG08	Couverture	Couverture non isolée	-	Sous-couverture polyane	OCG08.01	Couverture non isolée
				Couverture isolée		Sous-couverture panneaux isolants	OCG08.02	Couverture isolée
	Couverture tuiles	OCG09	Couverture	Couverture non isolée	-	Sous-couverture polyane	OCG09.01	Couverture non isolée
				Couverture isolée		Sous-couverture panneaux isolants	OCG09.02	Couverture isolée
	Couverture bacs aciers	OCG10	Couverture	Couverture non isolée	-	Sous-couverture polyane	OCG10.01	Couverture non isolée
				Couverture isolée		Sous-couverture panneaux isolants	OCG10.02	Couverture isolée

Doublage-cloisons-isolation	Doublage-cloisons-isolation	OCG11	Mur Cloison Plancher	Maçonnerie Petits éléments Panneaux-assemblés-à-sec Panneaux-complexes Flocage Isolant déroulé		Briques plâtrières	OCG11.01	Cloison
						Carreaux plâtre	OCG11.02	
						Panneaux à sec	OCG11.03	Mur Cloison
						Panneaux complexes	OCG11.04	
						Flocage	OCG11.05	Plancher
						Isolant déroulé	OCG11.06	

III - Les objets de planification génériques :

Chaque option de construction générique est associée à des objets de planification génériques, susceptibles de générer des objets de planification si l'option de construction est utilisée. Nous présentons dans ces tableaux les différents objets de planification génériques que nous avons ainsi identifiés.

Description des différentes colonnes du tableau "objets de planification génériques" :

- **Option de construction** : les objets de planification génériques sont associés à une ou plusieurs options de construction génériques. Nous rappelons dans cette colonne les codes référençant de ces options.

- **Objet de planification** et **code** : le code référence l'objet de planification générique et sera repris dans les tableaux suivants.

- **Technologie** et **types d'objets physiques** : un objet de planification regroupe une partie (au sens technologique du terme) de plusieurs objets physiques. On indique dans ces colonnes le type d'objets physiques et la technologie susceptibles de constituer l'objet de planification.

- **zone par défaut** : le critère de base pour définir quels objets physiques composent un même objet de planification est l'appartenance à une zone de planification donnée, le type de zone dépendant de l'objet de planification. On indique dans cette colonne le type de zone pris par défaut.

- **dimensions caractéristiques** : le rôle des objets de planification est de constituer une entité (un ouvrage) vis à vis des tâches. Ils permettent non seulement d'identifier les tâches à exécuter mais aussi de les valuer. Les dimensions des objets de planification qui permettront de valuer ces tâches sont listées dans cette colonne.

- **méthode de calcul** : on indique dans cette colonne la méthode de calcul des dimensions des objets de planification en fonction de celles des objets physiques. Dans certains cas, les dimensions de l'objet de planification ne peuvent pas être calculées à partir des informations de conception (surface des bâtiments existants à démolir, par exemple) ; elles sont alors demandées à l'utilisateur.

Exemple :

> *Les options de construction OCG04.01 et OCG04.02 ("menuiseries extérieures avec précadre" et "menuiseries extérieures sans précadre") sont associées, notamment, à l'objet de planification générique OPG 07.02 ("portes extérieures"). Cet objet de planification regroupe les objets physiques de type "percement" comportant une technologie "porte extérieure". Il est constitué, par défaut, par toutes les portes extérieures d'un même étage. Ses dimensions caractéristiques sont le nombre portes avec précadre et le nombre de portes sans précadre.*

Certains objets de planification ne sont pas reliés à des options de construction : ce sont ceux qui concernent l'aménagement du chantier et les terrassements.

Les objets de planification génériques pour un niveau de détail 1 :

Option de construction	Objet de planification	Code	Technologie	Types d'objets physiques	Zone par défaut	Dimensions caractéristiques	Méthode de calcul
	Terrain	OPG01			Projet	Surface plancher	Somme de la surface des planchers
	Terrassement	OPG02			Projet	Volume terrassement	Demander à l'utilisateur
OCG07	Fondations profondes	OPG03	Béton	Pieux	Bâtiment	Nombre de pieux	Nombre de pieux
OCG01 OCG02 OCG03	Fondations superficielles	OPG04	Béton	Semelles Radiers Longrines Massifs de tête de pieux	Bâtiment	Volume béton	Somme du volume de béton des objets physiques
OCG01 OCG02 OCG03	Infrastructure	OPG05	Béton Maçonnerie	Murs Planchers Poutres Poteaux Rampe	Etage infrastructure	Surface plancher	Somme de la surface des planchers
OCG01 OCG02 OCG03	Superstructure	OPG06	Béton Maçonnerie	Murs Planchers Poutres Poteaux	Etage superstructure	Surface plancher	Somme de la surface des planchers
						Volume préfabriqué	Somme du volume de béton des éléments préfabriqués
OCG04	Menuiseries extérieures	OPG07	Porte-extérieure Porte-fenêtre Fenêtre Porte de garage Fermeture	Percement Fermeture	Bâtiment	Nombre de menuiseries extérieures	Nombre de menuiseries extérieures

OCG05	Menuiseries intérieures	OPG08	Porte de passage Façade de gaine Garde corps Porte placard	Percement Façade de gaine Garde corps Porte placard	Bâtiment	Nombre de menuiseries intérieures	Nombre de menuiseries intérieures
OCG11	Doublage-cloisons-isolation	OPG09	Maçonnerie Petits éléments Panneaux assembles a sec Panneaux complexes	Cloisons Murs Planchers	Bâtiment	Surface plancher	Somme de la surface des planchers
OCG06	Electricité	OPG10	Apparent Incorporé	Electricité	Bâtiment	Surface plancher	Somme de la surface des planchers
OCG08 OCG09 OCG10	Charpente	OPG11	Bois Métal	Panne Chevron Ferme	Bâtiment	Surface couverture	Somme de la surface des pans de toiture
OCG08 OCG09 OCG10	Couverture	OPG12	Couverture isolée Couverture non isolée	Pans de toiture	Bâtiment	Surface ardoises	Somme de la surface d'ardoise
						Surface tuiles	Somme de la surface de tuiles
						Surface bacs acier	Somme de la surface de bacs acier

Les objets de planifiation génériques pour le niveau de détail 2

Option de construction	Objet de planification	Code	Technologie	Types d'objets physiques	Zone par défaut	Dimensions caractéristiques	Méthode de calcul
	Chantier	OPG01.01			Projet	Nombre de grues	Demander à l'utilisateur
						Nombre de baraques	Demander à l'utilisateur
						Surface des acces	Demander à l'utilisateur
						Longueur de cloture	Demander à l'utilisateur
						Nombre de centrales	Demander à l'utilisateur
						Nombre de bancs de préfabrication	Demander à l'utilisateur
						Nombre d'ateliers d'armatures	Demander à l'utilisateur
						Nombre d'ateliers de coffrages	Demander à l'utilisateur
						Nombre de bâtiments	Nombre de bâtiments
	Bâtiments existants	OPG02.01			Projet	Surface des bâtiments existants	Demander à l'utilisateur
	Sol à décaper	OPG02.02			Projet	Surface du sol à décaper	Demander à l'utilisateur
	Sol fouilles	OPG02.03			Projet	Volume des fouilles	Demander à l'utilisateur
	Remblais périphériques extérieures	OPG02.04			Projet	Volume remblais	Demander à l'utilisateur
OCG07.01	Fondations profondes	OPG03.01	Béton	Pieux	Projet	Nombre de pieux	Nombre de pieux

OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Fouilles fondations superficielles	OPG04.01			Bâtiment	Volume fouilles	Demander à l'utilisateur
OCG03.01 OCG03.02	Têtes de pieux	OPG04.02	Béton	Massifs têtes de pieux	Bâtiment	Volume béton	Somme du volume de béton des massifs
						Nombre de pieux	Nombre de pieux
						Surface de coffrage	Somme des surfaces latérales des massifs
	Longrines	OPG04.03	Béton	Longrines	Bâtiment	Volume de béton	Somme du volume de béton des longrines
						Surface de coffrage	Somme des surfaces latérales des longrines
	Remblais intérieur	OPG04.04			Bâtiment	Volume de remblais	Demander à l'utilisateur
	Dallage	OPG04.05	Dallage	Plancher	Bâtiment	Surface de dallage	Somme de la surface des planchers
	Semelles	OPG04.06	Béton	Semelles	Bâtiment	Volume de béton	Somme du volume de béton des semelles
						Surface de coffrage	Somme des surfaces latérales des semelles
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Porteurs verticaux infrastructure	OPG05.01	Béton	Poteaux Poutres Murs	Etage infrastructure	Volume de béton	Somme du volume de béton des porteurs verticaux
						Surface de coffrage	Somme des surfaces des porteurs verticaux x 2
						Nombre de poutres préfabriquées	Nombre de poutres préfabriquées

OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Ouvrages horizontaux infrastructure	OPG05.02	Béton	Planchers	Etage infrastructure	Surface de plancher prédalles	Somme de la surface des planchers prédalles
						Surface de plancher coffrage alu	Somme de la surface des planchers coffrage alu
						Surface de plancher coffrage traditionnel	Somme de la surface des planchers coffrage traditionnel
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03	Poutres infrastructure	OPG05.03	Béton	Poutres	Etage infrastructure	Volume de béton	Somme du volume de béton des poutres
						Surface de coffrage	Somme des surfaces latérales des poutres
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Rampes	OPG05.04	Béton	Rampes	Etage infrastructure	Surface des rampes	Somme de la surface des rampes
OCG03.01 OCG03.02	Maçonneries infrastructure	OPG05.05	Maçonnerire	Murs Planchers	Etage infrastructure	Surface de plancher maçonnerie	Somme de la surface des planchers maçonnerie
						Surface de murs briques creuses	Somme de la surface de briques creuses
						Surface de murs agglos béton	Somme de la surface d'agglos béton
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01 OCG03.01 OCG03.02	Finitions infrastructure	OPG05.06	Béton Infrastructure	Murs Planchers	Etage infrastructure	Surface des finitions	Somme de la surface des planchers et des murs

OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Porteurs verticaux superstructure	OPG06.01	Béton	Poteaux Murs Poutres	Etage superstructure	Volume de béton	Somme du volume de béton des porteurs verticaux
						Surface de coffrage	Somme des surfaces des porteurs verticaux x 2
						Nombre de poutres préfabriquées	Nombre de poutres préfabriquées
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Ouvrages horizontaux superstructure	OPG06.02	Béton	Planchers	Etage superstructure	Surface de plancher prédalles	Somme de la surface des planchers prédalles
						Surface de plancher coffrage alu	Somme de la surface des planchers coffrage alu
						Surface de plancher coffrage traditionnel	Somme de la surface des planchers coffrage traditionnel
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01	Poutres superstructure	OPG06.03	Béton	Poutres	Etage superstructure	Volume de béton	Somme du volume de béton des poutres
						Surface de coffrage	Somme des surfaces latérales des poutres
OCG03.01 OCG03.02	Maçonneries superstructure	OPG06.04	Maçonnerire	Murs Planchers	Etage superstructure	Surface de plancher	Somme de la surface des planchers
						Surface de murs briques creuses	Somme de la surface de briques creuses
						Surface de murs agglos béton	Somme de la surface d'agglos béton
OCG01.01 OCG01.02 OCG01.03 OCG02.01 OCG03.01 OCG03.02	Finitions superstructure	OPG06.05	Béton	Murs Planchers	Etage superstructure	Surface des finitions	Somme de la surface des planchers et des murs

OCG04.01 OCG04.02	Fenêtres et portes-fenêtres	OPG07.01	Fenêtre Porte fenêtre	Percements	Etage	Nombre de menuiseries <1m^2 avec précadre	Nombre de menuiseries <1m^2 avec précadre
						Nombre de menuiseries <1m^2 sans précadre	Nombre de menuiseries <1m^2 sans précadre
						Nombre de menuiseries entre 1 et 2m^2 avec précadre	Nombre de menuiseries entre 1 et 2m^2 avec précadre
						Nombre de menuiseries entre 1 et 2m^2 sans précadre	Nombre de menuiseries entre 1 et 2m^2 sans précadre
						Nombre de menuiseries >2m^2 avec précadre	Nombre de menuiseries >2m^2 avec précadre
						Nombre de menuiseries >2m^2 sans précadre	Nombre de menuiseries >2m^2 sans précadre
						Surface de vitrage	Somme de la surface des vitrages
OCG04.01 OCG04.02	Portes extérieures	OPG07.02	Porte extérieure	Percements	Etage	Nombre de portes avec précadre	Nombre de portes avec précadre
						Nombre de portes sans précadre	Nombre de portes sans précadre
OCG04.01 OCG04.02	Fermetures	OPG07.03	Fermeture	Fermetures	Etage	Nombre de fermetures <1m^2	Nombre de fermetures <1m^2
						Nombre de fermetures entre 1 et 2m^2	Nombre de fermetures entre 1 et 2m^2
						Nombre de fermetures >2m^2	Nombre de fermetures >2m^2
OCG04.01 OCG04.02	Portes de garage	OPG07.04	Porte garage	Percements	Etage	Nombre de portes	Nombre de portes

OCG05.01 OCG05.02	Portes de passage	OPG08.01	Porte de passage	Percement	Etage	Nombre de portes avec précadre	Nombre de portes avec précadre
						Nombre de portes sans précadre	Nombre de portes sans précadre
OCG05.01 OCG05.02	Portes de placard	OPG08.02	Porte de placard	Porte de placard	Etage	Surface de porte	Somme de la surface des portes
OCG05.01 OCG05.02	Façades de gaines	OPG08.03	Façade de gaine	Façade de gaine	Etage	Surface de façade	Somme des surface de façades
OCG05.01 OCG05.02	Garde-corps	OPG08.04	Garde-corps	Garde-corps	Etage	Longueur de garde corps	Somme de la longueur des garde-corps
OCG11.01 OCG11.02	Cloisons	OPG09.01	Maçonnerie Petits éléments Panneaux-assemblés-à-sec Panneaux-complexes	Cloisons	Etage	Surface de briques	Somme de la surface des cloisons briques
						Surface carreaux plâtres	Somme de la surface des carreaux plâtres
						Surface panneaux	Somme de la surface des panneaux
						Surface de panneaux complexes	Somme de la surface des panneaux complexes
OCG11.03 OCG11.04	Doublages	OPG09.02	Panneaux assemblés à sec Panneaux complexes	Murs	Etage	Surface doublage	Somme de la surface des doublages
OCG11.06	Isolation combles	OPG09.03	Isolant	Planchers	Etage	Surface isolant	Somme de la surface de comble isolée
OCG11.05	Flocage en sous face	OPG09.04	Flocage	Planchers	Etage	Surface isolant	Somme de la surface de flocage en sous-face
OCG06.01	Gaines	OPG10.01	Electricité	Electricité	Etage	Longueur de gaine	Somme de la longueur des gaines

OCG08.01 OCG08.02 OCG09.01 OCG09.02 OCG10.01 OCG10.02	Charpente	OPG11.01	Charpente	Pannes Fermes Chevrons	Bâtiment	Surface de couveture	Somme de la surface des pans de toiture
OCG08.01 OCG08.02 OCG09.01 OCG09.02 OCG10.01 OCG10.02	Couverture	OPG12.01	Couverture isolée Couverture non isolée	Pans de toiture	Bâtiment	Surface polyane	Somme de la surface de polyane
						Surface de panneaux isolants	Somme de la surface des panneaux
						Surface ardoise	Somme de la surface d'ardoises
						Surface tuiles	Somme de la surface de tuiles
						Surface bacs acier	Somme de la surface de bacs acier
OCG08.01 OCG08.02 OCG09.01 OCG09.02 OCG10.01 OCG10.02	OPG12.02	Zinguerie	Zinguerie	Eléments de zinguerie	Bâtiment	Longueur zinguerie	Somme de la longueur des éléments de zinguerie

IV - Les tâches génériques :

Chaque objet de planification générique est associé à des tâches génériques susceptibles de générer des tâches pour chaque instance de l'objet de planification générique. Nous présentons dans ces tableaux les différentes tâches génériques que nous avons ainsi identifiées.

Description des différentes colonnes du tableau "tâches génériques" :

- **objet de planification** : cette colonne reprend la liste des objets de planification générique.

- **tâche générique** : on associe à chaque objet de planification génériques des tâches génériques afin d'indiquer par quel type de tâche chaque type d'objet de planification est réalisé.

- **code** : le code référence la tâche générique et sera repris dans les tableaux suivants.

- **méthode de calcul de la durée** : la durée des tâches générées sera calculée avec la méthode indiquée dans cette colonne, en fonction des dimensions de l'objet de planification réalisé.

Exemple :

> *L'objet de planification OPG07.02 ("portes extérieures") est réalisé par la tâche TG07.03 ("pose des portes extérieures"). La durée des tâches est calculée ajoutant 3h par porte sans précadre et 2,5h par porte avec précadre.*

Compte tenu des niveaux de détail choisis, nous n'avons pas pris en compte la gestion des moyens qui est surtout assurée pour des niveaux de détail plus fins. Nous n'avons donc pas associé de type de ressources ni de méthode de calcul des ressources utilisées et consommées aux tâches génériques.

Les tâches génériques pour le niveau de détail 1 :

Objet de planification	Tâche générique	Code	Méthode de calcul de la durée
OPG01	Installation du chantier	TG01	1 jour + 1 semaine par 5000 m^2 de plancher + 9 jour par grue
OPG02	Terrassements généraux	TG02	1 jour + 1 jour par 400 m^3 de terrassement
OPG03	Réalisation fondations profondes	TG03	1 jour pour 6 pieux, 1 semaine minimum
OPG04	Réalisation fondations superficielles	TG04	1 semaine + 1 jour par 10 m^3 de béton
OPG05	Réalisation infrastructure	TG05	1 semaine + 1 jour par 45 m^2 de plancher
OPG06	Réalisation superstructure	TG06	1 jour par 21 m^3 de béton coulé + 1 jour par 45 m^3 de béton préfabriqué, 1 semaine minimum
OPG07	Pose menuiseries extérieures	TG07	1 jour par 3 menuiseries, 1 semaine minimum
OPG08	Pose menuiseries intérieures	TG08	1 jour par 3 menuiseries, 1 semaine minimum
OPG09	Pose cloisons-doublage-isolation	TG09	1 jour par 40 m, 1 semaine minimum
OPG10	Réalisation électricité	TG10	date de fin de la peinture - date de début du gros œuvre
OPG11	Montage charpente	TG11	1 semaine + 1 semaine par 300 m^2
OPG12	Pose couverture	TG12	1 jour par 60 m^2 de tuiles + 1 jour par 30 m^2 d'ardoises + 1 jour par 400 m^2 de bacs acier

Les tâches génériques de niveau de détail 2 :

Objet de planification	Tâche générique	Code	Méthode de calcul de la durée
OPG01.01	Installation des grues	TG01.01	3 jours par grue, minimum 1 semaine
	Intallation des baraques	TG01.02	1 jour pour 2 baraques
	Connection aux réseaux	TG01.03	1 jour + 1 jour pour 4 baraques
	Aménagement des accès	TG01.04	1 jour par 150 m^2 d'accès, minimum 2 jours
	Cloture du chantier	TG01.05	1 jour + 1 jour par 30 m
	Installation de la centrale à béton	TG01.06	5 jours par centrale
	Installation aire de préfabrication	TG01.07	1 jour par banc
	Installation atelier de coffrage	TG01.08	1 semaine par atelier
	Installation atelier d'armatures	TG01.09	1 semaine par atelier
	Implantation	TG01.10	1 jour par bâtiment
OPG02.01	Démolition	TG02.01	1 jour + 1 jour par 500 m^2 de plancher de bâtiment démoli
OPG02.02	Décapage	TG02.02	1 jour + 1 jour par 2000 m^2 de sol à décaper
OPG02.03	Fouilles	TG02.03	1 jour par 400 m^3 de fouille
OPG02.04	Remblais extérieurs périphériques	TG02.04	1 jour par 200 m^3 de remblai

OPG03.01	Installation matériel fondations profondes	TG03.01	1 semaine
	Réalisation fondations profondes	TG03.02	1 jour par 6 pieux
	Repli entreprise fondations pro	TG03.03	2 jours
OPG04.01	Fouilles en trous ou en rigoles	TG04.01	1 jour par 60 m^3 et par machine
OPG04.02	Recépage pieux	TG04.02	1 jour par 6 pieux
	Réalisation des massifs de têtes de pieux	TG04.03	1,8h par m^3 de béton + 0,6h par m^2 de coffrage
OPG04.03	Réalisation longrines	TG04.04	1,8h par m^3 de béton + 0,6h par m^2 de coffrage
OPG04.04	Remblais	TG04.05	1 jour par 100 m^3 de remblai
OPG04.05	Dallages	TG04.06	0,6h par m^2 de dallage
OPG04.06	Réalisation semelles	TG04.07	1,8h par m^3 de béton + 0,6h par m^2 de coffrage
OPG05.01	Réalisation voiles et poteaux	TG05.01	1,3h par m^3 de béton + 0,35h par m^2 de coffrage + 3h par poutre préfabriquée à poser
OPG05.02	Réalisation planchers	TG05.02	1,8h par m^2 de plancher-prédalle + 0,9h par m^2 de plancher avec coffrage alu + 1,05h par m^2 de plancher avec coffrage traditionnel
OPG05.03	Réalisation poutres	TG05.03	1,8h par m^3 de béton + 0,6h par m^2 de coffrage
OPG05.04	Réalisation rampes	TG05.04	2h par m^2
OPG05.05	Réalisation maçonnerie	TG05.05	1,6h par m^2 de plancher poutrelle + 1h par m^2 de mur agglo béton + 0,9h par m^2 de mur brique creuse
OPG05.07	Finitions infrastructure	TG05.07	0,08h par m^2 de plancher et de mur
OPG06.01	Réalisation voiles et poteaux	TG06.01	1,1h par m^3 de béton + 0,28h par m^2 de coffrage + 3h par poutre préfabriquée à poser

OPG06.02	Réalisation planchers	TG06.02	1,8h par m^2 de plancher-prédalle + 0,9h par m^2 de plancher avec coffrage alu + 1,05h par m^2 de plancher avec coffrage traditionnel
OPG06.03	Réalisation poutres	TG06.03	1,8h par m^3 de béton + 0,6h par m^2 de coffrage
OPG06.04	Réalisation maçonnerie	TG06.04	1,6h par m^2 de plancher poutrelle + 1h par m^2 de mur agglo béton + 0,9h par m^2 de mur brique creuse
OPG06.06	Finitions infrastructure	TG06.06	0,08h par m^2 de plancher et de mur
OPG07.01	Pose fenêtres et portes-fenêtres	TG07.01	2h par fenêtre ou porte fenêtre <1 m^2 sans précadre + 1,5h par fenêtre ou porte fenêtre <1 m^2 avec précadre + 6h par fenêtre ou porte fenêtre >2 m^2 sans précadre + 4h par fenêtre ou porte fenêtre >2 m^2 avec précadre + 3h par fenêtre ou porte fenêtre de 1 à 2 m^2 sans précadre + 2,5h par fenêtre ou porte fenêtre de 1 à 2 m^2 avec précadre
	Pose vitrages	TG07.02	0,5h par m^2 de vitrage
OPG07.02	Pose portes extérieures	TG07.03	3h par porte sans précadre + 2,5h par porte avec précadre
OPG07.03	Pose fermetures	TG07.04	2h par fermeture <1 m^2 + 3h par fermeture de 1 à 2 m^2 + 6h par fermeture >2 m^2
OPG07.06	Pose portes de garage	TG07.07	8h par porte de garage
OPG08.01	Pose portes de passage	TG08.01	3h par porte sans précadre + 2,5h par porte avec précadre
OPG08.02	Pose portes de placard	TG08.02	1h par m^2 de porte de placard
OPG08.03	Pose façades de gaines	TG08.03	1h par m^2 de façade de gaine
OPG08.04	Pose garde-corps	TG08.04	1h par m

OPG09.01	Pose cloisons	TG09.01	0,9h par m^2 de brique + 0,4h par m^2 de carreaux de plâtre + 1 jour par 30 m de panneaux assemblés à sec + 1 jour par 40 m de panneaux complexes
OPG09.02	Pose doublages façade	TG09.02	1 jour par 40 m
OPG09.03	Pose isolation combles	TG09.03	1 jour par 100 m^2
OPG09.04	Flocage en sous-face	TG09.04	1 jour par 40 m^2
OPG10.01	Electricité	TG10.01	date de fin de la peinture - date de début du gros œuvre
OPG11.01	Montage charpente	TG11.01	1 semaine par 300 m^2
OPG12.01	Pose sous-couverture	TG12.01	1 jour par 150 m^2 de polyane + 1 jour par 80 m^2 de panneaux isolants
	Pose couverture	TG12.02	1 jour par 400 m^2 de bacs acier + 1 jour par 60 m^2 de tuiles + 1 jour par 30 m^2 d'ardoises
OPG12.02	Pose zinguerie	TG12.03	1 jour par 40 m

V - Les contraintes de planification génériques :

Dans le contexte de la réalisation de notre prototype, nous n'avons retenu que les contraintes de planification de type "contraintes de succession" s'appliquant aux tâches. Différentes raisons nous ont amenés à faire cette restriction :

- la nécessité de limiter la taille de la base de connaissances d'un premier prototype ;

- le manque de formalisation des contraintes de type différent ;

- l'inadaptation des logiciels réalisant l'ordonnancement aux autres types de contraintes.

L'identification et la caractérisation des contraintes de planification génériques à été réalisée à partir de la liste des tâches génériques : pour chacune d'elles, nous avons cherché à savoir si son exécution était conditionnée par l'exécution d'autres tâches.

Description des différentes colonnes du tableau "contraintes de planification génériques" :

- **tâche origine** : on indique dans cette colonne la tâche générique dont les instances vont contraindre l'exécution des tâches cibles.

- **tâches cibles** : les tâches génériques cibles sont celles dont les instances auront leur date de début ou de fin calée par rapport à la date de début ou de fin d'une tâche origine.

- **type de lien** : on précise dans cette colonne si on cale le début ou la fin des tâches cibles par rapport au début ou à la fin de la tâche origine.

- **délai** : dans cette colonne, on indique le délai (ou sa méthode de calcul s'il n'est pas fixe) associé au lien.

- **conditions d'application** : l'existence d'instances de la tâche origine et des tâches cibles n'est pas une condition suffisante à l'établissement d'un lien. Des conditions d'applications portant sur l'origine et les cibles doivent être vérifiées. Elles sont décrites dans cette colonne.

Exemple :

> *La contrainte de planification CG10 établit un lien de type "début-début" entre une tâche TG11 ("montage de la charpente") et une tâche TG12 ("pose de la couverture"). Le lien est établi si les deux tâches sont exécutées dans la même zone de planification. Dans ce cas, la tâche "pose de la couverture" ne peux commencer avant que 300 m^2 de la charpente n'aient été posés.*

Les contraintes de planification génériques de niveau de détail 1 :

Code de la contrainte	Tâche origine	Tâches cibles	Type de lien	Délai	Conditions d'application
CG01	TG01	TG02	début-début	1 semaine	origine et cibles dans la même zone
CG02	TG02	TG03	début-début	2 semaines	origine et cibles dans la même zone
CG03	TG03	TG04	début-début	2 semaines	origine et cibles dans la même zone
CG04	TG04	TG05	début-début	2 semaines	TG05 sur l'étage le plus bas
CG05	TG04	TG06	début-début	2 semaines	TG06 sur l'étage le plus bas
CG06	TG05	TG06	début-début	la moitié de la durée du dernier étage d'infrastructure	TG05 sur le dernier étage d'infrastructure et TG06 sur le premier étage de superstructure
CG07	TG05	TG05	fin-début	- 1 semaine	cible sur l'étage immédiatement supérieur à l'origine
CG08	TG06	TG06	fin-début	- 1 semaine	cible sur l'étage immédiatement supérieur à l'origine
CG09	TG06	TG11	fin-début	0	cible sur l'étage immédiatement supérieur à l'origine
CG10	TG11	TG12	début-début	(300/surface couverture) x durée TG11	origine et cibles dans la même zone
CG11	TG06	TG10 TG07	fin-début	0	TG06 sur l'étage le plus haut
CG12	TG09	TG08	début-début	(1/nombre d'étage) x durée TG09	origine et cibles dans la même zone
CG13	TG12	TG09	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone

Les contraintes de planification génériques de niveau de détail 2 :

Code de la contrainte	Tâche origine	Tâches cibles	Type de lien	Délai	Conditions d'application
CG100	TG01.10	TG01.01 TG01.02 TG01.03 TG01.04 TG01.06 TG01.07 TG01.08 TG01.09	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG101	TG02.01	TG01.01 TG01.10 TG02.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG102	TG02.02	TG01.01 TG01.02 TG01.04 TG01.05 TG01.06 TG01.07 TG01.08 TG01.09 TG02.03	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone

CG103	TG01.04	TG01.01 TG01.02 TG01.06 TG01.07 TG01.08 TG01.09 TG02.03	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG104	TG05.01	TG02.04 TG04.05 TG04.06	fin-début	0	origine sur le dernier étage d'infrastructure
CG105	TG05.01	TG05.02 TG05.07	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG106	TG05.01	TG04.05 TG04.06	fin-début	0	origine sur le dernier étage d'infrastructure
CG107	TG05.02	TG02.04	fin-début	0	origine sur le dernier étage d'infrastructure
CG108	TG05.02	TG04.05 TG04.06	fin-début	0	origine sur le dernier étage d'infrastructure
CG109	TG05.02	TG05.01 TG05.05	fin-début	0	origine sur étage immédiatement inférieur aux cibles
CG110	TG05.02	TG05.04	début-début	0	origine sur étage immédiatement inférieur aux cibles
CG111	TG05.02	TG05.07	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG112	TG02.03	TG03.01	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG113	TG02.03	TG04.01	début-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG114	TG03.01	TG03.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG115	TG03.02	TG03.03	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone

CG116	TG03.02	TG04.01 TG04.02	début-début	2 jours	origine et cibles dans la même zone
CG117	TG04.02	TG04.03	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG118	TG04.03	TG04.04	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG119	TG04.04	TG04.05	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG120	TG04.07	TG04.05	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG121	TG04.05	TG04.06	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG122	TG04.01	TG04.07	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG123	TG05.03	TG05.02	début-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG124	TG05.02	TG06.01	fin-début	0	origine sur dernier étage infrastructure et cible sur premier étage superstructure
CG125	TG06.01	TG06.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG126	TG06.01	TG06.06	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG127	TG06.02	TG06.01 TG06.04	fin-début	0	origine sur étage immédiatement inférieur aux cibles
CG128	TG06.03	TG06.02	début-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG129	TG06.02	TG06.06	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG130	TG06.02	TG11.01	fin-début	0	origine sur le dernier étage de superstructure
CG131	TG06.01	TG11.01	fin-début	0	origine sur le dernier étage de superstructure
CG132	TG06.04	TG07.01	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG133	TG06.01	TG07.01	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG134	TG07.01	TG07.02 TG07.04	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone

CG135	TG07.01	TG07.01	fin-début	0	origine sur étage immédiatement inférieur aux cibles
CG136	TG07.01	TG09.01 TG09.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG137	TG07.02	TG09.01 TG09.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG138	TG11.01	TG07.07 TG07.03	fin-fin	0	origine et cibles dans la même zone
CG139	TG09.01	TG08.01 TG08.02 TG08.03 TG08.04	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG140	TG08.01	TG08.01	fin-début	0	origine sur étage immédiatement inférieur aux cibles
CG141	TG12.02	TG09.01 TG09.02 TG09.03 TG09.04	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG142	TG11.01	TG12.01	fin-début	(300/surface de couverture) x durée TG11.01	origine et cibles dans la même zone
CG143	TG12.01	TG12.02	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone
CG144	TG12.02	TG12.03	fin-début	0	origine et cibles dans la même zone

Les contacts que nous avons pris avec un expert de la gestion de projet de bâtiments nous ont permis de constituer une base de connaissances pour la gestion de projet de bâtiment. Cette méthode de constitution de la base de connaissances lui confère un aspect concret et réel : nous ne nous sommes pas basés sur de simples "hypothèses d'école" destinées à réaliser une application déconnectée de la réalité. L'expertise recueillie correspond à une pratique réelle de la planification.

En contrepartie, il est clair que ces connaissances sont spécifiques à un expert et que certains pourront proposer d'autres méthodes de regroupement des ouvrages, d'évaluation des tâches, etc... Si le contenu de la base de connaissances est spécifique à un expert en particulier, en revanche, sa structure, issue de la modélisation, permet l'adaptation à la plus grande diversité des experts et de leurs savoir-faire respectifs. L'utilisation de cette base de connaissances à des fins d'outils de laboratoire nécessiterait une validation de son contenu par un recueil d'expertise élargi et par confrontation avec le point de vue de plusieurs professionnels, afin de constituer une base de connaissances plus représentative. En revanche, son développement pour la mise au point d'un outil plus à finalité plus "professionnelle" nécessiterait plutôt la mise en œuvre de procédures permettant à l'utilisateur d'adapter la base de connaissances à son propre savoir-faire.

Nous devons à présent envisager les différents scénarios d'utilisation de ces connaissances et valider nos proposition à travers une phase expérimentale. C'est l'objectif de la réalisation d'un prototype d'outil informatique, présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre 6

Propositions pour une mise en œuvre : le prototype PROJECTOR

Afin de vérifier la faisabilité informatique de nos propositions et la validité de notre modèle, nous devons réaliser un prototype de module de gestion de projet utilisant la base de connaissances présentée dans le chapitre précédent. Nous avons appelé ce prototype **PROJECTOR** et nous le présentons dans ce dernier chapitre.

Après en avoir précisé les objectifs et donné une description générale, nous décrivons l'implémentation, avec un langage orienté objet, du modèle et de la base de connaissances, puis nous présentons le fonctionnement du prototype à travers un exemple d'utilisation.

I - PROJECTOR - Objectifs et description générale :

Notre objectif n'est pas de réaliser un outil couvrant tous les aspects de la liaison conception/gestion de projet mais de privilégier certains cas de figure représentatifs (Fig. 6.1) :

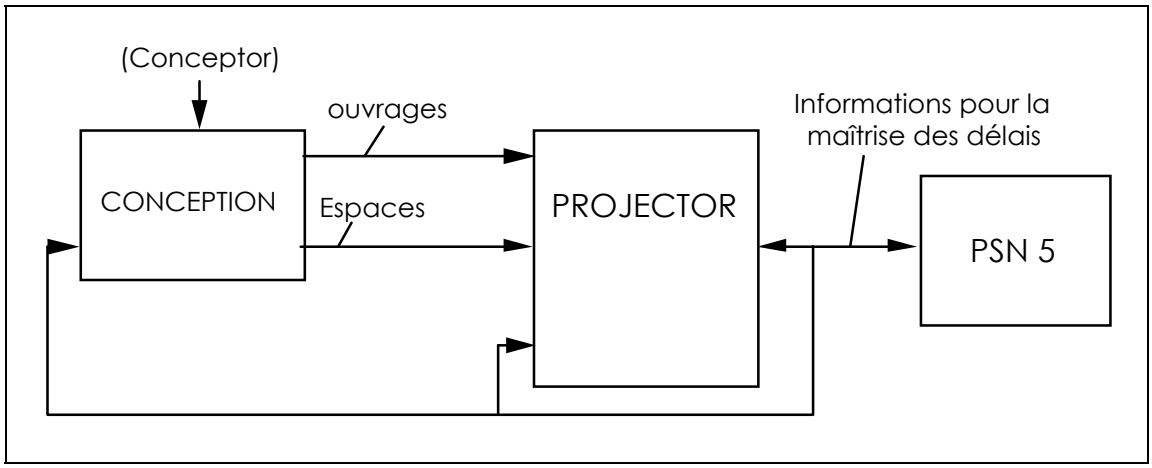


Figure 6.1 : les différents éléments du système conception/planification

- à un niveau de conception donné, on doit pouvoir générer les informations permettant d'utiliser un logiciel de planification, PSN 5, pour différents niveaux de

détail de la planification ; les informations générées constituent en fait une *proposition*, le maître d'œuvre d'exécution étant à même de les modifier en fonction de ses propres habitudes de travail ;

- on doit pouvoir répercuter toute modification du projet sur sa planification ;

- lorsque les caractéristiques d'une tâche doivent être modifiées (durée trop longue par exemple), on doit pouvoir identifier les ouvrages que celle-ci réalise en vue de les transformer.

Nous avons présenté et justifié, dans l'introduction du chapitre 5, les restrictions que nous avons faites en ce qui concerne les fonctions de la gestion de projet, les lots techniques et les niveaux de détail. Nous rappelons ici brièvement nos choix :

- aspect de la gestion de projet retenu : la planification ;

- lots techniques : fondations profondes, gros œuvre, doublage-cloisons-isolation, menuiseries intérieures, menuiseries extérieures, électricité, charpente-couverture.

- niveaux de détail : détaillé et enveloppe.

Nous décrivons, dans la première partie de ce chapitre, les différents éléments présentés dans la figure 6.1.

I - 1 Le logiciel de planification PSN 5 :

Nous avons choisi d'exploiter la base d'informations pour la gestion de projet avec un logiciel dont l'utilisation est très répandue dans le domaine de la construction de bâtiment : PSN 5 (Project Scheduler Network) [PSN 92][5].

Il s'agit d'un logiciel de planification classique, c'est à dire qu'**il ne propose en fait qu'une aide à la planification en ordonnançant des tâches préalablement identifiées** et en permettant de calculer les courbes de charge, de contrôler les coûts, de contrôler l'avancement, ... PSN 5 permet en outre de faire de la gestion "multi-projets" : les tâches peuvent être regroupées selon un critère précisé par l'utilisateur afin de constituer ainsi une nouvelle tâche plus globale (on peut ainsi, à partir d'un planning d'un certain niveau de détail, construire un planning avec un niveau de détail moins fin, sans ressaisir un nouveau réseau de tâches et en s'assurant la cohérence entre les deux niveaux de détail).

PSN 5 distingue trois types de ressources : la main d'œuvre, le matériel et les matériaux.

En ce qui concerne l'ordonnancement, PSN 5 prend en compte les liens entre tâches de type fin/début, début/début et fin/fin avec des délais positifs ou négatifs, il calcule les dates au plus tôt et au plus tard. Il représente sous différentes formes le résultat de l'ordonnancement :

- sous forme de diagramme Gantt ;

---

[5]PSN 5 est un produit de SCITOR Corporation, traduit de l'américain par Le Bihan & Cie.

- en visualisant le chemin critique sur un réseau de tâches ;

- en établissant les courbes de charge par ressource...

Ce logiciel comporte un programme d'**import-export de données** (*Imex*), ce qui nous permet d'envisager sa liaison avec PROJECTOR. Cette liaison se fait par transfert des données contenues dans les six types de fichiers (au format lotus, dBaseIII) utilisés par PSN 5 :

- "informations projet" : ce fichier comporte notamment le nom du projet, celui de son responsable, la date de début et la date de fin du chantier, la date de mise à jour ;

- "Activités" : ce fichier comporte de très nombreuses informations sur les tâches ; outre leur nom, leur code et les coûts, on trouve différentes durées (optimiste, plus probable, pessimiste) ainsi que les différent types de date (de début et de fin, au plus tôt, au plus tard, réelle, ...) ;

- "Ressources" : il s'agit en quelque sorte d'une bibliothèque de ressources dont on précise entre autres le nom, le type, le coût unitaire, la disponibilité ;

- "Liens" : on indique dans ce fichier, pour chaque lien, le numéro de la tâche antécédente, le numéro de la tâche succédante, le type de lien et le délai qui lui est associé ;

- "Affectations" : on associe à chaque tâche les types de ressources consommées (les quantités sont précisées dans le fichier "activités") ;

- "Calendrier" : ce fichier comprend la date de référence pour l'ordonnancement, la répartition des jours et heures chômés dans une semaine et un jour types.

Imex lit les informations contenues dans ces fichiers et écrit les résultats dans ces mêmes fichiers. Ceux-ci comportent donc deux types de champs : les champs lus par PSN5 (par exemple, la durée d'une tâche) et les champs calculés par PSN5 (par exemple, la date de début d'une tâche).

I - 2 Les informations de conception :

Nous avons choisi de nous situer dans un contexte de **CAO pour le bâtiment**[6]. En effet, il nous a semblé d'autant plus pertinent d'améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet que la conception elle-même présenterait un haut degré d'intégration quant aux différents domaines techniques et aux diférentes fonctions qui la composent. Le LGCH de Chambéry ayant pour axe de recherche majeur la conception des bâtiments, nous avons choisi de réaliser PROJECTOR dans le contexte de **CONCEPTOR** [DUF 91] [LEF 91] : ce prototype de

[6]Un système de CAO pour le bâtiment permet de faire évoluer un projet d'un état de conception à un autre. Il s'agit d'un outil informatique qui assiste les différents concepteurs intervenant sur un projet de bâtiment.

système de C.A.O. pour le bâtiment a été réalisé au sein du LGCH. Son analyse et son développement résultent d'un travail d'équipe et un document commun a été réalisé, présentant une synthèse de ses caractéristiques. Ce document est reproduit en annexe 5.

Les spécifications de CONCEPTOR :

CONCEPTOR est un système qui doit permettre la conception de bâtiments à différents stades d'évolution du projet. Afin d'assurer l'aspect multitechnique, les principaux domaines de conception technique ont été retenus :

- la composante structure [GAL 87]
- la composante fondations
- la composante thermique [ZE 93]
- la composante acoustique [KAR 93]
- la composante charpente [JOU 94]

Ces différentes fonctions sont évaluées à partir de logiciels regroupés dans une base d'algorithmes. Celle-ci est constituée le plus souvent possible par des outils existants du marché.

Parallèlement à ces composantes techniques, des composantes transversales (recouvrant l'ensemble des techniques) ont été retenues :

- la composante économique
- la composante qualité [LEF 91] [SAU 84]
- cohérence et faisabilité du projet [BEL 92]

La composante gestion de projet, traitée en partie dans cette thèse, correspond elle-même à une composante transversale.

Le schéma conceptuel adopté pour CONCEPTOR :

Il a été évoqué à travers le modélisation de la conception présentée dans le chapitre 4. Nous en rappelons ci-dessous les principaux concepts.

Les espaces :

Ils sont organisés autour de la notion de local, espace de base.

Les objets physiques :

Les objets physiques issus de la conception sont de cinq types :

- les séparateurs, spécialisés en murs, planchers, cloisons ou pans de toiture ; ils sont composés de couches et portent éventuellement des percements et des éléments inclus ;

- les équipements, spécialisés en équipements autonomes ou en installations ;

- les linéiques, spécialisés en poutres, poteaux ou adaptateurs ;

- les ponctuels, spécialisés en adaptateurs.

Les adaptateurs correspondent aux liaisons entre objets physiques. Par exemple, l'adaptateur ponctuel correspond à la liaison entre deux poutres, entre deux poutres et un poteau, entre un poteau et un plancher... L'adaptateur linéique correspond à la liaison entre deux murs, entre un mur et un plancher...

Les objets technologiques :

Les objets technologiques sont destinés à préciser les caractéristiques technologiques des objets physiques.

Exemple :

> *La fenêtre est un objet technologique de type "ouverture". Cet objet technologique est associé à un objet physique de type "percement" dont il précise la technologie.*

Des objets technologiques de type "solution logique" sont associés aux adaptateurs. Ils permettent de préciser de quelle manière sont réalisés ces adaptateurs lorsque plusieurs solutions sont envisageables (par exemple, l'adaptateur linéique correspondant à l'intersection de deux voiles perpendiculaires peut être réalisé dans le prolongement de l'un ou l'autre des deux voiles).

Les éléments rappelés ci-dessus constituent le noyau de CONCEPTOR. Il s'y ajoute les objets techniques destinés à interpréter les objets physiques selon chacune des composantes techniques.

I - 3 Le langage choisi pour programmer PROJECTOR : GRAM v2 :

Dans [DUF 91], les auteurs justifient l'utilisation d'un langage orienté objet pour la réalisation du prototype CONCEPTOR. Les raisons qui nous amené à utilisé ce type d'outil pour PROJECTOR sont semblables : la modélisation des informations et la formalisation des connaissances ont abouti à la définition d'un grand nombre de concepts que nous avons distingués en objets génériques et en objets instanciés ; la plupart de ces objets ont les caractéristiques suivantes :

- ils présentent de nombreuses interactions entre eux ;

- ils comportent une part procédurale qui leur est spécifique (méthode de calcul de la durée d'une tâche, par exemple) ;

- ils utilisent la notion d'héritage (par exemple, la contraintes de succession est une *sorte* de contrainte de planification dont elle hérite de la structure et du comportement).

Les langages orientés objet sont actuellement les mieux adaptés à l'implémentation de modèles présentant ces caractéristiques.

Des langages orientés objets existent sur le marché mais nous avons préféré choisir GRAM v2, développé au LGCH par Gérard Sauce et Michel Mommessin,

dans la mesure où celui-ci a été conçu pour apporter une réponse spécifique aux besoins de représentation des connaissances pour la CAO bâtiment. Dans [MOM 93], les auteurs présentent ce langage et justifient l'ajout d'une couche graphique permettant de saisir et de manipuler les entités constituant un bâtiment, en cohérence avec la modélisation des ouvrages et des espaces adoptée pour le prototype CONCEPTOR. Nous présentons dans ce paragraphe une rapide description de GRAM v2 en introduisant les termes qui seront employés dans ce chapitre. Pour plus de détail, on se reportera à [MOM 93].

Dans GRAM v2, les objets sont totalement **encapsulés** : ils apparaissent à l'utilisateur comme des "boîtes noires", leur structure interne étant inconnue. Le seul moyen de communiquer avec ces objets consiste alors à leur envoyer des **messages** qu'ils sont susceptibles d'identifier. Ces messages activent des **méthodes** définies dans les classes. Ces objets sont organisés selon un modèle **méta-circulaire**, c'est à dire :

- tout est objet (classe, instance, attribut) ;

- tout objet est **instance** d'un autre objet.

On peut cependant distinguer deux types d'instances :

- les **instances terminales** ;

- les **classes**, se décomposant elles-mêmes en :

  - **méta-classes**, aptes à générer d'autres classes ;

  - les autres classes, générant des instances terminales.

Cette modélisation, largement développée par ailleurs [MAS 89], permet d'obtenir un langage homogène qui a été étendu de quatre manières :

- les classes de représentation :

Chaque objet peut être un objet **composite**, c'est à dire composé d'autres objets (par exemple, le mur est composé de couches). Ces derniers sont alors des instances de **classes de représentation**. L'objet composite peut **déléguer** la réponse à un message à des objets qui le composent. Cette délégation est définie dans la classe de l'objet composite avec une **méthode déléguée**.

- les domaines de compétence :

La réponse d'un objet à un message n'est pas la même selon le domaine de compétence de l'utilisateur qui envoie le message.

- les classes graphiques :

Des classes spécialisées ont été définies en standard afin de proposer des classes de représentation graphiques aux objets (par exemple, des points, des lignes, des surfaces polygonales, des objets volumiques).

- les **relations** entre entités :

A la différence de la notion de composition (les couches composent un mur), la relation ne se traduit pas par une hiérarchisation des objets. De plus, elle peut être

valuée.

II - L'implémentation du modèle dans PROJECTOR :

De la modélisation et de la formalisation présentées dans le chapitre 4 résultent deux niveaux de concepts :

- le **modèle** lui-même, représentant l'articulation entre les différents objets de la gestion de projet (les tâches, les objets de planification, les contraintes, les zones de planification, ...) ;

- les **objets génériques**, formalisant les connaissances de la gestion de projet.

Les notions de méta-classe, de classe et d'instances terminales de GRAM v2 nous ont permis d'implémenter le modèle et les connaissances d'une part, ainsi que les informations concernant un projet particulier d'autre part. Ci-dessous (Fig. 6.2), nous représentons en parallèle le niveau conceptuel et la structuration dans PROJECTOR.

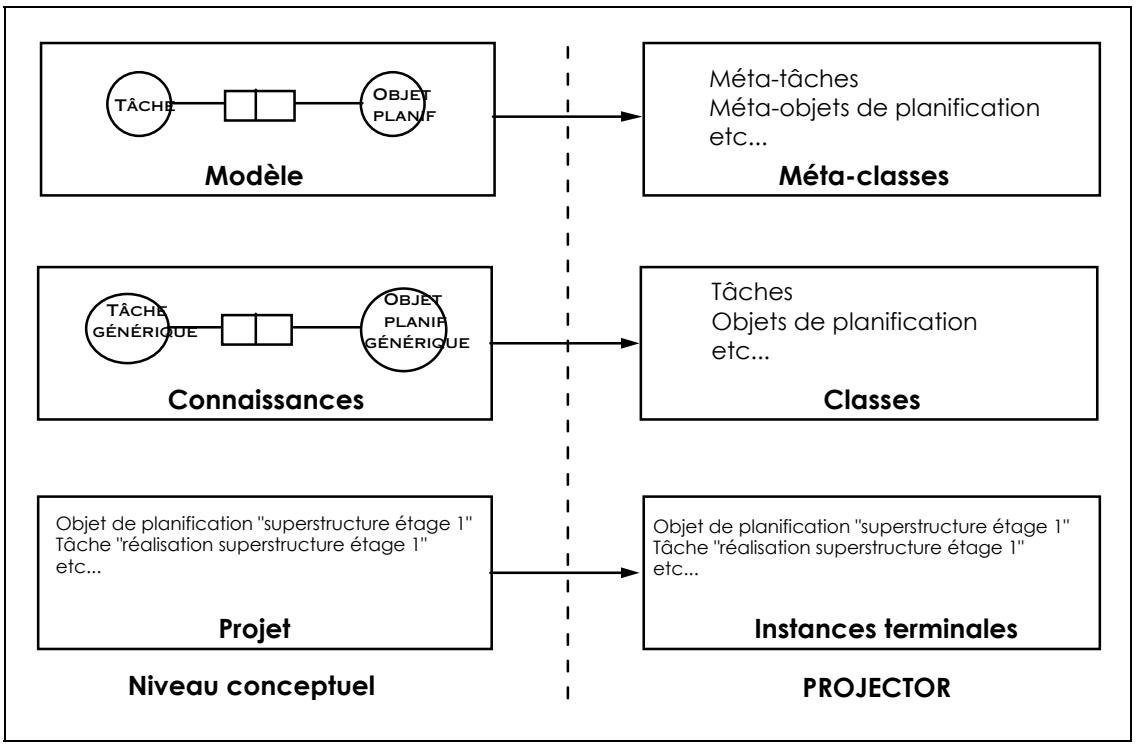


Figure 6.2 : implémentation du modèle et des connaissances

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous décrivons le schéma de base, constitué de méta-classes, puis la base de connaissances, constituée de classes.

II - 1 Le schéma de base :

Le schéma de base comprend les différentes méta-classes correspondant aux différents types d'objets de base identifiés lors de la modélisation :

- la méta-classe des tâches ;

- la méta-classe des objets de planification ;

- la méta-classe des contraintes de planifications ;

- la méta-classe des options de construction ;

- la méta-classe des zones de planification.

Nous présentons ci-dessous ces principales méta-classes[7] en expliquant, pour la première d'entre elles, les différents éléments la décrivant.

La méta-tâche :

```
{ meta-tache
    - isa : r_meta_class
    - super : r_meta_class
    - i-v : ((nom . mono) (niv-det . mono) (types-de-ressources . multi) (moe-
   maxi . mono) (moe-optim . mono) (calc-duree . mono) (realise .
   meta_rel_att_5) (origine-de-cg . meta_rel_att_20) (cibles-de-cg .
   meta_rel_att_22) (tg-regroupe-tg . meta_rel_att_25) (tg-compose-tg .
   meta_rel_att_26))
   - methods : ((regroupe? #:gdp:tgregroupetg) (compose? #:gdp:tgcomposetg)
   (nom? #:gdp:nom?) (cg-associees? #:gdp:cg-associees?) (moe-maxi?? #:gdp:
   moe-maxi?) (moe-optim?? #:gdp:moe-optim?) (realise? #:gdp:realise?mt)
   (ressources #:gdp:ressource) (niveau?? #:gdp:niveau-det))
    - sons : ()
    - instances : (tache tg12.03 tg12.02 tg12.01 tg11.01 tg10.08 ...)
    - r_methods : ()
}
```

Les différents éléments décrivant la méta-tâche :

isa : indique de quelle classe l'objet est instance (la méta-tâche est une instance de r_meta_class) ;

super : indique de quelle classe l'objet est une spécialisation (la méta-tâche est une sorte de r_meta_class, c'est à dire que ses instances sont des classes) ;

i-v : liste des attributs de la méta-tâche ; par exemple *(nom . mono)* correspond à l'attribut *nom* de type monovalué, (realise . meta_rel_att_5) est destiné à recevoir l'identificateur d'une relation qui relie les instances de méta-tâches à d'autres objets (en l'occurrence, il s'agit de la relation permettant d'associer des tâches génériques à des objets de planification génériques) ;

---

[7]La description des objets est obtenue en utilisant la commande *show* de Gram v2. Par exemple, pour la méta-tâche :

```
['meta-tache 'show]
```

methods : liste des méthodes de la méta-tâche ; par exemple, le couple (cg-associees? #:gdp:cg-associees?) signifie que lorsqu'une instance de méta-tâche reçoit le message *cg-associées?*, la réponse est donnée à travers l'exécution de la fonction définie sous le nom *#:gdp:cg-associees?* (en l'occurrence, il s'agit de déterminer quelles contraintes génériques ont pour origine ou cible l'instance de méta-tâche que l'on interroge) ;

sons : liste des spécialisations de la méta-tâche (la méta-tâche n'en comporte pas) ;

instances : liste des instances de la méta-tâche (on n'a ici repris qu'une partie de la liste de toutes les tâches génériques identifiées lors de la constitution de la base de connaissances) ;

r_methods : liste des méthodes déléguées de la méta-tâche (la méta-tâche n'en comporte pas).

Les méta-objets de planification :

```
{ meta-op
    - isa : r_meta_class
    - super : r_meta_class
    - i-v : ((nom . mono) (niv-det . mono) (technologie . multi) (fonction .
   multi) (realise-par . meta_rel_att_6) (appartient-a . meta_rel_att_9)
   (regroupe. meta_rel_att_11) (mop-associe-a-moc . meta_rel_att_18) (opg-
   regroupe-opg . meta_rel_att_23) ( opg-compose-opg . meta_rel_att_24))
   - methods : ((nom? #:gdp:nom?) (option? #:gdp:option?) (fonctions-
   associees? #:gdp:fonctions-associees?) (technologies-associees? #:gdp:
   technologies-associees?) (zone-associee? #:gdp:zone-associee) (genereop
   #:gdp: genereop) (regroupe? #:gdp:regroupe-type-ophy) (appartient-a? #:gdp:
   appartient-a) (realise-par?? #:gdp:realise-par) (niveau?? #:gdp:niveau-
   det))
    - sons : ()
   - instances : (op opg12.02 opg12.01 opg11.01 opg10.01 opg09.04 ...)
    - r_methods : ()
}
```

Les méta-contraintes :

```
{ meta-contrainte
    - isa : r_meta_class
    - super : r_meta_class
    - i-v : ((nom . mono) (type-lien . mono) (condition . mono) (tg-origine-
   associee . meta_rel_att_19) (tg-cibles-associees . meta_rel_att_21))
   - methods : ((tg-cibles? #:gdp:tg-cibles?) (tg-origine? #:gdp:tg-origine?)
   (genere-cont #:gdp:genere-cont))
    - sons : ()
    - instances : (contrainte cg144 cg143 cg142 cg141 cg140 cg139 cg138 ...)
    - r_methods : ()
}
```

Les méta-options :

```
{ meta-option
    - isa : r_meta_class
    - super : r_meta_class
    - i-v : ((nom . mono) (niv-det . mono) (technologie . multi) (fonction .
   multi) ( associee-a-lot . meta_rel_att_2) ( moc-se-decompose-en .
   meta_rel_att_13) (moc-compose . meta_rel_att_14) ( associee-a-ophy .
   meta_rel_att_15) (moc-associee-a-mop . meta_rel_att_17))
    - methods : ((sur-option? #:gdp:sur-option?) (sous-options? #:gdp: sous-
   options?) (op-relies? #:gdp:op-relies?) (type-ophy-associe? #:gdp: type-
   ophy-associe) (fonctions? #:gdp:fonctions-option) (technologies? #:gdp:
   technologies-option) (nom? #:gdp:nom?))
    - sons : ()
    - instances : (option ocg11 ocg10 ocg09 ocg08 ocg07 ocg06 ocg05 ...)
    - r_methods : ()
}
```

Les méta-zones :

```
{ meta-zone
    - isa : r_meta_class
    - super : r_meta_class
    - i-v : (( regroupe . meta_rel_att_7) (compose . meta_rel_att_8) (contient
   . meta_rel_att_10))
    - methods : ((contient? #:gdp:contient))
    - sons : ()
   - instances : (local division etage-superstructure etage-infrastructure
   etage bloc batiment chantier projet zone)
    - r_methods : ()
}
```

II - 2 La base de connaissances :

Les connaissances de la gestion de projet se décomposent en différents types : des tâches génériques, des objets de planification génériques, ... Les connaissances de même type ont des caractéristiques communes : ainsi, toutes les tâches ont un nom, une durée, une date au plus tôt, ... En revanche, elles peuvent se distinguer par la méthode calcul de leur durée, par le type d'objet de planification réalisé, ... On définit alors une classe correspondant à la "tâche type", instance de la méta-tâche, puis autant de spécialisation de cette classe type que nous avons identifié de tâches génériques (Fig. 6.3).

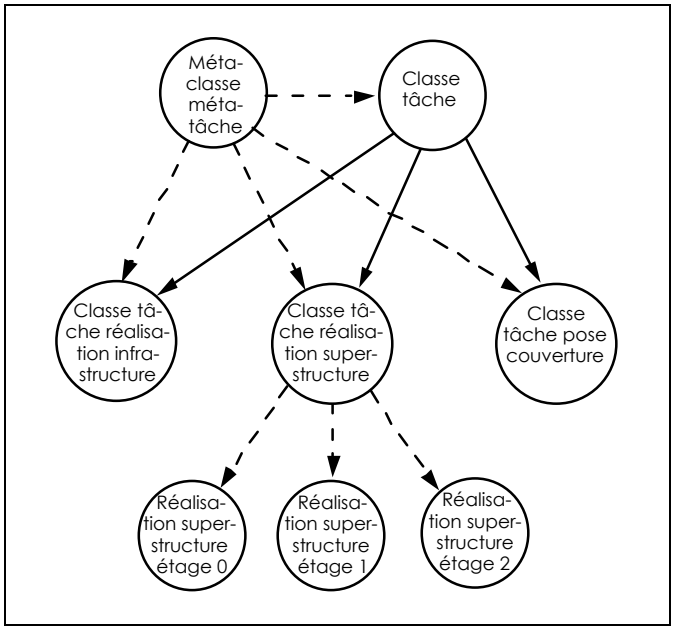


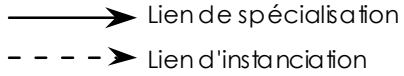
Figure 6.3 : Instanciation et spécialisation[8]

Le même schéma est reproduit pour les objets de planification, les zones de planification, les contraintes de planification et les options de construction.

La classe tâche est décrite comme suit :

```
{ tache
   - isa : meta-tache
   - super : object
   - i-v : ((duree . mono) (cout . mono) (moe . mono) (realise .
  meta_rel_att_28) (tache-regroupe-taches . meta_rel_att_45) ( tache-compose-
  tache. meta_rel_att_46))
  - methods : ((duree? #:gdp:duree?) (duree-cumul #:gdp:duree-cumul) (relier-
  a #:gdp:relier-a) (zone? #:gdp:zone?) (calcul-duree #:gdp:calcul-duree) (
  realise-op? #:gdp:realiseop?) (realise-ophy? #:gdp:realise-ophy?))
  - sons : (tg12.03 tg12.02 tg12.01 tg11.01 tg10.08 tg10.07 ...)
   - instances : ()
  - r_methods : ((moe-maxi? (isa . moe-maxi??)) (moe-optim? (isa . moe-
  optim??)) (niveau? (isa . niveau??)))
   - nom : ()
   - niv-det : ()
   - types-de-ressources : ()
   - moe-maxi : ()
   - moe-optim : ()
   - calc-duree : ()
```

[8]Dans ce schéma, nous distinguons deux types de liens entre les différents concepts :



```
    - realise : ()
    - origine-de-cg : ()
    - cibles-de-cg : ()
    - tg-regroupe-tg : ()
    - tg-compose-tg : ()
}
```

Des méthodes déléguées ont été définies au niveau de la classe tâche : par exemple (niveau? (isa . niveau??)) signifie que lorsqu'une tâche reçoit le message *niveau?*, elle délègue la réponse au contenu de l'attribut *isa* (en l'occurrence, le nom de sa classe) en lui envoyant le message *niveau??*. Cette r_methods est destinée à retourner le niveau de détail de la tâche.

On retrouve par ailleurs, dans la description de la classe tâche, la liste des tâches génériques qui figuraient déjà dans la description de la méta-tâche, mais cette fois-ci, en temps que spécialisation et non en temps qu'instances. Nous décrivons ci-dessous l'une de ces tâches génériques :

```
{ tg06
    - isa : meta-tache
    - super : tache
    - i-v : ((duree . mono) (cout . mono) (moe . mono) (realise .
   meta_rel_att_28) (tache-regroupe-taches . meta_rel_att_45) ( tache-compose-
   tache . meta_rel_att_46))
    - methods : ()
    - sons : ()
    - instances : ()
    - r_methods : ()
    - nom : réalisation superstructure
    - niv-det : 1
    - types-de-ressources : ()
    - moe-maxi : 5
    - moe-optim : 3
    - calc-duree : #:gdp:dureetg06
    - realise : mt-mop_6
    - origine-de-cg : (mc-mt-origine_11 mc-mt-origine_9 mc-mt-origine_8)
    - cibles-de-cg : (mc-mt-cible_8 mc-mt-cible_6 mc-mt-cible_5)
    - tg-regroupe-tg : mt-mt_6
    - tg-compose-tg : ()
}
```

L'attribut *origine-de-cg* contient le nom des relations liant la tâche générique TG06 à des contraintes de planification générique. Par exemple :

```
{ mc-mt-origine_11
    - isa : mc-mt-origine
    - pere : cg11
```

```
    - fils : (tg06)
}
```

La relation *mc-mt-origine_11* relie la tâche *TG06* à la contrainte *CG11*, décrite ci-dessous :

```
{ cg11
    - isa : meta-contrainte
    - super : contrainte
    - i-v : ((isa) (delai . mono) (tache-origine . mono) (tache-cible . mono))
    - methods : ((calcul-delai #:gdp:calcul-delaicg11))
    - sons : ()
    - instances : ()
    - r_methods : ()
    - nom : ()
    - type-lien : fd
    - condition : #:gdp:conditioncg11
    - tg-origine-associee : mc-mt-origine_11
    - tg-cibles-associees : mc-mt-cible_11
}
```

L'attribut *realise* de la tâche TG06 contient le nom de la relation la reliant à un objet de planification :

```
{ mt-mop_6
    - isa : mt-mop
    - pere : tg06
    - fils : (opg06)
}
```

La tâche TG06 est ainsi reliée à l'objet de planification générique OPG06 :

```
{ opg06
    - isa : meta-op
    - super : op
    - i-v : ((option . mono) (realise-par . meta_rel_att_27) (appartient-a-
   zone . meta_rel_att_31) (regroupe . meta_rel_att_35) (op-lie-a-oc .
   meta_rel_att_42) (op-regroupe-op . meta_rel_att_43) (op-compose-op .
   meta_rel_att_44) (surface-plancher . mono) (volume-prefa . mono))
   - methods : ((dim #:gdp:dimopg06) (volume-prefa? #:gdp:volume-prefaopg06)
   (surface-plancher? #:gdp:surface-plancheropg06))
    - sons : ()
    - instances : ()
    - r_methods : ()
    - nom : superstructure
    - niv-det : 1
    - technologie : (maconnerie beton)
```

```
   - fonction : (isolation-phonique separation stabilite)
    - realise-par : (mt-mop_6)
    - appartient-a : mop-mzp_6
    - regroupe : mop-mophy_5
   - mop-associe-a-moc : (moption-mop_29 moption-mop_27 moption-mop_26)
    - opg-regroupe-opg : mop-mop_6
    - opg-compose-opg : ()
}
```

L'attribut *appartient-a* de l'objet OPG06 contient le nom de la relation le reliant à une zone de planification :

```
{ mop-mzp_6
    - isa : mop-mzp
    - pere : opg06
    - fils : (etage-superstructure)
}
```

La zone de planification générique *etage-superstructure* est décrite de la façon suivante :

```
{ etage-superstructure
    - isa : meta-zone
    - super : etage
    - i-v : ((regroupe . meta_rel_att_29) (compose . meta_rel_att_30) (
   contient . meta_rel_att_32) (contient-ophy . meta_rel_att_34) (numero .
   mono))
    - methods : ()
    - sons : ()
    - instances : (etage1 etage0)
    - r_methods : ()
    - regroupe : ()
    - compose : (mzp-mzp_2)
   - contient : (mop-mzp_35 mop-mzp_34 mop-mzp_33 mop-mzp_32 mop-mzp_31
   mop-mzp_6)
}
```

L'attribut *mop-associe-a-moc* de l'objet OPG06 contient le nom de la relation le reliant à une option de construction :

```
{ moption-mop_26
    - isa : moption-mop
    - pere : ocg01
    - fils : (opg06 opg05 opg04 opg03 opg02 opg01)
}
```

Plusieurs objets de planification génériques, dont OPG06, sont reliés à l'option de construction génériques OCG01, décrite ci-dessous :

```
{ ocg01
    - isa : meta-option
    - super : option
    - i-v : ((liee-a-ophy . meta_rel_att_37) (oc-regroupe-oc .
   meta_rel_att_39) (oc-compose-oc . meta_rel_att_40) (oc-liee-a-op
   .ta_rel_att_41))
    - methods : ()
    - sons : ()
    - instances : ()
    - r_methods : ()
    - nom : beton-arme-coule-en-place
    - niv-det : 1
    - technologie : (beton)
    - fonction : ((poutre stabilite) (poteau stabilite) (plancher stabilite)
   (murstabilite))
    - associee-a-lot : (lot-moption1_1)
    - moc-se-decompose-en : moption-moption_1
    - moc-compose : ()
    - associee-a-ophy : moption-mophy_25
    - moc-associee-a-mop : moption-mop_26
}
```

III - Exemple d'utilisation de PROJECTOR :

A travers un exemple d'utilisation de PROJECTOR, nous présentons la transformation des informations, de l'objet physique jusqu'à la tâche. Nous présentons différents objets à différents stades du processus de génération des tâches. Nous distinguons deux cas de figure :

- la première réalisation d'un planning enveloppe ;

- la réalisation d'un planning détaillé après la réalisation d'un planning enveloppe.

Dans un premier temps, nous présentons le projet de bâtiment étudié.

III - 1 Le projet :

Nous reprenons l'exemple que nous avions présenté dans le chapitre 4 pour illustrer la modélisation des informations de conception. Il s'agit d'un projet constitué d'un bâtiment avec trois appartements répartis sur deux étages (Fig. 6.4).

Nous proposons de choisir un objet physique de ce bâtiment (un mur) et de suivre le cheminement aboutissant à la génération des tâches qui réalisent ce mur.

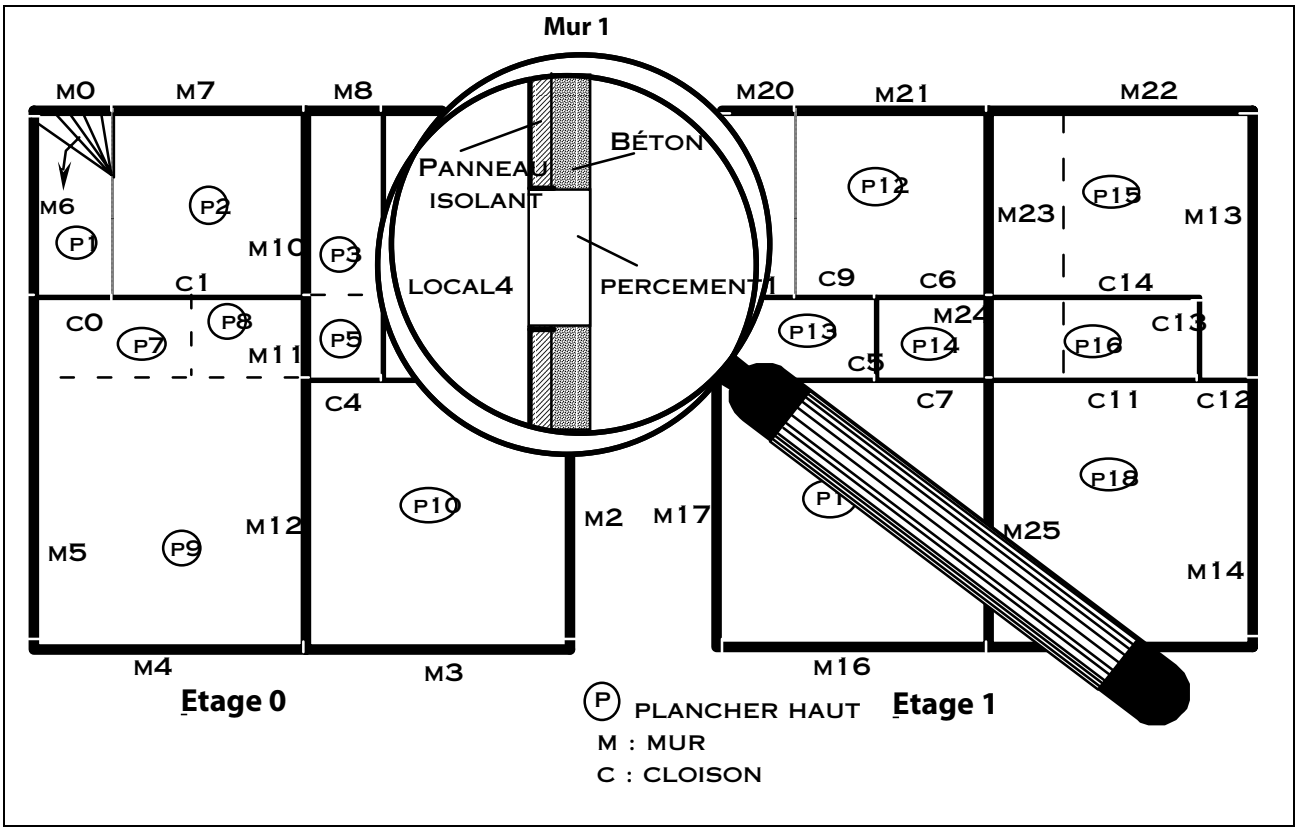


Figure 6.4 : le projet étudié

Les informations de conception sont constituées par la liste des objets physiques composant le bâtiment. Prenons l'exemple du mur 1 :

```
{ mur1
    - isa : mur
    - technologies-ophy :
   - fonction : (separation isolation-thermique isolation-phonique stabilite)
    - ophy-appartient-a-zone :
    - compose-op :
    - lie-a-option :
    - filaire : filaire1
    - perce-par : (percement1)
   - compose-de-couche : (couche-isolant-doublage1 couche-beton1)
    - equipe-par : ()
    - delimite : (local4)
    - est-cale-par : ()
    - est-delimite-par : ()
}
```

Le mur 1 est composé de trois couches :

```
{ couche-isolant1
```

```
    - isa : couche-isolant
    - contour : polygone1
    - position : 20
}

{ couche-platre1
    - isa : couche-platre
    - contour : polygone1
    - position : 27
}

{ couche-beton1
    - isa : couche-beton
    - contour : polygone1
    - position : 0
}
```

Ces couches sont des instances de classes comportant des renseignements tels que l'épaisseur, le type de matériau... La position de la couche est sa distance au plan de référence portant le mur.

Le mur 1 est percé par le percement 1:

```
{ percement1
    - isa : percement
    - technologies-ophy :
   - fonction : (eclairage separation isolation-thermique isolation-phonique)
    - ophy-appartient-a-zone : ophy-zone_57
    - compose-op :
    - lie-a-option :
    - position-surface : ()
    - contour : polygone3
    - porte : fenetre1
}
```

Ce percement porte un objet technologique : une fenêtre.

III -2 Génération d'un premier planning enveloppe :

Le schéma ci-dessous (Fig. 6.5) représente les différentes étapes permettant de générer les tâches à partir des objets physiques et des locaux.

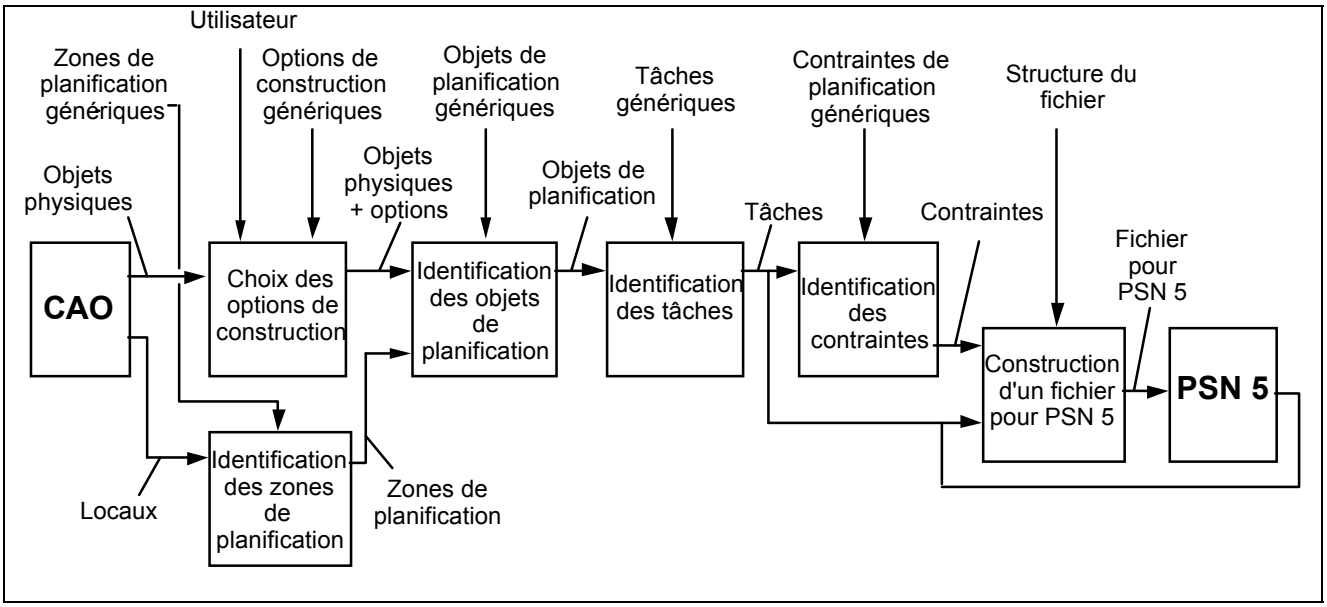


Figure 6.5 : Première génération d'un planning enveloppe

Nous décrivons ci-dessous ces différentes étapes en suivant l'exemple du mur 1. A la fin de la présentation de chacune de ces étapes, nous rappelons les rôles respectifs de PROJECTOR et de l'utilisateur.

III - 2 - 1 Le choix des options de construction :

Les informations de départ sont les objets physiques et les différents locaux et divisions constituant le projet. La technologie des objets physiques n'est pas exprimée directement mais elle peut généralement être connue à partir des éléments composant l'objet physique. Cependant, cette rapide analyse n'est pas toujours suffisante, notamment à des stades précoces de la conception : plusieurs technologies sont parfois envisageables sans que les caractéristiques de l'objet physique concerné ne permettent de déterminer laquelle doit être choisie. Ce choix revient alors à l'utilisateur.

Exemple :

> *On peut envisager différentes technologies pour réaliser l'isolation et le doublage du mur 1 : par exemple, des "panneaux complexes", ou alors des "panneaux assemblés à sec". Dans notre exemple, l'utilisateur choisit la technologie "panneaux-complexes".*

De manière à accélérer les traitements ultérieurs, PROJECTOR affecte explicitement à chaque objet physique (à travers l'attribut technologies-ophy) les technologies qu'il comporte.

A chacune de ces technologie correspond une option de construction. Pour certaines technologies, pour le niveau de détail enveloppe, une seule option de construction est envisageable. C'est le cas, en ce qui concerne le mur 1, pour la technologie "panneaux complexes". En revanche, pour la partie béton, l'utilisateur doit préciser s'il s'agit de béton préfabriqué ou de béton coulé en œuvre. C'est

cette dernière option qui a été choisie dans notre exemple.

PROJECTOR :
- affecte explicitement à chaque objet physique les technologies qui le composent ou propose, le cas échéant, les différentes technologies possibles par rapport aux fonctions de l'objet physique ;

- affecte explicitement à chaque objet technologie de chaque objet physique l'option de construction qui la caractérise ou propose, le cas échéant, les différentes options de construction possibles.

UTILISATEUR :
- fournit le fichier comportant les objets physiques du projet ;

- choisit les technonologies si nécessaire ;

- choisit les options de construction si nécessaire.

III - 2 - 2 L'identification des zones de planification :

L'objet physique est associé à des zones de planification : les informations issues des phases de conception associent l'objet physique aux locaux qu'il délimite ou qui le contiennent. Ces locaux constituent des zones de planification : celles-ci sont alors associées à l'objet physique.

PROJECTOR :
- associe à chaque objet physique toutes les zones de différents types le contenant.

UTILISATEUR :
- indique la hiérarchie des zones.

Après ces deux premières étapes (choix des technologies et des options de construction et identification des zones de planification), le mur1 est décrit de la façon suivante :

```
{ mur1
    - isa : mur
    - technologies-ophy : (beton panneaux-complexes)
    - fonction : (separation isolation-thermique isolation-phonique stabilite)
    - ophy-appartient-a-zone : ophy-zone_2
    - compose-op :
    - lie-a-option : (option-ophy_3 option-ophy_1)
    - filaire : filaire1
    - perce-par : (percement1)
    - compose-de-couche : (couche-isolant1 couche-platre1 couche-beton1)
    - equipe-par : ()
    - delimite : ()
    - est-cale-par : ()
    - est-delimite-par : ()
```

}

La relation ophy-zone_2 est décrite de la façon suivante :

```
{ ophy-zone_2
    - isa : ophy-zone
    - père : mur1
    - fils : (batiment1 projet1 bloc1 etage0)
}
```

Le mur1 est donc contenu dans l'étage 0, le bloc 1, le bâtiment 1 et le projet 1.

Les options de construction associées au mur 1 sont les suivantes :

```
{ option-ophy_3
    - isa : option-ophy
    - pere : ocg11_1
    - fils : (mur0 mur1 mur2 mur3 mur4 mur5 mur6 mur7 mur8 mur9 mur13 mur14
   mur15 mur16 mur17 mur18 mur19 mur20 mur21 mur22 cloison0 cloison1 cloison2
   cloison3 cloison4 cloison5 cloison6 cloison7 cloison8 cloison9 cloison10
   cloison11 cloison12 cloison13 cloison14 plancher7 plancher8 plancher9
   plancher10 plancher11 plancher12 plancher13 plancher14 plancher15
   plancher16 plancher17 plancher18)
}


{ option-ophy_1
    - isa : option-ophy
    - pere : ocg01_1
    - fils : (mur0 mur1 mur2 mur3 mur4 mur5 mur6 mur7 mur8 mur9 mur10 mur11
   mur12 mur13 mur14 mur15 mur16 mur17 mur18 mur19 mur20 mur21 mur22 mur23
   mur24 mur25 plancher1 plancher2 plancher3 plancher4 plancher5 plancher6
   plancher7 plancher8 plancher9 plancher10 plancher11 plancher12 plancher13
   plancher14 plancher15 plancher16 plancher17 plancher18)
}
```

Deux options de construction sont ainsi associées au mur 1 : ocg11_1 et ocg01_1. Ces deux options sont respectivement des instances des classes ocg11 et ocg01 :

```
{ ocg11
    - isa : meta-option
    - super : option
    - i-v : ((liee-a-ophy . meta_rel_att_37) (oc-regroupe-oc .
   meta_rel_att_39) (oc-compose-oc . meta_rel_att_40) (oc-liee-a-op .
   meta_rel_att_41))
    - methods : ()
    - sons : ()
    - instances : (ocg11_1)
    - r_methods : ()
    - nom : doublage-cloison-isolation
    - niv-det : 1
    - technologie : (isolant-deroule flocage panneaux-complexes panneaux-
   assembles-a-sec petits-elements maconnerie)
```

```
 - fonction : ()
 - associee-a-lot : (lot-moption1_7)
 - moc-se-decompose-en : moption-moption_12
 - moc-compose : ()
 - associee-a-ophy : moption-mophy_35
 - moc-associee-a-mop : moption-mop_37
}

{ ocg01
 - isa : meta-option
 - super : option
 - i-v : ((liee-a-ophy . meta_rel_att_37) (oc-regroupe-oc .
meta_rel_att_39) (oc-compose-oc . meta_rel_att_40) (oc-liee-a-op .
meta_rel_att_41))
 - methods : ()
 - sons : ()
 - instances : (ocg01_1)
 - r_methods : ()
 - nom : beton-arme-coule-en-oeuvre
 - niv-det : 1
 - technologie : (beton)
 - fonction : ()
 - associee-a-lot : (lot-moption1_1)
 - moc-se-decompose-en : moption-moption_1
 - moc-compose : ()
 - associee-a-ophy : moption-mophy_26
 - moc-associee-a-mop : moption-mop_27
}
```

III - 2 - 3 Identification des objets de planification :

Dans la base de connaissances, nous avons associé à chaque option de construction générique des objets de planification génériques. A partir des options associées aux objets physiques du projet, on peut ainsi déterminer les objets de planification susceptibles de constituer le projet étudié. Dans notre cas, le mur 1 est relié à deux options de construction :

- option "doublage-cloisons-isolation", associée à l'objet de planification générique "doublage-cloisons-isolation" ;

- option "béton armé coulé en œuvre", associée aux objets de planification génériques "superstructure" et "infrastructure".

Le mur 1 va ainsi composer deux objets de planification :

- un objet "superstructure" :

```
{ opg06-etage0
    - isa : opg06
    - option : ()
    - realise-par :
    - appartient-a-zone : op-zone_6
    - regroupe : op-ophy_3
    - op-lie-a-oc : ()
    - op-regroupe-op : ()
    - op-compose-op : ()
    - surface-plancher : 100
    - volume-prefa : 0
}
```

Cet objet regroupe plusieurs objets physiques (Fig. 6.6) :

```
{ op-ophy_3
    - isa : op-ophy
    - pere : opg06-etage0
    - fils : (plancher10 plancher9 plancher8 plancher7 plancher6 plancher5
   plancher4 plancher3 plancher2 mur12 mur11 mur10 mur9 mur8 mur7 mur6 mur5
   mur4 mur3 mur2 mur1 mur0)
}
```

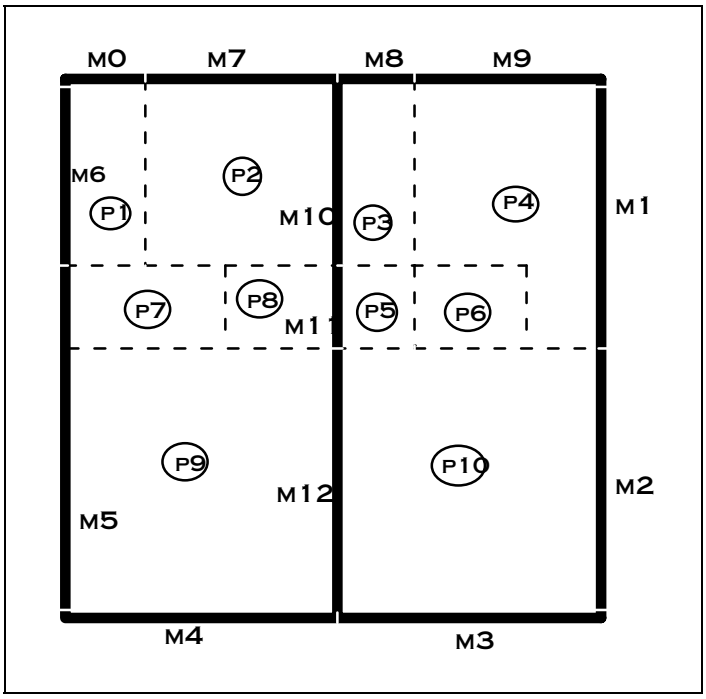


Figure 6.6 : l'objet de planification "superstructure étage 0"

- un objet "doublage-cloisons-isolation" :

```
{ opg09-batiment1
    - isa : opg09
    - option : ()
```

- realise-par :
- appartient-a-zone : op-zone_8
- regroupe : op-ophy_5
- op-lie-a-oc : ()
- op-regroupe-op : ()
- op-compose-op : ()
- surface-planchers : 200

}

Cet objet de planification regroupe plusieurs objets physiques (Fig. 6.7) :

{ op-ophy_5

- isa : op-ophy
- pere : opg09-batiment1
- fils : (mur0 **mur1** mur2 mur3 mur4 mur5 mur6 mur7 mur8 mur9 mur13 mur14 mur15 mur16 mur17 mur18 mur19 mur20 mur21 mur22 cloison0 cloison1 cloison2 cloison3 cloison4 cloison5 cloison6 cloison7 cloison8 cloison9 cloison10 cloison11 cloison12 cloison13 cloison14)

}

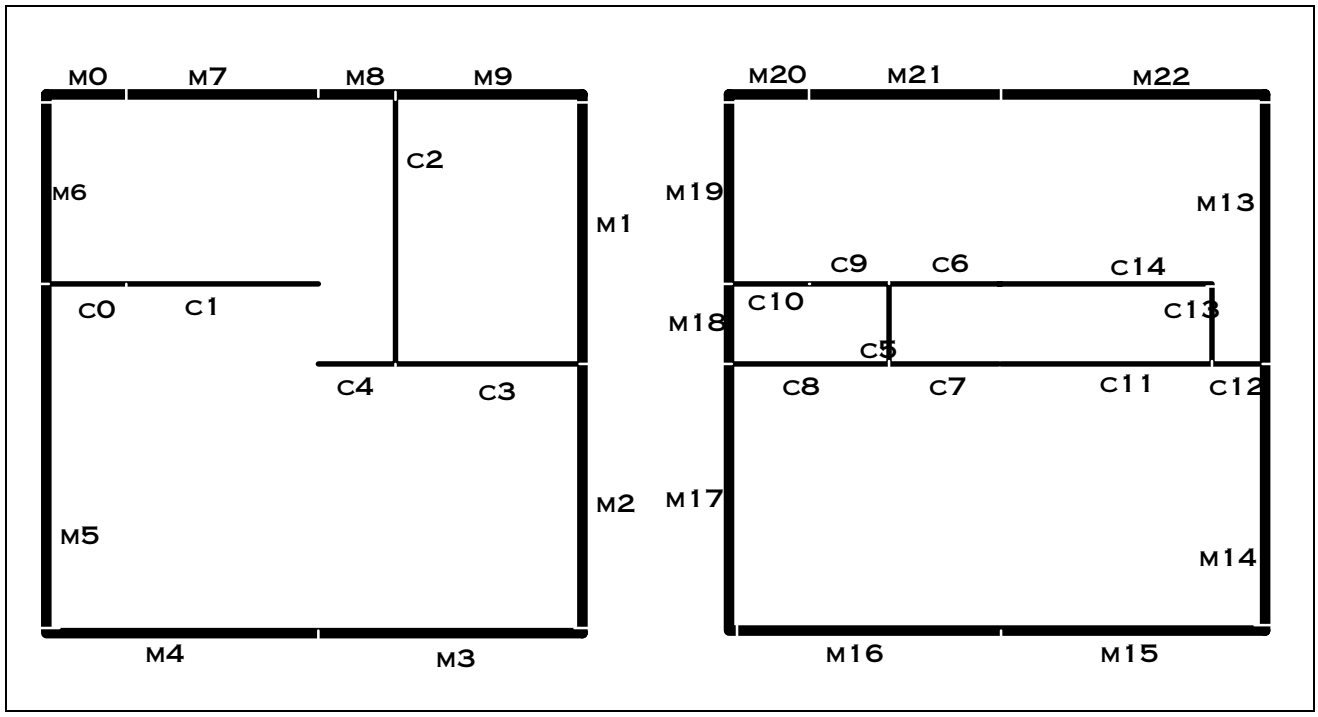


Figure 6.7 : l'objet de planification "doublage-cloison-isolation-bâtiment1"

PROJECTOR :
- génère les objets de planification et les lie aux objets physiques qui le constituent.

UTILISATEUR :
- éventuellement, modifie la composition et les dimensions de certains objets de

planification.

III - 2 - 4 Identification des tâches :

A chaque objet de planification générique ayant généré des objets de planification sont associées des tâches génériques, susceptibles de générer des tâches pour la réalisation du projet étudié.

Ainsi, l'objet de planification générique "superstructure" est associé à la tâche générique TG06 ("réalisation superstructure") et l'objet de planification générique "doublage-cloisons-isolation" à la tâche générique TG09 ("réalisation doublage-cloisons-isolation"). Chacun des deux objets de planification que compose l'objet mur1 est donc réalisé par une tâche :

```
{ tg06_2
    - isa : tg06
    - duree : 10
    - cout : ()
    - moe : ()
    - realise : (op-tache_4)
    - tache-regroupe-taches : ()
    - tache-compose-tache : ()
}
```

Cette tâche réalise l'objet de planification "superstructure-étage0" :

```
{ op-tache_4
    - isa : op-tache
    - père : opg06-etage0
    - fils : (tg06_2)
}

{ tg09_1
    - isa : tg09
    - duree : 7
    - cout : ()
    - moe : ()
    - realise : (op-tache_1)
    - tache-regroupe-taches : ()
    - tache-compose-tache : ()
}
```

Cette tâche réalise l'objet de planification "doublage-cloisons-isolation-bâtiment1" :

```
{ op-tache_1
    - isa : op-tache
    - père : opg09-bâtiment1
```

```
    - fils : (tg09_1)
}
```

PROJECTOR :
- génère les tâches, calcule leur durée et les lie aux objets de planification qu'elles réalisent respectivement.

UTILISATEUR :
- éventuellement, modifie les caractéristiques de certaines tâches ;

- génère de nouvelles tâches particulières.

III - 2 - 5 Identification des contraintes de planification :

Pour chaque contrainte générique, s'il existe des instances des tâches génériques origine et cible, les conditions d'application sont évaluées et, le cas échéant, une contrainte est générée et le délai qui lui est affecté est calculé. On définit de cette manière, à partir de la liste des tâches réalisant le projet, une liste de contraintes de planification. Nous présentons ci-dessous une de ces contraintes :

```
{ cg08_1
    - isa : cg08
    - delai : -5
    - tache-origine : tg06_2
    - tache-cible : tg06_1
}
```

PROJECTOR :
- génère les contraintes de planification et les lie aux tâches cibles et origines.

UTILISATEUR :
- éventuellement, modifie les caractéristiques des contraintes générées;

- crée ou supprime des contraintes.

III - 2 - 6 Utilisation de PSN5 :

Nous avons exploité la liste des tâches et des contraintes, en vue de réaliser l'ordonnancement, avec le logiciel PSN5 Les transferts entre PROJECTOR et PSN 5 ont été réalisés grâce à la génération, par PROJECTOR, de deux fichiers textes compatibles avec les formats import/export de PSN :

- le fichier "activités", comportant pour chacune des tâches : l'identificateur, le nom, la durée ;

- le fichier des "liens", comportant pour chaque ressource : l'identificateur de la tâche cible, l'identificateur de la tâche origine, le type de lien, le délai.

Nous présentons ci dessous le résultat de l'ordonnancement obtenu, sous forme de diagramme Gantt (Fig. 6.8).

UTILISATEUR :
- utilise PSN5 en exploitant la liste des tâches et des contraintes construite avec PROJECTOR.

- modifie le planning obtenu :

  - nom des tâche ;

  - ajustement de la tâche élastique "Electricité".

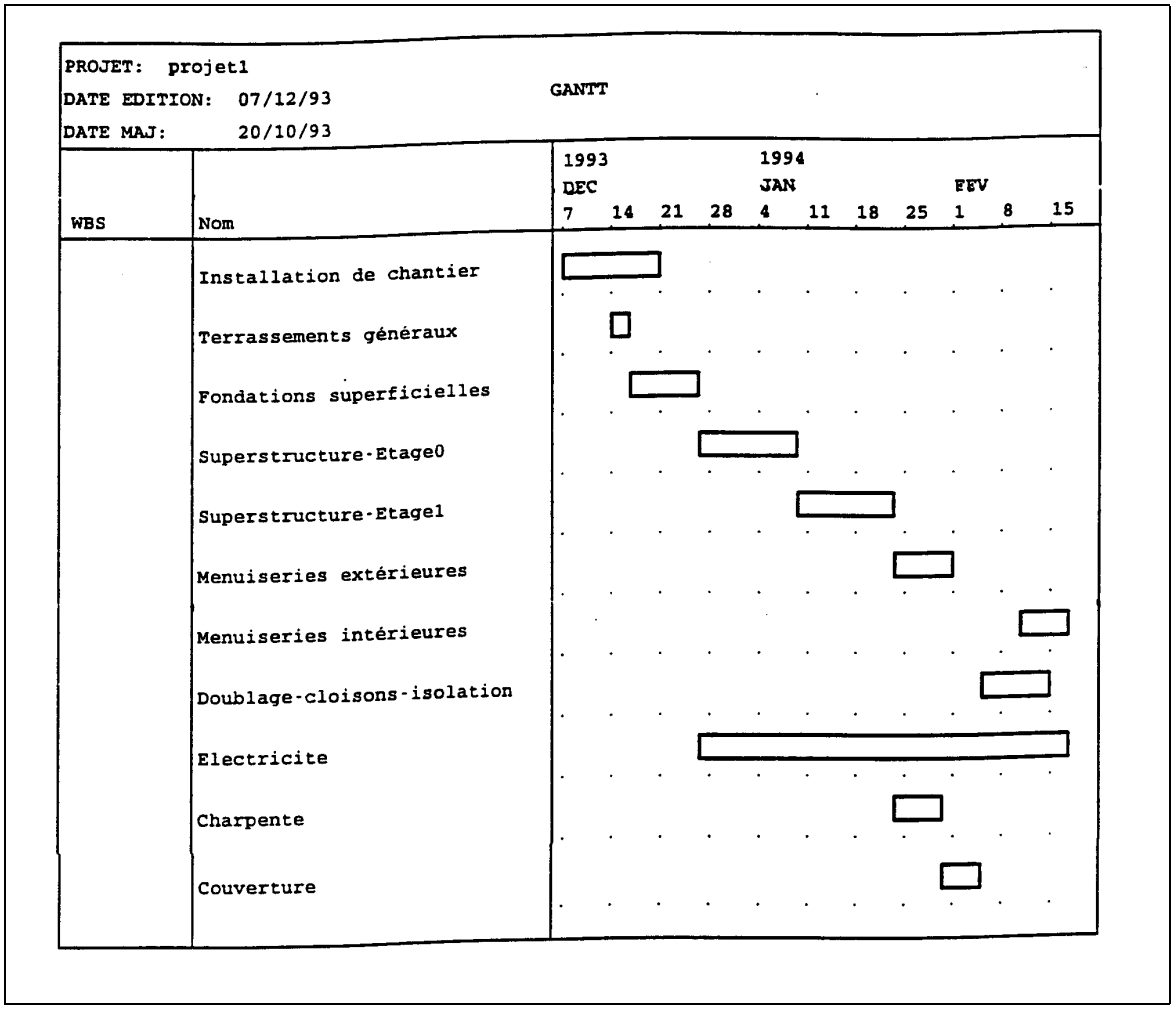


Figure 6.8 : le planning enveloppe

III - 3 Génération d'un planning plus détaillé :

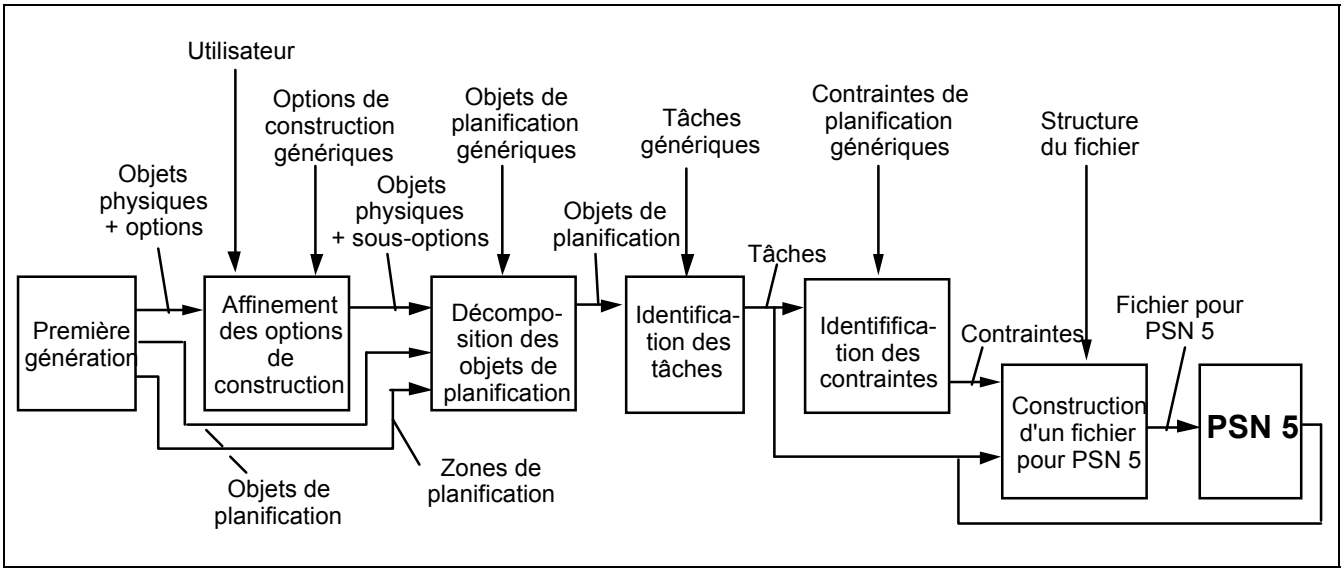


Figure 6.9 : Génération d'un planning plus détaillé

Dans le cas de la réalisation d'un planning détaillé lorsqu'un planning enveloppe a déjà été réalisé (Fig. 6.9), le principe de génération des tâches n'est pas le même : certaines informations ont été fournies lors de la première génération et elles devront être affinées pour la nouvelle génération : c'est le cas des options de construction.

Nous décrivons ci-dessous (toujours à travers l'exemple du mur 1) les étapes qui diffèrent du cas de la génération d'un premier planning enveloppe (voir paragraphe précédent), c'est à dire l'affinement des options de construction et la décomposition des objets de planification.

III - 3 - 1 Affinement des options de construction :

Chaque option de construction générique de niveau de détail 1 englobe des options de construction génériques de niveau de détail 2. Reprenons par exemple l'une deux options caractérisant le mur 1 pour le niveau de détail 1 :

```
{ moption-moption_1
    - isa : moption-moption
    - pere : ocg01
    - fils : ((ocg01-03 ocg01-02 ocg01-01))
}
```

L'option de construction ocg01 (béton coulé en œuvre) peut être réalisé de trois façons :

- ocg01-01 : planchers-predalles ;

- ocg01-02 : planchers-coffrages-alu ;

- ocg01-03 : planchers-coffrages-traditionnels.

Dans notre exemple, supposons que l'utilisateur choisisse l'option ocg01-03 :

```
{ ocg01-03
    - isa : meta-option
    - super : option
    - i-v : ((liee-a-ophy . meta_rel_att_37) (oc-regroupe-oc .
   meta_rel_att_39) (oc-compose-oc . meta_rel_att_40) (oc-liee-a-op .
   meta_rel_att_41))
    - methods : ()
    - sons : ()
    - instances : (ocg01-03_1)
    - r_methods : ()
    - nom : beton-coule-en-place/planchers-coffrages-traditionnels
    - niv-det : 2
    - technologie : (beton)
    - fonction : ((poutre stabilite) (poteau stabilite) (plancher stabilite)
   (mur stabilite))
    - associee-a-lot : (lot-moption1_1)
    - moc-se-decompose-en : ()
    - moc-compose : (moption-moption_1)
    - associee-a-ophy : moption-mophy_3
    - moc-associee-a-mop : moption-mop_3
}
```

De la même manière, toutes les options choisies pour le niveau de détail 1 sont ainsi affinées et les relations entre options de construction et objets physiques modifiés en conséquence.

PROJECTOR :
- en fonction des options de construction de niveau 1, associe à chaque objet physique des options de construction de niveau 2 ou, le cas échéant, propose les différentes options de construction possibles.

UTILISATEUR :
- choisit, si nécessaire, une option de construction de niveau 2.

III - 3 - 2 Décomposition des objets de planification :

Les options de construction génériques correspondant au niveau de détail 2 sont associées à des objets de planification génériques du même niveau de détail. Pour générer les instances de ces derniers, on n'analyse pas la totalité des objets physiques mais on part des objets de planification de niveau de détail 1 que l'on considère comme autant de sous-projets.

PROJECTOR :
- décompose les objets de planification de niveau 1 en objets de planification de niveau 2.

UTILISATEUR :
- éventuellement, modifie la composition et des dimensions de certains objets de planification.

Après l'affinement des options de construction et la décomposition des objets de planification, le mur 1 est relié à deux options de construction et

```
{ mur1
 - isa : mur
 - technologies-ophy : (beton panneaux-complexes)
 - fonction : (separation isolation-thermique isolation-phonique stabilite)
 - ophy-appartient-a-zone : ophy-zone_2
 - compose-op : (op-ophy_11 op-ophy_7 op-ophy_6)
 - lie-a-option : (option-ophy_6 option-ophy_4)
 - filaire : filaire1
 - perce-par : (percement1)
 - compose-de-couche : (couche-isolant1 couche-platre1 couche-beton1)
 - equipe-par : ()
 - delimite : ()
 - est-cale-par : ()
 - est-delimite-par : ()
}
```

Le mur 1 compose les objets de planification :

- porteurs verticaux étage 0 ;

- finitions étage 0 ;

- doublage étage 0.

A partir de la liste des objets de planification de niveau de détail 2, la procédure de génération des tâches et des contraintes de planification est la même que celle utilisée pour une première génération.

III - 3 - 3 Utilisation de PSN5 :

Comme pour le niveau enveloppe, nous avons exploité la liste des tâches et des contraintes (à travers les deux fichiers "activités" et " liens" générés par PROJECTOR) en vue de réaliser l'ordonnancement avec le logiciel PSN5.

Nous présentons ci-dessous le résultat de l'ordonnancement obtenu, sous forme de diagramme Gantt (Fig. 6.10).

UTILISATEUR :
- utilise PSN5 en exploitant la liste des tâches et des contraintes construite avec PROJECTOR.

- modifie les résultats obtenus avec PSN5 : dans notre exemple, les contraintes génériques de la base de connaissances correpondant à des contraintes techniques de mise en œuvre (par exemple, ne pas poser la couverture avant

d'avoir monté la charpente), l'utilisateur a ajouté des contraintes résultant de la limitation des moyens en définissant des contraintes de succession entre les tâches de second œuvre de même type mais réalisées dans des zones différentes.

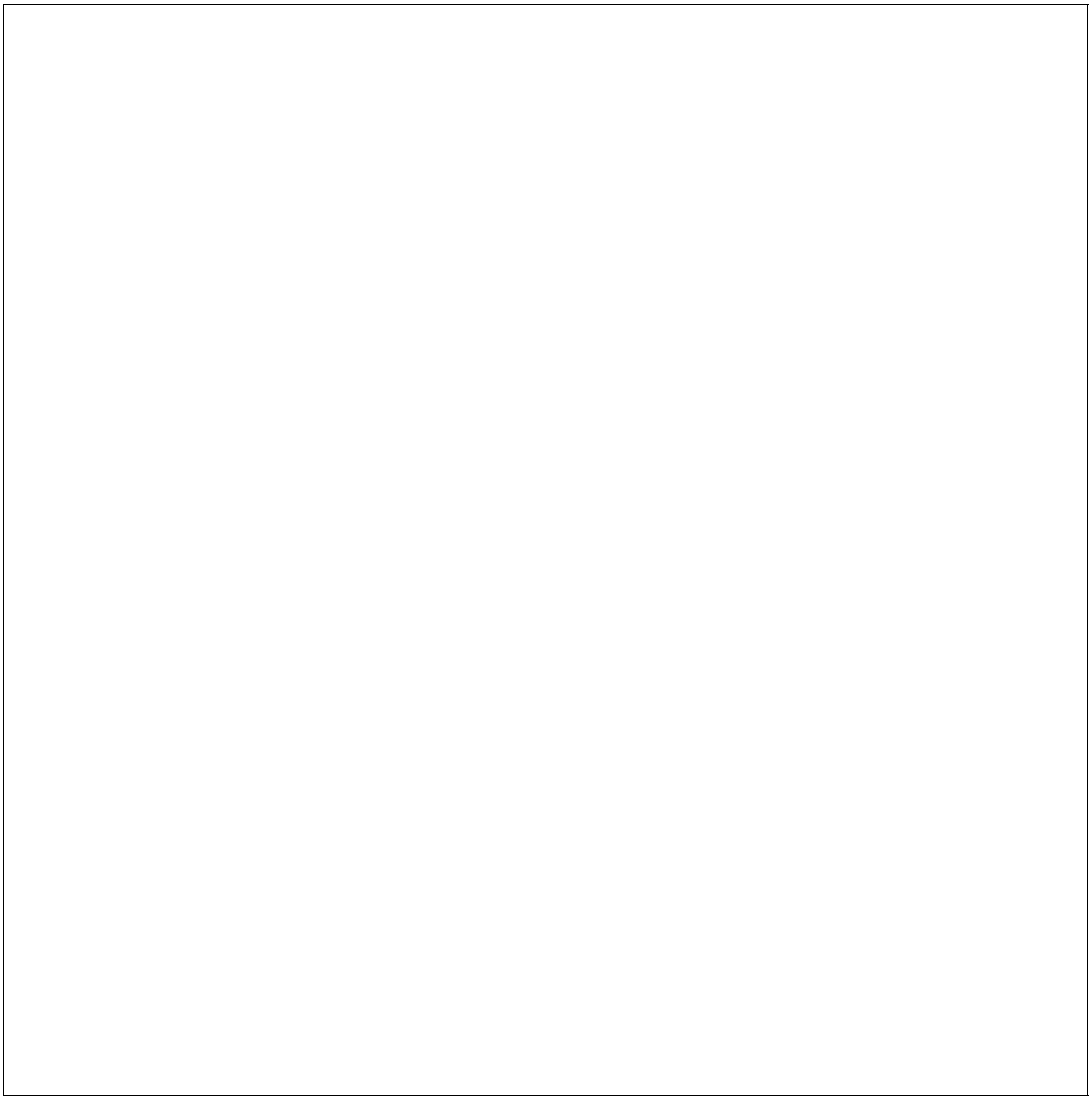


Figure 6.10 : le planning détaillé

III - 4 Les liens entre les différentes informations :

Les différents objets et relations dans PROJECTOR ont été définis non seulement dans une optique de génération des informations pour la planification mais aussi dans le but d'identifier et de situer les liens entre la conception et la planification. Nous avons ainsi associé aux classes des objets physiques, des objets de planification et des tâches des méthodes permettant, après les phases de

génération, de déterminer "qui réalise quoi". Nous montrons ci-dessous des exemples d'envois de messages (avec la syntaxe ['*objet 'message*]) destinés à préciser les liens entre objets physiques et tâches.

```
 ['tg06_2 'realise-OPhy?]
= (plancher10 plancher9 plancher8 plancher7 plancher6 plancher5 plancher4
plancher3 plancher2 mur12 mur11 mur10 mur9 mur8 mur7 mur6 mur5 mur4 mur3
mur2 mur1 mur0)

 ['mur0 'realise-par??]
= (tg09_1 tg06_2)
```

La tâche tg06_2 (réalisation de la superstructure de l'étage 0) réalise les planchers 2 à 10 et les murs 0 à 12. Le mur 0 est réalisé par la tâche TG06_2 (réalisation de la partie superstructure du mur) et par la tâche TG09_1 (réalisation de la partie doublage isolation du mur).

De la même façon, des messages permettent d'indiquer la composition des objets de planification, les tâches qui les réalisent, les zones qui les contiennent, ...

La persistance de ces liens après les phases de génération des informations est indispensable pour assurer la vérification de la cohérence des différents types d'informations en présence. Par exemple, si les caractéristiques d'un objet physique sont modifiées, l'objet de planification qu'il compose ainsi que les tâches qui le réalisent doivent être identifiés pour être modifiés. Par ailleurs, ces liens identifient les éléments du projet (objets physiques, options de construction) qui ont été pris en compte dans la génération des tâches : ce sont ces éléments sur lesquels devront être envisagées des actions en vue de modifier les caractéristiques de la tâche correspondante (sa durée par exemple). Ce retour de la gestion de projet sur la conception permet alors de faciliter la prise en compte de préoccupations de la gestion de projet au cours de la conception.

En outre, l'identification des liens entre les différents types d'information ouvre des perspectives d'intégration plus poussée du processus conception-réalisation. Les liens permettent ainsi d'envisager la mise au point de fonctionnalités de simulation. Par exemple, la simulation pourrait se traduire par la visualisation des objets de planification réalisés à une date donnée en fonction du résultat de l'ordonnancement des tâches ; cela nécessite alors l'existence d'un lien entre ces objets et les tâches du planning. Ces fonctionnalités de simulation constitueront une aide pour les professionnels de la conception et de la réalisation des bâtiments mais elles ont aussi pour but de mettre les connaissances de la gestion de projet à la disposition des chercheurs : PROJECTOR doit aussi être considéré comme étant la base d'outil de laboratoire.

Ces perspectives, ainsi que d'autres, ouvertes par le travail de recherche que constitue cette thèse sont développées plus longuement dans la conclusion générale.

Le prototype PROJECTOR ne correspond pas à une mise en œuvre exhaustive des différentes propositions que nous avons faites pour améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet de bâtiments. Néanmoins, il a montré comment une solution informatique permet d'assister le maître d'œuvre d'exécution dans la constitution d'une base d'informations susceptible d'être exploitée par un logiciel d'aide à la planification et de maintenir des liens entre ces informations, les informations de conception et les informations de réalisation.

La réalisation de ce prototype valide les idées de base de nos propositions et montre l'intérêt de vérifier la faisabilité informatique dans un contexte beaucoup plus large. Nous en déduisons différentes pistes de recherche qu'il nous parait intéressant d'aborder, dans le prolongement de cette thèse. Nous les présentons dans la conclusion générale de ce document.

Conclusion générale

L'un des premiers objets de cette thèse a été de décrire la gestion de projet de bâtiments : en effet, si la littérature concernant la gestion de projet d'une part et le projet de bâtiment d'autre part est nombreuse, il n'en est pas de même pour la gestion de projet de bâtiments. Cette phase d'étude du domaine de recherche a confirmé le besoin exprimé par les professionnels d'améliorer la liaison entre la conception et la gestion de projet. Nous avons donc analysé plus particulièrement la liaison puis nous avons proposé une solution informatique destinée à gérer les échanges d'informations inhérents à cette liaison. La mise en œuvre de cette solution nous a semblé d'autant plus pertinente que la conception était elle même assurée de façon optimale. Nous avons ainsi décidé de nous situer dans un contexte de CAO multitechnique et nous avons bénéficié des nombreux travaux de recherche qui ont été faits dans ce domaine au Laboratoire Génie Civil et Habitat de Chambéry, notamment à travers le prototype CONCEPTOR. La spécification de la solution informatique a montré l'intérêt de distinguer différentes bases d'informations et de constituer une base de connaissances. Nous avons alors modélisé ces informations et formalisé ces connaissances, en cohérence avec la modélisation de la conception précédemment proposée par le LGCH. La formalisation des connaissances a guidé le recueil de l'expertise auprès d'un expert de la gestion de projet de bâtiments. Ce travail a abouti à la constitution d'une base de connaissances pour la planification des projets de bâtiment. Celle-ci donne au prototype PROJECTOR un aspect concret lui permettant de ne pas être déconnecté de la pratique actuelle de la gestion de projet dans le milieu professionnel du bâtiment. Cet aspect concret passe également par la nature des outils utilisés pour vérifier la faisabilité informatique de nos propositions : si PROJECTOR a été réalisé à partir d'un langage de programmation avancé (le langage orienté objet GRAM v2), en revanche, les informations générées par notre prototype ont été exploitées avec un logiciel d'aide à la planification commercialisé de longue date et largement répandu dans les secteurs d'activité concernés par la gestion de projet.

La vérification de la faisabilité informatique réalisée avec le prototype PROJECTOR n'est évidemment que partielle compte tenu de l'étendue de la gestion de projet de bâtiments. Par conséquent, de larges perspectives sont ouvertes et nous proposons ci-dessous quelques pistes de travail :

- il parait intéressant de prolonger la réflexion pour des niveaux de détail beaucoup plus fins, c'est à dire de ne plus se limiter à la gestion de projet vue par le maître d'œuvre d'exécution mais d'aborder la gestion de production vue par l'entreprise ; on aborderait alors des problèmes tels que les rotations de coffrage, les charges de grue, l'installation de chantier. Les connaissances nécessaires pour faire le lien entre ces problèmes et la conception ne sont pas les mêmes que celles que

nous avons utilisées. En fait, plus le niveau de détail est fin, plus les connaissances sont spécifiques à un savoir-faire particulier ; le système expert doit alors être très ouvert en offrant de larges possibilités de modification de la base de connaissances (dont la cohérence doit alors être vérifiée). A un niveau donné, il serait même probablement souhaitable d'offrir à l'utilisateur la possibilité de modifier jusqu'au modèle, tout en préservant une certaine notion de transparence.

- lors de l'étude des différents éléments du planning, nous avons cité différents types de contraintes de planification. Pour la réalisation du prototype PROJECTOR, nous n'avons retenu que les contraintes de succession. Il semble intéressant de pousser plus loin l'étude : quelles sont les caractéristiques de la réalisation des bâtiments que l'on peut exprimer sous forme de contraintes ? Comment prendre en compte tous les types de contraintes (notamment les contraintes de disjonction que les logiciels de planification classiques ignorent) ? Quelles applications sont envisageables avec les outils récents de propagation de contraintes ?

- dans la mise en œuvre de nos proposition, nous avons fait appel à un logiciel (dit) de planification, en estimant qu'il offrait les fonctionnalités suffisantes pour la validation de PROJECTOR. Or, la plupart des logiciels de planification actuels ne sont pas totalement satisfaisant quant à leurs fonctionnalités d'ordonnancement. Nous l'avons déjà noté plus haut en ce qui concerne la non prise en compte des contraintes de disjonction. D'autres spécificités du domaine de la construction des bâtiments nécessitent une adaptation des logiciels d'ordonnancement : c'est le cas, par exemple, des tâches "élastiques", celles dont la durée est calculée à partir des dates de début et de fin d'autres dates (donc, après un premier ordonnancement).

- l'analyse de l'articulation entre les différents niveaux de détail doit être approfondie : par exemple, dans le cas de la planification, si l'établissement d'un planning enveloppe est fait généralement sur la base d'informations incomplètes et peu précises, il n'en demeure pas moins que ce planning doit être respecté par la suite, même lorsqu'un planning détaillé établi sur la base d'informations plus précises ne semble pas compatible avec lui. Il faut alors traduire les durées et dates calculées pour un planning enveloppe en termes de contraintes pour le planning détaillé.

- l'analyse de la liaison entre la conception et la gestion de projet doit évidemment être étendue à l'ensemble des aspects de la gestion de projet de bâtiments. Il parait notamment indispensable d'étudier l'aspect coût et d'analyser non seulement l'interaction qui existe avec la conception (des outils performants existent déjà) mais aussi avec la planification.

- l'utilisation d'un langage tel que GRAM V2 présentant des fonctionnalités de modeleur graphique permet d'envisager une importante interactivité dans l'utilisation d'un outil comme PROJECTOR : il serait intéressant, par exemple, de visualiser les différents objets de planification générés, de les modifier par une procédure de saisie graphique, de montrer l'évolution des bâtiment en visualisant différemment les objets de planification déjà construits des autres, ou encore, en visualisant l'objet de planification réalisé par une tâche que l'on aura "cliquée" dans

un diagramme Gantt (ou vis versa).

- enfin, la recherche d'un plus haut degré d'intégration nécessite un travail de modélisation plus approfondi de manière, notamment, à bien appréhender l'articulation qui existe entre les fonctions d'un objet physique, ses technologies et ses options de construction.

La plupart de ces propositions de recherche nécessitent une collaboration avec le monde professionnel dont le savoir-faire constitue une donnée importante du problème. Il ne semble cependant pas déraisonnablement optimiste d'écrire que l'accueil généralement fait à ces propositions tant chez les maîtres d'œuvre que dans les grandes entreprises laisse présager l'existence de nombreuses oportunités de collaboration.

Glossaire

Acteur :

Personne physique jouant un rôle dans la gestion d'un projet.

Bâtiment :

Construction d'un seul tenant mettant à couvert des espaces habitables.

C.A.O. (ou système de conception assistée par ordinateur) **:**

Système informatique permettant de faire évoluer (création, modification, suppression) un projet d'un état de conception à un autre.

Conducteur de travaux :

Cadre opérationnel, responsable de chantier, dans les entreprises de construction de gros ou de second œuvre.

Contrainte :

Expression d'une exigence que doit respecter tout ou partie du projet et de sa réalisation.

Exemple : la contrainte de succession est une contrainte de type "réalisation", elle est fixée par le pilote, elle a pour origine une tâche et vise une autre tâche.

Coordonateur :

Acteur assurant la fonction de maîtrise d'œuvre d'exécution au sein d'une entreprise générale, titulaire de la totalité des lots.

D.A.O. (ou système de dessin assisté par ordinateur) **:**

Logiciel permettant la représentation graphique d'un état donné du projet par ordinateur.

Document :

Ensemble d'informations relatives au projet. Contribue à la communication entre les acteurs.

Attributs : date d'émission; date de validité; indice; but (contractuel, informel,...).

Exemple : le plan d'architecte appartient au dossier de marché, il est établi par l'architecte, il informe sur la morphologie des objets physiques et il a une présentation graphique.

Donnée :

C'est la part d'information explicite et réalisable.

Dossier :

Ensemble de documents ayant une destination commune.

Entreprise :

C'est un acteur qui exécute les tâches en consommant et utilisant les ressources afin de réaliser le projet.

Exemple : telle entreprise de gros œuvre utilise la méthode de béton coulé sur place, elle utilise une grue, une centrale à béton, des coffrages et 3 équipes de main d'œuvre. Elle signe des contrat avec le maître d'ouvrage et établit des contrats pour ses sous-traitants.

Evénement :

C'est un fait qui se produit de façon régulière, progressive ou exceptionnelle. La fin du mois, l'achèvement d'une tâche et la chute d'une grue sont des événements respectivement réguliers, progressifs et exceptionnel.

Fonction :

Traduit les différents aspects du domaine de compétence des acteurs.

Flux d'informations :

Un ensemble d'informations migrant d'un poste à un autre, d'une source à une cible, constitue un flux d'informations.

Gestion de production :

Cela consiste à répondre à la question: comment fabriquer et par qui, quand et à quel prix? La réponse est apportée par la définition des tâches, par le plan de production, par la gestion des stocks et des approvisionnements, par le suivi de la qualité, par la maîtrise des coûts, et aussi par la maintenance de l'outil de production, le choix des investissements, par le choix d'implantation et d'organisation.

Gestion de projet :

La gestion de projet consiste à établir l'ensemble complet et précis des caractéristiques du projet, à mettre au point un système de contrôle et de prise de décisions, et à faire fonctionner ce système, notamment en répartissant les moyens de production et en optimisant leur utilisation, jusqu'à l'aboutissement du projet.

Information :

C'est une connaissance relative à un événement et qui devient plus ou moins synthétique et analytique après traitement.

Informations de conception :

Ce sont les informations qui transitent de l'équipe de conception vers l'entreprise. Elles décrivent la topologie et la technologie du projet. Elles sont complétées par les données techniques. Elles peuvent être obtenues à partir de la C.A.O..

Informations de réalisation :

Elles concernent les méthodes, les moyens mis en œuvre, les processus de réalisation, les capacités de production des entreprises, les cadences, l'installation de chantier,... Ce sont des informations destinées à compléter les informations de conception.

Intervention :

Ensemble de tâches faites à un moment donné sans interruption.

Lot :

C'est un regroupement de tâches qui résulte d'un découpage technique du bâtiment à construire. Il permet de répartir les différents types de travaux entre les entreprises.

Attribut : coût.

Exemple : le lot "Gros Œuvre" regroupe toutes les tâches relatives à la réalisation de la structure béton du bâtiment.

Maître d'ouvrage :

C'est la personne physique ou morale qui sera propriétaire de l'ouvrage. C'est lui qui fixe le programme.

Maître d'œuvre :

C'est la personne physique et morale qui reçoit mission du maître d'ouvrage pour assurer la conception et le contrôle de la réalisation d'un ouvrage conformément au programme.

Maître d'œuvre de conception :

Personne physique ou moral dont la fonction consiste à réaliser et/ou coordonner la conception architecturale et technique du projet. Ce rôle est généralement joué par les architectes.

Maître d'œuvre de réalisation ou d'exécution :

Personne physique ou morale dont la fonction consiste à organiser et suivre l'exécution des travaux sur la base du projet.

Marché :

Attributs : type; méthode de révision des prix.

Méthode de réalisation :

C'est la façon de mettre en œuvre une solution technique retenue.

Attribut : liste de tâches génériques.

Exemple : la préfabrication des prédalles en atelier est une méthode de réalisation. Elle est utilisée par les entreprise de gros œuvre et elle nécessite une grue pour la mise en place des éléments préfabriqués. Elle est associée aux tâches de commande des éléments préfabriqués et d'installation des éléments préfabriqués.

Niveau de détail :

C'est le degré de décomposition du projet. Il se caractérise notamment par l'unité de temps choisie, par la définition des unités de lieu, par le découpage.

Objet de planification :

Ensemble de parties (au sens technologique) d'objets physiques dont la réalisation représente une ou plusieurs tâches, une même tâche générique n'intervenant qu'une seule fois sur cet objet.

Attributs : quantité (une par technologie).

Exemple : les porteurs verticaux constitués de la partie béton armé des murs et poteaux du niveau 3 du bloc A forment un objet de planification. Celui-ci est associé à la méthode de réalisation "béton coulé en place"; il est réalisé par la tâche "réalisation des porteurs verticaux"; il appartient à une zone de type "niveau".

Objet physique :

Plus petite partie du bâtiment, portée par un seul objet géométrique, comportant une seule technologie, séparant au plus deux locaux et dont la réalisation ne nécessite pas plus d'une instance de chaque tâche générique.

Exemple : le mur composé d'un voile BA, d'un isolant et d'un doublage, et séparant les locaux 1 et 2 du niveau 3 est un objet physique.

Attributs : technologie, quantité (une par technologie).

Option de construction :

Il s'agit d'un terme englobant les différents types d'informations précisant la méthode utilisée pour réaliser un ouvrage.

Exemple : la méthode de réalisation est une option de construction.

Ordonnancement :

C'est classer des tâches dans le temps en fonction des contraintes qui conditionnent leur exécution, une méthode appropriée permettant alors de calculer leurs dates de début et de fin ainsi que les marges.

Ouvrage :

Résultat de l'exécution d'un travail.

Parti de construction :

C'est le choix d'une solution ou d'une classe de solutions techniques répondant au parti architectural.

Exemple : la solution de la technique de la dalle BA correspond à un choix de parti.

Attribut : liste de tâches génériques.

Pilote :

Acteur assurant la fonction de maîtrise d'œuvre d'exécution au sein d'une équipe d'ingénierie ou d'une société spécialisée.

Planification (ou processus d'exécution des plannings):

La planification détermine les tâches, les durées, les délais, en vue d'un traitement, à partir des informations de conception et des informations de réalisation.

Planning :

C'est une représentation graphique de l'ordonnancement.

Programme :

C'est l'ensemble des documents qui précisent les besoins du maître d'ouvrage, les objectifs, les conditions auxquelles doit satisfaire l'ouvrage, ses caractéristiques principales, les principales actions envisagées, les responsabilités qui leur sont attachées, les échéances de réalisation, avec un premier budget prévisionnel.

Projet de bâtiment :

Ensemble immobilier homogène implanté sur un site unique.

Réseau de tâches :

Il s'agit de la liste des tâches reliées entre elles par des contraintes.

Ressources :

Il s'agit de tout ce qui est employé, utilisé ou consommé pour assurer la réalisation d'une tâche.

Exemple : la main d'œuvre, les engins, les matériaux sont des ressources.

Attribut : coût unitaire / fournisseur; quantité; délai d'approvisionnement; quantité minimale.

Ressources consommables :

Il s'agit de ressources qui ne sont pas réutilisables après l'exécution de la tâche.

Exemple : le béton, le carrelage, la peinture sont des ressources consommables.

Ressources renouvelables :

Il s'agit de ressources disponibles en quantités limitées, qui ne peuvent être affectées à plusieurs tâches simultanément mais peuvent l'être successivement, y compris sur différents projets.

Exemple : la main d'œuvre, le matériel sont des ressources renouvelables.

Rôle :

Indique dans quel cadre l'acteur intervient.

S.I.I. (système informatique intégré) **:**

Outil informatique comportant plusieurs applications concourant à un but commun (par exemple, la réalisation d'un projet). Le SII assure la cohérence et les échanges d'informations entre les différentes applications.

Tâche :

Une tâche correspond à une action localisée dans le temps et dans l'espace et qui contribue à la réalisation et la mise en place d'un objet de planification.

Exemple : la réalisation des porteurs verticaux du niveau 1 est une tâche. Elle est associée à des contraintes temporelles, elle utilise de la main d'œuvre, une grue, des coffrages, du béton, des armatures; elle appartient au lot gros œuvre; elle se décompose en tâches "coffrage", "coulage" et "ferraillage".

Remarque : Le coût est calculé en additionnant le coût par ressource.

Unité de temps :

Il s'agit de la plus petite durée à l'intérieur de laquelle on choisit de ne pas détailler la réalisation. Le choix de cette unité de temps est lié au niveau de détail du planning projeté.

Zone de planification :

C'est une sorte de division correspondant au regroupement de locaux en fonction de critères propres à la gestion de projet. Les zones de planification résultent d'un découpage géométrique des bâtiments.

Exemple : pour la planification des opérations de gros œuvre à un niveau de détail intermédiaire, le niveau d'un bloc constitue une zone de planification; pour un niveau de détail moins fin, cette zone compose la zone de planification "bloc".

Références bibliographiques

[ACH 93] Achard, G. Karroum, M. Sauce, G. Acoustical building design in a multitechnical CAD system. **ARECDAO91, Barcelone, 1993.** Barcelone : Ministerio de Obras Piblicas y Transportes, 1993. p 307-318.

[AFI 92] AFITEP. Dictionnaire de management de projet. 2e éd. Paris : AFNOR, 1992. 218p.

[AFI 91] AFITEP. Le management de projet, principes et pratique. Paris : AFNOR, 1991. 218p. Coll. Gestion.

[AFI 89] AFITEP. Vocabulaire de gestion de projet. Paris : AFNOR, 1989. 163p. Coll. Les dossiers de la normalisation.

[ARM 91] Armand, J. La coordination de travaux: la fonction, les missions, les contrats types. Paris : Editions du Moniteur, 1991. 146p.

[ARM 89] Armand, J. et **Raffestin, Y.** Conduire son chantier: la direction et la coordination des travaux. 2e éd. Paris : Editions du Moniteur, 1989. 208p. Coll. Moniteur technique.

[ASH 87] D.B. Aschley, D.B. Levitt, R.E. Expert Systems in Construction: Work in Progresse. **Journal of Computing in Civil Engeneering.** 1987,Vol.1, N°4, p303-311.

[ASS 89] Assemat, C. Coplaner, un système expert en planification de bâtiment. **Journées internationales sur les systèmes experts et leurs applications, Avignon, 1989**. p 741-754.

[BEN 90] Bencivenga, E.F. Effective application of planing and scheduling as a management tool on large construction projects. **Second Workshop on Project Management and Scheduling, Compiègne,1990.** p231-240.

[BOU 88] Bourdeau, M. Intelligence artificielle et conception des bâtiments : les représentations centrées objet. **Cahiers du centre scientifique et technique du bâtiment.** 1988, N°294, Cahier 2294.

[CAR 88] Carlier, J. et **Chrétienne, P.** Problèmes d'ordonnancement: modélisation, complexité, algorythme. Paris : Masson, 1988. 326p. Coll. Etudes et recherches en informatique.

[CAV 88] Cavallini, C. et **Raffestin, Y.** Le guide de la construction: les hommes, les moyens, les méthodes. Paris : Editions du Moniteur, 1988. 338p.

[DAR 88] Darwiche, A. Levitt R.E. Hayes-Roth, B. Oarplan : Generating Project Plans by Reasoning about Objects, Actions and Resources. **Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing**, 1988, Vol.2, N°3, p169-181.

[DEC 90] Decelle, A.F. Lefevre, A. Mommessin, M. Squelart, P. Sauce, G. Cimsteel, un C.I.M. pour la construction métallique développé autour d'outils généraux. **MICAD 90, Paris, 1990.** Paris : Hermès, 1990. p 29-44.

[DUF 91] Dufau, J. Mommessin, M. Sauce, G. Lefebvre, G. Approche multitechnique et dynamique de la conception de bâtiment : le prototype CONCEPTOR. **ARECDAO91, Barcelone, 1991.** Barcelone : Ministerio de Obras Piblicas y Urbanismo, 1991. p 139-150.

[GAL 87] Galley, H. Un modèle d'évaluation détaillé de structure de bâtiment intégré dans le système de CAO X2A utilisant un système de base de données réseau. Thèse de doctorat : INSA de Lyon, 1987. 126 p

[GIA 91] Giard, V. Gestion de projets. Paris : Economica, 1991. 174p. Coll. Gestion.

[GLA 93] Glardon, C. Redell, J.R. Hanrot, S. Kohler, N. A Building model to schedule and simulate the house refurbishment process. In : Advanced Teschnologies - Architecture, planning, civil engineering. **EuropIA93, Delft, 1993**. (Advanced Technologies) Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1993. p147-154.

[GSD 91] Groupe Structuration de Données. Synthèse de modèles conceptuels développés dans le cadre de la recherche bâtiment en France. Paris : Plan Construction et Architecture, 1991. 94p. Rapport n°10. Coll. Recherche.

[HAB 88] Habrias, H. Le modèle relationnel binaire : méthode IA (NIAM). Paris : Eyrolles, 1988. 301p.

[HAP 76] Hapin, D.W. Woodhead, R.W. Design of Construction and Process Operations. New York : John Wiley & Sons, 1976. 539 p.

[HEN 87] Hendrickson, C. Expert system for construction planning. **Journal of Computing in Civil Engineering,** 1987, Vol. 1, N° 4, p253-269.

[HUO 90] Huot, J.C. - La dynamique des grands projets. Thèse de Doctorat d'Etat : Université de Lyon 1 - INSA de Lyon, 1990. 323 p.

[HUO 93] Huovila, P. Hult, S. Björk, B. Computer aided document management - A step on the long road to CIC. **ARECDAO93, Barcelone, 1993.** Barcelone : Ministerio de Obras Piblicas y Urbanismo, 1993. p259-268.

[JOU 94] Joundi, N. Pour une aide à la conception de charpentes en bois. Thèse de Doctorat : Université de Savoie, 1994.

[KAR 93] Karroum, M. La composante acoustique dans un système de CAO

[LAU 92] Laurikka, P. The suitability of computer simulation programs for construction planning. Research notes. Espoo : Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, 1992. 37p.

[LEC 90] Leclerc, A. Paris, J. Ribot, D. PIMS : an integrated environment for supporting project managers. **Techniques et Sciences Informatiques.** 1990, Vol.9, N°2, p113-120.

[LEF 91] Lefebvre, F. - Gestion de la qualité des bâtiments en phase de conception dans un système de C.A.O.- Thèse de doctorat : Université de Savoie, 1991. 232 p.

[LEV 88] Levitt, R.E. Kunz, J.C. Using Knowledge of Construction and Project Management for Automated Schedule Updating. **Project Management Journal.** 1985, Vol.16, N°5, P57-76.

[LEV 88] Levitt, R.E. Kunz, J.C. Artificial Intellingence Techniques for Generating Construction Project Plans. **Journal of Construction Engineering and Management.** 1988, Vol.114, N°3, p329-343.

[MAN 79] Mangin, J.C. - Prise en compte des tâches répétitives dans l'ordonnancement des travaux de bâtiment.- Thèse de Doctorat d'Etat : Université de Lyon 1 - INSA de Lyon, 1979. 322 p.

[MAR 87] Marshall, G. Barber, T.J. Boardman, J.T. Methodology for modelling a project management control environment. **IEE Proceedingd.** 1987, Vol.134, N°4, p287-300.

[MAS 89] Massini, G. Napoli, A. Colnet, D. Léonard, D. Trombe, K. Les langages à objets. Paris : Interéditions, 1989.

[MOM 93] Mommessin, M. Sauce, G. Représentation des connaissances pour la C.A.O. Bâtiment : Expression des besoins - Proposition de solutions. **Représentation par objets. La garnde Motte. 1993**.

[MOR 90] Morand, D. Vers l'intégration d'un module de planification dans un système de CAO Bâtiment multitechnique... Rapport de DEA, Université de Savoie, 1990. 46p.

[MUL 75] Moullot, J. Coordination et pilotage des travaux de bâtiment (la fonction de maître de chantier). Paris : Eyrolles, 1975. 138p.

[NAV 88] Navinchandra, D. Sriram, D. Logcher, R.D. Ghost : Project Network Generator. **Journal of Computer in Civil Engineering.** 1988, Vol.2, N°3, p239-254.

[NIC 78] Nicol, F. Le planning du coordinateur de travaux bâtiment. Paris : Eyrolles, 1978. 195p.

[PCA 93] L.G.C.H., Méthodes et Construction, IRPEACS. Vers une amélioration des échanges d'informations entre les intervenants de l'acte de construire. Rapport final de recherche dans le cadre de l'appel d'offre Plan Construction et Architecture / PIRTEM : "La communication dans le secteur de la construction". Subvention n°0591—191. 1993.

[PIE 91] Pierre, F. L'informatisation des métiers du chantier dans les entreprises de bâtiment. Paris : Plan Construction et Architecture, 1991. 85p. Rapport n°12. Coll. Recherche.

[PSN 92] Le Bihan & C^{ie}. PSN5, progiciel de gestion de projets : Manuel de référence. Paris : Le Bihan & Cie, 1992.

[QUI 85] Quintrand, P. Autran, J. Florenzano, M. Fregier, M. Zoller, J. La conception assistée par ordinateur en architecture. Paris : Hermes, 1985. 257p. Coll. Traité des Nouvelles Technologies.

[SAU 84] Sauce, G. Aide à la conception d'esquisse de bâtiments d'habitation par la manipulation de critères de qualité. Thèse de doctorat de 3° cycle. INSA de Lyon : 1984. 159p.

[SAU 93] Sauce, G. Dufau, J. Perrotin, P. Analyse et modélisation du processus de conception de bâtiments. **01DESIGN'93, Tunis, 1993.** 9p.

[STU 87] Stukhart, G. Construction Management Responsabilities during Design. **Journal of Construction Engineering and Management.** 1987, Vol.113, N°1, p90-98.

[TAT 77] Tate, A. Generation Project Networks. **IJCAI 77, Cambridge, 1977.** p 888-893.

[VAT 87] Vatin, P. L'utilisation de l'informatique pour la gestion de chantier dans les PME du bâtiment, diagnostic des besoins. Paris : Plan Construction et Architecture, 1987. 62p. Marché n° 86 61209 00 223 75 01.

[VIL 91] Villemain, C. La planification opérationnelle, méthodes et métiers de la planification de projet. Paris : AFNOR, 1991. 124p. Coll. Gestion.

[X2A 88] X2A, un système de conception assistée par ordinateur en avant projet sommaire des bâtiments. - Paris, Plan Construction et Architecture, 1988. 95p.

[X2A 89] X2A-SE, réalisation de systèmes experts intégrés à un système de CAO bâtiment". - Rapport final de recherche, Contrat Plan Construction et Habitat n°86-A4-04. - Direction de la Construction - MELATT - février 1989

[ZE 93] ZE, Martin. Intégration de la composante énergétique dans un système de CAO bâtiment. Utilisation d'une représentation orientée objet. Thèse de doctorat : Université de Savoie, 1993. 258p.

[ZOZ 89] Zozaya-Gorostiza, C. Hendrickson, C. Rehak, D.R. Knowledge-Based Proces Planning for Construction and Manufacturing. San Diego : Academic Press, 306 p.

[ZOZ 90] Zozaya-Gorostiza, C. Hendrickson, C. Rehak, D.R. A Knowledge-Intensive Planner for Construction Projects. **Bulding and Environment.** 1990, Vol.25, N°3, p268-278.

Annexes

Annexe 1 : exemples de plannings

Annexe 2 : un cahier des charges pour la gestion de projet de bâtiments

Annexe 3 : les documents relatifs au projet de bâtiment

Annexe 4 : dictionnaires des principaux concepts de la modélisation

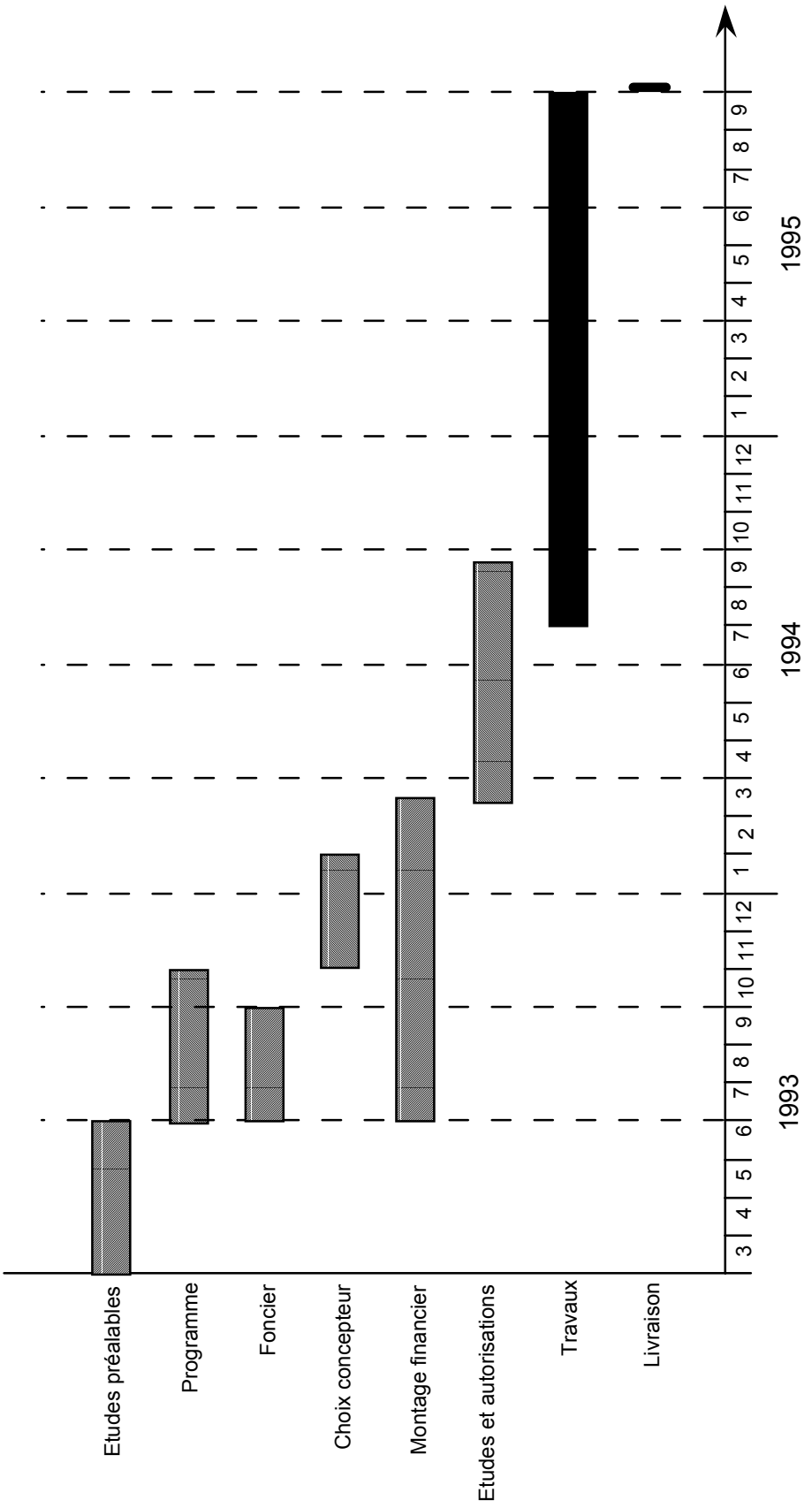
Annexe 5 : le projet CONCEPTOR

Annexe 1 : exemples de plannings

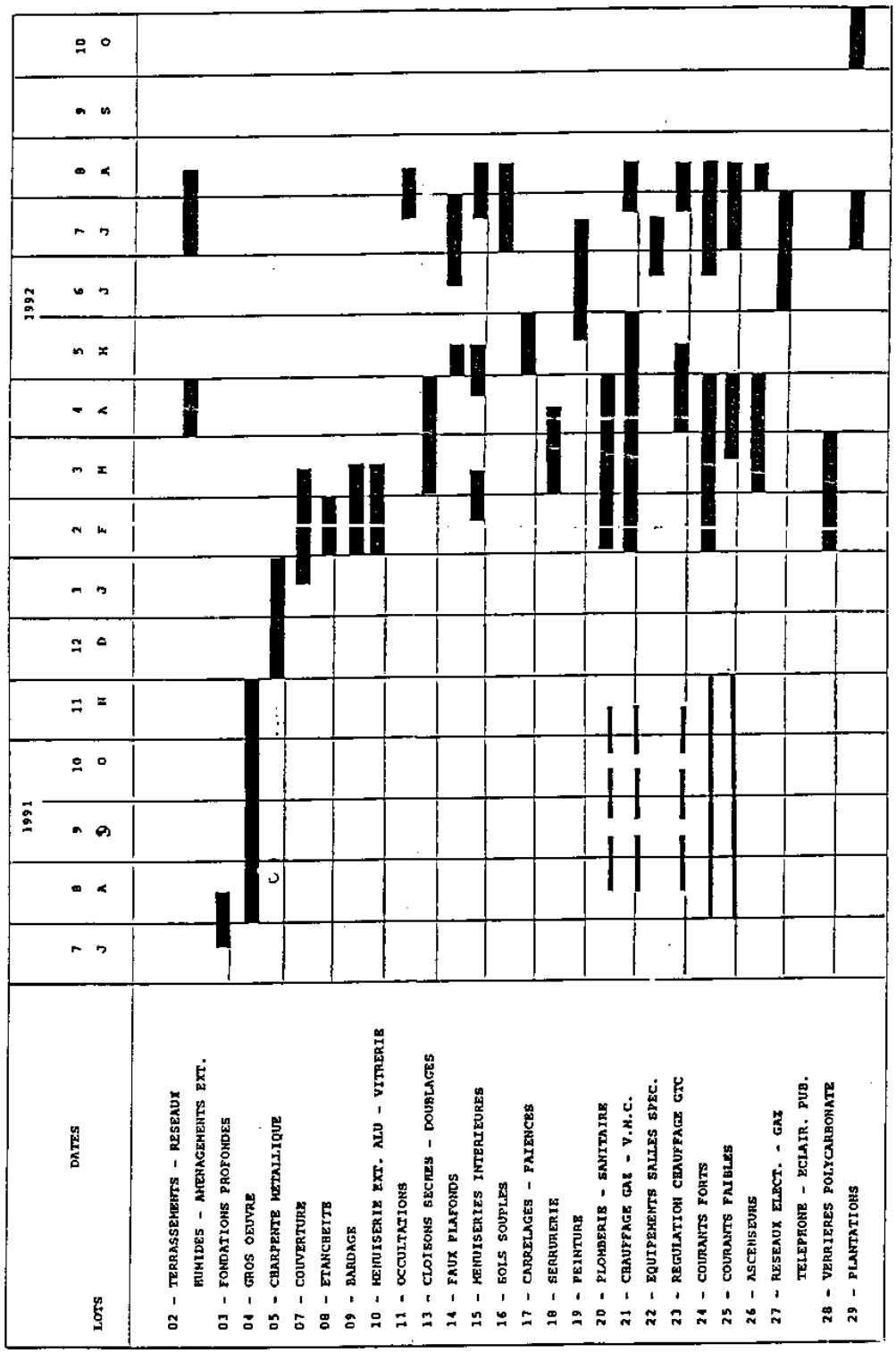
Afin d'illustrer les définitions que nous avons données pour chacun des principaux types de planning et de montrer les différents niveaux de détail de la planification, nous présentons dans cette annexe :

- un planning global ;
- un planning enveloppe ;
- un planning détaillé TCE ;
- un planning très détaillé d'exécution ;
- une fiche journalière de travail.

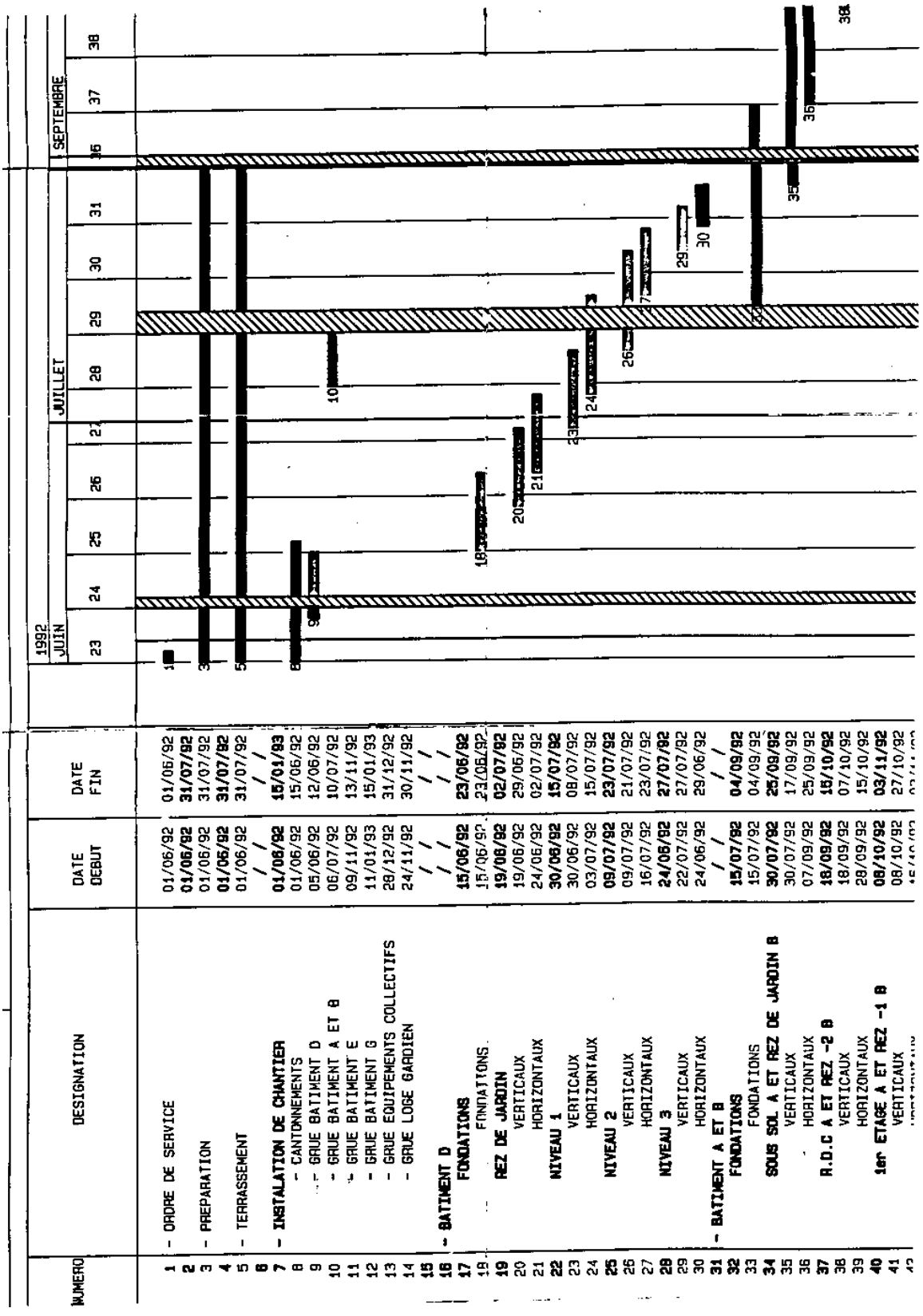
Planning global :



Planning enveloppe :

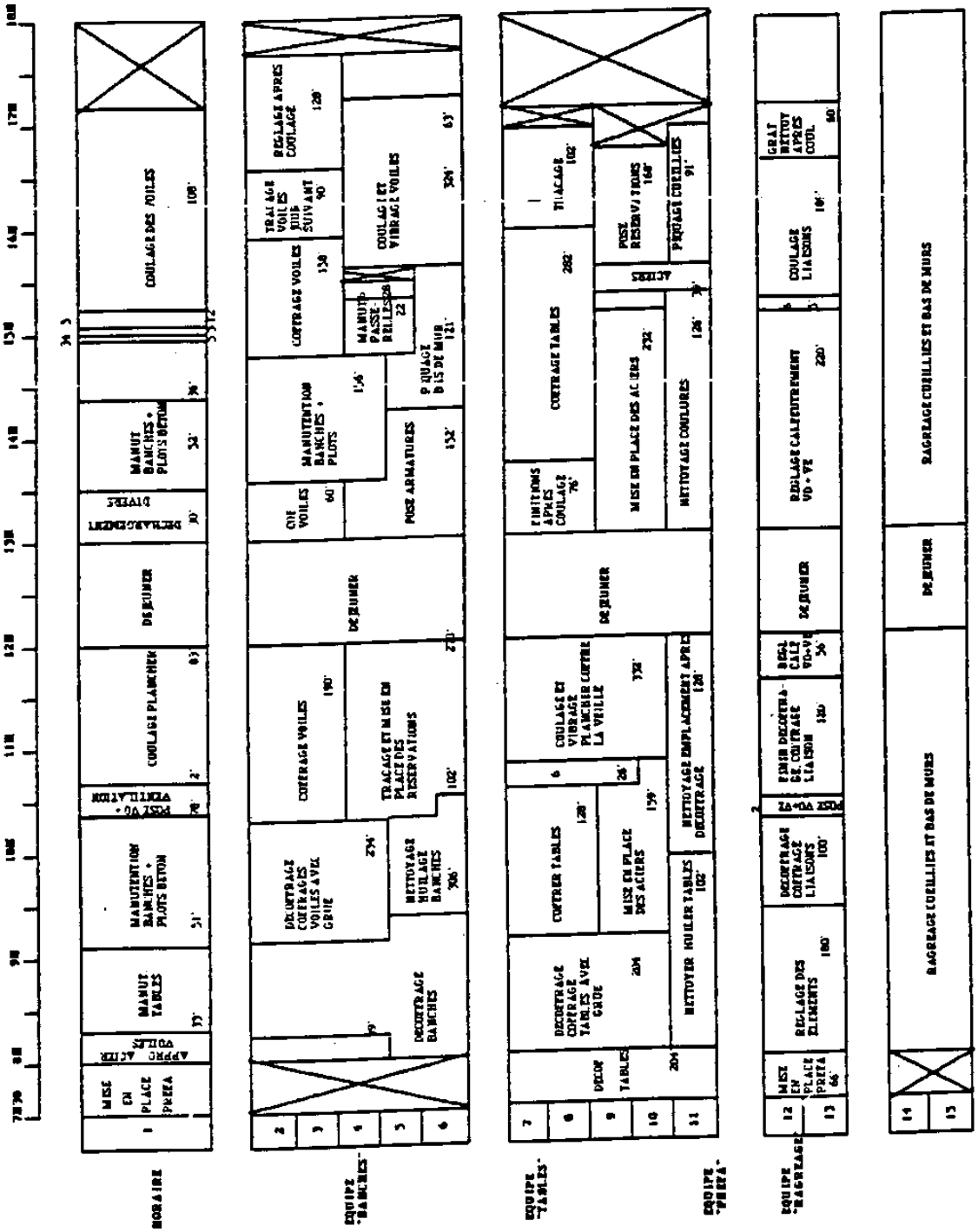


Planning détaillé tout corps d'état (extrait) :



NUMERO	DESIGNATION	DATE DEBUT	DATE FIN
1	- ORDRE DE SERVICE	01/06/92	01/06/92
2		**01/06/92**	**31/07/92**
3	- PREPARATION	01/06/92	31/07/92
4		**01/06/92**	**31/07/92**
5	- TERRASSEMENT	01/06/92	31/07/92
6		/ /	/ /
7	**- INSTALLATION DE CHANTIER**	**01/06/92**	**15/01/93**
8	- CANTONNEMENTS	01/06/92	15/06/92
9	- GRUE BATIMENT D	05/06/92	12/06/92
10	- GRUE BATIMENT A ET B	06/07/92	10/07/92
11	- GRUE BATIMENT E	09/11/92	13/11/92
12	- GRUE BATIMENT G	11/01/93	15/01/93
13	- GRUE EQUIPEMENTS COLLECTIFS	28/12/92	31/12/92
14	- GRUE LOGE GARDIEN	24/11/92	30/11/92
15		/ /	/ /
16	**- BATIMENT D**	/ /	/ /
17	**FONDATIONS**	**15/06/92**	**23/06/92**
18	FONDATIONS	15/06/92	23/06/92
19	**REZ DE JARDIN**	**19/06/92**	**02/07/92**
20	VERTICAUX	19/06/92	29/06/92
21	HORIZONTAUX	24/06/92	02/07/92
22	**NIVEAU 1**	**30/06/92**	**15/07/92**
23	VERTICAUX	30/06/92	08/07/92
24	HORIZONTAUX	03/07/92	15/07/92
25	**NIVEAU 2**	**09/07/92**	**23/07/92**
26	VERTICAUX	09/07/92	21/07/92
27	HORIZONTAUX	16/07/92	23/07/92
28	**NIVEAU 3**	**24/06/92**	**27/07/92**
29	VERTICAUX	22/07/92	27/07/92
30	HORIZONTAUX	24/06/92	29/06/92
31	**- BATIMENT A ET B**	/ /	/ /
32	**FONDATIONS**	**15/07/92**	**04/09/92**
33	FONDATIONS	15/07/92	04/09/92
34	**SOUS SOL A ET REZ DE JARDIN B**	**30/07/92**	**25/09/92**
35	VERTICAUX	30/07/92	17/09/92
36	HORIZONTAUX	07/09/92	25/09/92
37	**R.D.C A ET REZ -2 B**	**18/09/92**	**15/10/92**
38	VERTICAUX	18/09/92	07/10/92
39	HORIZONTAUX	28/09/92	15/10/92
40	**1er ETAGE A ET REZ -1 B**	**08/10/92**	**03/11/92**
41	VERTICAUX	08/10/92	27/10/92

Planning très détaillé d'exécution :



Fiche journalière de travail (extrait) :

EQUIPE VOILES

OPERATEURS 1	2	3	4	DESIGNATION	HEURES DEBUT	HEURES FIN	TEMPS CYCLE
	X			POSER FERRAILLE	11H38	11H48	10
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	11H39	11H41	2
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	11H41	11H44	3
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES (4mn perdues décoffrage difficile)	11H44	11H50	6
		X		POSER TIGES ET CONES	11H48	11H57	9
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	11H50	11H53	3
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	11H53	11H55	2
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	11H55	11H57	2
X	X	X	X	PARTIR DEJEUNER	11H57		
X				RANGER L'OUTIL POUR TRANSPORT	13H30	13H40	10
	X			POSER TIGES	13H30	13H40	10
		X		CASSER HAUT DE VOILES	13H30	13H49	19
			X	APPROVISIONNER TIGES	13H30	13H40	10
			X	MANUTENTIONNER BANCHES, POSER TIGES	13H40	13H45	5
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	13H45	13H48	3
X	X			NETTOYER, GRAISSER BANCHES	13H48	13H55	7
		X	X	POSER FERRAILLE	13H49	13H55	6
X	X	X	X	MANUTENTIONNER BANCHES	13H55	13H58	3
		X	X	DECHARGER LA BANCHE	13H57	13H58	1
X	X	X	X	MANUTENTIONNER BANCHE (COMMENCER A FERMER)	13H58	14H03	2
X		X	X	MANUTENTIONNER BANCHE	14H03	14H08	5
		X	X	REGLER CLAVETER	14H05	14H08	3
X	X	X		MANUTENTIONNER BANCHE	14H08	14H10	2
X				MANUTENTIONNER BANCHE	14H10	14H13	3
	X	X		RELIER, CALER, CLAVETER	14H13	14H20	7
X				MANUTENTIONNER GOULOTTE A BETON	14H18	14H20	2
X	X			MANUTENTIONNER BANCHES	14H20	14H23	3
			X	SERRER TIGES	14H21	14H30	9
X	X			REGLER, CALER BANCHES	14H22	14H26	4
X				POSER CONES	14H24	14H30	6
	X	X		REGLER CLAVETER	14H26	14H36	10
X			X	CLAVETER	14H30	14H36	6
X	X	X	X	POSER ABOUT	14H36	14H42	6
X	X	X	X	SERRER TIGES	14H42	15H07	25
		X	X	POSER ABOUT	14H49	14H52	3
		X	X	REGLER VERTICALITE	14H52	14H56	4
		X	X	REGLER	14H56	14H59	3
			X	POSER RAIDISSEUR	14H59	15H19	20
		X		APPROVISIONNER POLYSTYRENE	15H01	15H01	10
	X			GRAISSER ABOUT	15H05	15H07	2
X	X			POSER ABOUT	15H07	15H14	7
		X		POSER POLYSTYRENE	15H11	15H16	5
X	X			REGLER VERTICALITE	15H14	15H19	5
		X		POSER RAIDISSEUR	15H16	15H20	4

Annexe 2 : un cahier des charges pour la gestion de projet de bâtiments

On considère la gestion de projet à partir de la réponse à l'appel d'offre jusqu'à la livraison du (des) bâtiment(s). On retiendra les trois principaux acteurs que sont le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise.

Les six domaines de la gestion de projet retenus sont:

- **la maîtrise des coûts**;
- **la maîtrise des délais**;
- **la gestion des moyens**;
- **la gestion des documents**;
- **la conception technique;**
- **la vérification de la conformité.**

Outre les fonctionnalités associées à chacun de ces domaines (voir tableaux ci-dessous), l'outil de gestion de projet devra avoir certaines spécificité informatiques:

La saisie : faciliter la saisie des informations de conception et de réalisation, notamment en autorisant la saisie graphique.

L'édition : visualiser et réaliser les différents documents de la gestion de projet.

La gestion des bibliothèques : utiliser les bibliothèques de composants, de matériaux, de matériel, de fournisseurs propres à chaque entreprise.

La liaison avec la CAO : utiliser automatiquement les résultat de la CAO.

La Maîtrise des coûts :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Prévisions	Etude de prix	Entreprises	Donner un prix pour chaque ligne du quantitatif, à partir d'une estimation des coûts, et récapituler par lot.	Descriptif-CCTP Plans Prix unitaires	Ratios	DQE (prix par ligne de métré)	Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage Maître d'œuvre
	Budget de chantier	Entreprises	Organiser différemment l'étude de prix, c'est à dire décomposer le coût global en coût par tâche.	DQE		Prix par tâche	Entreprises	Entreprises
	Echéancier versement acomptes	Maître d'œuvre	En fonction du planning détaillé d'exécution des travaux, évaluer mois par mois l'avancement des travaux de manière à prévoir le montant des acomptes versé à chaque entreprise chaque mois.	Planning détaillé TCE DQE	% prévisionnel d'avancement des tâches x prix des tâches	Montant des différents acomptes mensuels	Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage
Suivi	Choix des entreprises	Maître d'œuvre	A partir des réponses à l'appel d'offre, désigner les entreprises les moins-disantes et répondant aux divers critères de sélection.	Propositions de prix des entreprises	Comparaison des différents prix, lot par lot	Classement des propositions, lot par lot	Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage
	Demande d'acomptes	Maître d'œuvre Entreprises	A partir du bilan de l'avancement des travaux, établir les situations mensuelles. Comparer à l'échéancier de versement des acomptes.	Echéancier de versement des acomptes; % réel d'avancement	% d'avancement x prix total tâche	Situation mensuelle	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre
Bilan	Mises à jour	Entreprises	En fonction des dépenses constatées, mettre à jour les prix unitaires.	Tableau de bord des dépenses		Prix unitaires	Entreprises	Entreprises
	Décompte définitif	Maître d'œuvre	Faire le décompte général des versements des acomptes.	Marché Récapitulatif acomptes		Bilan financier	Maître d'ouvrage Entreprises	Entreprises Maître d'ouvrage

Maîtrise des délais :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Prévisions	Ordonnan-cement enveloppe	Maître d'œuvre	Indiquer des intervalles de temps attribués à chaque lot, c'est à dire ordonner 10 à 20 tâches globales correspondant à peu près aux différents corps d'état.	Descriptif-CCTP Plans Temps unitaires	Ratios	Planning enveloppe	Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage Entreprises
	Ordonnan-cement détaillé TCE	Maître d'œuvre Entreprises	Synchroniser l'exécution des travaux en ordonnant des tâches de type unitaire.	Idem + nature et caractéristi-ques des moyens de production	Quantités x prix unitaires	Planning détaillé TCE	Maître d'œuvre	Maître d'œuvre Entreprises
	Organisation journalière du travail	Entreprises (essentiell-ement gros œuvre)	Pour un même découpage du bâtiment que celui du planning TCE, ordonner des tâches plus détaillées afin d'optimiser l'utilisation des moyens de production et d'établir.	Idem + Planning détaillé TCE	Décomposition de l'ordonnancem ent détaillé par jour de travail	Fiches de travai journalières	Entreprises (essentiel-lement gros œuvre)	Entreprises (essentiel-lement gros œuvre)
	Ordonnan-cement très détaillé	Entreprises	Ordonnancer les tâches élémentaires à l'intérieur de chaque corps d'état.	Idem + ren-seignement sur les méthodes d'entreprise		Planning très détaillé	Entreprises	Entreprises
	Organisation de la consultation des sous-traitants	Maître d'œuvre	A partir de l'allotissement et du planning global, prévoir les dates de consultations des sous-traitants.	Planning enveloppe Allotissement	Date de début de chaque lot - durée probable de la consultation	Planning de consultation des sous-traitants	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre
Suivi	Suivi de chantier	Maître d'œuvre	Observer l'avancement des travaux, évaluer les conséquences des retards constatés, visualiser les décalages sur les plannings. En fonction de l'avance-ment, déclencher les tâches suivantes, préparer l'ordre du jour des réunions de chantier et les convocations.	Planning détaillé TCE	Comparaison % d'avancement prévu et % constaté	Ordres de service Rapport de suiv de chantier	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre
	Ordonnan-cement de rattrapage	Maître d'œuvre	Proposer un nouveau planning des tâches critiques avec éventuellement de nouveaux moyens mis en œuvre, de manière à rattraper le retard.			Planning de rattrapage	Maître d'œuvre	Entreprises

Gestion des moyens :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Prévisions	Rotation du matériel	Entreprises Maître d'œuvre	Optimiser l'utilisation du matériel rare et cher (grue, centrale, banches).	Planning détaillé TCE Planning très détaillé Liste matériel utilisé		Planning de rotation du matériel	Entreprises	Entreprises
	Affectation du personnel	Entreprises	Optimiser l'emploi de la main d'œuvre en procédant au lissage et en tenant compte de la charge des entreprises.	Planning détaillé TCE Planning très détaillé Main d'œuvre utile par tâche		Planning d'affectation de la main d'œuvre	Entreprises	Entreprises
	Gestion des appro-visionnement	Entreprises	Prévoir les dates de commande, de réception et de stockage des matériaux.	Planning détaillé TCE Planning très détaillé Consommation en matériaux et équipements		Planning d'appro-visionnement	Entreprises	Entreprises
	Organisation de la préfa-brication	Entreprises	Prévoir les dates de commande des éléments préfabriqués en tenant compte des délai d'étude et d'exécution.	Planning détaillé TCE Planning très détaillé Plans		Planning préfabrication	Entreprises	Entreprises

Gestion des documents :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Prévisions	Organisation de la production des plans	Maître d'œuvre	En fonction du planning d'exécution détaillé, prévoir l'arrivée des plans d'architectes, des bureaux d'études, des entreprises sur le chantier, la transmission des ordres de services aux entreprises.	Planning Détaillé TCE	Détermination des plans à produire pour chaque lot Détermination des plans techniques à obtenir	Planning de production des plans	Maître d'œuvre	Maître d'œuvre Entreprises
Suivi	Mise à jour	Maître d'œuvre	Répercuter toute modification portant sur le projet sur tous les documents concernés.	Liste des modifications	Recollement de tous les documents utilisés	Nouveaux documents mis à jour	Maître d'œuvre	Maître d'œuvre Entreprises
	Organisation des documents	Maître d'œuvre	Assurer la transmission de chaque document à chaque contractant concerné, en temps voulu.	Planning global Liste des documents nécessaires à chaque lot		Planning de transmission des documents	Maître d'œuvre	Maître d'œuvre Entreprises
	Courrier	Maître d'œuvre	En fonction de l'avancement des travaux, des retards constatés, envoyer les convocations, les mises en garde aux entreprises.	Compte-rendu de réunions des chantier			Maître d'œuvre	Maître d'ouvrage Maître d'œuvre Entreprises

Conception technique :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Suivi	Analyse de variantes	Maître d'ouvrage Maître d'œuvre	Evaluer l'intérêt des variantes proposées par les entreprises dans leur réponse à l'appel d'offre.	Réponse des entreprises CCTP-Descriptif Plans		Dossier mis à jour	Entreprises	Maître d'ouvrage Maître d'œuvre Entreprises
Bilan	Dossier des ouvrages exécutés	Maître d'œuvre	Réunir et archiver les plans définitifs d'architecte, des techniciens, des entreprises, des réseaux, le journal de chantier, les notices d'utilisation et d'entretien des équipements, la liste des matériaux et de leurs caractéristiques.	Tous les documents relatifs au chantier, mis à jour	Recollement, classement	Dossier des ouvrages exécutés	Maître d'œuvre Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre Maître d'ouvrage

Vérification de la conformité :

Phase	Nom	Acteur	But	Documents nécessaires	Méthode	Documents résultants	Comman-ditaire	Destinataire
Prévisions	Présentation des échantillons	Maître d'œuvre	En vue du contrôle de la qualité, prévoir les dates souhaitables de présentations des échantillons.	Planning détaillé TCE Liste des matériaux par tâche		Planning de présentation des échantillons	Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage Entreprises
Suivi	Gestion de la qualité	Maître d'œuvre	Indiquer quels contrôles et vérifications effectuer sur le chantier de manière à s'assurer de la qualité d'exécution des travaux.	Planning détaillé TCE		Liste et date des contrôles à effectuer	Maître d'œuvre Maître d'ouvrage	Maître d'ouvrage Entreprises
Bilan	Réception	Maître d'œuvre Entreprises	Effectuer les contrôles préalables à la réception, déterminer et gérer les travaux complémentaires à réaliser, guider la réception.	Descriptif CCTP	Comparaison travaux effectués / travaux prévus	Liste et planning travaux complé-mentaires	Maître d'ouvrage	Entreprise

Annexe 3 : les documents relatifs au projet de bâtiment

Les pages qui suivent donnent une description des principaux documents manipulés dans le cadre de la gestion de projet, en vue de présenter la circulation des informations entre les acteurs, aux divers stades du processus de conception et de réalisation.

Nous avons fait un certain nombre de choix tendant à délimiter l'aspect de la gestion de projet que nous privilégierons dans notre étude. Ainsi, nous avons retenu la phase qui commence avec la réponse à l'appel d'offre et qui se termine avec la fin de la réalisation.

Pour chaque document, une fiche a été réalisée qui indique:

- le nom du document;

- la responsabilité (c'est à dire la fonction au titre de laquelle un acteur assure la réalisation du document - voir ci-dessous la correspondance entre fonction et acteur);

- l'objet (c'est à dire le but, ou l'usage qui sera fait du document);

- le type de support et de présentation;

- les types d'informations contenus;

- les destinataires et leurs rôles (pour information, pour contrôle, pour exécution - voir les précisions ci-dessous);

- la date de parution;

- la fréquence de parution;

- l'évolution (quelles sont les modifications susceptibles d'intervenir, à l'initiative de qui).

Quelques précisions sur les destinataires et leurs rôles:

- pour information: le destinataire utilisera le document comme donnée de travail. Par exemple, le bureau d'étude utilisera les plans d'architecte pour effectuer la conception technique et réaliser les plans techniques.

- pour contrôle: le destinataire vérifiera si le document est conforme à ses prescriptions, à la réglementation, à ses objectifs. Par exemple, le maître d'œuvre contrôlera le bien-fondé d'une demande de versement d'acompte d'une entreprise avant de la transmettre au maître d'ouvrage. Le contrôle sera généralement entériné par une signature.

- pour exécution: le destinataire exécutera directement les instructions

contenues explicitement ou implicitement dans le document. Par exemple, l'entreprise réalisera les ouvrages décrits sur les plans techniques et le CCTP.

Les fonctions et les acteurs:

C'est l'acteur qui réalise un document mais il le fait au titre d'une fonction qui lui est attribuée en fonction du type de marché et de l'importance du projet.

Fonction	Acteur						
	Client	Architecte	Bureau d'étude	Pilote	Econo-miste	Bureau de contrôle	Entreprise
Maîtrise d'ouvrage	X						
Maîtrise d'œuvre:							
conception architecturale		X					
conception technique			X				X
marché de travaux		X					
coordination		X		X			X
maîtrise des coûts		X		X	X		X
Contrôle						X	
Réalisation							X

Pour un petit projet, l'architecte pourra assurer lui-même toutes les sous-fonctions de la maîtrise d'œuvre, à l'exception de la conception technique.

Pour un projet plus important, si la coordination et la maîtrise des coûts font l'objet de lots à part dans le marché, elles seront assurées respectivement par un pilote et un économiste. Si l'ensemble des travaux a été attribué à une entreprise générale, celle-ci sera responsable de la coordination (qui sera assurée par un coordonnateur qu'elle aura désigné).

Remarques:

- Les fiches/documents des pages suivantes n'ont pas été classées selon un critère particulier.

- On trouvera à la fin de ce dossier un tableau récapitulatif des types d'informations par type de document.

Les plans d'architecte:

Responsabilité: conception architecturale.

Objet: représentation de la géométrie, de l'orientation et de l'organisation du bâtiment, du principe de la technologie.

Support: ensemble de documents graphiques (plans, coupes, élévation, perspective).

Types d'information: localisation, morphologie, parti de construction général, matériau.

Destinataire: Maître d'ouvrage, pour contrôle;

Entreprise, pour information, pour exécution;

Bureau d'étude, pour information;

Bureau de contrôle, pour contrôle.

Date: de l'esquisse jusqu'à l'appel d'offre, la précision augmentant avec le temps.

Fréquence: nouveaux plans en cas de travaux supplémentaires.

Evolution: à la demande du maître d'ouvrage et du bureau de contrôle, de la conception jusqu'à la réalisation;

à la demande de l'entreprise et des bureaux d'études au cours des études techniques et de la réalisation;

mise à jour pour assurer la cohérence des plans au cours des phases de conception et de réalisation.

L'échéancier d'engagement des dépenses:

Responsabilité: maîtrise des coûts.

Objet: prévoir les dépenses mensuelles du maître d'ouvrage au titre du payement des acomptes.

Support: document écrit sous forme de tableau.

Types d'informations: prix, date, lot, tâche.

Destinataire: maître d'ouvrage, pour information, pour contrôle.

Date: préparation de chantier.

Fréquence: parution unique.

Evolution: en fonction des décalages constatés au niveau des délais.

Le planning détaillé TCE:

Responsabilité: coordination.

Objet: description de l'enchaînement des tâches unitaires.

Support: document graphique (diagramme à barres).

Types d'informations: lot, date, durée, localisation, tâche.

Destinataire: entreprise, pour contrôle, pour exécution.

Date: préparation de chantier.

Fréquence: parution unique.

Evolution: au cours du chantier, en fonction des retards constatés.

Le planning enveloppe:

Responsabilité: coordination.

Objet: description de l'enchaînement des tâches globales.

Support: document graphique (diagramme à barre).

Types d'informations: localisation, date, durée, lot, tâche.

Destinataire: maître d'ouvrage, pour contrôle;
entreprise, pour information.

Date: avant l'appel d'offre.

Fréquence: parution unique.

Evolution: en fonction des décalages constatés au niveau des délais.

Les fiches journalières de travail:

Responsabilité: réalisation.

Objet: organiser la journée de travail en précisant l'enchaînement des tâches élémentaires, la répartition des équipes, du matériel, des ressources.

Support: document écrit.

Types d'information: localisation, date, durée, tâche, ressources, responsable, main d'œuvre.

Destinataire: entreprise, pour exécution (il s'agit en fait d'un document interne à l'entreprise).

Date: pendant la période d'intervention de l'entreprise.

Fréquence: journalière.

Evolution:

Les plans techniques:

Responsabilité: conception technique.

Objet: sur la base des plans d'architecte, représenter le résultat de la conception technique.

Support: ensemble de documents graphiques (par exemple, plans de ferraillages, réseaux, plan implantation des équipements de chauffage,...)

Types d'informations: localisation, morphologie, matériau, mise en œuvre, quantité.

Destinataire: bureau de contrôle, pour contrôle;

entreprise, pour information, pour exécution;

maître d'œuvre, pour contrôle, pour information.

Date: après la conception architecturale.

Fréquence: Autant de fois qu'il y a de technologies mises en œuvre dans le projet.

Evolution: à la demande du maître d'œuvre, pour assurer la cohérence du projet;

à la de mande du bureau de contrôle, pour assurer le respect de la réglementation;

à la demande de l'entreprise.

Le CCTP:

Responsabilité: conception technique.

Objet: description détaillée des travaux à exécuter par lot (aspects quantitatif et qualitatif).

Support: document écrit descriptif et quantitatif.

Types d'informations: parti de construction, méthode de réalisation, matériau, localisation, quantité, lot.

Destinataire: bureau de contrôle, pour contrôle;

bureau d'étude, pour information;

entreprise, pour information, pour exécution;

maître d'ouvrage pour contrôle.

Date: élaboré en phase de conception.

Fréquence: parution unique.

Evolution: à la demande du maître d'ouvrage et du bureau de contrôle, de la conception jusqu'à la réalisation;

à la demande de l'entreprise et des bureaux d'études au cours des études techniques et de la réalisation;

mise à jour pour assurer la cohérence entre les lots au cours des phases de conception et de réalisation.

Le cahier des clauses administratives particulières:

Responsabilité: marché de travaux.

Objet: le cahier des clauses administratives particulières précise l'objet du marché, sa décomposition en différents lots techniques, la liste des pièces constitutives du marché, le prix et le mode d'évaluation des ouvrages, la variation des prix, le planning et les pénalités de retard, les modalités de préparation, de coordination et d'exécution des travaux , le contrôle et la réception des travaux, les dérogations aux documents généraux.

Support: document écrit détaillant article par article les points ci-dessus listés.

Types d'informations: responsables, lot, date, durée, prix, document.

Destinataire: maître d'ouvrage, pour contrôle.

entreprise, pour information.

Date: au moment de l'appel d'offre.

fréquence: parution unique.

Evolution:

L'estimatif:

Responsabilité: maîtrise des coûts.

Objet: faire une estimation du coût de la construction de manière à fixer une enveloppe financière, à fixer un prix maximum lors de l'appel d'offre et à évaluer les réponses des entreprises.

Support: document écrit sous forme de tableau.

Types d'informations: prix, lot, tâche.

Destinataire: maître d'ouvrage, pour accord.

entreprise, pour information.

Date: avant l'appel d'offre.

Fréquence: parution unique.

Evolution: modification à la demande du maître d'ouvrage ou de l'entreprise.

L'acte d'engagement:

Responsabilité: marché de travaux.

Objet: document récapitulant l'essentiel des obligations réciproques du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre.

Support: document écrit.

Types d'informations: entreprise, responsable, prix, date.

Destinataire: maître d'ouvrage, pour contrôle;

entreprise, pour contrôle.

Date: signature des marchés.

Fréquence: chaque fois qu'une entreprise signe un marché.

Evolution:

Organigramme des documents:

Responsabilité: coordination.

Objet: pour chaque lot, liste des documents, plans et schémas d'exécution nécessaires à le réalisation des travaux, avec, pour chacune de ces pièces, la date à laquelle elle arrivera à la direction des travaux.

Support: document écrit.

Types d'informations: document, responsable, date, lot.

Destinataire: bureau d'étude: pour exécution.

Date: préparation de chantier.

Fréquence: parution unique.

Evolution: en fonction des nouveaux documents non prévus.

Ordre de service:

Responsabilité: coordination.

Objet: notifier à une entreprise la date de début de son intervention.

Support: document écrit.

Type d'information: date, entreprise.

Destinataire: entreprise, pour information.

Date: pendant le phase de réalisation.

Fréquence: chaque fois qu'une entreprise doit commencer son intervention.

Evolution:

Les différents types d'information dans chaque document:

	Informations *(*)*																
	LO	MO	PA	PR	LT	%	TA	MA	MŒ	QU	DA	DU	RE	ET	MR	DO	RS
Plans d'architectes	X	X	X					X									
Situation mensuelle				X	X	X	X							X			
Budget de chantier	X			X			X	X	X	X	X	X	X	X			
Echéancier d'engagement des dépenses				X			X				X						
Planning détaillé TCE	X				X		X				X	X					
Planning enveloppe	X				X		X				X	X					
Plans techniques	X	X						X		X					X		
Fiche journalière de Travail	X						X		X		X	X	X				X
CCTP	X		X		X			X		X					X		
CCAP				X	X						X	X				X	X
Estimatif				X	X		X										
Acte d'engagement				X							X			X			X
Organigramme des documents					X						X					X	X
Ordre de service											X			X			

(*) voir page suivante la liste des différentes informations.

Les différents types d'informations:

LO: localisation (il s'agit de situer les objets par rapport à un repère).

MO: morphologie (description de la forme des objets).

PA: parti de construction (réponse technologique par la définition des ouvrages et des équipements pour les différents lots techniques).

PR: prix

LT: lot

%: pourcentage d'avancement

TA: tâche

MA: matériau

MŒ: main d'œuvre

QU: quantité

DA: date

DU: durée

RE: ressource

RS: responsable

ET: entreprise

DO: document.

MR: méthode de réalisation (moyens et techniques mises en œuvre pour procéder à la réalisation des ouvrages)

Annexe 4 : dictionnaire des principaux concepts de la modélisation

Cette annexe reprend et décrit les différents concepts identifiés au cours de la modélisation de la gestion de projet et de la formalisation des connaissances.

Remarque : tous les objets sont, par défaut, des sortes d'objets du projet.

Acteur :
Définition : personne physique jouant un rôle dans la gestion d'un projet.
Exemple : l'architecte est un acteur.
Schémas : 4, 13, 16.

Appartement :
Définition : ensemble de locaux contigus à destination d'habitation.
Sorte de : division.
Schémas : 1.

Autre local :
Définition : sorte de local à destination autre qu'habitation.
Sorte de : local.
Se spécialise en : local extérieur, gaine technique.
Schémas : 1.

Bâtiment :
Définition : construction d'un seul tenant mettant à couvert des espaces habitables.
Schémas : 1.

Bloc :
Définition : c'est une partie de bâtiment homogène et indépendante du point de vue technologique et réalisation.
Exemple : un joint de dilatation sépare deux blocs.
Schémas : 1, 3.

Circulation :
Définition : espace architectural qui assure la fonction de circulation des personnes.
Sorte de : division.
Se spécialise en : circulation horizontale, circulation verticale.
Schémas : 1.

Circulation horizontale :

Définition : c'est une circulation qui assure la liaison horizontale entre les divisions.

Sorte de : circulation.

Exemple : un couloir est une circulation horizontale.

Schémas : 1.

Circulation verticale :

Définition : c'est une circulation qui assure la liaison verticale entre les divisions.

Sorte de : circulation.

Exemple : un escalier est une circulation horizontale.

Schémas : 1.

Commun :

Définition : division assurant une fonction de service commun autre que la circulation.

Sorte de : division.

Exemple : un local à vélos est un commun.

Schémas : 1.

Contrainte :

Définition : expression d'une exigence que doit respecter tout ou partie du projet.

Se spécialise en : contrainte de planification.

Attributs :

Type {réalisation, réglementaire} ;

Ordre dans la hiérarchie.

Exemple : la contrainte de planification succession est une contrainte de type "réalisation", elle est fixée par le pilote, elle a pour origine une tâche et vise une autre tâche.

Schémas : 11.

Contrainte de planification :

Définition : contrainte spécifique au domaine de la planification.

Sorte de : contrainte.

Attributs :

Type {succession, date imposée, disjonction}.

Schémas : 11, 22.

Dépendance :

Définition : division affectée, de part sa destination, à une autre division.

Sorte de : division.

Exemple : une cave est une dépendance.

Schémas : 1.

Division :

Définition : partie d'un bâtiment composée de locaux contigus et qui a une

destination déterminée.

Se spécialise en : appartement, circulation, dépendance, commun.

Schémas : 1, 3.

Document :

Définition : ensemble d'informations relatives au projet. Contribue à la communication entre les acteurs.

Se spécialise en : plan d'architecte, planning, ordre de service, plan d'exécution, descriptif, métré, devis, ...

Attributs :

Présentation {écrite, graphique, informatique} ;

Date d'émission ;

Date de validité ;

Indice ;

Valeur {contractuel, informel}.

Schémas : 13, 14.

Dossier :

Définition : ensemble de documents ayant une destination commune.

Attributs :

Date.

Exemple : le dossier d'appel d'offre est un dossier. Il est constitué de plans, du descriptif, du permis de construire,...

Schémas : 13.

Entreprise :

Définition : c'est un rôle qui consiste à exécuter les tâches en consommant et utilisant les ressources afin de réaliser le projet.

Sorte de : acteur.

Attributs :

Adresse ;

Responsable ;

Exemple : telle entreprise de gros œuvre utilise la méthode de béton coulé sur place, elle utilise une grue, une centrale à béton, des coffrages et 3 équipes de main d'œuvre. Elle signe des contrat avec le maître d'ouvrage et établit des contrats pour ses sous-traitants.

Schémas : 15.

Equipement :

Définition : objet physique servant à équiper un local.

Sorte de : objet physique.

Se spécialise en : installation, autonome.

Exemple : un convecteur est un équipement.

Schémas : 3.

Etage :

Définition : ensemble de locaux contigus ayant une même altitude pour leurs planchers inférieurs.

Sorte de :

Se spécialise en : étage de superstructure, étage d'infrastructure.

Schémas : 1.

Evénement:

Définition : c'est un fait qui se produit de façon régulière, progressive ou exceptionnelle.

Attributs :

Type.

Exemple : la fin du mois, l'achèvement d'une tâche et la chute d'une grue sont des événements respectivement réguliers, progressifs et exceptionnel.

Schémas : 3.

Géométrie :

Définition : concept définissant toutes les entités géométriques.

Se spécialise en : surface, ligne, point.

Schémas : 2.

Local :

Définition : plus petit espace manipulé par le concepteur.

Se spécialise en : pièce, autre local.

Exemple : gaine technique, balcon, pièce, ...

Schémas : 1, 3.

Lot :

Définition : c'est un regroupement de tâches.

Attributs :

Entreprises ;

Coût.

Exemple : le lot "Gros Œuvre" regroupe toutes les tâches relatives à la réalisation de la structure béton du bâtiment.

Schémas : 10, 16, 17.

Objet de planification :

Définition : ensemble de parties (au sens technologique) d'objets physiques dont la réalisation représente une ou plusieurs tâches, une même tâche générique n'intervenant qu'une seule fois sur cet objet.

Attributs :

Dimensions.

Exemple : les porteurs verticaux constitués de la partie béton armé des murs et poteaux du niveau 3 du bloc A forment un objet de planification. Celui-ci est associé à la méthode de réalisation "béton coulé en place"; il est réalisé par la

tâche "réalisation des porteurs verticaux"; il appartient à une zone de type "niveau".

Schémas : 7, 10, 12, 19, 21.

Objet de planification générique :

Définition : c'est un type d'objet de planification non instancié.

Attributs :

Niveau de détail ;

Méthode de calcul de la grandeur significative ;

Type d'objets physiques regroupés.

Exemple : la dalle est un objet de planification générique.

Schémas : 19, 20, 21.

Objet du projet :

Définition : C'est le concept le plus général qui soit. Il regroupe toutes les entités définies dans le modèle.

Se spécialise en : tous les objets qui n'ont pas de super.

Schémas : 11, 13, 20, 21.

Objet générique :

Définition : c'est un concept général qui regroupe tous les objets non instanciés.

Se spécialise en : contrainte de planification générique, zone de planification générique, objet de planification générique, tâche générique.

Schémas : 19, 20, 21.

Objet physique :

Définition : plus petite partie du bâtiment, portée par un seul objet géométrique, comportant une seule technologie, séparant au plus deux locaux et dont la réalisation ne nécessite pas plus d'une instance de chaque tâche générique.

Se spécialise en : équipement, séparateur, poteau, poutre, percement.

Exemple : le mur composé d'un voile B.A., d'un isolant et d'un doublage, et séparant les locaux 1 et 2 du niveau 3 est un objet physique.

Schémas : 2, 3, 4, 7, 10, 12, 21.

Option de construction :

Définition : c'est une information associée à l'objets physique afin de préciser la façon dont ses différentes technologies sont mises en œuvre.

Exemple : "utilisation de coffrages traditionnels" est une option de construction permettant de déterminer la façon de mettre en œuvre la technologie "béton" des murs, poteaux, poutre et planchers.

Schémas : 12, 15, 21.

Option de construction générique :

Définition : c'est un modèle d'option de construction.

Attributs :

niveau de détail.

Schémas : 21.

Pièce :
Définition : sorte de local à destination d'habitation.
Sorte de : local.
Se spécialise en : pièce intérieure, pièce extérieure.
Schémas : 1.

Pièce extérieure :
Définition : sorte de pièce située en partie extérieure d'un bâtiment.
Sorte de : pièce.
Exemple : un balcon est une pièce extérieure.
Schémas : 1.

Pièce intérieure :
Définition : sorte de pièce située à l'intérieur d'un bâtiment.
Sorte de : pièce.
Exemple : une chambre est une pièce intérieure.
Schémas : 1.

Projet :
Définition : ensemble immobilier homogène implanté sur un site unique.
Attributs :
Coûts ;
Délai.
Schémas : 1.

Ressources :
Définition : il s'agit de tout ce qui est employé, utilisé ou consommé pour assurer la réalisation d'une tâche.
Se spécialise en : ressource renouvelable, ressource consommable.
Attributs :
Coût unitaire ;
Fournisseur ;
Quantité ;
Quantité minimale.
Exemple : la main d'œuvre, les engins, les matériaux sont des ressources.
Schémas : 9.

Ressources consommables :
Définition : il s'agit de ressources qui ne sont pas réutilisables après l'exécution de la tâche.
Sorte de : ressource.
Attributs :
Délai d'approvisionnement.

Exemple : le béton, le carrelage, la peinture sont des ressources consommables.
Schémas : 9, 17.

Ressources renouvelables :

Définition : il s'agit de ressources disponibles en quantités limitées, qui ne peuvent être affectées à plusieurs tâches simultanément mais peuvent l'être successivement, y compris sur différents projets.
Sorte de : ressource.
Se spécialise en : main d'œuvre, matériel.
Exemple : la main d'œuvre, le matériel sont des ressources renouvelables.
Schémas : 9, 15, 17

Rôle:

Définition : indique dans quel cadre l'acteur intervient.
Attribut :
Type {architecte, bureau d'étude, bureau de contrôle, entreprise, client, ...}.
Exemple :
Schémas : 4.

Séparateur :

Définition : objet physique assurant une séparation entre deux locaux.
Sorte de : objet physique.
Se spécialise en : mur, plancher, cloison, pan de toiture...
Schémas : 3.

Site:

Définition : entité regroupant les informations sur l'environnement du projet (géographie, climat, sources sonores, ...).
Attributs :
Localisation.
Schémas : 1.

Tâche :

Définition : c'est une action qui contribue à la réalisation et la mise en place d'un objet de planification.
Attributs :
1-aspect prévisionnel :
Durée calculée ;
Durée avec marge et risques ;
Coût H.T. ;
Date début au plus tôt ;
Date début au plus tard ;
Date fin au plus tôt ;
Date fin au plus tard ;
Code de tri ;

Calendrier ;
Lot.
2-aspect suivi :
Pourcentage d'avancement par rapport au planning de référence ;
Date de début réelle ;
Date de fin prévue, puis réelle ;
Dérivée d'avancement ;
Coût théorique d'engagement ;
Coût d'engagement accepté.

Exemple : la réalisation des porteurs verticaux du niveau 1 est une tâche. Elle est associée à des contraintes temporelles,; elle utilise de la main d'œuvre, une grue, des coffrages, du béton, des armatures; elle appartient au lot gros œuvre; elle se décompose en tâches "coffrage", "coulage" et "ferraillage".

Schémas : 4, 5, 6, 8, 9, 15.

Tâche générique :

Définition : type d'action qui contribue à la réalisation et la mise en place d'un ensemble de technologies de types d'objets physiques.

Attributs :

Niveau de détail ;
Méthode de calcul de la durée.

Exemple : la réalisation de porteurs verticaux est une tâche.

Schémas : 7, 9, 10, 12, 19, 21.

Zone de planification :

Définition : c'est une sorte de division correspondant au regroupement de locaux en fonction de critères propres à la gestion de projet.

Attributs :

surface.

Exemple : l'étage 1 est la zone de planification associée à la tâche "réalisation des porteurs vercticaux de l'étage 13.

Schémas : 10, 19, 21.

Zone de planification générique :

Définition : c'est un type de zone de planification.

Exemple : l'étage est une zone générique.

Schémas : 19, 21.

Annexe 5 : le Projet CONCEPTOR

Ce document commun a été réalisé par les différents chercheurs du LGCH qui ont développé le prototype de système de CAO pour le bâtiment CONCEPTOR. Il décrit l'objet et l'historique du projet, ses spécificités, ses fonctionnalités et sa mise en œuvre.

Objet du projet :

Le projet CONCEPTOR à pour objectif la réalisation d'un prototype de système de C.A.O multitechnique pour l'ingénierie bâtiment sur la base d'une modélisation orientée objet.

CONCEPTOR est un système multitechnique intégrant une base de connaissances permettant l'aide à la conception et l'assistance de l'utilisateur.

Les applications techniques sont intégrées autour d'une base d'informations unique à partir d'un modèle de données et de connaissances structurées permettant les échanges.

Elles doivent permettre à CONCEPTOR de couvrir le processus de conception depuis l'esquisse architecturale, jusqu'à l'avant projet détaillé en prenant en compte les différents niveaux de conception.

CONCEPTOR est développé autour d'outils généraux du marché (S.G.B.D., Modeleurs, systèmes de gestion de base de connaissance S.G.B.C.).

Différentes étapes ont été envisagées. Pour l'instant, l'étape en cours est celle de la mise en oeuvre d'une maquette de laboratoire autour d'AUTOCAD et de KOOL. Cette maquette est nécessaire au L.G.C.H. pour la validation de ses travaux de recherche sur les modèles de données et sur la cohérence, sur la faisabilité du projet bâtiment au cours des phases de conception.

Elle pourra aussi servir de base démonstrative pour les développements plus avancés avec d'autres partenaires au cours d'étapes ultérieures.

Historique du projet :

Le projet CONCEPTOR résulte des actions menées par le L.G.C.H. en 1987 et 1988 sur la C.A.O. bâtiment, notamment sur:

- le développement d'un prototype de système de C.A.O., baptisé X2A, pour les évaluations techniques et économiques en avant projet de bâtiment,

- l'intégration de systèmes experts dans X2A [X2A 88] pour accroître ses performances et ses fonctionnalités.

Ces deux actions ont été menées dans le cadre de contrats avec le Plan

Construction et Architecture en partenariat avec le L.M.G.C.U. - I.N.S.A. LYON et le L.I.A. - Université de Savoie - CHAMBERY [X2A 87] [X2A 89].

Les résultats obtenus lors de ces études ont permis de montrer que pour certaines applications, il était très difficile de développer une base de connaissances autour de X2A.

Notre stratégie consistait, en effet, à quitter le système de C.A.O. et sa B.D., à travailler avec le S.E. et sa base de connaissances pour résoudre le problème posé, puis à revenir dans le système de C.A.O..

Cette démarche a pu être appliquée dans le cadre de X2A-SE par la mise en œuvre de systèmes experts comme :

- DESCARTES, qui fournit une aide pour l'habillage par des composants techniques d'une géométrie en respectant les choix de partis du concepteur,

- CASC, qui aide à définir la meilleure séquence d'algorithmes permettant de répondre à une requête de calcul posée par l'utilisateur.

Dans ces deux cas, où B.D. et B.C. sont bien séparées, et où la connaissance n'est pas directement liée aux objets de la B.D., la procédure adoptée semble satisfaisante.

En revanche, dans un troisième cas, celui du système MODIVAL envisagé pour assurer la gestion des conséquences des modifications sur les objets techniques, cette démarche est difficile à mettre en oeuvre. La connaissance est très répartie, exprimée à propos des objets même de la B.D. si bien que les raisonnements menés s'effectuent sur une masse de données importante.

Dès lors la procédure précédente n'est plus applicable. CONCEPTOR est donc né :

- d'une part de ce constat,

- d'autre part, du fait que X2A est maintenant obsolète compte tenu des possibilités offertes :

* en termes de modélisation et de puissance de représentation, par les outils orientés objets

* par les outils généraux plus adaptés disponibles maintenant sur le marché.

Il faut donc revoir :

- la modélisation du bâtiment,

- les schémas de conception, les scénarios,

- la structure générale du système informatique.

Spécifications succinctes :

Objectifs

CONCEPTOR est un système qui doit permettre la conception de bâtiments courants de toutes destinations (habitation, bureaux, industriel, ...), composés de blocs et structurés en niveaux. L'environnement immédiat du bâtiment est pris en compte.

L'étude doit pouvoir porter sur tous les stades du processus de conception depuis l'esquisse jusqu'aux plans d'exécution de l'ouvrage. Trois niveaux d'action sont distingués pour les études techniques:

NIVEAU 0: Aide à l'élaboration des choix techniques,

NIVEAU 1: Validation des choix et notamment, respect de la réglementation et des règles de l'art,

NIVEAU 2: Définition complète des études techniques composante par composante.

Les études techniques portent sur cinq composantes principales.

Ces différentes composantes sont si possible analysées à travers les niveaux d'action précédents. Cela permet de classifier les outils techniques ou les opérations effectuées, tout en gardant des possibilités de découpage plus fin de ces niveaux si besoin est.

La composante structure

Les ossatures considérées sont essentiellement en béton armé. Deux niveaux de conception sont distingués en fonction des tâches à accomplir :

- niveau 1 : choix de la structure et validation globale de la stabilité sous des actions verticales, horizontales et dynamiques,

- niveau 2 : la structure étant stable, définition précise de chaque ouvrage et des plans détaillés (A.P.D. et P.E.O.),

La composante fondations

Le premier niveau, niveau 0, concerne les études préliminaires ; nous considérons qu'elles sont préalables au système de C.A.O.. Cette position pourra être reconsidérée dans le futur.

Le choix du système de fondations et son prédimensionnement à partir des études préliminaires, de la reconnaissance du sol et des charges en pied de structure constitue le niveau 1.

La composante thermique

Le niveau 0 concerne le choix du système de conditionnement thermique à partir

de critères économiques, énergétiques et d'exploitation.

Ce choix doit ensuite être validé par l'estimation des déperditions, la détermination des besoins de chauffage et des consommations, la vérification de la réglementation.

Enfin, les éléments constitutifs de la composante thermique (technologie des parois, des planchers, ..., appareillages, ...) doivent être précisément définis.

La composante économique

Trois niveaux d'évaluation économique sont envisagés :

- au stade du programme à partir d'un questionnaire rapide.

- au stade de l'esquisse ou de l'A.P.S. lorsqu'une partie des informations nécessaires est déjà déductible de la base de données.

- au stade de l'A.P.D. et plus, lorsque les composantes techniques sont définies précisément. La plupart des renseignements sont déductibles et les trois modes de calcul suivants peuvent cohabiter : ratio, sondage, calcul exhaustif.

La composante qualité

Elle est découpée d'une façon spécifique car elle couvre l'ensemble des composantes précédentes, mais aussi d'autres domaines moins spécifiquement techniques tels que la composition du logement, l'esthétique, l'orientation ou l'adaptation au mode de vie.

Ces domaines sont difficilement classables dans les trois niveaux généraux que nous avons définis.

N.B. : Ultérieurement, d'autres composantes pourront être ajoutées à CONCEPTOR notamment, des composantes concernant l'adaptation au sol et les VRD, l'acoustique ou les fluides.

Ces composantes sont évaluées à partir de logiciels regroupés dans une base d'algorithmes. Elle est constituée le plus souvent possible par des outils existants du marché.

Fonctionnalités :

CONCEPTOR devra offrir à l'utilisateur les fonctions suivantes :

- saisie et constitution du projet **:** graphique, interactive, évolutive avec le niveau de définition du projet, habillage intelligent par déduction grâce au système expert DESCARTES développé au laboratoire [X2A 89].

Trois procédures différentes sont envisagées:

- sans document de base: on peut construire la géométrie (filaire ou volumique) ou alors effectuer une construction fonctionnelle (positionnement de composants par leur fonction technique) et déduire la géométrie,

- sur la base du filaire: il faut pouvoir copier ce filaire et l'habiller par des composants. Trois niveaux de procédures sont possibles : manuel, par macro-commandes, par déduction,

- sur la base d'un habillage : il faut pouvoir copier et déduire le filaire. Deux problèmes sont à examiner : le calepinage et la coordination dimensionnelle.

- modélisation **:** La modélisation géométrique et technologique de base de X2A reste valable. Il s'agit brièvement :

- d'un filaire basé sur des facettes planes (modélisation 3D surfacique),

- d'Unités Volumiques (UV) intérieures ou extérieures,

- de composants adaptables à la géométrie ou invariables (cf. ci-dessous bibliothèque de composants).

- visualisation 2D, 3D **:** plans, coupes, élévations, perspectives avec ou sans lignes cachées, cotation manuelle, automatique, totale ou partielle

-bibliothèque de composants : fonctions de gestion: création, modification, mise à jour, consultation. Les composants sont définis à trois niveaux:

- géométrique: paramétrage en nature et dimension, reconnaissance intérieur-extérieur, représentation en plan, en élévation et à différentes échelles,

- fonctionnel: porteurs, séparateurs, percement, etc...,

- technologique: matériaux constitutifs, caractéristiques techniques

- évaluations techniques

-- manuelles,

-- par module d'assistance experte (mise en œuvre des calculs, choix des modèles, gestion des résultats).

- gestion du projet **:** gestion statique par sélection, duplication, archivage en fin ou en cours d'étude mais aussi gestion de la vie du projet, à savoir :

- gestion de l'historique: calculs effectués, méthode utilisée, dates,

- études de variantes,

- état d'avancement par composante technique.

- traitement de la cohérence et de la faisabilité du projet.

- gestion de la qualité.

Mise en œuvre :

Compte tenu du paragraphe précédent, l'approche fonctionnelle faite pour CONCEPTOR est une approche de type système intégré dont nous avons l'expérience par notre participation au projet européen EUREKA 130 sur le projet CIMSTEEL, un système intégré pour la construction métallique [DEC 90].

Un tel système doit être capable d'intégrer de nombreuses applications différentes effectuées à des moments différents par des équipes différentes.

Quatre qualités du système ont été respectées. Elles influent évidemment sur l'architecture du système. Ce sont :

- l'évolutivité, car de tels systèmes, volumineux, sont créés et gérés sur des périodes longues. La mise en œuvre est progressive,

- la flexibilité : les applications contenues dans le système ne sont pas nécessairement déterminées. Le système doit pouvoir être défini à la carte,

- l'unicité des informations : c'est un point essentiel qui ne peut être assuré que par l'existence d'une seule et même structure de données pour tout le monde,

- l'adaptabilité : il s'agit de l'aspect interchangeabilité des "boites noires" du système pour les outils généraux ou les applications.

Cela nécessite l'utilisation de standards de communication et d'échanges qui permettent, par exemple, de changer de S.G.B.D. sans problème, (comme nous l'avons déjà réalisé dans le projet EUREKA 130).

Les fonctionnalités et spécifications de CONCEPTOR font apparaître la nécessité de disposer :

- d'un **schéma conceptuel de données**, regroupant l'ensemble des informations relatives à tous les domaines de conception.

- d'**un langage de développement** associant la plupart des formalismes actuels de programmation et de représentation des connaissances : procédures, classes, méthodes, réflexes , calcul de prédicats et règles de production. Un tel langage hybride devra en outre:

-- posséder des fonctionnalités en matière de persistance d'objets,

-- permettre une évolution dynamique de la structure des objets,

-- être capable de définir et manipuler des entités graphiques 3D (par exemple, la structure du bâtiment doit pouvoir être visualisée à l'écran et toute modification graphique doit interagir avec la base de données).

- d'**une base de connaissance** se décomposant en :

-- des bibliothèques de fonctions :

- géométriques compatibles avec le schéma conceptuel géométrique,

- techniques (structure, thermique, ...) à tout niveau de conception (prédimensionnement, avant - projet ...),

dans lesquelles on vient puiser pour définir les méthodes décrivant le comportement des classes.

-- une base décrivant la part non algorithmique du comportement des objets (actuellement cette connaissance est formalisée sous forme de règles).

L'étude des produits existants a montré :

- la non disponibilité d'un langage hybride manipulant des objets graphiques 3D,

- l'absence de bibliothèque d'évaluation technique,

- en revanche, l'existence de nombreux logiciels techniques non décomposables en fonctions élémentaires.

Ce constat nous a conduit à réaliser un prototype du système constitué de deux modules :

- un module de saisie graphique développé en rajoutant une sur-couche orientée objet au logiciel de D.A.O. AUTOCAD,

- le "noyau" CONCEPTOR proprement dit réalisé avec l'environnement de développement d'applications KOOL. Ce dernier combine un langage de programmation fonctionnelle (Lisp), un langage objet et un système à base de règles. Il permet de représenter des connaissances statiques et dynamiques. Il est interfaçable avec d'autres langages de programmation et présente quelques fonctionnalités de gestion de sessions et d'objets.

Les évaluations techniques (structure, thermique, ...) sont soit :

- intégrées en tant que méthode pour les évaluations disponibles dans les bibliothèques techniques,

- interfacées avec CONCEPTOR par l'intermédiaire de "pipe" Unix, dans le cas de logiciels techniques globaux. Cette méthode nécessite la réalisation d'un traducteur de données en entrée et en sortie du logiciel. Elle permet d'intégrer l'existant.

Le prototype actuel réalise des évaluations techniques associées aux composantes thermique et structure. Les composantes acoustique et fondations sont en cours de développement.

Le prototype a été développé sous UNIX sur stations de travail (BULL DPX 1000, SUN 4, ...) couplées à un DPX 2000.