



HAL
open science

Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments. Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération.

Sylvain Kubicki

► **To cite this version:**

Sylvain Kubicki. Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments. Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération.. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy I, 2006. Français. NNT : 2006NAN10137 . tel-00121670

HAL Id: tel-00121670

<https://theses.hal.science/tel-00121670>

Submitted on 21 Dec 2006

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.

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de
Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

Discipline Sciences de l'Architecture

Par **Sylvain KUBICKI**

Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments

Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération

Encadrée par Jean-Claude BIGNON (*Directeur*) et Gilles HALIN (*Co-Directeur*)
Soutenance publique Le 10 novembre 2006

Membres du jury

<i>Rapporteurs</i>	M. Bertrand DAVID	Professeur en Informatique. École Centrale de Lyon. Directeur du laboratoire ICTT.
	M. Pierre LECLERCQ	Ir Architecte, Docteur en Sciences Appliquées, Professeur. Université de Liège. Directeur du laboratoire LuciD Group. (<i>Président du jury</i>).
<i>Examineurs</i>	M. Farid AMEZIANE	Architecte DPLG, Docteur en Sciences. Responsable de l'équipe de recherche insARTis.
	M. Jean-Claude BIGNON	Architecte DPLG, Professeur. École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy. Responsable de l'axe 2 du MAP-CRAI.
	M. Claude GODART	Professeur en Informatique. ESSTIN. Université Henri Poincaré, Nancy I.
	M. Gilles HALIN	Maître de Conférences en Informatique, HDR. Université de Nancy 2. Chercheur au laboratoire MAP-CRAI.

À Henri,

Remerciements

Ce mémoire de thèse conclue trois années de travail au sein du CRAI, représente l'aboutissement de mon projet de formation personnel et constitue la fondation d'activités de recherche de plus longue haleine.

Je tiens d'abord à remercier les rapporteurs et examinateurs de ce mémoire, pour leur regard avisé sur le travail, et l'ambiance « studieuse et détendue » qu'ils ont fait régner lors de la soutenance de thèse :

- Bertrand David, pour ses remarques critiques et constructives, ainsi que pour les contacts enrichissants et dynamiques que nous avons eu précédemment lors de colloques et conférences.
- Pierre Leclercq, pour son analyse minutieuse et détaillée du manuscrit, ainsi que le travail de synthèse important qu'il a réalisé dans son rapport.
- Claude Godart et Farid Ameziane pour leur participation au jury, et leur regard particulier d'informaticien et d'architecte qu'ils ont mis à profit dans le jeu des questions-réponses.

Cette thèse résulte d'une recherche doctorale dont le « double encadrement » renforce le caractère interdisciplinaire :

- Jean-Claude Bignon, Professeur et Architecte, est responsable de la formation doctorale à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy. Je tiens à le remercier d'abord pour l'initiation à la recherche qu'il a instauré et qu'il entretient à travers la formation de « Master Recherche ». Ensuite, durant le déroulement du travail, son regard particulièrement synthétique a largement influencé les orientations et décisions majeures qui ont été prises. Enfin, je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée dans différentes activités du laboratoire et de l'école, notamment à travers les projets pédagogiques dans lesquels il m'a impliqué.
- Gilles Halin a contribué de manière essentielle au développement de ce travail, y apportant, bien sûr, son point de vue d'informaticien, mais aussi, un regard de synthèse, de critique et d'analyse extrêmement profitable. Le « foisonnement » d'idées, issu de nos échanges « formels et informels », s'est d'ailleurs concrétisé dans diverses publications que nous avons présentées ensemble dans divers colloques.

Je remercie ensuite toutes les personnes au contact desquelles j'ai pu élaborer et expérimenter mes propositions :

- Les professionnels-architectes, Emmanuel Petit, Thierry Parinaud ou encore Jean-Michel Dossier, pour leur écoute et leur ouverture à ces travaux.
- Les informaticiens-chercheurs, sensibilisés aux problématiques de la coopération, dont les recherches ont enrichi mes domaines d'intérêt, en particulier Pascal Humbert pour les séances de travail riches d'enseignement que nous avons eues, et pour sa grande efficacité dans le développement des prototypes.
- Les participants et amis du projet COCAO : Annie, Damien, Nadia, Ahmed et Jean-Paul pour les échanges fructueux que nous avons eus, et les moments de détente que nous avons partagés.
- Les nombreux stagiaires avec lesquels j'ai pu travailler et construire certaines propositions : Alexandre, Yin, Ali, Luc, Christophe etc.

Je tiens à souligner aussi l'ambiance détendue, amicale et néanmoins studieuse que font régner au CRAI Jean-Pierre, Didier, Christine, Vincent, Daniel ainsi que les différents membres de l'école d'architecture.

Enfin, j'adresse une pensée particulière à ma famille et à mes proches, pour leur présence essentielle et leur soutien. Un très grand merci notamment à mes deux patientes et studieuses relectrices qui ont contribué de manière essentielle à la production de ce document.

Le 19 décembre 2006

Le 19 décembre 2006

Sommaire

<i>Introduction</i>	13
Une thèse dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction	13
Problématique générale	14
Plan de la thèse	17

Première partie : Une approche théorique et expérimentale du secteur du bâtiment et de la construction. Définition d'une problématique.

<i>Chapitre 1. Le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction</i>	23
1.1. Le secteur du bâtiment : ses caractéristiques et son potentiel d'innovation	25
1.2. Les enjeux pour le développement futur du secteur	45
<i>Chapitre 2. Une problématique de recherche centrée sur l'amélioration des processus coopératifs en phase chantier</i>	61
2.1. Des thématiques de recherche portant sur l'assistance aux activités d'ingénierie	62
2.2. Une approche expérimentale de la construction	65
2.3. Une approche pédagogique de la coopération médiatisée	72
2.4. Formulation de notre problématique de recherche	75

Deuxième partie : Un recul théorique sur la coordination de l'activité collective. « Contextes » de l'action individuelle.

<i>Chapitre 3. Les structures d'organisations collectives et les mécanismes de coordination dans le bâtiment</i>	83
3.1. L'organisation	84
3.2. La structure des organisations	89
3.3. La coopération entre acteurs	105
3.4. La coordination de l'activité collective	111
3.5. Structures de l'organisation et coordination en phase chantier	120
<i>Chapitre 4. Le contexte dans l'action individuelle médiatisée</i>	127
4.1. Les trois « contextes » de l'action	128
4.2. Le « contexte de l'activité collective »	133
4.3. Le « contexte de l'acteur » impliqué dans l'activité	136
4.4. Le « contexte de l'utilisateur »	152
4.5. Synthèse	158

**Troisième partie : Propositions d'outils et de modèles.
Médiatiser la perception du contexte de l'activité collective.**

Chapitre 5. Un guide pour le choix d'outils de coopération en phase chantier	163
5.1. État des lieux des outils pour le travail collectif dans le secteur de la construction	164
5.2. Un guide pour l'assistance à la coordination en phase de construction de bâtiments	198
5.3. Synthèse	210
Chapitre 6. Une approche dirigée par les modèles	219
6.1. Le concept de modèle	221
6.2. Des modèles pour le développement d'outils dans le secteur de la construction	234
6.3. Propositions	258
Chapitre 7. Propositions d'outils pour l'assistance à la coopération en phase chantier	283
7.1. Assister la coordination « traditionnelle » dans les configurations hiérarchiques et transversales	284
7.2. Assister la coordination « flexible » dans la configuration adhocratique	299
Chapitre 8. Validation des propositions	313
8.1. Validation de l'architecture de modèles dans les développements	313
8.2. Validation « métier »	329
Conclusion générale	341
Contenu de la thèse	341
Limites de cette recherche	345
Perspectives ouvertes	346
Références bibliographiques	351
Table des matières détaillée	371
Liste des illustrations	375
Liste des tableaux	379
Résumé	382

Une thèse dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction

Le présent mémoire décrit une recherche, menée dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction. Les « Sciences de l'Architecture » couvrent de nombreux domaines, de la modélisation tridimensionnelle, à la simulation d'ambiance, en passant par la recherche sur les matériaux de construction ou encore les méthodes d'ingénierie.

Cette thèse porte sur l'assistance aux activités coopératives d'ingénierie dans le domaine de la construction de bâtiment. Un découpage s'est historiquement opéré entre les activités de conception et les activités de construction de bâtiment, suivant la chronologie des activités mais aussi les spécificités de chacune de ces activités.

Faisant suite à des recherches menées au sein du laboratoire MAP-CRAI sur la conception architecturale, nous nous intéressons particulièrement ici aux activités coopératives dans la phase de construction de bâtiments.

Cette thèse prend place plus particulièrement dans une dynamique de changements contemporains des méthodes et outils de travail collectif. Elle adopte une posture « amont », issue du caractère « académique » de notre activité de recherche. Nous entendons par « posture amont », une approche de recherche visant à appréhender un domaine d'étude, à en produire des modèles conceptuels, à les valider et à s'en servir pour proposer des méthodes et des outils innovants supportant les activités de ce domaine.

L'étude proposée ici consiste en une analyse de l'activité de chantier et débouche sur une proposition de nouveaux outils d'assistance à la coordination de cette activité. Elle se caractérise

par l'interdisciplinarité dans la recherche et notamment dans l'utilisation de théories et concepts permettant de comprendre :

- La dimension collective de l'activité de chantier et les mécanismes assurant sa coordination, renvoyant au domaine des sciences de l'organisation et du management,
- Les mécanismes cognitifs mis en œuvre dans l'action individuelle, spécialité de la psychologie et plus généralement des sciences humaines,
- Les mécanismes technologiques pouvant être utilisés pour médiatiser l'action, développés dans le domaine de l'informatique : collecticiels ou informatique mobile et ubiquitaire,
- La nature des outils médiatisant l'activité dans d'autres secteurs de production, comme l'industrie manufacturière ou le Génie Logiciel,
- Les modèles permettant de représenter différentes facettes du travail collectif (du processus, aux outils).

Problématique générale

Contexte de l'étude

Le système de production du bâtiment se distingue fortement d'autres secteurs d'activités. D'abord, les entités économiques qui le compose sont indépendantes. Ensuite, l'activité laisse place à une forte participation de chacun dans les choix techniques, les responsabilités sont partagées et les décisions sont souvent communes.

D'une manière générale, l'activité se caractérise par :

- L'état de définition du projet à construire, qui évolue durant la phase de chantier. De plus, des différences majeures existent entre les différentes opérations de construction (nombreux types de bâtiments, de matériaux employés etc.) ce qui rend les tâches peu reproductibles et l'apprentissage difficile,
- L'activité de construction est située et doit faire face à différents aléas de son environnement (conditions climatiques, topographie),
- Enfin la composition des équipes d'acteurs est hétérogène. Ils sont réunis pour un temps court sur un projet particulier. Ils ne se connaissent pas et n'ont donc pas l'habitude de travailler ensemble.

Dans ce contexte, le système de production s'est adapté en mettant en place des protocoles et des procédures particuliers de coopération entre les intervenants, qui se distinguent fondamentalement des activités coopératives dans d'autres secteurs de production, comme l'industrie manufacturière.

Ces protocoles et procédures se fondent sur la flexibilité permettant aux acteurs :

- D'adapter leurs tâches,
- De négocier la nature de leur participation durant le projet,
- Ou encore de gérer, à l'échelle de leurs entreprises respectives, les activités multiples qu'ils mènent sur plusieurs chantiers en parallèle.

Ce système « adapté » permet donc de faire face à une demande variée (tous les bâtiments sont différents), à un contexte sociologique dominé par l'hétérogénéité des intervenants (de leur savoir et de leur savoir-faire) et à un environnement économique « peu favorable » (beaucoup de petites structures indépendantes, des flux de production tendus, un stock de matériau presque inexistant sur le chantier).

Cependant, les activités coopératives mises en œuvre dans ce système présentent un certain nombre de dysfonctionnements récurrents, que nous identifions comme des « défauts qualitatifs dans la conduite des processus ».

Ces dysfonctionnements se traduisent en particulier par des retards dans le déroulement du chantier, des erreurs dans l'enchaînement des interventions, ou des travaux à refaire. Ils se répercutent aussi sur la « qualité des ouvrages bâtis », engendrant des malfaçons (non respect des règles de l'art de la mise en œuvre) ou des ouvrages non conformes au projet initial.

Problématique générale

Au regard des travaux de recherche auxquels nous succédons, notre intérêt se porte sur la phase de construction des bâtiments, et plus spécifiquement sur les activités collectives impliquant les acteurs d'un chantier de construction.

D'un point de vue organisationnel, nous nous questionnons sur la structuration des organisations d'acteurs d'un chantier, et sur la nature des protocoles d'interaction qu'ils mettent en œuvre pour faire face aux difficultés coopératives que nous avons évoquées.

Notre objectif est de tenter de rendre compte des protocoles flexibles et des relations informelles entre acteurs de l'organisation qui, selon nous, sont la base de l'efficacité du système.

D'un point de vue plus opérationnel, nous nous intéressons à la nature des outils permettant aux acteurs de réaliser ces activités. Nous entendons par « outil » tous les artefacts servant de support à l'activité : méthodes, documents, logiciels ou machines.

Le problème fondamental que nous soulevons repose sur la relation entre l'organisation et les outils. Peut-on associer des outils spécifiques à des formes d'organisation identifiées sur le chantier ?

Problématique particulière

Ces questions sur la nature de l'organisation du chantier et les outils qui la supportent forment la base de toute proposition de nouvel outil pour l'assistance à la coordination.

Nous pensons qu'il est d'abord possible d'améliorer le choix des outils utilisés dans une opération en fonction de la nature de l'organisation d'un chantier particulier. Ensuite, nous verrons s'il est possible et utile de développer de nouveaux outils, assistant la dimension flexible de la coordination.

Pour cela, la prise en compte de l'utilisateur dans la conception des outils, est un objectif central dans notre réflexion. La question de la médiatisation d'une activité de chantier, par nature peu formalisée, nous conduira à questionner l'apport de nouvelles interfaces représentant le contexte de cette activité, de manière adaptée à leurs utilisateurs.

Finalement, l'approche interdisciplinaire que nous menons pour le développement d'outils d'assistance à la coordination se traduit par une réflexion basée sur les modèles.

La méthodologie de modélisation nous permet d'exprimer la connaissance spécifique du domaine de l'activité de chantier, et de la partager avec des spécialistes d'autres domaines (notamment des informaticiens pour spécifier les développements d'outils).

Notre questionnement particulier dans le cadre de cette thèse se porte sur la capacité des modèles à représenter des outils de coopération, et à permettre l'intégration de modes de visualisation hétérogènes de l'activité collective. Ce problème trouve son origine dans le fait que de multiples documents et outils représentent et médiatisent l'activité. L'introduction d'outils assistant la

dimension flexible de l'activité doit donc, selon nous, reposer sur l'analyse et la mise en relation de « vues » existantes de cette activité.

Plan de la thèse

Nous développerons notre démonstration à travers trois grandes parties : d'abord, une approche analytique et expérimentale du domaine de la construction de bâtiments, puis un recul théorique sur l'activité collective et la contextualisation de l'action individuelle, et enfin une partie de propositions d'outils et de modèles pour l'assistance à la coordination du chantier.

Partie 1 - Le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (AEC)

Dans la première partie de ce mémoire, nous aborderons le domaine AEC à travers ses grandes caractéristiques.

- Le premier chapitre propose une approche théorique sur les *spécificités de ce secteur d'activités*, et pointe les enjeux de l'innovation, notamment à travers l'essor des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication),
- Le deuxième chapitre définit la *problématique précise qui anime ce travail de recherche autour de l'activité coopérative de chantier*, à l'aide d'une approche de terrain. Nous décrirons une expérience de suivi de chantier, qui nous permet de caractériser concrètement ce qu'est une activité collective de construction, et une expérience pédagogique de co-conception, qui pose le problème de la mise en œuvre d'une coopération, et notamment du choix d'outils pour assister les activités collectives.

Partie 2 - Un recul théorique sur l'activité collective et la contextualisation de l'action individuelle

- Dans le chapitre 3, nous proposons de convoquer des théories issues du domaine de la science des organisations et du management afin de *caractériser l'activité collective identifiée en phase chantier*, son organisation et ses mécanismes de coordination,
- Puis, nous recentrons notre intérêt sur l'individu dans le chapitre 4. Nous tentons d'expliquer comment son *action individuelle est « contextualisée »*. Elle fait référence à l'activité collective d'une part, et à des mécanismes cognitifs individuels d'autre part. Enfin, nous verrons comment elle est médiatisée par des outils.

Partie 3 - Propositions pour l'assistance à la coordination en phase chantier : outils et modèles

La troisième partie de ce mémoire comporte quatre chapitres de propositions émises dans le cadre de cette thèse.

- D'abord, dans le chapitre 5, nous proposons un état de l'art des outils d'assistance à la coopération en phase chantier. Ce travail nous permet de proposer une *démarche pour le choix d'outils* adaptés à des situations organisationnelles de chantier identifiées dans le chapitre 3,
- Nous décrivons ensuite, dans le chapitre 6, l'approche par les modèles qui constitue le guide méthodologique de notre travail de conception de nouveaux outils. Nous verrons les multiples modèles associés à l'activité de construction et aux outils de coopération, et proposerons *une infrastructure permettant l'intégration de ces modèles*,
- Dans le chapitre 7 nous présentons les différentes *propositions de nouveaux outils* formulées dans le cadre de nos recherches, et visant des formes d'organisations particulières (identifiées dans le chapitre 3). Nous présenterons particulièrement le développement final du prototype *Bat'iViews*, véritable proposition de cette thèse et aboutissement de multiples travaux expérimentaux,
- Enfin, le chapitre 8 est consacré à la *validation de nos propositions*. D'abord, nous montrons comment l'approche par les modèles a guidé nos développements de prototypes d'outils. Puis, nous présentons des éléments de « validation métier » des deux prototypes principaux de notre proposition.

Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments.
Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération.

Partie 1

Une approche théorique du secteur du bâtiment et de la construction

Définition d'une problématique

Chapitres

- Ch.1* Le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction.
- Ch.2* Une problématique de recherche centrée sur l'amélioration des processus coopératifs en phase chantier.

Chapitre 1. Le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction

Le secteur d'activité de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (AEC¹) regroupe des acteurs qui sont impliqués dans des actions spécifiques tout au long du cycle de vie du bâtiment. Ce cycle de vie se compose, dans les cas les plus fréquents², et selon des approches communes, des phases suivantes :

- Le montage de l'opération est assuré par le maître d'ouvrage. Cette phase consiste à acquérir le terrain, définir le programme du futur bâtiment, son financement ainsi que de structurer l'organisation des acteurs qui interviendront dans les autres phases de l'opération en déterminant le type de contrat à engager. Éventuellement, une procédure de concours peut être menée pour choisir l'équipe de maîtrise d'œuvre,
- La conception est réalisée par cette équipe de maîtrise d'œuvre : l'architecte est entouré de spécialistes divers afin de formuler une réponse architecturale, technique et économique au programme du maître d'ouvrage. Selon la mission qui lui est confiée, la maîtrise d'œuvre peut assister le maître d'ouvrage dans la passation des marchés de travaux, la coordination des travaux, leur exécution et la réception,
- La réalisation des travaux est la phase dans laquelle le bâtiment est réellement « produit ». Elle est assurée par les entreprises de construction. Là encore, la configuration organisationnelle est variable. On distingue généralement une forme de marché en « entreprise générale », où un entrepreneur coordonne tous les sous-traitants, et une forme de marché en corps d'état séparés, où les différents corps d'état techniques

¹ Ce secteur est souvent appelé AEC, pour « Architecture Engineering and Construction » dans la dénomination anglo-saxonne. Nous ferons régulièrement usage de cet acronyme dans la suite de ce mémoire.

² Nous reviendrons dans ce premier chapitre sur les configurations particulières innovantes qui peuvent être mises en place dans certains types d'opération, tels que les contrats de partenariat public-privé.

(entreprises de construction) réalisent leurs activités sous la direction d'un coordinateur (architecte, pilote),

- La réception de l'ouvrage relève de la responsabilité du maître d'ouvrage, le plus souvent assisté du maître d'œuvre, avant la mise en exploitation de l'ouvrage : la réception peut être provisoire, avec des réserves à lever, ou définitive,
- Enfin, dans les approches contemporaines de développement durable dans la construction, les phases d'exploitation et de démolition ou de requalification ont une importance toute particulière. Ainsi le lien entre conception/réalisation et exploitation est essentiel, notamment en ce qui concerne la qualité d'utilisation du bâtiment : par la prise en compte des besoins des utilisateurs dès la conception, par le choix des matériaux mis en œuvre etc. Enfin, au terme de son utilité pour son maître d'ouvrage, la requalification peut être plus ou moins aisée (selon la conception initiale des espaces et le type d'occupation possible) et la démolition plus ou moins problématique (exemple de la présence d'amiante dans de nombreux bâtiments).

Cette approche classique décompose les étapes du cycle de vie d'un bâtiment. D'autres auteurs, comme Bougrain et Carassus, étendent cette notion de cycle de vie à l'ensemble de la « filière bâtiment » [Bougrain et Carassus 2003a].

Ils soulignent que les phases de *montage d'opération et de conception/réalisation* sont accompagnées *d'activités continues de gestion du stock d'ouvrages existants* et qu'elles s'élargissent aux *activités de production industrielle et de distribution* de matériaux, composants, équipements et matériels.

D'une approche classique (basée sur un enchaînement limité de phases) à l'approche systémique de Bougrain, prenant en compte de manière plus large toutes les activités liées au domaine de la construction de bâtiments (et notamment leur impact économique), nous voyons que ce secteur d'activité est complexe. Il se distingue d'autres secteurs de production industrielle par un certain nombre de caractéristiques de nature organisationnelle (structure des équipes d'acteurs et relations), économique (interdépendances entre micromarchés), ou encore liées à l'objet de production lui-même : le bâtiment (objet situé).

D'un point de vue organisationnel, qui nous intéresse plus particulièrement, cette complexité engendre de manière récurrente des dysfonctionnements (retards, malfaçons) et semble

réfractaire aux tentatives d'introduction de nouvelles méthodes ou outils pour améliorer les processus.

Afin de mieux comprendre cette situation, nous proposons dans ce premier chapitre une analyse théorique, basée sur la littérature spécialisée dans le secteur de l'architecture et de la construction. Nous tenterons de mettre en exergue ses spécificités, d'un point de vue organisationnel, sociologique et économique, par rapport à d'autres domaines de production. Enfin, nous détaillerons les enjeux majeurs auxquels il se confronte actuellement.

1.1. Le secteur du bâtiment : ses caractéristiques et son potentiel d'innovation

1.1.1. Des caractéristiques propres à l'organisation du secteur et à son évolution historique

L'organisation du secteur de la construction présente des structures économiques dont la nature et les relations sont profondément ancrées dans une évolution historique du marché qui l'a conduit vers sa forme actuelle. Les particularités de ce secteur (§1.1.1.1) s'expliquent en grande partie par ses fondations historiques (§1.1.1.2), mais répondent aussi à l'activité particulière qu'est la production du bâtiment. Si des dysfonctionnements sont toutefois identifiables, les changements qui pourraient améliorer les conditions de production sont particulièrement difficiles à mettre en place. En effet, une forme de verrouillage de l'organisation des activités et d'auto-renforcement contraint les pratiques professionnelles dans le secteur (§1.1.1.4) [Brousseau et Rallet 1995].

1.1.1.1. Caractéristiques générales du secteur de la construction de bâtiment

Les réseaux d'acteurs impliqués dans les opérations de conception et de construction de bâtiments sont *éphémères* :

- Une caractéristique essentielle dans les opérations de construction relève du fait que les relations entre acteurs sont de courte durée. En effet, les partenaires changent d'une opération à l'autre. Il est donc difficile de créer des relations durables,
- De plus, la topologie du réseau évolue au cours du projet. Dans les phases de programmation, conception, réalisation, utilisation, et démolition, les acteurs interviennent de manière la plus souvent séquentielle.

Les structures professionnelles sont *hétérogènes* :

- Selon Brousseau et Rallet, le système productif dans le bâtiment s'est fragmenté en une multitude d'entités mono-spécialisées et juridiquement indépendantes. Cela est dû essentiellement « à la très grande hétérogénéité de la demande, au caractère fortement localisé des marchés et à l'impossibilité pour les firmes du secteur d'accumuler du capital » (p9),
- Les « logiques métiers » en situation de coopération sont très différenciées notamment par leurs compétences, leurs modes opératoires, leurs objectifs, et les contraintes liés au métier même ou au type d'entreprise [Evette et Thibault 2000]. Les stratégies d'échanges d'informations, sur lesquelles nous reviendrons, sont aussi différenciées avec une part de non-dit significative [Kubicki et al. 2005b]. Enfin, chaque acteur utilise des outils qui sont adaptés aux tâches qu'il doit réaliser, mais aussi à ses compétences, sa formation etc. Si le projet de conception/réalisation est unique, les « vues » que les acteurs manipulent de ce projet à travers leurs outils sont très différentes [Halin 2004].

Les intervenants sont *nombreux* et une forte interdépendance temporelle de leurs interventions rend toujours plus difficile la coordination. Des périodes « non-productives » séparent généralement de courts moments de production directe sur le projet (aussi appelées « charrettes » dans le jargon du domaine). Cette caractéristique essentielle peut amener certains acteurs à se désintéresser de l'état d'avancement des projets dans lesquels ils sont impliqués s'ils n'ont pas de tâche concrète à réaliser.

Le raccourcissement des délais de projets, dû notamment à la réduction des marges de manœuvre financière des maîtres d'ouvrage [Tahon 1997], rend plus critique encore ce problème de la bonne coordination des activités.

Il existe de plus une forte *incertitude* qui est liée à l'activité de production du bâtiment elle-même :

- Il s'agit d'une activité unique, tout bâtiment étant par nature un prototype au sens industriel du terme. La reproductibilité des opérations est donc limitée. Si à un niveau très fin elles tiennent du savoir-faire de l'artisan ou du compagnon³, à une échelle plus large chaque projet combine des opérations de base parfois identiques mais effectuées dans des conditions très différentes avec un objectif toujours unique. La capitalisation

³ En France, et dans le milieu professionnel du bâtiment, le titre de « compagnon » est attribué à l'ouvrier qui, après avoir rempli son temps d'apprentissage, a entamé un tour de France et réalisé un chef-d'œuvre [Les Compagnons du Devoir 2005].

de connaissance telle qu'elle s'exprime dans certains domaines de l'ingénierie est presque impossible dans celui du bâtiment,

- Ajoutons que le marché de la construction se caractérise par une demande variable. Par exemple, la pression foncière croissante et la densité dans les zones urbaines conduisent à une évolution de plus en plus marquée de la demande, donc de la nature des opérations immobilières, en privilégiant les opérations de réhabilitation (friches industrielles, logements insalubres) et de requalification (immeubles de bureaux construits dans les années 60-70). On retiendra que ce n'est pas toujours le même type de commande qui domine. Les professionnels doivent donc s'adapter au type de projet dans lesquels ils sont impliqués,
- L'incertitude est renforcée par la quantité d'aléas externes qui viennent perturber l'activité. Tout d'abord, le niveau de définition du projet et la précision du cahier des charges sont un problème majeur. L'unicité du projet, ainsi que son état progressif de définition (lors de la passation de marché un certain nombre de détails restent à résoudre, en lien avec les compétences de l'entreprise retenue par exemple) génèrent une grande difficulté de précision. Le programme du maître d'ouvrage lui-même évolue encore durant la phase de conception, le savoir-faire de l'architecte est nécessaire pour aider à la définition précise du projet. Enfin, l'activité de réalisation (le chantier) s'effectue évidemment « sur site ». Des problèmes non anticipés apparaissent souvent dus par exemple à la composition géotechnique des sols ou encore aux conditions climatiques de la mise en œuvre (intempéries) [Ward et al. 2004].

La *documentation* à propos du projet est abondante et sa gestion est problématique :

- Tout d'abord les éléments de description du projet sont de nature variée : plans 2D (plans, coupes et façades), maquettes, maquettes 3D (ou virtuelles), pièces écrites (par exemple, les Descriptifs-Quantitatifs-Estimatifs) ou encore images (croquis manuels, perspectives, simulations d'insertion),
- En marge de ces documents propres au projet, de nombreux textes réglementaires sont cités en référence (lois, normes, Avis Techniques, Documents Techniques Unifiés pour certains ouvrages particuliers). D'autres documents de ce type peuvent être produits pour des mises en œuvre particulières (uniques ou expérimentales) comme les ATEX (Appréciation Technique d'EXpérimentation),
- Enfin, de nombreux documents servent de supports de transmission de l'information de coordination, comme les comptes-rendus de chantier par exemple.

1.1.1.2. Un héritage historique dans le contexte français de la construction

Ces caractéristiques du domaine AEC sont le résultat d'une évolution organisationnelle du secteur, particulièrement depuis les années de reconstruction d'après-guerre. Cette évolution n'a jamais vraiment tendu à rapprocher le secteur des modèles issus de l'industrie « classique » de production. Le contexte économique, législatif, politique et socio-culturel français a, bien entendu, largement contraint ce développement. D'ailleurs, dans d'autres pays comme le Japon, le système de production est différent et parfois plus proche de celui de l'industrie.

En France, le secteur se caractérise par quelques grands groupes de construction (surtout des entreprises générales qui sont souvent, à l'origine, des entreprises de gros-œuvre) aux côtés desquelles se développe un tissu de PME (Petites et Moyennes Entreprises) de réalisation (corps d'états⁴ spécialisés), mais aussi d'architecture (agence) ou encore d'études techniques (bureau d'études). Les grands groupes se placent du côté de la production alors que la conception est plutôt portée par plusieurs structures professionnelles de petite taille.

Ces diverses entreprises ont en commun la caractéristique d'être le plus souvent mono spécialisées.

Bien sûr, certains groupes semblent présenter plusieurs spécialités. Mais ces entreprises résultent en général de regroupements de capitaux ou de services de gestion plutôt que de réels regroupements techniques, même si elles cherchent à le faire (par exemple avec les concours en conception/construction). De plus elles sont souvent issues de rachats ou de fusion. Dans le bâtiment, ces grandes entreprises ne maîtrisent pas le processus de conception/réalisation dans son ensemble. Elles apparaissent comme des « conglomerats de PME très indépendantes qui, en dehors des opérations exceptionnelles ne travaillent pas ensemble » [Brousseau et Rallet 1995].

On notera aussi l'absence d'apprentissage qui caractérise ces entreprises de production, qui préfèrent se spécialiser dans une technique donnée de leur champ spécialisé. Par exemple, le plâtrier a progressivement cédé sa place aux spécialistes de la pose de plaques de plâtre. Les spécificités de chaque opération n'incitent pas les entreprises à investir dans des méthodes ou des techniques nouvelles qui seront difficilement ré-exploitable par la suite.

D'un point de vue économique, l'acquisition de capital est très difficile pour ces entreprises qui travaillent en flux tendu, adaptant à chaque opération leur offre à une demande sans cesse

⁴ On appelle « corps d'état » chacune des spécialités du bâtiment ainsi que les entreprises qui les mettent en œuvre [De Vigan 1992].

différente. Elles n'ont à l'heure actuelle que peu de prise sur la définition technique du projet en amont de sa réalisation.

La législation en vigueur tend d'ailleurs à renforcer ces caractéristiques. Dans les marchés publics, la loi MOP⁵ (Maîtrise d'Ouvrage Publique) définit la séparation des phases et des missions attribuées aux acteurs. Ainsi, une fois le projet conçu dans les phases ESQ (Esquisse), APS (Avant Projet Sommaire) et APD (Avant Projet Définitif), la Passation des Marchés doit se faire selon une mise en concurrence et une attribution du marché à l'entreprise la mieux-disante.

Enfin, d'un point de vue socio-culturel, on peut remarquer que jusqu'à présent, cette forme d'organisation laisse une place assez grande à l'expression de l'architecte. Les procédures de concours favorisent la diversité et la séparation des phases de conception et de réalisation permet au concepteur, entouré de son équipe d'ingénierie, de concevoir des solutions innovantes sur les plans techniques et architecturaux. Cependant, comme nous le verrons par la suite, cet état de fait est aujourd'hui en question. Les architectes craignent une réduction de leur autonomie et de leur rôle au sein des projets.

1.1.1.3. Des pratiques adaptées à ces spécificités

Les pratiques professionnelles se sont adaptées historiquement à ces caractéristiques propres aux opérations architecturales et à l'évolution du secteur. Deux caractéristiques majeures de ces pratiques, essentielles pour la compréhension de la structure organisationnelle dans ce secteur, ont été mises en avant dans les travaux des économistes Eric Brousseau et Alain Rallet [Brousseau et Rallet 1995] :

- Les décisions sont généralement décentralisées ce qui répond en partie à la fragmentation des équipes,
- Les interactions entre les intervenants ont souvent une nature informelle, ce qui laisse de la place à la négociation.

Tout d'abord, la fragmentation des acteurs du secteur a entraîné assez logiquement une *décentralisation des décisions* et un *partage des responsabilités* liés aux missions définies par la

⁵ La loi sur la Maîtrise d'Ouvrage Publique a été promulguée le 12 juillet 1985. Il s'agit d'une « loi relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée ».

loi MOP et endossées par les différents professionnels. Les contrats déterminent les objectifs de chaque mission. Notons tout de même qu'ils ne définissent pas clairement le processus⁶ à suivre dans le détail. Ils sont peu codifiés et une grande liberté est possible dans les méthodes de mise en œuvre des missions.

Ensuite, les *règles d'interactions* entre les acteurs sont souvent *informelles*, voire implicites. L'ajustement mutuel entre les acteurs est courant et nombre de problèmes ne sont pas résolus par des voies hiérarchiques. Les activités de coordination sont menées de manière « ad-hoc » et ne font pas vraiment l'objet de procédures de capitalisation de connaissance. L'oralité caractérise largement les interactions entre les acteurs : réunions informelles sur site ou par téléphone. Cette communication informelle joue un rôle important dans la gestion des événements non anticipés et la résolution de problèmes critiques [Johanson et Törlind 2004].

De plus, de nombreuses activités relèvent de « savoir-faire » qui sont généralement transmis de manière orale et même manuelle. Enfin, l'hétérogénéité des professionnels et leur spécialisation très fine engendrent une difficulté d'optimisation globale du système car même les acteurs coordinateurs n'ont qu'une connaissance limitée des activités des autres acteurs.

Ces pratiques collectives particulières dans le secteur du bâtiment permettent une certaine souplesse dans l'activité. Cette forme de gestion de projet qui peut apparaître déroutante au premier abord, assure la réactivité des équipes aux changements qui peuvent intervenir à tout moment lors de la conception ou de la construction (modification du projet, aléas climatiques etc.). La décentralisation des décisions favorise notamment la légitimité d'un « acteur responsable » dans un processus de prise de décision (particulièrement délicat dans un contexte multi-intervenants) (Cf. §1.1.2).

1.1.1.4. Verrouillage et auto-renforcement

Brousseau et Rallet soutiennent que les particularités du secteur du bâtiment sont fondamentales car elles engendrent par leur nature même des phénomènes de verrouillage organisationnel et d'auto-renforcement des pratiques. Les auteurs expliquent que les professionnels du secteur sont enfermés dans des « rôles ou des registres comportementaux desquels il leur est difficile de sortir

⁶ Nous utiliserons le terme de processus pour définir « un ensemble d'opérations successives, organisées en vue d'un résultat déterminé [TLFI].

à la fois parce qu'ils n'en ont pas les moyens (contrainte de ressources, notamment cognitives) et parce qu'ils en sont dissuadés par le système dans lequel ils sont insérés (contraintes relationnelles et règles) » [Brousseau et Rallet 1995].

Ainsi, la « trajectoire organisationnelle » s'auto-renforce elle-même puisque la fragmentation entraîne une décentralisation des décisions, que la législation contrôle en codifiant les rôles individuels (dans les missions de la loi MOP par exemple) et en interdisant l'intégration (des entreprises afin de préserver la mise en concurrence). La coordination informelle, qui par ailleurs donne généralement des résultats surprenant d'intérêt, renforce elle-même ce dispositif dynamique (Figure 1).

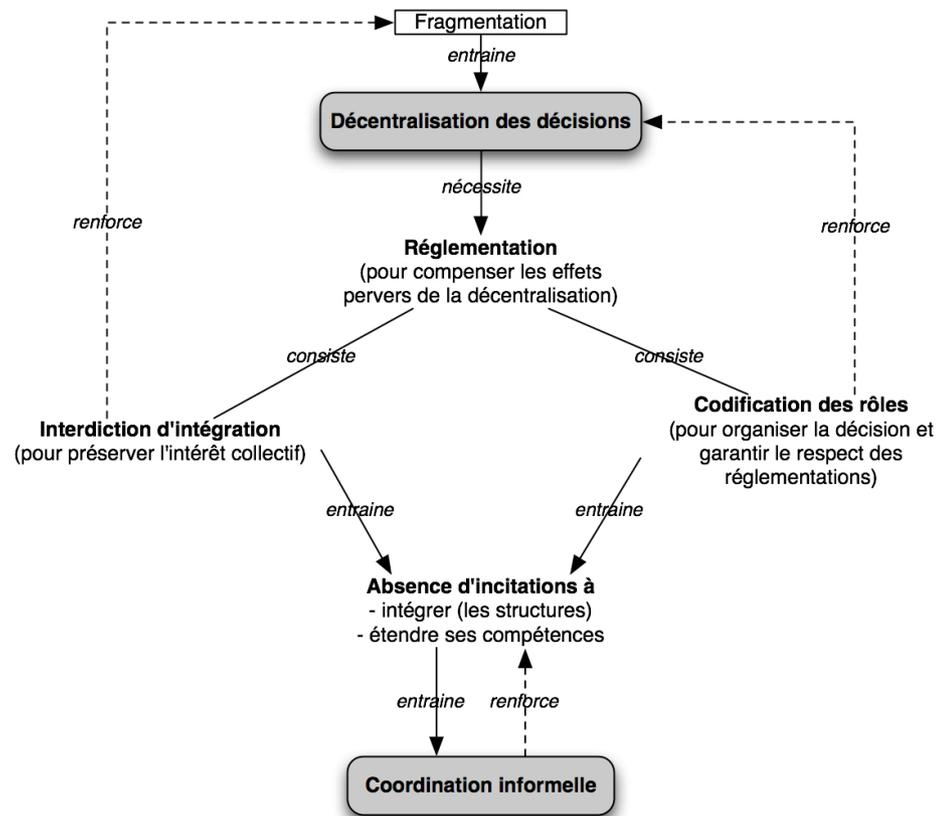


Figure 1 : La dynamique du secteur sur une trajectoire organisationnelle, inspiré de [Brousseau et Rallet 1995]

1.1.2. Des limites qualitatives de ce système de pratiques

Le cycle des activités mises en œuvre dans la production du cadre bâti et la dynamique organisationnelle que nous venons de traiter, font aujourd'hui l'objet de nombreuses analyses et recherches sous l'angle qualitatif.

1.1.2.1. La qualité

La notion de « qualité » soulève à elle seule un certain nombre de questionnements [Cruchant 2000]. Ce concept peut en effet renvoyer à plusieurs acceptions. Il peut désigner autant la satisfaction d'une exigence énoncée (norme, objectif) que le dépassement de l'exigence courante habituellement acceptée (ce qui va au-delà du standard). La problématique contemporaine autour de la qualité se porte surtout sur les processus, leur définition qualitative (normes ISO⁷) et leur certification.

Dans le domaine du bâtiment, la question est abordée selon différents points de vue. Philippe Dehand décrit ainsi trois familles d'indicateurs de qualité pour l'évaluation des opérations de logements [Dehan 1999] :

- La pertinence de la définition programmatique, qui regroupe des objectifs sociaux et urbains, des caractéristiques d'implantation ainsi que de programmation (objectifs de la commande, prix),
- Les qualités architecturales de l'objet bâti, divisées en trois parties : formes (urbaines, spatiales), usage (fonctionnalité, symbolique, intimité), pérennité (constructive, technique, esthétique et environnementale),
- La qualité du processus de production, qui s'exprime d'abord à travers la compétence (technique et financière) du maître d'ouvrage et celle du maître d'œuvre (adéquation avec le maître d'ouvrage, « qualité intrinsèque » du concepteur). La définition fine des missions est aussi essentielle, et notamment des relations entre conception et chantier et entre les différents intervenants. Enfin, la qualité du dialogue sur le projet lui-même, à travers la circulation de l'information et la confiance entre les hommes, se rapproche du besoin de coordination de l'activité.

Si cette définition nous semble très pertinente à travers les critères choisis, nous noterons tout de même qu'elle converge essentiellement vers une évaluation qualitative de l'objet architectural

⁷ Définition ISO et exemple de normes ISO sur la qualité (9001)

(points 1 et 2 ci-dessus). Cette remarque rejoint d'ailleurs la vision générale des professionnels de l'architecture sur le concept de qualité, que nous avons pu noter à diverses reprises⁸. Ajoutons que ces critères nous semblent généralement ambigus et difficilement quantifiables lors de leur utilisation dans une situation d'analyse, comme l'évaluation de la « pérennité esthétique » ou la « qualité intrinsèque du concepteur ».

Les démarches de qualité environnementale montrent aussi que les critères d'évaluation de la qualité peuvent s'adapter à une démonstration particulière. Dans ce cas, les indicateurs sont de nature architecturale (espaces, orientation), technique (dispositifs ou matériels particuliers) ou encore de nature à évaluer le processus de construction (nuisances du chantier) du point de vue strictement environnemental.

1.1.2.2. Un point de vue sur l'évaluation de la qualité

L'approche organisationnelle du secteur de la construction que nous développons dans ce premier chapitre nous oriente vers l'évaluation des pratiques collectives dans le domaine du bâtiment. Ce sont donc plus les processus qui nous intéressent que le résultat même du projet, même s'il est évident que la qualité, dans la conduite du processus, a un impact sur la qualité du projet construit.

Afin de poursuivre notre propos sur les caractéristiques du secteur du bâtiment, particulièrement dans leur dimension collective, nous proposons de mettre en évidence les dysfonctionnements dans les pratiques contemporaines à travers le critère de « qualité dans la conduite des processus » [Kubicki et al. 2005b].

En nous appuyant en particulier sur les travaux de Hanrot [Hanrot 2003], Tahon [Tahon 1997], Alluin [Alluin 1998] ainsi que Brousseau et Rallet [Brousseau et Rallet 1995], nous distinguerons les dysfonctionnements liés à l'intégration des intervenants, aux interactions entre ceux-ci, à la gestion documentaire, à la réalisation du bâtiment ainsi qu'aux aspects économiques d'une opération de construction.

⁸ Les cinquièmes rencontres du réseau RAMAU (31 mars - 01 avril 2005) sur le thème de la « qualité et maîtrise des processus dans les projets d'édifices » nous ont conforté dans cette idée. En effet, les différents échanges ont montré que les professionnels de l'architecture sont largement sensibilisés à la question qualitative dans l'évaluation des projets et beaucoup moins dans l'évaluation des processus.

1.1.2.3. L'intégration des intervenants

- La définition de la *mission « suivi de travaux »* est bien souvent insuffisante. Cela conduit à une mauvaise répartition des responsabilités et une mauvaise compréhension du rôle opérationnel de chacun dans le projet,
- La frontière entre la « *direction des travaux* » et la *mission d'OPC*⁹ est floue. En situation de chantier, la fonction de coordination peut être répartie entre plusieurs acteurs. Aucun d'entre eux n'a vraiment la compétence (par sa formation) pour endosser tous les aspects de la coordination¹⁰,
- À chaque opération, et à un niveau très fin, les tâches *peuvent être réparties de manière différente entre ces professionnels* (en rapport avec leur mission, leur compétence etc.). Il en résulte que l'émergence d'un acteur « légitime » lors des prises de décisions est difficile, et des rejets de responsabilités entre les intervenants sont fréquents,
- Enfin, on note souvent le *peu de rigueur dans la conduite des réunions*, qui ne comportent pas toujours d'ordre du jour et dans lesquelles les tours de parole ne sont pas respectés.

1.1.2.4. Les interactions entre intervenants

- La *lisibilité des processus en cours dans l'activité collective n'est pas aisée* et elle est peu partagée. Les acteurs manquent de connaissance sur les activités réalisées par leurs collaborateurs et surtout ils disposent de peu de moyens pour obtenir ces informations aisément. De plus, certains intervenants occultent volontairement certaines informations, par exemple, l'état d'avancement réel de leurs tâches afin d'éviter de devoir rendre des comptes sur leur implication dans le projet,
- La *traçabilité des évolutions de l'opération et notamment des prises de décisions* est rendue particulièrement difficile par le caractère informel des échanges,
- La *méconnaissance des partenaires du projet*, due au renouvellement régulier des équipes de projet, entraîne une certaine méfiance entre les intervenants. De plus, le

⁹ La mission OPC (Ordonnancement Pilotage et Coordination) est définie dans le cadre de la loi MOP.

¹⁰ Le volet administratif est assumé par le maître d'ouvrage avec une délégation possible à un « assistant à la maîtrise d'ouvrage » tiers. L'architecte en collaboration avec le (ou les) bureau(x) d'études contrôle les décisions techniques et esthétiques ou les dispositifs modifiés par rapport aux plans d'exécution. Le pilote lorsqu'il est requis (pour les opérations importantes) gère la coordination à niveau macroscopique (transmission des informations, tenue des réunions).

rayon d'action géographique des entreprises étant relativement faible, la réputation joue un rôle essentiel dans les relations,

- Cette *méfiance* est d'ailleurs aussi explicable par le fait que chacun définit des stratégies qui lui sont propres et qui visent à optimiser le rendement de son entreprise dans un contexte multi-projet, et pas uniquement dans un projet donné. Une divergence d'intérêts se ressent donc entre les professionnels¹¹,
- La *spécialisation fine des entreprises* entraîne une redéfinition du projet en phase de préparation de chantier. Mais l'entreprise retenue suite à la consultation des entreprises (phase DCE de la loi MOP) n'est pas forcément la plus compétente pour une réalisation donnée. En effet, la règle de l'appel d'offre (dans les marchés publics) est celle de l'attribution du marché à l'entreprise la moins-disante (celle dont le devis est le moins cher),
- Enfin, les *interfaces entre les entreprises* (réalisation de tâches nécessitant une coordination particulière) ne sont pas toujours bien documentées ou encore mal définies. Elles sont d'ailleurs parfois difficilement prévisibles car au-delà de la proximité géographique, la temporalité des interventions des entreprises peut poser un problème difficilement anticipable.

1.1.2.5. La circulation et la nature des documents

- Le premier problème concernant les documents est celui de la *mauvaise diffusion auprès des personnes concernées* [Tahon 1997]. Ce problème est essentiellement dû au manque d'outils permettant la diffusion des documents. En effet, l'informatisation des acteurs du secteur étant particulièrement lente, de nombreuses entreprises utilisent encore des moyens de communication peu évolués. Les plans sont souvent centralisés chez un imprimeur auquel elles peuvent les commander en version papier,
- Dans la période de transition actuelle, la *mauvaise utilisation des outils informatiques*, due au manque de formation, entraîne aussi des dysfonctionnements importants,
- La *gestion des mises à jour et des versions* des divers documents pose aussi problème pour les mêmes raisons,

¹¹ Par exemple, un retard d'une entreprise sur une opération peut être dû à une urgence de travaux sur une autre réalisation et conduit donc à une démobilisation du personnel.

- La *multiplication des documents* favorise de plus un risque d'erreur et de disparité important d'un document à l'autre¹²,
- Des *erreurs ou des incompréhensions dans la lecture des documents techniques* existent aussi et sont liées à la mauvaise interprétation de ces documents par des professionnels, pas toujours bien formés [Tahon 1997],
- Enfin, des *incohérences* peuvent exister entre les plans de l'architecte, les plans techniques de l'ingénieur et les plans d'exécution des entreprises du fait du partage des tâches, d'une mauvaise concertation ou d'incompréhensions entre les acteurs.

1.1.2.6. Les dysfonctionnements liés spécifiquement à l'activité de construction

- Les particularités des ouvrages bâtis et des techniques de mise en œuvre génèrent aussi des dysfonctionnements. La superposition des tolérances propres à la réalisation de différents ouvrages successifs et à l'intervention de différents corps d'état techniques en est un exemple,
- L'intégration des points de vue des différents intervenants impliqués est difficile à réaliser [Hanrot 2003]. Ainsi, les points de vue techniques (y compris celui des entreprises) nécessitent parfois des compromis difficiles à atteindre dans le respect des coûts et des normes,
- Les conditions de réalisation (chantier extérieur et ouvert) et de travail (sur site) sont peu favorables à une parfaite maîtrise des processus. Les aléas météorologiques ou encore des actes de malveillance peuvent entraîner des dégradations d'ouvrages en cours de réalisation ou terminés.

1.1.2.7. Le coût

D'une manière générale, les coûts sont relativement difficiles à anticiper et les dépassements de budget sont fréquents dans les opérations de construction de bâtiment. Sans exposer ici une étude approfondie des facteurs de maîtrise des coûts dans les opérations de construction, nous livrons tout de même quelques éléments de compréhension.

¹² Ainsi, en ce qui concerne la représentation du projet, des plans et des descriptifs textuels (CCTP) décrivent le même « objet » conçu et sont autant de « vues » sur cet objet. Cependant, les documents ne sont pas toujours réalisés par la même personne ou au même moment. Il peut donc y avoir contradiction entre les pièces descriptives. En termes de responsabilité, ce problème est géré par la loi déclarant les pièces écrites toujours valables, mais cela n'empêche pas des erreurs régulières.

D'abord certaines difficultés existent dans les projets eux-mêmes :

- Les *contraintes liées à l'environnement direct* sont difficilement prises en compte dans le chiffrage initial du projet. Par exemple, la constitution des sols entraîne parfois un renforcement nécessaire des fondations en cours de chantier. Les études préliminaires ne permettent pas toujours de les anticiper. Les dégradations liées aux conditions météorologiques, à la malveillance ou encore les vols renforcent aussi ces incertitudes,
- Les *problèmes de coordination* se traduisent directement ou indirectement par des surcoûts (surfacturation d'un ouvrage non prévu, envois de documents hors délais etc.),
- La question plus globale de *l'amortissement du bâtiment* reste encore trop souvent mal anticipée¹³.

De plus, les acteurs du secteur sont soumis à d'autres problèmes :

- Les entreprises du secteur ont beaucoup de difficultés à *amasser du capital* pour se développer [Brousseau et Rallet 1995]. Elles fonctionnent le plus souvent en flux tendu, commandant par exemple les matières premières en fonction du besoin, ou embauchant du personnel temporaire en fonction de la quantité de travail à fournir,
- En ce qui concerne les architectes, ils exercent le plus souvent dans de *petites structures* et ils sont confrontés à des interlocuteurs différents à chaque projet. La rémunération « à la mission » dans les marchés publics est problématique du fait de la restriction des missions que l'architecte endosse (cela se limite de plus en plus souvent aux missions de conception, le suivi de chantier étant parfois délégué). La nature même des projets qu'ils réalisent varie souvent et le retour d'expérience est donc particulièrement difficile.

1.1.2.8. Conséquences

Si le système de pratique a su s'adapter en intégrant une dynamique organisationnelle propre au secteur, les dysfonctionnements évoqués se répercutent cependant bien souvent sur le processus collectif :

- Tout d'abord les *délais de production* se trouvent anormalement longs et restent mal maîtrisés. Indirectement donc, les surcoûts liés à ces délais viennent peser sur le budget global,

¹³ Des mauvais choix lors de la conception peuvent se répercuter lors de l'usage par des coûts de fonctionnement très élevés (par exemple une baie vitrée peut entraîner d'énormes coûts de climatisation en été).

- La *difficulté de traçabilité des actions* de chacun rend ardue la tâche consistant à définir les responsabilités en cas de litige. Dans ce contexte, des mécanismes particuliers sont mis en place pour éviter certains blocages, par exemple un compte « inter-entreprises » en phase de réalisation permet de répartir les frais de dégâts divers non directement imputables à l'un ou l'autre des professionnels,
- D'un point de vue sociologique, *l'ambiance et les conditions de travail* ne sont pas toujours optimales. Des comportements opportunistes peuvent apparaître entre les acteurs. La qualité de leurs rapports est notamment dépendante de la réputation de chacun, ou de l'entreprise. De plus, la pression économique, qui favorise les stratégies internes, limite le degré d'implication dans le projet,
- La *gestion documentaire* est problématique. Les technologies de communication émergentes semblent mal adaptées à un secteur dominé par des interactions informelles. La conséquence est que les circuits de communication restent basiques, les acteurs n'investissant que très peu de temps ou d'argent dans ce domaine,
- Enfin, les *défauts qualitatifs sur l'ouvrage* lui-même concernent directement le maître d'ouvrage en fin de chantier et durant l'utilisation du bâtiment.

D'une manière générale, on constate que toute démarche d'amélioration de la qualité des processus collectifs est rendue particulièrement ardue dans ce contexte. La décentralisation, le manque de traçabilité des décisions, la non-reproductibilité des tâches ou encore les contraintes de l'environnement direct de l'activité engendrent des processus collectifs « ad-hoc », c'est-à-dire qu'ils sont définis et réalisés une seule fois en fonction d'un besoin ou d'un problème donné. De plus, ces processus s'auto-renforcent du fait de la législation en vigueur et du manque d'innovation de la part des acteurs (Cf. Figure 1).

Cependant nous ne manquerons pas de souligner l'efficacité du système de production du bâtiment dans un contexte aussi peu favorable. La flexibilité, introduite surtout à travers la décentralisation des décisions et le caractère informel des échanges, permet de répondre à des situations nouvelles ou imprévues mêlant des groupes d'acteurs hétérogènes.

1.1.3. L'innovation

Nous insistons donc sur le fait que certaines particularités des pratiques collectives sont parfaitement adéquates aux besoins des acteurs puisque les projets sont tout de même menés à

bien de manière « raisonnable » dans la plupart des cas (nous y reviendrons dans la suite de ce mémoire).

Nous nous tournerons plutôt maintenant vers les moyens qu'ont les acteurs du secteur pour faire évoluer leurs pratiques dans un esprit d'innovation.

« Innover » se définit comme le fait « d'introduire quelque chose de nouveau pour remplacer quelque chose d'ancien dans un domaine quelconque¹⁴ » [Dictionnaire Answers.com].

« L'innovation » se trouve plus précisément dans « l'action, le fait d'innover » et dans « le résultat de cette action, la chose nouvelle introduite¹⁵ » [TLFI¹⁶].

Dans le contexte de l'entreprise, l'innovation se développe le plus souvent dans des cellules spécialisées de Recherche & Développement (R&D). Dans le secteur de la construction, on remarque que la plupart des entreprises ne disposent pas de ce type de cellules (mis à part certains industriels), et que l'innovation est beaucoup moins formalisée [Bougrain et Carassus 2003b]. Elle est cependant bien présente à travers des actions peu spectaculaires, nécessitant peu d'investissements et résultant plutôt de la coopération de tous les acteurs plutôt qu'impulsée par un « département de l'innovation ».

Nous distinguons deux échelles d'analyse de l'innovation dans le secteur du bâtiment allant de l'entreprise unique à l'organisation existante autour d'un projet donné.

1.1.3.1. L'innovation à l'échelle de l'entreprise

L'innovation prend diverses formes lorsqu'elle est impulsée à l'échelle de l'entreprise, au sens général du terme.

- Tout d'abord dans les services, on constate une évolution des pratiques. Par exemple, dans la gestion locative, où l'utilisateur final est sensible à l'engagement des gestionnaires. Certaines entreprises de bâtiment étendent leur gamme de services dans un esprit concurrentiel afin de garantir la qualité des travaux ou la propreté du chantier. Les fabricants de matériaux sont par nature plus habitués à l'innovation commerciale avec le renouvellement des gammes de produits, les activités de marketing etc. Les

¹⁴ <http://fr.answers.com/main/ntquery.jsessionid=8o467ecdqn3t0?tname=innover-1&sbid=lc06a>

¹⁵ http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/fast_exe?mot=innovation

¹⁶ Le Trésor de la Langue Française Informatisé est développé par l'ATILF (Analyse et Traitement Informatique de la Langue Française), associée au CNRS et à l'Université de Nancy II. Il propose un service en ligne de consultation du Trésor de la Langue Française, un dictionnaire des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. <http://atilf.atilf.fr/>

entreprises de construction proposent depuis quelques années des garanties de résultat (c'est le cas par exemple en ce qui concerne le rendement et l'amortissement de capteurs solaires),

- De nombreuses entreprises mettent en œuvre aujourd'hui des méthodes d'amélioration de la qualité interne de leurs processus. Ces méthodes normalisées (ISO) permettent une ré-interrogation sur les objectifs de l'entreprise et les moyens de les atteindre. Il s'agira, par exemple, de redéfinir de manière optimale l'enchaînement des tâches à réaliser en vue d'un objectif donné. Elles peuvent aussi concerner les méthodes de gestion, de classement de documents, de fonctionnement interne des sociétés etc,
- Dans certains cas, elles entraînent le développement et l'utilisation d'outils spécifiques au sein de l'organisation. Ces outils ont pour but d'assister les méthodes de travail en automatisant partiellement certaines tâches ou en contrôlant le déroulement des processus. Nous insistons sur le fait que ces développements ont trop souvent été réalisés de manière interne aux entreprises, et ne contribuent donc qu'à des innovations « locales », qui sont toutefois nécessaires. On constate même que dans certains grands groupes les différents départements se sont équipés d'outils qui ne leur permettent pas de se communiquer des informations en interne (par exemple les outils de comptabilité ne sont pas reliés à la gestion des stocks),
- Du point de vue socio-culturel, un certain nombre d'innovations tentent de fédérer les équipes et d'impulser une « culture d'entreprise ». Ainsi, les séminaires en dehors de l'entreprise sont un moyen de favoriser les échanges.

Nous retiendrons que l'amélioration dans ce type d'innovation concerne donc directement l'activité propre d'un acteur (ou d'un groupe limité d'acteurs au sein d'une entreprise) mais ne vise pas l'activité collective des acteurs autour d'un projet commun.

1.1.3.2. L'innovation à l'échelle de l'organisation

À une échelle plus large que celle de la firme, l'innovation prend une forme organisationnelle. Nous avons vu le rôle prépondérant de la législation dans la répartition des rôles et dans la définition des relations contractuelles entre acteurs. Deux changements majeurs sont, à notre avis, synonymes d'innovation : les formes de contrats en partenariat public-privé et l'intégration des points de vue des acteurs hétérogènes autour du projet commun.

Les contrats de Partenariat Public-Privé (PPP) constituent une forme d'innovation organisationnelle dans le secteur du bâtiment. En effet, on constate dans les pays habitués à ces formes de marché une répartition des rôles différente et notamment, une relation étroite entre une entreprise générale consultée dès le lancement de l'opération et le maître d'ouvrage. Cette place donnée à l'entreprise en amont du projet lui permet d'intervenir dans les choix techniques ou structurels de la phase de conception et ainsi d'exploiter son savoir-faire afin d'éviter des incertitudes en phase de réalisation. En Angleterre, ces types de contrats se nomment *Private Finance Initiative* [Weathley 1993].

En France, une ordonnance gouvernementale du 17 juin 2004 « institue le régime général des contrats de partenariats ». Il s'agit d'un contrat administratif par lequel la personne publique peut confier à une entreprise une mission globale relative¹⁷ :

- Au financement d'investissements immatériels, d'ouvrages ou d'équipements nécessaires au service public,
- À la construction et à la transformation des ouvrages ou équipements,
- À leur entretien, leur maintenance, leur exploitation ou leur gestion,
- Le cas échéant, à d'autres prestations de service concourant à l'exercice par la personne publique de la mission de service public dont elle est chargée (par exemple les infrastructures informatiques).

« Le gouvernement compte notamment utiliser les PPP [...] pour la construction et la maintenance des hôpitaux, des prisons, des commissariats et des casernes. Ce système aura l'avantage, au niveau budgétaire, d'étaler les charges de l'Etat sur une longue durée, le paiement des services fournis devant s'effectuer par un loyer mensuel ou annuel étalé sur la durée du contrat. » (Le Moniteur Expert¹⁸, 09/06/2004)

Focalisons-nous sur les caractéristiques d'innovation de ce dispositif. Bien sûr, l'un des premiers objectifs fixés par le gouvernement est d'accroître la commande publique dans un contexte marqué par une forte diminution des capitaux et de l'investissement. Le partage des sommes d'investissement entre le public et le privé est donc une réponse, même si les détracteurs y voient

¹⁷ http://fr.wikipedia.org/wiki/Partenariat_public-privé

¹⁸ <http://www.lemoniteur-expert.com/depeches/depeche.asp?id=D4CDF072A&acces=7&numPage=5>

une forme de privatisation détournée. De plus la maîtrise des coûts se veut plus fine par une anticipation sur toute la durée du cycle de vie du bâtiment (démarche de coût global).

Mais nous sommes plus intéressés ici par les changements organisationnels que ces contrats induisent :

- Les grandes entreprises de la construction, qui détiennent les capitaux, interviennent plus en amont dans la conception du projet puisqu'elles sont intégrées aux équipes de la maîtrise d'œuvre. On a donc une nouvelle répartition des rôles et une constitution différente des équipes,
- Le maître d'ouvrage public peut lancer la consultation des différents professionnels alors même que le programme n'est pas totalement défini, afin de rassembler les financements. Cela permet une coopération entre les intervenants dès les phases de programmation,
- Les missions sont réparties sur la totalité du cycle de vie du bâtiment, y compris la phase d'exploitation. Le contrat signé avec l'entreprise peut donc se prolonger après la conception-construction par des opérations de maintenance sur le bâtiment construit.

Nous ne pouvons omettre cependant d'évoquer les enjeux et les inquiétudes que suscitent cette évolution chez les professionnels de l'architecture. Les architectes en particulier craignent une remise en cause de leur place au sein des opérations. Ils tiennent à conserver leur rôle de « maître de l'œuvre », notamment dans les phases de négociations autour du projet en cours de conception. Plus largement, cette crainte s'exprime en termes de qualité architecturale des édifices et de maîtrise des coûts :

« Les Partenariats Public-Privé ne doivent pas inféoder l'architecte à l'entreprise [...]Les élus doivent pouvoir choisir leur architecture selon les procédures traditionnelles du concours, en raisonnant en coût global. » [Pélegrin 2004]

Ce type d'innovation est essentiellement basé sur des modalités réglementaires. Si les conditions de son application sont très discutables nous ne souhaitons pas, dans le cadre de ce mémoire, nous attarder sur de telles polémiques.

Nous soulignons simplement que le *contexte législatif de la commande (publique) est un levier permettant l'innovation organisationnelle dans le domaine du bâtiment* et la redistribution des rôles et des missions entre les différents acteurs.

L'expérimentation dans les opérations de construction fait elle aussi partie de l'innovation. Le PUCA (Plan Urbanisme Construction et Architecture)¹⁹ du Ministère de l'Équipement favorise ainsi les démarches expérimentales dans les projets à travers les financements de type REX (Réalisation EXpérimentale). Ces démarches permettent de financer l'innovation dans les opérations de construction, et sont à destination des maîtres d'ouvrages. Ces REX concernent surtout des innovations dans la conception des bâtiments (comme la création d'espaces innovants), dans les matériaux utilisés et dans les techniques de mise en œuvre expérimentales.

1.1.3.3. Le potentiel des Technologies de l'Information et de la Communication

Si les différents types de démarches d'innovation que nous venons de décrire paraissent très différentes a priori, une de leurs caractéristiques est évoquée de manière unanime : leur étroite relation avec les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC).

Le *regroupement de communautés* autour de cette évolution technologique dans le secteur du bâtiment en est d'ailleurs une preuve flagrante :

- Dans la *recherche académique* appliquée au domaine du bâtiment, des communautés internationales se sont fédérées autour du thème des Technologies de l'Information pour le bâtiment et la construction. Le CIB-W78²⁰ est le groupe de travail nommé « IT in Construction ». Il a pour vocation d'encourager et de promouvoir la recherche et le développement d'applications IT assistant les différentes phases du cycle de vie du bâtiment et d'organiser les coopérations internationales autour de ces activités. La revue électronique ITcon publiant des numéros de recherches thématiques sur l'usage des TIC dans la construction est une de ces initiatives,
- Dans les *pratiques professionnelles*, un des enjeux majeurs consiste à préparer le secteur et ses acteurs aux changements qui ne manqueront pas d'intervenir. Si l'évolution des

¹⁹ <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/>

²⁰ CIB "Conseil International du bâtiment pour la Recherche l'Etude et la Documentation". <http://w78.civil.auc.dk>

pratiques est très lente, et particulièrement dans le secteur du bâtiment comme nous l'avons démontré précédemment (Cf. §1.1.1.4), elle est tout de même existante. Les conséquences favorisant ces changements sont relativement nombreux (gain de temps, pression économique, exigence qualitative croissante) et un certain nombre d'acteurs tentent d'introduire de nouvelles méthodes et de nouveaux outils. Le Club ARCHI Info (association loi 1901 créée à l'initiative du syndicat d'architectes « Unsfa²¹ ») propose un certain nombre d'outils innovants. Ils ont pour vocation de faciliter le partage d'information entre les membres du réseau (Archilink) et d'assister les architectes dans leurs tâches de gestion de projet (partage de documents entre les participants d'un projet, appels d'offre etc.). D'autres structures favorisent aussi le transfert de technologies vers le milieu professionnel comme le Centre Régional d'Innovation et de Transfert de Technologies (critt tti) en Lorraine ou le Centre de Recherche Public Henri Tudor à Luxembourg (CRTI-B²²). Enfin, l'IAI²³ et son chapitre français MediaConstruct tentent de promouvoir le standard IFC pour résoudre le problème important de l'échange de données techniques entre les intervenants.

L'importance des TIC dans la transformation des processus de travail est indéniable. Nous ne parlerons pas ici des révolutions numériques du poste de travail individuel qui continuent d'ailleurs d'évoluer (Conception Assistée par Ordinateur, aide à l'esquisse etc.). Dans l'approche qui est la nôtre, plaçant au centre de la réflexion les innovations organisationnelles, c'est l'instrumentation des processus collectifs qui retient toute notre attention. Sans parler des projets de recherche « exploratoire », nous pouvons citer un certain nombre de pratiques professionnelles quotidiennes faisant appel couramment à ces technologies [Dauguet 1999] :

- La dématérialisation des appels d'offres (électroniques depuis le 01er janvier 2005),
- La gestion documentaire à l'intérieur des structures et dans le cadre des projets (armoires à plans électroniques),

²¹ Union Nationale des Syndicats Français d'Architecte, <http://www.unsfa.com/>

²² Le Centre de Ressource pour les Technologies de l'Information dans le Bâtiment (CRTI-B) est une structure luxembourgeoise favorisant le transfert de technologies de la recherche vers les entreprises du secteur de la construction. <http://www.crtib.lu>

²³ L'International Alliance for Interoperability (IAI) est une association regroupant des professionnels de la construction ainsi que des éditeurs afin de définir des standards de formats d'échange de données techniques (IFC, Cf. §5.1.3.6). <http://www.iai-international.org/>

- Les circuits de communications de plus en plus basés sur l'email (qui remplace progressivement la télécopie),
- L'usage de la maquette numérique encore émergent, qui conduit à repenser les protocoles d'échange ainsi qu'à définir un langage de représentation commun.

Le domaine de production du bâtiment est compétitif malgré le fait que les méthodes de travail n'aient pas évolué aussi rapidement que dans d'autres industries. Cela est dû au fait que ses caractéristiques rendent moins nécessaire les modifications profondes qu'ont connues les autres secteurs de production industriels.

L'innovation n'est cependant pas inexistante dans le secteur d'activités du bâtiment et de la construction. Elle existe sous des formes très incitatives (législation) ou plus prospectives (recherche). Nous avons montré aussi que les innovations organisationnelles sont étroitement liées aux innovations technologiques (notamment celles visant les processus).

En conclusion partielle, nous pouvons désormais pointer le besoin de changement dans les organisations de manière à favoriser la coopération entre les acteurs à tous les stades des projets. La pertinence de ces changements ne se réalisera qu'en accord avec des objectifs qualitatifs sur la réalisation des ouvrages et sur la conduite des processus coopératifs.

1.2. Les enjeux pour le développement futur du secteur

1.2.1. Situer le secteur AEC parmi d'autres secteurs d'activités

Nous avons tenté jusqu'ici de décrire l'organisation et les activités propres au secteur de production du bâtiment. Nous avons aussi évoqué les dysfonctionnements existants dans ce secteur ainsi que les dispositifs innovants qui pourraient favoriser l'amélioration globale de la qualité des processus dans ce secteur.

Avant de poursuivre notre propos sur les enjeux qui nous semblent essentiels pour le secteur et l'expérimentation qui introduit notre problématique particulière, nous souhaitons dans ce paragraphe revenir sur les caractéristiques du secteur de l'Architecture et de la Construction en rapport avec d'autres secteurs d'activités. Nous évoquerons donc les secteurs « classiques » de production manufacturière ainsi que le secteur de l'informatique et plus particulièrement le Génie Logiciel.

Nous porterons notre attention sur la conduite des processus et les innovations organisationnelles dans ces secteurs, et aborderons succinctement les outils et méthodes qui y sont associés.

Cette étude comparative nous autorisera, dans la suite de ce mémoire, à dégager les outils conceptuels qui nous permettront d'analyser notre domaine et d'évaluer le potentiel des méthodes et stratégies d'assistance à la coopération applicables.

1.2.1.1. Des différences majeures avec les « autres secteurs industriels »

Il est couramment admis que le secteur du bâtiment présente un grand nombre de différences fondamentales avec les secteurs de production manufacturière classiques.

Les particularités liées à *l'activité industrielle* sont nombreuses et ont largement contribué à la rationalisation de l'activité dans ce secteur :

- Les processus industriels sont finement modélisés et optimisés dans un contexte de production sérialisé. Les « workflows » (ou gestionnaires de flux de tâches) décrivent la « gestion informatique de l'ensemble des tâches à accomplir et des différents acteurs impliqués dans la réalisation d'un processus métier » [WfMC 1999]. Le workflow décrit les tâches à accomplir entre les différents acteurs d'un processus, les délais, les modes de validation, et fournit à chacun des acteurs les informations nécessaires pour la réalisation de sa tâche,
- La durée des processus de construction-réalisation est longue, ce qui s'explique notamment par le fait qu'après la conception, la production en série est répétitive et multipliée pour produire des milliers d'exemplaires du produit,
- Une autre différence essentielle réside dans le retour d'expérience possible dans l'industrie des phases de production vers les phases de conception. Les premières séries produites ou encore les tests effectués lors de phases de « définition » permettent aux acteurs de faire remonter les difficultés rencontrées vers les concepteurs (ingénieurs) et ainsi de modifier la conception du produit afin d'en corriger les défauts ou d'en faciliter la production [Midler 1993].

La gestion des acteurs impliqués dans les processus industriels présente aussi des particularités qui tendent à se distinguer du secteur du bâtiment :

- Les professionnels impliqués dans un processus industriel partagent des objectifs identiques, le système d'acteurs est d'ailleurs souvent intégré. Lorsque les entreprises

font appel à des sous-traitants, ce qui est presque toujours le cas aujourd'hui, la participation de chacun est clairement évaluée, ce qui évite des situations de concurrence ou de méfiance autour du projet,

- Une forte hiérarchie caractérise les relations entre les acteurs. Dans le cas de la sous-traitance, elle s'exprime aussi clairement à travers les cahiers des charges et les normes de résultats,
- Les techniques de management sont particulièrement rigoureuses tant sur le plan de la coordination (un acteur est responsable de la coordination) que du point de vue de la répartition des rémunérations, qui sont bien définies,
- La répartition des rôles est stricte et détaillée dans des workflows. Elle favorise la continuité des actions ou des interventions de chaque acteur afin d'optimiser le temps global des processus,
- Chaque acteur participe à l'élaboration du produit en s'impliquant dans la phase d'ingénierie avec ses compétences et ses objectifs. C'est une différence majeure avec le secteur du bâtiment dans lequel les entreprises de réalisation ne sont consultées qu'une fois le projet conçu pour garantir l'indépendance de la fonction de conception. L'anticipation de la réalisation des produits ainsi que le retour d'expérience vers l'ingénierie est donc une réalité.

L'objet industriel s'oppose nettement au bâtiment unique et prototype :

- La répétitivité des tâches élémentaires est la première caractéristique de l'objet industrialisé ou manufacturier comme l'atteste la généralisation des « chaînes de production » (automatisées ou semi-automatisées),
- La réutilisation possible de données techniques, voire « d'objets », d'un projet à l'autre est rendue possible par une ingénierie basée sur l'intégration de composants. Ainsi, nous citerons l'exemple de l'automobile « Dacia Logan » produite en Roumanie et dérivée de la marque « Renault ». Cette automobile à bas prix intègre les pièces les plus économiques des autres automobiles produites par la marque²⁴. Le coût de conception a

²⁴ « Elle a le train avant d'une Clio II, le train arrière d'une Modus, elle est basée sur une plateforme dérivée de celle de la Clio III, de la Modus et de l'actuelle Micra. Les poignées de portes et le volant viennent de la Clio II, mais les aérateurs sont ceux de la Dacia Solenza.[...] Un soin particulier a été porté sur l'utilisation de pièces identiques à gauche et à droite comme les baguettes latérales, ou encore les rétroviseurs. »

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Dacia/Renault_Logan

été porté sur l'ingénierie de nouveaux composants à bas coût de production (par exemple, un pare-brise plat beaucoup moins coûteux en production que les habituels pare-brise courbes),

- Enfin, de « vrais » prototypes sont réalisés avant la production en série afin de tester les conditions d'utilisation de l'objet en réalité avant une industrialisation de masse.

La généralisation de l'utilisation de maquettes numériques ou de plateaux virtuels est une réalité dans l'industrie manufacturière. Elle est rendue possible notamment grâce à l'économie que représente cet investissement en phase de conception (pour la simulation ou l'optimisation des plans) sur la phase de réalisation (séries défectueuses, rappels commerciaux).

Brousseau et Rallet résument cette approche d'un point de vue organisationnel. L'organisation du secteur de l'industrie repose sur « une mécanisation des procédures associée à une exploitation des économies d'échelles et d'envergure, ainsi qu'une coordination administrative et rationalisée au sein de grandes unités » et s'oppose à l'artisanat, « caractérisé par des unités de production de petites tailles et spécialisées, faiblement intensives en capital » [Brousseau et Rallet 1995]. Les auteurs précisent que le secteur du bâtiment ne s'est jamais organisé selon le modèle industriel. Cependant, ils refusent de voir dans la fragmentation des entreprises un modèle artisanal. Selon eux, ces entreprises ont tenté de se rapprocher du modèle industriel, mais n'ont jamais vraiment pu y arriver par manque de maîtrise du produit et des processus.

Cette analyse qui se traduit par le concept de fragmentation dans le secteur, conforte donc le besoin de coopération particulier entre les entités, du fait de leur caractère ni vraiment « artisanal », ni vraiment « industriel ».

Toutefois, des similitudes dans la conduite des processus dans les deux secteurs sont à noter et nous nous élevons contre une conclusion trop rapide qui tendrait à les opposer systématiquement. Des incertitudes et des dysfonctionnements apparaissent également dans les processus industriels et engendrent des besoins particuliers de coopération [Campagne et Sénéchal 2002]. Ces dysfonctionnement peuvent être dus :

- À la complexité grandissante des produits manufacturiers,
- À la réduction du temps accordé aux phases d'ingénierie, notamment sous la pression commerciale qui impose un renouvellement de gamme fréquent,

- À la sous-traitance répétitive et pas toujours facilement maîtrisable, notamment lorsque les sous-traitants changent souvent,
- À la réduction d'effectifs qualifiés (réduction d'effectifs pour manque de compétitivité), ou à la main d'œuvre sous-qualifiée dans certaines régions du monde,
- Aux disparités technologiques ou aux différences de méthodes de gestion qui apparaissent dans les grands groupes issus de fusions purement économiques. Dans ces situations, différentes structures se trouvent obligées de travailler ensemble et de s'harmoniser dans un objectif global alors que leurs méthodes sont historiquement différentes et que leurs effectifs sont géographiquement séparés,
- À la pression financière, qui induit des économies sur les matières premières, ce qui conduit à des produits de mauvaise qualité,
- À une logique économique, qui privilégie parfois une moindre qualité des matériaux même si cela entraîne des rappels (qui restent toujours moins coûteux que des séries entières avec des composants de meilleure qualité).

À ce stade, nous concluons que si les processus tels qu'ils sont « modélisés » par le courant tayloriste semblent plus facilement maîtrisables dans le secteur industriel, les évolutions récentes montrent que des incertitudes conduisent les entreprises industrielles à revoir leurs méthodes de gestion :

- Les workflows adaptatifs sont une réponse aux évolutions qui peuvent intervenir sur les chaînes de production. Dans ces types de modèles de processus, la description est implicite et déclarative afin d'être modifiable par l'utilisateur final [Benali et al. 2002],
- L'utilisation de maquettes numériques permet de mieux simuler et anticiper les conditions de fabrication ou d'utilisation des produits. Leur utilisation semble cependant se limiter à certains secteurs (comme l'automobile et l'aéronautique) mais ne concerne pas vraiment des secteurs à faible valeur ajoutée²⁵ comme celui de la production d'électroménager.

²⁵ « La valeur ajoutée est une notion d'économie qui permet de mesurer la valeur créée par un acteur économique. »

Source : http://fr.wikipedia.org/wiki/Valeur_ajoutée

1.2.1.2. Une certaine proximité avec les communautés de développement de logiciels libres

Notre recherche à vocation interdisciplinaire nous a conduit à nous intéresser au domaine de production de logiciel, notamment, pour en extraire des méthodes d'analyse et de modélisation. Nous avons analysé les activités de développement de logiciels libres²⁶ qui se fondent sur des communautés de développeurs volontaires et indépendants de toute structure économique.

Ces activités coopératives nous intéressent pour les similarités qu'elles présentent avec le secteur de production du bâtiment. D'abord, bien que des types d'activités soient évidemment identifiables (Figure 2), nous noterons que le processus de développement n'est pas vraiment déterminé à l'avance. En effet, si certaines tâches sont identifiées, elles ne sont pas attribuées à un développeur particulier. Chaque membre de la communauté s'attribue un rôle en fonction de ses compétences ou du temps disponible dont il dispose. Lorsqu'il se connecte sur un site de développement coopératif tel que SourceForge, il peut prendre connaissance de l'état de l'activité via des fils de discussions ou des forums. Il peut alors choisir une tâche, la réaliser et remettre sa contribution à la communauté [Lonchamp 2003].

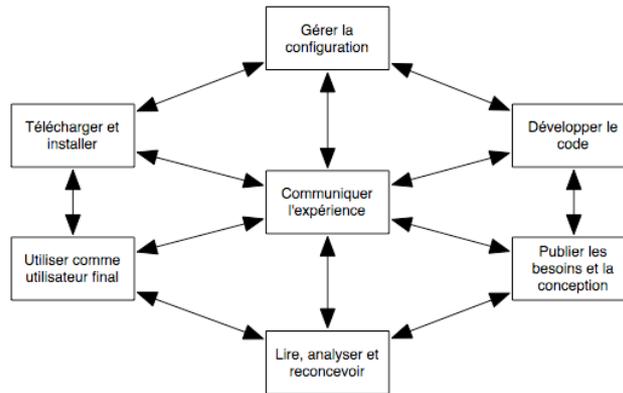


Figure 2 : Modèle du processus de développement de logiciel libre, tiré de [Lonchamp 2003]

Jacques Lonchamp a proposé un modèle qui représente les types de tâches à réaliser. Il montre que leur enchaînement n'est pas finement décrit (flèches multiples) et laisse donc aux

²⁶ Les logiciels libres ou « open-source », sont des logiciels dont le code source est ouvert, c'est-à-dire visible par tous. La licence GPL encadre souvent de tels développements. Elle permet donc une libre diffusion du logiciel mais impose aussi que tout dérivé de ce logiciel reste libre.

développeurs une marge de manœuvre importante dans la conduite du processus. En réalité, la coopération apparaît à partir d'une simple liste de tâches à réaliser. Ces tâches sont caractérisées par leur degré d'importance (to-do list) [Yamauchi et al. 2000]. Le travail des développeurs sur une tâche est revu par un de leurs pairs avant d'être soumis et stocké dans un outil de gestion de versions. Lorsqu'une version est finalisée, elle est stabilisée (« release ») puis testée. Enfin, la liste des bugs découverts vient alimenter la liste de tâches (Figure 3).

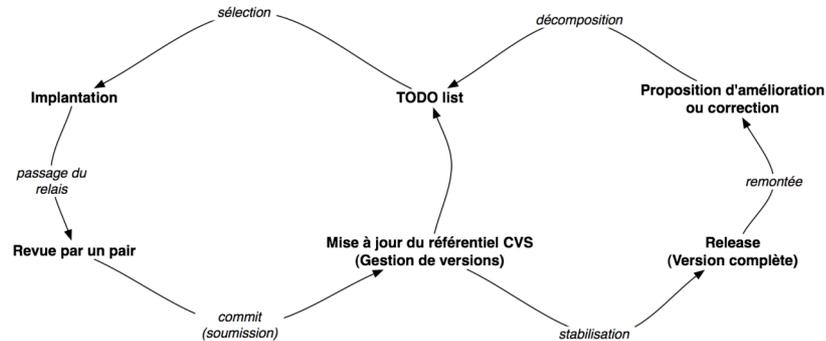


Figure 3 : Processus de développement coopératif à large échelle, tiré de [Lonchamp 2003]

Dans ce type d'activité collective, il règne une grande incertitude, probablement liée à son caractère communautaire. Les engagements entre les intervenants ne sont pas explicites [Lonchamp 2003]. Leur implication dans le projet est donc le seul facteur de réussite. On trouve dans le caractère informel des interactions une similitude importante avec le domaine du bâtiment.

Jacques Lonchamp insiste sur quelques aspects qui nous serviront dans notre réflexion sur l'amélioration des processus collectifs dans le bâtiment :

- La *coopération* est essentielle dans une organisation dans laquelle les relations entre acteurs sont peu formalisées,
- La *spontanéité des actions* passe par « l'absence d'affectation préalable des tâches » et de coordination « a priori »,
- La *centralisation des informations* relatives au projet est accompagnée d'une forme de transparence,

- Le *partage d'une forme de culture commune* est essentielle pour favoriser l'implication des intervenants. Dans le cas du développement de logiciel libre c'est la rationalité technique qui fédère les développeurs selon Lonchamp,
- Enfin, la *place de l'outil* comme médiateur de l'activité coopérative est essentielle. Il permet d'abord à des acteurs géographiquement éloignés de travailler ensemble, mais il leur donne surtout une vision globale de l'état du projet à un instant donné (activités en cours des autres participants, liste de bugs décelés etc.).

1.2.1.3. Synthèse

Pour conclure, nous pensons que peu de méthodes organisationnelles issues du monde industriel sont pertinentes dans le domaine du bâtiment. Ceci nous semble moins dû aux réticences des acteurs à l'innovation, qu'aux particularités du processus coopératif de conception-construction. On en prendra pour preuve le fait que lorsque des activités sont similaires à celles du domaine manufacturier, des méthodes assistant certains aspects des processus se sont « facilement » implantées (gestion administrative d'agence, appels d'offre électronique).

Elles prouvent que le secteur n'est pas rigide et résistant au changement car le travail évolue au niveau de l'individu ou de la petite structure. Par contre, dans la dimension coopérative du processus impliquant les caractéristiques singulières du domaine que nous avons évoqué dans la partie 1.1.1, les méthodes issues d'autres domaines industriels semblent fortement inadaptées.

L'analyse du domaine de production de logiciels libres nous conforte dans l'idée que la coopération est essentielle dans la réussite de l'activité collective, dans un contexte informel et évolutif. Nous pressentons que l'implication de l'individu dans le projet de groupe est une condition de mise en place d'une coopération. Les outils utilisés semblent aussi avoir leur importance afin de faciliter le travail des intervenants.

1.2.2. Un enjeu majeur : la coopération dans le bâtiment

Nous venons de voir que les particularités organisationnelles du secteur de la construction ne sont pas totalement inexistantes dans d'autres domaines. Nous tenons à revenir sur les enjeux majeurs auxquels le secteur doit faire face actuellement et les moyens d'innovation qui nous semblent pertinents.

1.2.2.1. L'échec de l'ingénierie concourante dans le bâtiment

Le modèle industriel que nous avons décrit ci-dessus a historiquement muté pour s'adapter à la complexité croissante actuelle de la production. La chaîne tayloriste est aujourd'hui dépassée vue la multiplication des produits, des techniques ou encore la main d'œuvre sous-qualifiée.

Des méthodes d'ingénierie concourante se sont développées dans le secteur industriel. Elles consistent à revoir l'organisation sous un angle systématique, tendant « vers la conception simultanée et intégrée des produits et de leurs méthodes, procédés de fabrication associés, ainsi que de la logistique [...] » [Tahon 1997]. Elle prône une approche globale et itérative des activités de conception, de management et de production.

L'approche en coût global, la restructuration de l'organisation (plaçant notamment l'entreprise très en amont), et l'intégration des données sont les modalités d'application de l'ingénierie concourante dans le secteur du bâtiment.

Mais les limites de l'ingénierie concourante dans le bâtiment se font ressentir. En effet, il semble difficile d'imaginer de tels changements organisationnels au niveau du secteur tout entier. De manière localisée pourtant, il est probablement possible d'améliorer les méthodes, comme le propose C. Tahon pour la phase de préparation de chantier. Une organisation intermédiaire, une équipe de maîtrise d'œuvre étendue, comprenant les entreprises de la réalisation, pourrait travailler collectivement sur la conception technique des ouvrages et la préparation de méthodes facilitant la conduite du chantier.

Nous pensons cependant qu'il s'agit dans ce cas d'une optimisation localisée de la préparation du chantier et non d'une innovation organisationnelle au sens large.

L'échec de l'importation des méthodes dites d'ingénierie concourante, du domaine de l'industrie au domaine de la construction, n'est pas dû à un retard du monde du bâtiment. Nous faisons l'hypothèse « qu'elles sont fortement inadaptées au contexte singulier de coopération dans le secteur AEC » [Bignon 2002].

1.2.2.2. Vers une ingénierie coopérative

Dans ce contexte se pose la question de la manière de prendre en compte les spécificités du domaine, que nous avons évoquées (§1.1.1).

Les méthodes de l'ingénierie concourante nous semblent difficiles à appliquer à un secteur marqué par l'incertitude, le changement fréquent des équipes ou l'hétérogénéité des acteurs. Nous lui préférons le concept d'ingénierie coopérative.

Derrière ce concept, nous souhaitons nous démarquer de l'image de l'entreprise industrielle, intégrant ou maîtrisant au maximum les relations entre acteurs dans le processus de conception/production. L'ingénierie coopérative dans les phases de conception et de construction du bâtiment met en avant :

- Un rapport entre les intervenants qui laisse de la place aux relations informelles, favorisant l'ajustement entre les acteurs,
- Un esprit d'équipe et d'initiative pour faire face aux aléas de l'activité et responsabiliser les intervenants,
- Des modalités de coopération (outils, réunions, échanges de documents) adaptées à l'hétérogénéité de ces intervenants.

La flexibilité dans la conduite du processus est un enjeu majeur de l'ingénierie coopérative. Elle se fonde d'abord sur la responsabilisation de chacun des acteurs impliqué dans ce processus.

1.2.2.3. La place particulière de l'architecte et du « projet architectural »

Face à tous ces questionnements au travers desquels l'amélioration des processus collectifs est sous-jacente, nous souhaitons rappeler la singularité du projet architectural porté par l'architecte. Nous ne nions pas l'intérêt d'une approche intégrée de la conception, impliquant plus d'acteurs que ce n'est le cas actuellement. L'entreprise a d'ailleurs probablement son rôle dans la conception technique des ouvrages pour assurer leur faisabilité technique et économique. Cependant, il nous semble utile de rappeler que l'architecte est traditionnellement « le concepteur » qui s'entoure des acteurs spécialisés pour mener à bien la conception du bâtiment. L'activité de coordination des interventions spécialisées sur le projet en cours de conception ou de construction est fondamentale et doit relever des compétences de l'architecte.

Or, dans son rôle de coordinateur du projet, l'architecte ne nous semble pas assez « légitime ».

Pourtant :

- Il est l'un des seuls acteurs présent et agissant de la conception à la livraison du bâtiment,

- Il doit rendre des comptes en amont (au maître d'ouvrage) et en aval (aux usagers). Il est le garant (avec les autres acteurs de la maîtrise d'oeuvre) du point de vue de la responsabilité civile des ouvrages,
- Il est l'acteur qui a le plus de relations avec tous les autres acteurs de l'opération. À ce titre son rôle devrait être d'intégrer et de coordonner les divers points de vue des intervenants sur le projet [Hanrot 2003].

Malgré cela, vue la répartition des responsabilités entre acteurs, son rôle opérationnel se limite à quelques phases. De plus, dans de nombreuses opérations, il est écarté de la mission de suivi de chantier (attribué à un coordinateur indépendant ou géré par une entreprise générale).

D'ailleurs, cette mission est paradoxalement souvent peu appréciée par les architectes, cela est dû notamment à la répartition des missions et aux critères de rémunération de celles-ci. En effet, le suivi de chantier prend beaucoup de temps et la rémunération n'est généralement pas suffisante.

Les professionnels de l'architecture sont donc inquiets sur l'évolution du secteur et leur place qui leur semble se réduire inexorablement dans les projets. Les contrats en PPP et les nombreuses craintes émises par la profession en sont un exemple pertinent.

1.2.3. Un transfert délicat des technologies de l'information vers le monde professionnel

Il semble assez évident que l'amélioration des processus collectifs, les changements organisationnels et l'introduction de nouvelles technologies sont fortement liés.

Intéressons nous brièvement à l'introduction d'outils d'assistance à la « production » à l'échelle de la firme. Il s'agit par exemple dans le domaine du bâtiment de l'informatisation des agences d'architecture et de la généralisation des postes informatiques de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui ont progressivement remplacé la table à dessin.

On constate aujourd'hui que la pratique de la CAO est dominante dans les agences d'architecture. Des changements organisationnels en ont résulté, par exemple les dessinateurs traditionnels se sont formés pour travailler sur ces postes ou encore des nouveaux métiers sont apparus, comme les infographistes.

Pourtant, d'un point de vue plus critique on peut dire que les changements ont été mineurs, tout comme les gains. Le gain de temps par exemple n'est pas aisé à mesurer. Si des opérations de

dessin répétitives ont été optimisées par l'informatique graphique, de nouvelles tâches sont apparues en contrepartie (gestion de matériel, délais d'impression), sans parler des temps et des coûts de formation. Mais surtout l'implantation de ces technologies s'est fait très progressivement car les professionnels du secteur ont mis beaucoup de temps à s'adapter. Environ vingt ans après, on commence à voir de réelles innovations, comme la généralisation de la CAO 3D rapide pour le « maquettage ».

En ce qui concerne l'introduction d'outils d'assistance à la coopération, le scénario est certainement très proche. Avant même d'aborder les problèmes technologiques, les phénomènes de rejets observables sont d'abord dus au fait que ces outils demandent une très forte « explicitation » de l'information, pratique quasiment inexistante dans un secteur dominé par l'informel.

L'estimation de la rentabilité de l'adoption de nouveaux outils pourrait être un argument auprès des acteurs du secteur, mais elle est quasiment impossible en amont.

Les professionnels ne présentent donc généralement que peu d'intérêts vis-à-vis des nouvelles technologies pour la coopération. Leur adoption dans certains projets relève plus de l'implication exceptionnelle de l'un des acteurs ou encore d'une obligation contractuelle.

Il nous semble que la stratégie à adopter dans l'introduction des outils d'aide à la coopération, et en amont dans leur conception, doit être progressive et proche des pratiques du terrain.

Comme pour le développement des premiers outils de CAO, il s'agit de rester « modeste » afin de proposer une transition progressive. De tels outils pourraient se baser sur ceux que les acteurs manipulent déjà (à travers les documents ou les modes de représentation graphiques actuels).

Ils devraient aussi s'adapter à l'utilisateur et lui offrir une vision claire de « sa situation au sein du projet » afin qu'il appréhende mieux le contexte dans lequel s'insèrent ses actions.

Enfin, nous pensons que l'objectif d'une modélisation trop détaillée du processus de conception-construction est particulièrement risqué. En effet, la modélisation et l'optimisation des tâches individuelles dans un contexte aussi variable que celui du bâtiment nous semble voué à l'échec, ou tout au moins risque de provoquer des rejets chez des professionnels habitués à agir dans l'incertitude, à décider dans l'urgence.

1.2.4. Bilan

Nous avons vu dans cette partie que le secteur AEC, couvrant à la fois les phases de conception et de construction des bâtiments, est soumis aujourd'hui à de nombreuses pressions. La rentabilité économique des opérations est bien entendu le moteur des changements et des innovations qui y prennent place.

Traditionnellement, la tendance relative à l'amélioration des processus de construction porte sur l'application des méthodes industrielles aux activités du secteur AEC. Cependant, des différences majeures existent entre ces deux domaines et expliquent la difficile importation de méthodes et technologies industrielles.

Nous avons plutôt montré des similitudes avec le domaine du développement de logiciels libres, basé sur un modèle communautaire de l'organisation, et laissant une grande liberté aux membres d'un projet pour déterminer leur action. Ces communautés basent leur activité sur des outils permettant la représentation du projet sous différents points de vue, et favorisant ainsi une certaine flexibilité dans la définition des tâches.

Nous avons introduit le concept « d'ingénierie coopérative » pour la conception-construction dans le secteur AEC, qui rend compte de ce *besoin de flexibilité* dans les activités et leur organisation.

Selon nous, un enjeu majeur aujourd'hui pour l'amélioration des processus collectifs est la *responsabilisation des différents intervenants, dans un contexte habituellement marqué par la prégnance des stratégies internes et souvent opposées de chacun.*

Notre approche particulière d'architecte nous a conduit dans ce chapitre à questionner l'activité collective aussi bien en phase de conception qu'en phase de construction :

- Les enjeux de la coopération en phase de conception sont importants. La place de l'architecte y est centrale puisqu'il s'entoure des professionnels capables de l'aider à définir un projet réaliste et constructible. De nombreux points de vue s'expriment, ils doivent être intégrés dans une démarche de conception collective. Le rôle de l'architecte est de favoriser cette intégration,
- En phase de construction, les enjeux de la coopération et le rôle de l'architecte sont tout aussi importants. Si, à ce stade, le projet est « conçu » sa mise en œuvre doit faire face à

de nouveaux aléas : la compétence des entreprises, les aléas climatiques, la fourniture de matériaux, la mésentente possible entre les acteurs etc. Si à un niveau microscopique les tâches sont connues et répétitives d'un chantier à l'autre (ex. poser des briques), leur enchaînement et les conditions de mise en œuvre sont toujours spécifiques à un projet et situées sur un chantier particulier. Leur planification ne peut être que « grossière » et laisse place à une forte incertitude. Si la coordination est une activité essentielle, cette incertitude ne peut être levée que par une implication et une responsabilisation forte de tous les acteurs impliqués dans le chantier, de l'architecte à l'ouvrier, en passant par l'ingénieur, les bureaux de contrôle, ou encore le client.

Ces premières analyses des enjeux de la coopération dans le secteur du bâtiment nous conduisent à recentrer notre questionnement sur l'activité particulière du chantier de construction.

L'approche proposée dans ce premier chapitre est basée sur une revue de la littérature concernant les pratiques collectives dans le domaine de l'architecture et de la construction.

Nous allons dans le chapitre suivant recentrer notre discours autour de la problématique particulière de la coopération en phase chantier à travers une double approche expérimentale. La première expérience consiste à aborder la réalité du chantier, à travers une étude de cas. La seconde porte sur l'expérience de la coopération, et plus précisément de la mise en œuvre d'une activité coopérative à travers le choix d'outils d'assistance.

Ces deux approches nous permettront d'affiner alors la problématique particulière que nous suivrons tout au long de cette thèse.

Chapitre 2. Une problématique de recherche centrée sur l'amélioration des processus coopératifs en phase chantier

Nous avons mis en avant dans le premier chapitre le contexte socio-économique particulier dans lequel prennent place les activités de conception et de construction de bâtiments.

Depuis de nombreuses années, des thématiques de recherche s'orientent sur ce sujet. Elles se caractérisent par une approche pluridisciplinaire du secteur, tant par le travail des professionnels eux-mêmes, que celui de chercheurs en architecture, ingénierie, informatique ou encore sociologie.

Nous allons, dans un premier temps, situer notre problématique parmi les différentes approches de recherche.

Puis nous détaillerons le contexte spécifique qui nous intéressera dans la suite de cette thèse : l'activité coopérative de chantier. Nous présenterons l'approche expérimentale qui caractérise la construction de notre problématique en détaillant un « contexte spécifique » d'une opération de construction.

Enfin, nous reviendrons sur la question de la coopération afin d'exprimer le point de vue qui nous intéresse particulièrement : celui de la mise en œuvre de méthodes et d'outils qui assistent et médiatisent l'activité coopérative dans un groupe d'individus. Pour cela, nous nous appuyerons sur les résultats d'expériences pédagogiques de coopération entre étudiants-architectes.

2.1. Des thématiques de recherche portant sur l'assistance aux activités d'ingénierie

Un certain nombre de travaux de recherche ont porté sur l'amélioration des processus d'ingénierie dans la conception et la réalisation du bâtiment. Ces travaux visent aussi bien les activités collectives autour de l'opération de construction que les activités individuelles, par exemple le processus de conception architecturale.

2.1.1. Conception architecturale

Nous entendons ici, par « conception », la phase suivant la programmation par le maître d'ouvrage et précédant la mise en chantier. L'activité particulière de conception du projet d'architecture fait l'objet de nombreuses interrogations dans plusieurs champs disciplinaires. Sans vouloir les détailler exhaustivement ici, nous noterons toutefois des thèmes de recherche portant sur la connaissance et la modélisation de la conception en architecture [Alexander 1971; Boudon et al. 1994; Conan 1990; Prost 1992] (procédés, méthodes, références mis en jeu). D'autres travaux portent sur la médiatisation de cette activité et sur le potentiel des outils numériques [Gero et Maher 1999; Mitchell 1979].

Au MAP-CRAI, un champ de recherche porte sur la référence dans le processus de conception architecturale [Scaletsky 2003]. Il s'inscrit dans la problématique de l'assistance à la conception architecturale (par l'image-référence [Kacher 2005], ou encore par l'image-information sur les produits du bâtiment [Nakapan 2003]).

2.1.2. Assistance à la coopération

Des travaux spécifiques se sont orientés vers la coopération dans l'ingénierie du bâtiment, visant de manière plus large les acteurs de la conception :

- *Améliorer la dimension collective de l'activité de conception* par la définition conceptuelle et la réalisation d'outils de coopération adaptés aux spécificités du domaine de la construction. Le projet COCAO mené au sein du laboratoire CRAI focalise essentiellement sur cet objectif et a pour but « d'analyser les pratiques de coopération lors de la conception d'un projet architectural, puis de spécifier et développer un collecticiel à l'usage des acteurs du projet » [Bignon et al. 2001]. Les

interactions et les échanges documentaires ont fait l'objet d'une étude particulière [Malcurat 2002],

- Dans la continuité de ces projets, le travail de Damien Hanser [Hanser 2003] s'est porté sur la *modélisation du processus coopératif de conception* et la proposition d'un *outil de visualisation* du contexte de la conception,
- La maquette numérique appliquée au domaine de la construction comme support de coopération est aussi une piste d'exploration [Bouattour 2005],
- D'autres communautés s'intéressent plus largement au problème de la coopération en architecture. Dans le milieu académique, de nombreuses expériences de « co-conception distante » sont menées avec des étudiants afin de tester l'utilisabilité de certains outils et méthodes [Kubicki et al. 2004b; Van Leeuwen et al. 2005] et de les sensibiliser au problème de la coopération inter-disciplinaire [Weinand 2004].

2.1.3. Des initiatives dans le champ de la construction

Si les travaux sur la conception sont très nombreux, en particulier bien sûr dans le secteur académique de l'enseignement de l'architecture, les recherches portant sur le thème du processus de construction sont quelque peu différentes. Cette thématique de recherche se caractérise par la diversité des intervenants et des points de vue qu'elle rassemble :

- Des professionnels de l'architecture : architectes et organisations syndicales,
- Des professionnels de la maîtrise d'ouvrage, intéressés notamment par les questions relatives au montage d'opération et à la gestion de patrimoine,
- Des professionnels du génie civil : ingénieurs, bureaux d'études très orientés vers la rationalisation des processus et des techniques de travail (approvisionnement de chantier, gestion de stock, optimisation de matériaux),
- Des économistes de la construction, travaillant notamment sur la rationalisation du processus de construction,
- Des entrepreneurs qui suivent de près les évolutions des méthodes de travail et apportent un point de vue particulier : gestion de ressources humaines, planification interne etc.

Ce champ de recherche est animé par divers organismes ou regroupements :

- Le réseau RAMAU²⁷ questionne l'évolution des pratiques de l'architecture et de ses métiers au sens large,
- Le PUCA apporte son soutien à l'innovation et à la valorisation scientifique et technique dans les domaines de l'aménagement des territoires, de l'habitat, de la construction et de la conception architecturale et urbaine. De nombreuses recherches ont porté sur les processus en œuvre dans l'ingénierie de conception-réalisation de bâtiment,
- Des revues internationales comme « Automation in Construction »²⁸ publient une majorité d'articles portant sur l'optimisation des processus de construction (planification, gestion des ressources, automatisation des tâches etc.),
- Enfin, des conférences en génie civil et architecture focalisent sur les thèmes de l'optimisation et de la modélisation des processus de construction (ECPPM, CIB-W78, IESM).

Ces différents axes de recherche dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction (AEC) peuvent se fédérer à travers deux caractéristiques essentielles :

- Ils se basent sur une connaissance ou une *analyse des pratiques* en vigueur dans le domaine AEC, de leurs particularités, et de l'inévitable évolution vers un secteur où la *coopération est essentielle*, afin de réduire les délais de production et d'assurer la compétitivité,
- Ils visent à tirer profit, dans les développements et les réflexions, *des bénéfices des Technologies de l'Information et de la Communication*, et à anticiper les changements qu'elles vont induire ou accompagner.

2.1.4. Notre positionnement

Face à ce contexte de recherches balayant le processus de conception-réalisation dans son ensemble, notre contribution se positionne ainsi :

- Nous menons une *approche interdisciplinaire*. Nous pensons que des méthodes, outils ou théories issues de divers secteurs d'activités peuvent profiter au domaine de l'architecture et de la construction et à ses spécificités. Toutefois nous tentons de garder

²⁷ <http://www.ramau.archi.fr>

²⁸ http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/523112/description#description

un regard critique sur ce que nous apportent les autres disciplines et leur capacité d'application dans notre domaine particulier,

- Nous nous *orientons sur la phase de mise en œuvre des ouvrages* : le chantier de construction. Ce parti pris répond d'abord à la continuité des travaux menés précédemment au laboratoire CRAI sur l'instrumentation des activités de conception. Il vise aussi à envisager la coopération en phase de construction avec un regard d'architecte et à prendre en compte le fait que le « projet d'architecture » évolue encore durant le chantier et implique d'autres interlocuteurs, dans des relations organisationnelles différentes par rapport à la phase de conception,
- Nous mettons en exergue un point de vue portant sur l'ingénierie coopérative, prônant la *responsabilisation des acteurs* à travers une organisation flexible de l'activité,
- Nous *prenons position de manière critique quant aux méthodes et outils d'assistance à la coopération*, existants dans le domaine de la construction, ainsi qu'à l'importation d'outils provenant d'autres secteurs d'activités. Nous proposons de dresser un bilan des stratégies de développement d'outils basés sur les TIC et applicables aux spécificités du secteur AEC,
- Enfin, le contexte académique dans lequel nous conduisons cette recherche²⁹ nous conduit à une étude *questionnant la place de l'architecte dans le processus de construction*. Il s'agit d'évaluer sa position actuelle et future dans l'organisation, mais aussi de prendre en compte l'expression du rapport particulier qu'il entretient avec le projet architectural.

2.2. Une approche expérimentale de la construction

Pour mieux appréhender le sujet qui est le nôtre et formuler précisément une problématique de recherche nous proposons une approche « empirique », basée sur une expérience de suivi de chantier.

Forts du constat développé dans le premier chapitre, mettant en avant les particularités dans les activités du secteur du bâtiment, les similitudes ou différences avec d'autres domaines, et les enjeux actuels du secteur, nous pressentons un certain potentiel dans l'introduction d'outils de coopération en phase chantier. Il nous paraît évident cependant, et d'autres travaux en

²⁹ Laboratoire MAP-CRAI situé au sein de l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

témoignage, que le secteur n'est pas disposé à utiliser des méthodes issues directement de l'industrie [Bignon 2002] ou du génie logiciel.

Cette partie décrit l'approche expérimentale que nous avons adoptée pour définir les termes précis de notre problématique.

2.2.1. Une expérience de chantier

2.2.1.1. Objectif

La coopération entre acteurs et la coordination des activités en phase chantier sont au centre de nos préoccupations. L'étude de cas par laquelle nous approfondissons maintenant notre sujet de recherche a donc pour objectif de mieux comprendre, par une mise en situation réelle, l'activité de construction, les acteurs qu'elle mobilise ou encore les relations qu'ils entretiennent au regard du bagage analytique que nous avons développé jusqu'ici (Chapitre 1).

Cette étude de cas doit nous aider à mettre en évidence et à communiquer au lecteur les méthodes de coordination utilisées ainsi que les dysfonctionnements et les problèmes rencontrés. Le dispositif de coordination du chantier semble dominé par la réunion de coordination hebdomadaire et par le compte-rendu de cette réunion qui transcrit son contenu : les décisions prises, les problèmes soulevés, l'état d'avancement du chantier et d'autres informations plus générales.

L'objectif plus précis de notre expérience est donc d'abord de mieux comprendre ces mécanismes : Qui participe à la réunion ? Qui rédige le compte-rendu ? Que contient-il ? Quelles sont les stratégies de chacun ? Quelles méthodes sont utilisées ? Quels outils ?

2.2.1.2. Suivi d'un chantier

Cette phase expérimentale a duré environ six mois durant lesquels nous nous sommes immergés chaque semaine dans une opération de construction, participant aux visites de chantier et aux diverses réunions. Le chantier que nous avons suivi est celui de la reconstruction du collège de Blénod-Lès-Pont-À-Mousson [CNDB 2006], près de Nancy (54).

Ce projet a été conçu par l'agence d'architecture « Cartignies - Canonica » (Vosges) en étroite collaboration avec le Bureau d'Etudes Techniques spécialisé dans le matériau Bois « Anglade » et le Bureau d'Etudes « OTH Est ».



Figure 4 : Chantier du collège de Blénod-Lès-Pont-À-Mousson

Il s'agit d'un bâtiment dont le maître d'ouvrage est public (Conseil Général de Meurthe et Moselle). Il est assisté d'un conducteur d'opération : la Solorem. Nous noterons le type de marché, en « corps d'états séparés »³⁰, dans lequel les entreprises signent chacune un marché, et sont coordonnées par un pilote indépendant (l'entreprise ETICO).

La Figure 5 rend compte, de manière schématique et non exhaustive, de l'organisation de ce chantier. Nous distinguerons sur cette figure les intervenants (sur la périphérie), et les dispositifs mis en place en phase chantier pour la coordination : activités (tâches de construction, réunions), et documents liés.

³⁰ Des sous-traitance ont cependant eu lieu, mais nous ne rentrerons pas dans ces détails qui ne servent pas notre sujet.

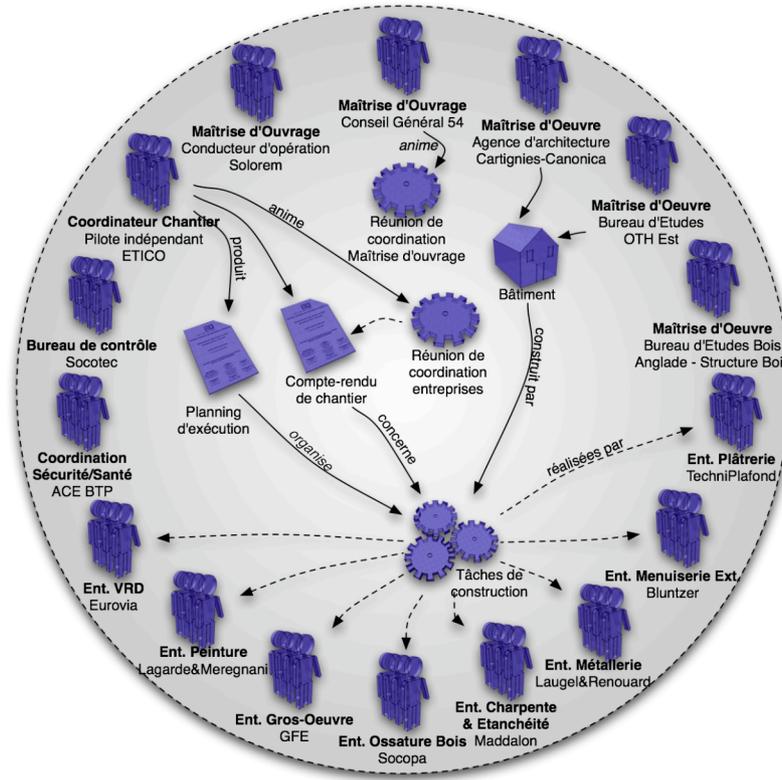


Figure 5 : « Contexte coopératif » du chantier du collège de Blénod-lès-pont-à-mousson

2.2.2. Dispositifs de coordination

2.2.2.1. La planification des tâches

Contrairement à la phase de conception, dans laquelle les activités sont relativement floues, le chantier se caractérise par une planification des tâches de construction rendue possible par l'état avancé de définition du projet architectural.

Les interventions des différentes entreprises sont anticipées et planifiées en fonction de plusieurs critères :

- L'enchaînement « logique » des étapes de la construction (gros-œuvre puis second-œuvre),

- La nature du projet qui mobilise des entreprises particulières ou requiert des méthodes de construction adaptées,
- La disponibilité des entreprises,
- La disponibilité des ressources (terrain, matières premières etc.),
- La durée de chaque tâche,
- Les « temps d'attente » avant ou après l'exécution de ces tâches,
- Etc.

Le planning prévisionnel est communiqué à tous les intervenants en début d'opération. Sa particularité, dans une activité de chantier, est d'être réactualisé régulièrement pour prendre en compte les changements dans l'activité : aléas météorologiques, retards de livraisons, retards d'exécution etc.

2.2.2.2. La réunion de coordination « entreprises »

La réunion de coordination qui se tient de manière hebdomadaire le mercredi est le lieu d'échanges et de mises au point. Elle regroupe tous les acteurs du chantier. Elle fait l'objet d'un protocole bien défini et mené par le pilote :

- Notification des présents et absents à la réunion,
- Décompte du nombre de jours d'intempéries,
- Recueil de l'effectif de chaque entreprise,
- Mise au point administrative,
- Rappel de l'avancement des tâches,
- Mise au point sur les tâches à venir,
- Revue des différents points particuliers de la semaine précédente avec les acteurs concernés,
- Questions ouvertes,
- Clôture de la réunion par une visite de chantier.

Bien qu'il soit extrait de notre cas d'étude particulier, ce protocole retranscrit assez bien les différentes phases d'une réunion sur la plupart des chantiers en « corps d'état séparés ». Dans les cas de chantier en « entreprise générale », c'est cette entreprise qui rend directement des comptes à la maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage, et qui coordonne indépendamment ses partenaires sous-traitants.

Notons qu'il existe un certain nombre d'autres réunions de coordination :

- Les *réunions de coordination « ad-hoc »*, dans lesquelles un acteur convoque tous les autres acteurs concernés par un problème bien particulier à résoudre (par exemple une réunion de « synthèse électricité »),
- Les *réunions de maîtrise d'ouvrage* dans lesquelles les acteurs de la maîtrise d'œuvre rendent des comptes sur l'avancement du chantier et sur les volets financiers ou administratifs. Elles sont généralement mensuelles,
- Les réunions de *coordination pour la Santé et la Sécurité des Personnes (SPS)*, tous les trois mois sur notre chantier,
- Etc.

Nous traiterons particulièrement dans la suite de ce mémoire, de la réunion hebdomadaire, qui est le point de rencontre de tous les acteurs du chantier. Les problèmes soulevés, les décisions prises et toutes les informations relatives au chantier et à l'activité de la semaine en cours sont retranscrites dans un compte-rendu de réunion de chantier.

2.2.2.3. Le rôle central du compte-rendu de chantier

Le compte-rendu a pour objectif de synthétiser les informations échangées au cours de la réunion et d'assurer leur transmission aux différents intervenants [Grezes et al. 1994]. Il a une valeur contractuelle et peut donc être contesté par n'importe quel intervenant. Son rôle essentiel dans la transmission de l'information de coordination nous a interpellé. Il nous est paru comme le « ciment » de la relation entre les différents professionnels impliqués dans le chantier.

Nous nous sommes donc intéressé à son contenu, la structuration de l'information, la présentation générale, mais aussi au mode d'édition et de consultation.

Une analyse approfondie sur la structure du compte-rendu de chantier dans différentes opérations a fait apparaître que sa structure est relativement stable d'une opération à l'autre. On y trouve les concepts suivants :

- Des informations générales relatives à la réunion et au chantier : tableau des participants, présents/absents, effectifs des entreprises, intempéries, prochaine réunion,
- Des informations sur l'état d'avancement du chantier (tâches effectuées, en cours ou à venir) et la coordination de ces tâches (ordre d'exécution),
- Des points particuliers décrivant des problèmes (résolus ou à résoudre), ou des remarques.

Il s'agit donc d'un document de coordination dont la particularité est d'être dynamique, actualisé au rythme du chantier (chaque semaine). Il est souvent couplé au planning de chantier qui offre une représentation graphique (Gantt, Pert) de l'enchaînement logique des tâches.

2.2.2.4. L'expression des points de vue des acteurs

Le compte-rendu de chantier rend compte dans sa production comme dans sa consultation du point de vue des acteurs sur l'activité. Nous nous intéressons ici à l'expression des points de vue dans le rapport entre l'acteur et le document de compte-rendu (CR).

Dans la phase de rédaction du CR, chaque acteur peut soumettre une remarque au rédacteur (ici le pilote). Selon la nature et la pertinence de la remarque, le pilote décide de la faire apparaître ou non dans le document. Ce procédé est essentiel puisqu'il assure une traçabilité des problèmes et des décisions rencontrés par chacun au cours du chantier.

Chaque intervenant est tenu de consulter le compte-rendu lorsqu'il est diffusé. Le délai de réclamation en cas de contestation d'une remarque est généralement de huit jours. Dans la consultation du document, nous considérons que le point de vue des acteurs s'exprime de deux façons différentes [Kubicki et al. 2005a] :

- Le *point de vue « a priori »* consiste en une consultation des points qui vont concerner le lecteur, c'est-à-dire ceux qui lui sont destinés. Par exemple, l'entrepreneur de gros-œuvre peut avoir besoin de voir les informations sur les ouvrages qu'il réalise à un instant donné. Dans la pratique le lecteur parcourt le compte-rendu dans la colonne « intervenant concerné » et ne lit que les remarques qui le concernent. Ce point de vue est largement anticipable,
- Le *point de vue « en situation »* est celui que l'acteur met en œuvre dans une situation de résolution de problème. Il va donc parcourir le document différemment pour trouver l'information dont il a besoin dans cette situation. Par exemple, si le problème est celui de la coordination entre deux corps d'états (tâche à proximité, ou dépendance) le lecteur ne va rechercher que les points qui concernent ces deux corps d'état. Ce point de vue est ad-hoc et difficilement anticipable.

L'expérience décrite ci-dessus nous permet d'identifier plus précisément ce que nous appelons le « contexte d'une activité de chantier ». Elle fournit un cadre « applicatif » à la construction de notre problématique de recherche (à venir §2.4).

2.3. Une approche pédagogique de la coopération médiatisée

Avant de décrire cette problématique dans son ensemble, nous proposons d'aborder, à nouveau de manière expérimentale, un autre point de notre positionnement critique de recherche (§2.1.4). Il s'agit du quatrième point que nous avons proposé, et qui consiste à prendre position sur les méthodes et outils d'assistance à la coopération, et particulièrement sur la façon de les mettre en œuvre.

L'intérêt que nous avons développé pour l'utilisation d'outils informatiques trouve son origine dans plusieurs pratiques :

- D'abord, dans l'utilisation quotidienne de tels outils pour nos activités de recherche, pédagogiques et personnelles,
- Ensuite, dans une démarche pédagogique que nous avons menée en parallèle de cette thèse, consistant à mettre en place des expériences de co-conception entre étudiants distants.

Dans le cadre du Master « Modélisation et Simulation des Espaces Bâti », nous avons donc participé au développement d'un nouvel enseignement³¹ destiné à des étudiants-architectes géographiquement dispersés, et dont l'objectif est de travailler sur la conception d'un projet à l'aide d'outils de coopération.

Le déroulement de ces projets pédagogiques, leur intérêt pédagogique ou encore leur contenu ne fait nullement l'objet de ce mémoire. D'ailleurs nous attirons bien l'attention sur le fait qu'elles mettent en jeu des projets de « conception architecturale » et non de construction.

³¹ Deux « expériences pédagogiques » ont pour l'instant eu lieu en 2004 (entre l'ENSA Nancy et l'université de Rangsit, Thaïlande) et en 2005-2006 (entre l'ENSA Nancy et l'ENSA Versailles).

La leçon que nous retenons de ces deux premières expériences est plutôt celle de l'importance de la phase de mise en œuvre d'une activité spécifique de coopération, dans un contexte marqué par la distance (géographique) entre les membres, et le caractère asynchrone de leurs échanges.

Si ce constat est aujourd'hui répandu dans les communautés de chercheurs en informatique (par exemple sur les collecticiels ou l'informatique mobile), nous notons que les similitudes avec le chantier sont importantes. En effet, les intervenants travaillent de manière souvent distante (ils ne se voient qu'une fois par semaine, tous ensemble, pour la réunion de chantier) et asynchrone (leurs tâches sont majoritairement séquentielles).

Le rôle que nous avons joué est celui de la « supervision des méthodes de coopération entre les groupes ». Nous avons donc choisi des outils et défini des protocoles d'échanges entre les groupes, et finalement évalué les étudiants sur le respect de ces critères.

2.3.1. Description des outils

L'outil PhpCollab a été utilisé pour la gestion des échanges asynchrones (fils de discussion, attribution des tâches et échange de documents) et des outils de visio-conférence ont supporté les échanges synchrones (réunion virtuelles avec l'outil VRVS³²).

Si les réunions virtuelles présentent un attrait et une efficacité évidents, certaines difficultés apparaissent (par exemple, montrer quelque chose sur un document est difficile).

Le serveur que nous avons mis en œuvre s'est avéré très utile pour l'échange de documents entre les équipes qui ne travaillaient pas dans un même lieu. Les étudiants se sont tous appropriés ce système qui évite une gestion complexe de courriers électroniques et offre un espace de stockage. Cependant, les fonctionnalités d'attribution de tâches sont restées largement sous-exploitées. Les rôles et les droits eux-mêmes sont très délicats à définir, dans un domaine où chacun participe au projet « à un niveau d'égalité » avec une hiérarchie peu précisée. La Figure 6 montre un espace de projet d'un des groupes d'étudiants. La section « Tâches » a été peu actualisée durant le projet. À l'inverse la section « Fichiers » a servi de lieu d'échange de documents entre tous les étudiants du groupe.

³² <http://www.vrvs.org>

Pour pondérer ce propos, nous rappelons que ces expériences pédagogiques ont concerné des projets de conception et non pas de construction. Nous avons vu que, dans la phase de construction, les rôles sont mieux définis, et la hiérarchie est très explicite.

MAP CRAI

Utilisateur: Sylvain Kubicki [Déconnexion](#) [Préférences](#) [Aller au site des projets](#)

Accueil Projets Clients Rapports Recherche Calendrier Signets Admin

Projets / Projet Eco-Logis

Projet : Projet Eco-Logis

Tâches

Nom	Priorité	Statut	Complétion	Date due	Assignée à	Publié
Mise en page et présentation	Moyenne	Non commencé	0 %	--	Salma	Oui
Conception Architecturale	Moyenne	Ouvert	10 %	--	Aurelie	Oui
Analyse des échanges, synthèse	Moyenne	Ouvert	10 %	--	Matthias	Oui
Aménagement intérieur	Moyenne	Ouvert	50 %	--	Pierre	Oui
Conception structurale	Moyenne	Ouvert	50 %	--	Mari	Oui

Discussions

Pas d'enregistrements

Équipe

Nom complet	Fonction	Utilisateur	Téléphone Travail	Connecté	Publié
Aurélie Perrin	Etudiante EAV	Aurèlie	Vide	Non	Oui
Jérôme Lotz	Enseignant CRAI	Jerome	Vide	Non	Non
Matthias Renard	Etudiant EAV	Matthias	Vide	Non	Oui
Mohamed Bouattour	Coordinateur	Mesd	Vide	Non	Oui
Nadia Hoyet	Enseignante EAV	nadia	Vide	Non	Non

1 2 [Montrer tout](#)

Fichiers

Type	Nom	Date	Approbations	Publié
PDF	454--406--2005-12-09_Croquis.pdf	2005-12-14 15:22	Approbation requise	Non
PDF	465--Dispositions reglementaires 1.pdf	2005-12-14 16:12	Approuvé	Oui
DWG	466--COUPE.dwg	2005-12-14 16:13	Approuvé	Oui
DWG	467--Silo existant.dwg	2005-12-14 16:13	Approuvé	Oui
PPT	562--Diapo 4 janvier 2006.ppt	2006-01-03 15:31	Approbation requise	Oui
PDF	502--Propositions HQE.pdf	2006-01-04 12:18	Approbation requise	Non
DOC	510--COMPTE RENDU DU 04.doc	2006-01-07 20:43	Approbation requise	Non
DWG	513--Silo.dwg	2006-01-09 10:04	Approbation requise	Non
JPG	707--crokis2 copie.jpg	2006-01-18 01:04	Approbation requise	Non
JPG	708--crokis copie.jpg	2006-01-18 01:04	Approbation requise	Non
PDF	713--References Logements.pdf	2006-01-18 01:17	Approbation requise	Non

Figure 6 : Un espace de projet d'étudiants sur PhpCollab

2.3.2. Synthèse

Le choix des outils pour assister la coopération entre les groupes d'étudiants a donc fait l'objet d'un réel travail en amont, à partir des groupes envisagés, de la fréquence de rendus de documents et des réunions virtuelles.

D'une manière générale, on peut dire que dans de telles situations coopératives les groupes ont besoin d'outils de partage et d'organisation (dépôt de documents, gestion de tâches) et d'outils de communication synchrones (visioconférence, présentations distantes) et asynchrones (forums). Il revient donc au coordinateur de mettre en place les outils en amont de la coopération, et d'explicitier les règles et les protocoles à respecter par chacun.

Cependant, nous avons noté suite à ces expériences que les règles mises en place sont toujours détournées par les différents groupes. Il s'agit d'une appropriation des outils, pour répondre aux besoins particuliers formulés par leurs utilisateurs. Ils sont adaptés au groupe (aux types d'échanges qui se mettent en place, à la distribution des rôles dans le projet) et à la nature même du projet (par exemple, des documents sonores requièrent des outils particuliers).

Pour mener à bien la tâche de « mise en œuvre de la coopération », et plus particulièrement du choix des outils, nous pensons donc que le coordinateur a besoin :

- D'une *connaissance, voire d'une anticipation, de l'organisation des acteurs* autour du projet à venir,
- D'une *connaissance des outils disponibles* et de leur utilité dans différentes situation coopératives, afin de suivre une *démarche rigoureuse de choix de ces outils*.

2.4. Formulation de notre problématique de recherche

2.4.1. Synthèse

Nous distinguons deux points de vue sur la coopération en phase chantier. Le premier est lié aux spécificités de la coopération dans cette activité, et illustré par l'expérience d'un suivi de chantier (§2.2).

Le second point de vue porte sur les tâches spécifiques consistant à programmer le déroulement d'une activité collective en amont de son déroulement. Nous nous intéressons particulièrement sur le choix des outils qui seront utilisés pour échanger, dialoguer ou se partager le travail (§2.3).

Notre approche de la réalité du chantier nous a permis de nous confronter à la *situation réelle d'une opération de construction*, avec un regard extérieur d'analyse des pratiques coopératives. Le premier chapitre de notre mémoire, exposant les particularités du secteur AEC, en est d'ailleurs largement redevable.

Notre analyse de la coordination en phase chantier s'est aussi beaucoup affinée durant cette phase expérimentale. Nous avons pu constater l'importance des circuits d'information et de décision informels, la réalité des stratégies internes, ou encore celle des non-dits.

Par ailleurs, nous retirerons de nos expériences de « coordination pédagogique » l'importance de l'analyse organisationnelle dans le choix des outils et des protocoles de travail collectif. Nous établissons un parallèle clair entre ces expériences et la réalité de la tâche de « préparation du chantier » menée par le coordinateur de chantier. En effet, c'est durant cette tâche qu'il décide quels outils seront utilisés (notamment pour produire et échanger des documents), mais d'une manière plus générale qu'il met en œuvre les protocoles de réunions, d'échanges de documents etc.

Ces protocoles sont fortement adaptés aux conditions d'un chantier particulier : taille et composition de l'équipe, complexité de la mise en œuvre, degré d'incertitude dans le projet etc.

2.4.2. Problématique

Nous pressentons à ce stade que la qualité de la coopération ne réside pas uniquement dans la maîtrise du processus et de la coordination par un acteur-clef comme c'est le cas dans d'autres domaines. Le concept « d'ingénierie coopérative », que nous avons introduit dans la partie 1.2.2, entraîne une forme de coordination particulière des activités que nous pourrions appeler une « coordination flexible ».

Selon nous plusieurs facteurs entrent en jeu dans la qualité et la « flexibilité » de la coordination dans le secteur du bâtiment :

- *L'anticipation des événements* qui relève de la capacité, de l'expérience d'un coordinateur,
- *Le charisme* qui permet à un acteur de s'imposer comme coordinateur dans un contexte où les rôles ne sont pas toujours bien répartis,
- *La maîtrise des canaux informationnels* qui sont le gage d'une information bien diffusée, « aux bons acteurs, au bon moment »,
- *L'implication* de tous les acteurs et leur capacité à concilier *stratégie interne et stratégie de groupe* dans le projet. Nous pensons que pour favoriser cet aspect particulier, il est

nécessaire de laisser une marge de manœuvre non-négligeable à l'entreprise. Un rapport de confiance doit s'établir entre le coordinateur et les entreprises, par exemple celles-ci doivent pouvoir prendre des décisions sans forcément en référer au coordinateur. Cette vision d'une coordination « flexible » et « par le bas » de l'activité sur les chantiers de construction semble idéaliste, mais, à notre avis, elle répond assez bien aux caractéristiques organisationnelles que nous avons évoquées.

Nous re-questionnons, à travers nos approches analytiques et expérimentales, le dispositif de coordination mis en place durant la phase de chantier. La question centrale que nous nous posons maintenant est *de savoir si des outils particuliers sont plus adaptés que d'autres à des situations particulières de l'organisation du chantier.*

Dans l'optique du développement de nouveaux outils d'assistance à la coordination du chantier, le problème sous-jacent que nous avons est celui de la *représentation de l'acteur, de son utilisation d'un outil et d'une manière générale de l'activité coopérative.* Nous tenterons pour cela d'organiser et de représenter le *contexte* d'un acteur impliqué dans une activité de construction et utilisant des outils.

2.4.3. Plan

Pour établir cette analyse, nous aborderons divers « phénomènes » du travail collectif.

D'abord, à l'échelle de l'organisation, nous tenterons de mieux comprendre comment se structurent les groupes d'acteurs dans l'activité de construction, et comment se met en place la coordination.

Puis, à l'échelle de l'individu, nous analyserons les mécanismes cognitifs qui guident l'action individuelle au sein d'un contexte plus large. Nous mettrons aussi en exergue les enjeux auxquels les concepteurs d'outils doivent faire face dans le développement d'applications supportant les activités de groupe,

Nous verrons alors quels outils permettent d'assister ces activités collectives dans le domaine du bâtiment, et quel potentiel les recherches dans d'autres secteurs (informatique mobile et

ubiquitaire, interfaces homme-machine etc.) présentent pour notre domaine d'intérêt. Cet état de l'art des outils nous permettra de proposer une « démarche globale pour le choix d'outils d'assistance à la coordination du chantier » à destination des coordinateurs,

Nous proposerons alors une méthode basée sur les modèles pour décrire ces outils existants, ainsi que pour assister notre démarche de développement de nouveaux outils.

Enfin nous présenterons nos propositions d'outils pour supporter et améliorer la coordination en phase chantier, ainsi que des éléments de validation de ces propositions.

Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments.
Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération.

Partie 2

Un recul théorique sur la coordination de l'activité collective

Contextes de l'action individuelle

Chapitres

- Ch.3* Les structures d'organisations collectives et les mécanismes de coordination dans le bâtiment.
- Ch.4* Le contexte dans l'action individuelle médiatisée.

Chapitre 3. Les structures d'organisations collectives et les mécanismes de coordination dans le bâtiment

L'analyse théorique et expérimentale de notre première partie a permis de soulever un certain nombre de spécificités et de questionnements propres au domaine du bâtiment et à l'activité de construction. Nous avons vu que notre intérêt particulier est celui de la compréhension de l'activité dans sa dimension collective, car nous pressentons que les pratiques actuelles ne sont pas optimales. Un questionnement de ces pratiques sous l'angle des Technologies de l'Information et de la Communication nous semble pertinent.

Dans cet objectif, nous proposons d'analyser l'activité collective dans le secteur AEC au travers de plusieurs théories qui nous semblent utiles pour la caractériser. Dans ce chapitre, nous souhaitons explorer la dimension collective de l'activité, et en particulier les composantes organisationnelles qu'elle met en relation. Ce travail a pour objectif de mettre en évidence les enjeux du travail collectif dans les chantiers de bâtiment afin de proposer des outils adaptés pour l'assister.

Les théories sur les organisations et le « management » nous permettront de comprendre les spécificités du regroupement d'acteurs autour d'un projet de construction. Les réflexions, plus contemporaines, sur la coopération nous conduiront à prendre en considération la nature des relations entre les intervenants, et la question de leur implication et de leur responsabilisation dans le projet. Nous pourrons alors décrire les mécanismes de coordination dans leur fonctionnement organisationnel mais aussi à travers leur caractère plus ou moins formel, et les moyens de communication qu'ils mettent en jeu.

Cette analyse plus fine, et centrée sur la coopération entre les acteurs, nous permettra de décrire l'activité coopérative comme un « contexte collectif » dans lequel les acteurs évoluent durant un projet.

3.1. L'organisation

3.1.1. Définition

Attachons nous, tout d'abord, à éclairer le concept d'organisation. Selon le TLFi, l'organisation est « l'action d'organiser quelque chose, de s'organiser en vue d'un résultat »³³. Il s'agit là d'une définition du terme dans une perspective d'action. La même source définit l'organisation d'un point de vue plus « statique » comme un « mode selon lequel un ensemble est structuré (en vue de résultats, d'actions déterminés) ».

On peut donc la voir comme un ensemble d'individus, regroupés au sein d'une structure régulée, dans le but d'atteindre un (ou des) besoin(s) ou objectif(s) déterminé(s).

Le champ de la sociologie des organisations, s'intéresse aux processus qui « mènent à l'organisation », leur fonctionnement et leur comparaison.

*« L'organisation peut concerner les diverses façons par lesquelles des groupements structurent les moyens dont ils disposent pour parvenir à leurs fins. [...] Finalement il s'agit aussi de l'action d'organiser, ou encore le processus qui engendre les groupements ou les structures organisationnels. »*³⁴

Plus précisément donc, l'organisation consiste à diviser le travail entre des opérateurs ou des entités, et à coordonner leurs différentes activités [Sardas et al. 2002].

Certains auteurs mettent en exergue le fait que, quoiqu'ils aient un objectif commun, les acteurs d'une organisation peuvent avoir des intérêts propres en opposition [Amblard et al. 2005]. Le conflit et la coopération sont donc des notions essentielles dans l'action collective, particulièrement étudiés dans la sociologie des organisations. Nous traiterons particulièrement

³³ <http://atilf.atilf.fr/dendien/scripts/tlfiv5/visusel.exe?12;s=1888484355;r=1;nat=:sol=1;>

³⁴ http://fr.wikipedia.org/wiki/Sociologie_des_organisations#Qu.27est-ce_qu.27une_organisation_3F

ces aspects, qui nous intéressent dans le domaine du bâtiment. En effet, nous avons vu que les acteurs sont hétérogènes et qu'ils mènent des stratégies souvent indépendantes.

Les sociologues désignent l'organisation comme une forme de « coopération ayant un but entre plusieurs personnes » [Karsten 1997] (p4). Nous allons tenter maintenant de comprendre comment les organisations se constituent et se structurent à travers différentes théories tirées de domaines comme la sociologie ou le « management »³⁵. Une question essentielle qui guidera cette exploration est celle de la compréhension des relations entre acteurs et des divers facteurs qui les génèrent ou les font évoluer. Les notions de coopération et de coordination seront aussi abordées pour comprendre quels mécanismes gèrent ces relations entre acteurs dans l'activité collective.

Philippe Bernoux a isolé les concepts qu'il considère comme étant des caractéristiques majeures des différentes organisations [Bernoux 1985] : la division des tâches, la distribution des rôles, le système d'autorité, le système de communication et le système de contribution et de rétribution.

Nous allons fonder notre approche autour de ces différentes caractéristiques, récurrentes dans la plupart des travaux et théories sur les organisations. Même si elles proviennent en grande partie de domaines comme l'industrie ou le management bureaucratique, elles permettront de comprendre la complexité de l'organisation dans le bâtiment et des enjeux qui y sont liés.

3.1.2. Approches scientifiques et sociologiques des révolutions industrielles

L'essor de l'industrialisation, marqué par la révolution industrielle, et le développement de l'organisation administrative ont fait l'objet d'études sociologiques et scientifiques qui sont aujourd'hui encore la base du fonctionnement de nombreuses organisations.

3.1.2.1. Une approche administrative

Henri Fayol (1841-1925) est l'un des précurseurs des recherches sur les organisations. Dans son approche, il considère le management comme un processus. Son travail porte sur la division de ce processus en parties logiques. Il classe ainsi le management administratif à travers cinq fonctions : planifier, organiser, commander, coordonner et contrôler [Fayol 1918].

Max Weber (1864-1920), sociologue et économiste allemand, développe ses travaux autour de la question centrale de la « rationalité » qui, selon lui, tend à s'imposer dans tous les domaines. Il

³⁵ Anglicisme couramment utilisé dans la langue française, le « management » est l'ensemble des techniques d'organisation, de direction et de gestion d'un groupe afin que celui-ci atteigne ses objectifs.

formalise le concept de bureaucratie, modèle d'organisation basé sur cette vision sociologique de la rationalité dans l'action humaine collective [Weber 1921].

Le management et la bureaucratie sont intimement liés par des concepts fondamentaux très proches :

- Un pouvoir fondé sur la compétence,
- Un fonctionnement s'appuyant sur une réglementation impersonnelle,
- Une exécution des tâches divisée en fonctions spécialisées,
- Une carrière réglée par des critères objectifs (ancienneté, qualification).

3.1.2.2. Une approche industrielle

Les travaux de Fayol et Weber en Europe se développent en parallèle de ceux qui sont menés par Frederick W. Taylor (1856-1915) aux Etats-Unis. L'approche de Taylor s'inscrit dans le courant de l'OST (Organisation Scientifique du Travail) et prend sa source dans les changements industriels majeurs de l'époque. Il se base sur un *modèle machiniste* des organisations. Selon lui, chaque tâche doit être décomposée jusqu'à sa plus simple unité pour identifier la meilleure manière d'effectuer un travail. Ensuite, le « superviseur » a pour rôle d'enseigner la méthode au « travailleur » et de s'assurer que celui-ci n'effectue que les tâches essentielles. Taylor prône ensuite une séparation fonctionnelle des activités de conception, d'organisation du travail et de production proprement dite.

La méthode développée par Taylor met en œuvre une volonté d'isoler l'ouvrier qui servira de modèle pour expérimenter les nouvelles méthodes de direction. L'individu n'est donc pas considéré à l'intérieur d'un groupe, mais plutôt comme une entité isolée. Une critique récurrente faite au travail de Taylor est justement celle de ses limites individuelles. En effet, le comportement d'un individu varie en fonction de son environnement de travail, notamment de son contexte sociologique.

Les entreprises employant ces méthodes ont vu leur productivité s'accroître considérablement. De nouveaux départements ont vu le jour comme la « gestion du personnel », les « bureaux des méthodes » ou le « contrôle qualité ».

La volonté de rationalisation se dégage d'une manière générale de ces travaux, « que ce soit par le haut (Fayol) ou par le bas (Taylor) » [Cabin 2005].

Ce courant de pensée est fortement marqué par un esprit capitaliste [Bernoux 1985] dans lequel s'inscrit le développement industriel, le système d'usine ou encore la mécanisation. Dans ce contexte, il tente « d'organiser le facteur humain » [Karsten 1997].

3.1.3. L'approche industrielle dans l'histoire de l'architecture

Ces méthodes tentant de rationaliser le travail en s'appuyant sur l'affirmation de la structure hiérarchique n'ont jamais vraiment été appliquées dans le domaine du bâtiment. La complexité de l'organisation des acteurs, et la diversité des interactions en sont probablement la raison.

Nous noterons tout de même que le modèle du système de production industriel a fasciné quelques architectes « modernes » du début du XX^{ème} siècle et influencé la production même de l'objet bâti plus que l'organisation des acteurs.

Walter Gropius (1883-1969) voyait dans la standardisation la condition de développement de la civilisation. Il prône dans son enseignement au Bauhaus³⁶ l'utilisation des matériaux nouveaux issus de l'industrie (métal, verre) ainsi que la conception de formes dont la qualité artistique doit être issue d'une réflexion machiniste [Giedion 1992].

En France, Jean Prouvé (1901-1984) entretient l'espoir d'atteindre la production de logements économiques en grande série sur le modèle de la production industrielle (Figure 7). Mises à part quelques productions exceptionnelles, cet objectif ne sera jamais atteint [Bignon et Coley 1992].



Figure 7 : Maison « des jours meilleurs ». Architecte : Jean Prouvé

³⁶ Le Bauhaus est un Institut d'art et de métiers fondé en 1919 à Weimar (Allemagne) par Walter Gropius. Le terme désigne aussi par extension un courant artistique concernant notamment, l'architecture et le design. Ce mouvement posera les bases du courant de l'architecture moderne, et notamment du style international.

D'une manière générale, les tentatives d'application des modèles industriels prônés par Taylor, Fayol ou Weber resteront très limitées. Le caractère prototypique et adapté de chaque opération rend la construction de masse très délicate.

Mais au-delà de l'objet construit, l'organisation très hiérarchisée et intégrée du système industriel ne se développera pas non plus dans le bâtiment, pour des raisons que nous avons expliquées dans le premier chapitre.

Si les théories précédentes semblent trop rigides pour s'adapter à notre domaine d'étude, d'autres les ont suivi et ont tenté de mettre en avant l'importance du facteur humain dans la structure et le fonctionnement des organisations. La sociologie du travail a ainsi émis des hypothèses permettant de mieux comprendre la relation entre la structure d'une organisation et l'environnement dans lequel elle s'insère.

3.1.4. L'organisation en phase chantier

Concernant notre besoin direct qui consiste à analyser les caractéristiques de l'activité collective dans le domaine du bâtiment, nous devons maintenant qualifier ce que nous appellerons « organisation » afin d'utiliser les concepts qui lui sont liés dans notre démonstration.

- Il y a d'abord *l'organisation limitée* à « *l'entreprise unique* », telle qu'elle est le plus souvent évoquée ci-dessus. Il peut s'agir des diverses entreprises impliquées dans le cycle de vie de production du bâtiment comme les industriels produisant des matières premières, des entreprises de la construction mais aussi des petits ou grands bureaux d'études ou même de très petites agences. En effet, l'organisation telle que nous l'avons abordée s'intéresse historiquement aux grandes firmes pour lesquelles les enjeux du management sont fondamentaux, mais les théories permettent de qualifier tout groupe d'activité. Notons que dans ce sens, le domaine AEC se caractérise par des firmes très diversifiées. Elles ne génèrent, par exemple, pas toutes le même type de produit : service (conseil, gestion) ou objet (matière première, assemblage),
- Il y a ensuite *l'organisation comme rassemblement de professionnels aux compétences variées autour d'un objectif* commun et fédérateur : la construction du projet de bâtiment. On parlera alors d'entreprise-projet³⁷ [Malcurat 2002]. C'est ce type

³⁷ L'entreprise-projet désigne une équipe dont les membres sont issus de plusieurs organisations et réunis à l'occasion d'un projet éphémère.

d'organisation qui est au centre de nos réflexions. En effet, les caractéristiques que nous avons évoquées (dans la partie 1.1.1) ont mis en évidence des difficultés dans l'activité de construction et notamment issue de sa dimension collective et coopérative. Dans ce sens, l'organisation est plus complexe à appréhender. Quels acteurs la composent ? Quelles sont leurs motivations, leurs stratégies ? Quels facteurs externes peuvent modifier sa structure ? Comment appréhender le fait qu'un même acteur soit impliqué dans plusieurs organisations (puisqu'il participe à plusieurs projets) ? « L'entreprise projet » est composée d'entreprises qui ont elles-mêmes leurs problèmes de structure et d'organisation.

Pour tenter de nous éclairer sur ces questions nous faisons l'hypothèse que l'approche sociologique ne nous suffit plus et que l'approche « scientifique » que nous avons évoqué au début de ce chapitre est quelque peu « dépassée ».

Nous proposons donc maintenant de nous tourner vers des théories plus récentes qui tentent de caractériser la structure des organisations. Nous évoquerons plusieurs « modèles » de structure organisationnelle qui nous permettront de caractériser notre domaine d'intérêt.

3.2. La structure des organisations

L'analyse de la structure des organisations a fait l'objet de nombreux travaux au cours du XX^{ème} siècle. En effet, les organisations sont observées par les théoriciens comme des *systèmes complexes de composants interdépendants* [Thompson 1967]. L'analyse de la structure est donc complétée d'une volonté de compréhension de la dynamique et des relations nombreuses et complexes entre les différentes parties [Mintzberg 1978].

Enfin, selon Thompson, considérer la structure des organisations implique un point de vue sociotechnique sur les systèmes étudiés.

« A system containing both human and non-human resources or facilities »³⁸

³⁸ Traduction : Un système contenant à la fois des ressources et une gestion humaine et non-humaine (notamment technique)

3.2.1. Rationnel vs. naturel

3.2.1.1. Théorie de Thompson

Thompson est l'un des premiers théoriciens à proposer une typologie des systèmes d'organisation en opposant un modèle « de type rationnel » de l'étude des organisations à un modèle « de type système naturel » [Thompson 1967] :

- La *modèle du système fermé* (closed-system) est la base d'analyse du modèle rationnel. Thompson explique qu'il se restreint à l'analyse d'un état invariant du système, fixant les circonstances et les variables de l'environnement comme des certitudes contrôlées. Il caractérise par ce modèle trois écoles de pensées que nous avons décrites dans les paragraphes précédents : « l'organisation scientifique du travail » de Taylor, la « gestion administrative » ou encore la « bureaucratie »,
- La *modèle du système ouvert* (open-system) est opposé par Thompson au précédent. Ce modèle est plutôt celui des « systèmes naturels ». Il propose de prendre en compte le fait qu'un système contienne plus de variables que nous ne puissions en appréhender, ou que ces variables soient sujettes à des influences que nous ne pouvons pas toujours prédire ni contrôler. L'approche « naturelle » conduit à identifier des *parties indépendantes* qui, mises ensemble, forment un tout. Chacune contribue en fournissant quelque chose et reçoit elle-même quelque chose. Ce modèle met en évidence les interdépendances entre parties de l'organisation et leur aspect critique dans la conduite des processus. Nous verrons plus tard que la théorie de la coordination proposée par Thompson est fondamentalement basée sur cette hypothèse.

La *question de l'incertitude* (dans l'analyse comme dans la pratique courante des organisations) est centrale dans ces deux modèles. Si l'intégration verticale dans l'entreprise, la division des tâches et l'organisation du travail tentent de dominer l'environnement et donc de réduire les incertitudes (système fermé), d'autres pratiques sont moins louables, comme l'entente sur les prix ou la formation de cartels.

3.2.1.2. Application au secteur AEC

Dans les opérations de conception et de construction de bâtiments, c'est le *système ouvert* qui prédomine. Ce concept rend compte de la constitution agrégative de l'équipe autour d'un projet particulier, limité dans le temps. Nous avons vu d'ailleurs que la réglementation, elle-même, interdit l'agrégation des structures afin de favoriser la mise en concurrence.

Le système ouvert illustre enfin le rapport du système à son environnement à travers l'existence de nombreuses incertitudes que nous avons développées dans le premier chapitre (§1.1.1.2).

Mais, l'incertitude existe aussi à des niveaux inférieurs de l'organisation, là où les acteurs opérationnels interviennent. Ce sont dans ces activités que le « modèle du système ouvert » est le plus visible, quand les acteurs se regroupent, s'entraident, se réorganisent de manière informelle, ou « naturelle », en fonction de la réalité pratique des conditions du travail.

« L'ingénierie coopérative » introduite dans le premier chapitre tendrait donc à se rapprocher du système ouvert de l'organisation tel qu'il est décrit par Thompson.

3.2.2. « L'adhocracie »

3.2.2.1. Le concept « d'adhocracie »

D'autres théoriciens ont pressenti que le modèle rationnel ne semblait pas suffisant pour décrire la complexité de l'organisation du travail collectif. Toffler est l'un des premiers à opposer le concept de *bureaucratie* à celui d'*adhocracie*, terme qu'il introduit d'ailleurs dans son ouvrage « The future shock » [Toffler 1970].

Selon lui, la *bureaucratie* peut être vue « comme un réseau de rôles attribués à des individus », en opposition à un réseau d'individus regroupés par d'autres critères (comme un réseau social, une communauté). Le rôle se manifeste dans un système hiérarchique, basé sur l'autorité et caractérisé par une forte impersonnalité. Nous avons vu que la bureaucratie est centrale dans les travaux de Weber, et qu'elle caractérise les systèmes rationnels. Elle s'applique particulièrement dans les organisations dont la stratégie est de type « fermée » selon la typologie de Thompson.

En opposition à cette pensée rationnelle, Toffler introduit et défend le concept d'*adhocratie*, permettant de caractériser des formes d'organisation très flexibles, incluant des changements fréquents et une hétérogénéité dans les intervenants. Les réseaux de communication sont fortement décentralisés entre des groupes relativement autonomes. On se trouve alors dans le modèle de « système naturel » selon la typologie de Thompson. Le regroupement adhocratique est une forme de réponse des acteurs à l'incertitude dans l'organisation.

Gachet et Brézillon reprennent d'ailleurs ce concept dans leur modèle des organisations [Gachet et Brézillon 2005b], pour caractériser les organisations qu'ils appellent les « task force ». Ces organisations émergent presque spontanément pour faire face à des événements imprévus, pour

de courtes durées, et rassemblant des professionnels aux compétences variées autour de missions focalisées sur un objectif [Gachet et Brézillon 2005a]. Ils appliquent ce concept pour caractériser la formation de groupe « ad-hoc » dans le domaine de la prise de décision.

Beairsto s'intéresse particulièrement à l'adhocratie dans sa thèse, et affirme qu'elle définit « la structure flexible d'une équipe interdisciplinaire qui est la mieux adaptée à la réalisation de tâches complexes dans un environnement dynamique et peu prévisible » [Beairsto 1997]. Il soulève une question fondamentale dans la réussite de ces organisations, celle de l'expression du « leadership », où comment l'émergence d'un acteur « dirigeant » favorise ou défavorise l'adhocratie.

3.2.2.2. Application au secteur AEC

Dans le domaine AEC, de tels regroupements d'intervenants se produisent très régulièrement. Ils sont nécessaires pour faire face à l'incertitude de l'activité de construction, mais aussi pour accompagner la conception de détails du projet durant le chantier. Nous insisterons sur le fait que l'ajustement des tâches de deux intervenants se fait souvent de manière informelle, deux entreprises se coordonnant sur la réalisation d'un détail par exemple. Dans ce cas, l'autorité hiérarchique n'est pas forcément informée de cette décision, qui relève de la responsabilité des entreprises en coopération.

Un exemple de ce type d'organisation éphémère et informelle est la réalisation d'une réservation pour le passage de la plomberie dans une dalle. Le maçon réalise la réservation dans la dalle sur la demande du plombier qui lui précise les dimensions et l'emplacement de ses gaines. Cette coopération ne concerne que ces deux intervenants et engage leur responsabilité. En cas d'erreur, ils devront s'arranger pour en partager les frais, car déterminer qui est responsable est presque impossible.

Au-delà de ces activités d'ajustement à l'échelle des intervenants individuels, l'adhocratie, par ses caractéristiques, nous rappelle la forme globale de l'organisation autour d'un projet : « l'entreprise-projet ». Les différentes entreprises qui se regroupent sont autant de pièces constitutives d'une équipe globale éphémère, constituée pour la réalisation d'un but donné et dont la structure répond à ce but et non pas à des règles formellement établies. Jacotte Bobroff qualifie cela « d'organisation transversale » en opposition aux multiples organisations verticales que l'on retrouve dans chaque firme [Bobroff 1993]. Cette organisation transversale dans le secteur du BTP est d'ailleurs reconnue comme performante par les autres secteurs industriels

pour l'autonomie laissée aux différents intervenants ainsi que « leur sens des responsabilités », qui illustre parfaitement les fondements de l'adhocratie.

Nous voyons que des concepts fondateurs des théories sur l'organisation trouvent un sens dans la caractérisation de l'activité collective de mise en œuvre du bâtiment. Nous proposons dans les paragraphes suivants de nous concentrer sur des typologies des organisations afin de décrire la complexité du chantier, et la dynamique qui l'anime.

3.2.3. Une typologie des structures organisationnelles

Henry Mintzberg propose une analyse fédératrice et synthétique des organisations [Mintzberg 1978]. Nous reviendrons à plusieurs reprises sur le travail de cet auteur. En effet, son apport est conséquent. Pour le résumer, il a défini les parties constituantes de toute organisation et les a utilisés afin de caractériser des types d'organisation. Il a aussi proposé une typologie des mécanismes de coordination en jeu dans ces différentes formes organisationnelles sur laquelle nous nous attarderons.

3.2.3.1. Les parties de base de l'organisation

Selon la théorie de Mintzberg, l'organisation est constituée de cinq « parties de base » (Figure 8) :

- Dans le *centre opérationnel* (en bas), les opérateurs accomplissent le travail qui est la raison d'être de l'organisation et qui conduit directement à la production de biens ou de services,

Au-dessus du centre opérationnel, on trouve ce que Mintzberg appelle « la partie administrative de l'organisation ». Elle contient elle-même deux parties :

- Les managers du *sommet stratégique* et leurs assistants, dont la mission est de faire en sorte que l'organisation « remplisse sa mission de manière efficace, et qu'elle serve les besoins de ceux qui contrôlent l'organisation ou qui ont sur elle du pouvoir »,
- Les managers de la *ligne hiérarchique*. Cette ligne joint le sommet stratégique au centre opérationnel. Elle se compose de cadres de niveaux intermédiaires, chargés de superviser le travail du centre opérationnel. Elle incarne la division des tâches de coordination entre plusieurs cadres dans le cas d'organisations de grande taille. Mintzberg cite en exemple la hiérarchie de commandement dans l'armée américaine,

De part et d'autres de cette ligne hiérarchique on trouve :

- La *technostructure* qui regroupe les analystes qui standardisent le travail des autres et qui aident l'organisation à s'adapter à son environnement. Nous noterons que ces analystes sont dissociés du flux direct du travail. Ils conçoivent et planifient les tâches ou forment les opérateurs. Ces analystes sont le moteur de la standardisation dans l'organisation. Mintzberg introduit trois sortes d'analystes de contrôle : les analystes du travail (tels que les spécialistes de méthodes) qui *standardisent les procédés de travail* ; les analystes de planification et de contrôle (planification à long terme, budget, comptabilité) qui *standardisent les résultats* ; et les analystes du personnel (recrutement, formation) qui *standardisent les qualifications*,
- Enfin, les *fonctions de support logistique* interviennent indirectement dans le flux de travail. Il s'agit par exemple de la recherche, les départements juridiques, les relations publiques ou encore le restaurant d'entreprise. Ces unités spécialisées se situent en dehors du flux de travail et ont donc vis-à-vis de ce dernier une fonction de support. Ces unités sont intégrées à l'organisation et permettent de limiter les variables et les incertitudes qui sont dues à la sous-traitance extérieure à l'organisation.

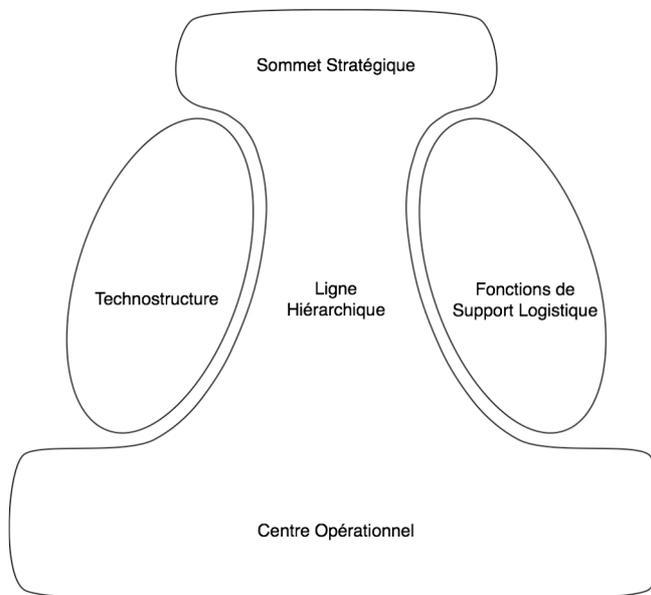


Figure 8 : Les cinq parties de base de l'organisation selon Mintzberg

3.2.3.2. Application à l'organisation en phase chantier

Les cinq parties de base de la théorie de Mintzberg sur la structure des organisations se trouvent suffisamment complètes pour décrire la situation particulière existant dans le domaine du bâtiment.

Pour cela, nous partons de la définition de l'organisation, que nous avons formulée dans la partie 3.1.4, et qui voit l'organisation comme une « entreprise-projet », un rassemblement de professionnels autour d'un objectif commun : la réalisation du projet architectural.

- Le centre opérationnel représente les différentes entreprises réalisant les tâches de construction sur le chantier,
- Le sommet stratégique comprend le maître d'ouvrage (car il a un rôle important dans la prise de décision) et les acteurs principaux de la maîtrise d'œuvre. Ces acteurs travaillent pour un client : l'utilisateur final (s'il est différent du maître d'ouvrage),
- Des acteurs secondaires de la maîtrise d'œuvre se situent dans la ligne hiérarchique, comme certains BET spécialisés ou encore les bureaux de contrôle. Leur influence sur les entreprises n'est que limitée (par exemple le BET Bois ne conseille que les entreprises de charpente ou de menuiserie),
- La technostructure comprend les acteurs orientés vers la coordination des tâches : le pilote de chantier ou le gestionnaire financier,
- Les fonctions de support logistique comprennent, par exemple, les fournisseurs, notamment les industriels fournissant des ouvrages préfabriqués (dans le sens où ils limitent fortement l'incertitude liée à l'activité du centre opérationnel). Les acteurs liés au contrôle de l'exécution trouvent aussi leur place dans cette partie : bureau de contrôle, coordinateur SPS (Sécurité) etc.

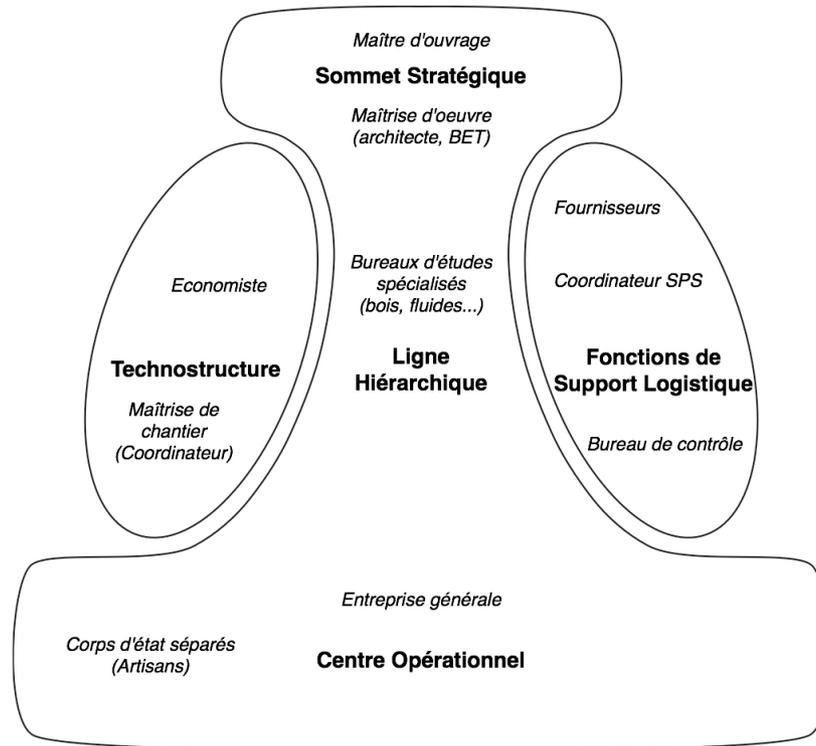


Figure 9 : La structure de l'organisation de projet dans le domaine de la construction

Le modèle de Mintzberg permet donc de resituer les différents acteurs au sein de l'organisation d'un projet de construction, en le détournant cependant de sa fonction d'origine qui vise plutôt à caractériser une firme particulière.

Sur ces constats de l'existence de cinq parties de base, de la mise en évidence d'un système de flux et d'une analyse contingente, Mintzberg propose cinq configurations structurelles qui selon lui décrivent la plupart des organisations : la structure simple, la bureaucratie mécaniste, la bureaucratie professionnelle, la structure divisionnalisée et l'adhocratie.

Nous allons détailler maintenant chacune de ces configurations et montrer que certaines d'entre elles sont adaptées pour décrire des structures organisationnelles présentes dans l'activité du chantier.

3.2.3.3. Les configurations organisationnelles et leurs caractéristiques en phase chantier

La *structure simple* caractérise les petites organisations ou les organisations « jeunes ». Elle met en relation directement le sommet stratégique au centre opérationnel. La division du travail est imprécise, la différenciation des unités est minimale, l'encadrement est réduit et la communication est informelle.

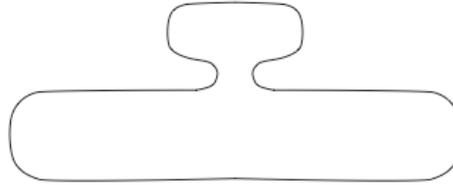


Figure 10 : La structure simple

Cette structure décrit par exemple des entreprises artisanales de construction souvent mono-spécialisées (un patron et quelques manœuvres). Elle est peu adaptée pour représenter l'organisation plus complexe des intervenants d'un projet de construction.

La *bureaucratie mécaniste* est une configuration « mise au point avec soin pour fonctionner comme une machine bien intégrée et bien réglée ». Elle se caractérise par des tâches opérationnelles routinières et spécialisées, des procédures très formalisées, une prolifération de règles, de régulation, et de communication formalisée, ou encore une centralisation des pouvoirs de décisions. Cette configuration est très proche de celles qui sont proposées par Weber (bureaucratie administrative) et Taylor (dans les usines de production).

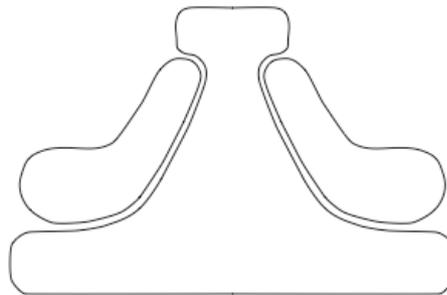


Figure 11 : La bureaucratie mécaniste

Cette structure dans laquelle chaque intervenant connaît précisément la nature de sa tâche et le moment d'intervention est évidemment loin de la réalité du travail séquentiel, irrégulier ou situé du travail sur le chantier.

La *bureaucratie professionnelle* s'appuie essentiellement sur le travail des opérateurs. Bien que leurs tâches puissent être complexes, les opérateurs conservent une grande liberté dans la manière de les exécuter. La structure de ces organisations « est essentiellement bureaucratique, sa coordination est assurée par les standards qui déterminent à l'avance ce qui doit être fait ». Les acteurs des fonctions de support jouent un rôle important dans l'assistance du travail des opérateurs avec qui ils entretiennent des relations généralement informelles.

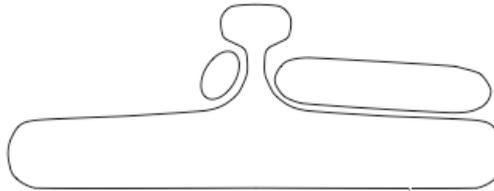


Figure 12 : La bureaucratie professionnelle

On se trouve ici avec une forme structurelle bien plus adaptée à notre besoin. En effet, les entreprises (vu comme des « opérateurs ») ont une marge de manœuvre importante dans l'activité et rendent modérément des comptes sur leurs tâches. Les fonctions de support sont essentielles pour le déroulement du travail (fournisseurs, sous-traitance). D'ailleurs on peut noter que certains acteurs de la maîtrise d'œuvre glissent souvent temporairement vers cette fonction de support. Par exemple, le bureau de contrôle peut valider un choix technique d'une entreprise et lui permettre ainsi de continuer son activité.

Nous reviendrons plus loin sur la question des standards. En effet, cette structure de l'organisation fonctionne par réponse des entreprises à des standards attendus, et les « acteurs supports » endossent aussi un rôle de contrôle. Ce type de configuration ne favorise donc pas l'innovation puisqu'on vérifie surtout la conformité avec le résultat attendu.

La *structure divisionnalisée* peut être vue comme un ensemble d'entités quasi-autonomes couplées par une structure administrative centrale. Il s'agit d'une structure qui « chapeaute » d'autres structures. En général le sommet stratégique laisse aux divisions presque toute latitude

de décision, puis contrôle les résultats de ces décisions à posteriori. Le siège met généralement en place un système de contrôle des performances qui permet d'évaluer finement les résultats.

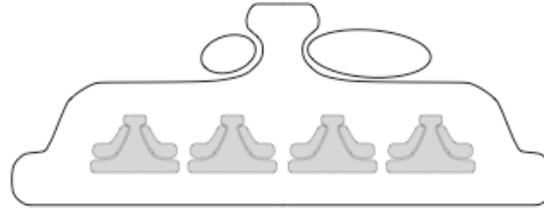


Figure 13 : La structure divisionnalisée

Là encore, on retrouve une proximité avec l'organisation du chantier. Cette configuration définit précisément « l'entreprise-projet » évoquée précédemment. L'autonomie des divisions permet à chaque entreprise de gérer son fonctionnement en interne, sa stratégie. Le « siège » représente les acteurs de la coordination ainsi que la maîtrise d'ouvrage qui évalue aussi les résultats. Les fonctions de support comprennent les ressources exploitées par chacun des intervenants : grue, bennes à déchets etc.

Enfin, *l'adhocratie* est vue par Mintzberg comme une structure « permettant de fusionner les travaux d'experts appartenant à des disciplines diverses dans des groupes de projet constitués en fonction des besoins et travaillant sans à-coup ». Il s'inscrit par là totalement dans la vision de Toffler qui est l'initiateur de ce concept. L'adhocratie permet de décrire des structures dans lesquelles l'innovation est très présente. De telles organisations ne peuvent donc s'appuyer sur aucune forme de standardisation pour coordonner leurs activités. Mintzberg ajoute que l'adhocratie est la configuration structurelle qui « respecte le moins les principes classiques de gestion, et spécialement l'unité de commandement ». Pour utiliser ce mode de configuration il est nécessaire de « recruter des experts et [de] leur donner du pouvoir ». Elle est « clairement située dans un environnement à la fois complexe et dynamique ». La Figure 14 montre que le centre opérationnel au sens propre est quasi-inexistant car aucune opération n'est répétitive.

A structural configuration that « [...] is able to fuse experts drawn from different disciplines into smoothly functioning ad hoc project teams » [Mintzberg 1978]³⁹

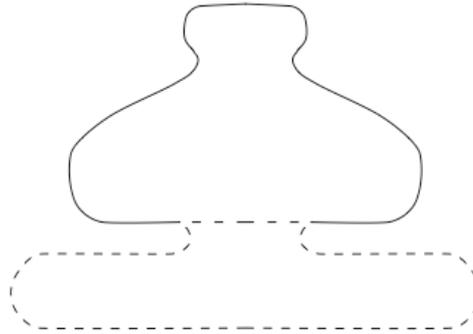


Figure 14 : L'adhocracie

L'adhocratie est la troisième forme d'organisation très présente sur le chantier. Divers intervenants se regroupent autour de la résolution d'un problème. Nous avons déjà détaillé ce fonctionnement dans la partie 3.2.2.2.

Le modèle des organisations proposé par Mintzberg dans les années 70 est constitué :

- De cinq parties de base présentes, selon Mintzberg, dans toute organisation,
- De la caractérisation des divers flux entre ces parties, permettant d'interpréter les aspects dynamiques des organisations, que nous n'avons pas développé ici,
- De configurations structurelles « types », mêlant les parties de base, les flux et des mécanismes de coordination et décrivant la plupart des organisations. Nous reviendrons par la suite de ce chapitre sur les mécanismes de coordination qui sont associés à ces formes organisationnelles.

Nous avons vu que cette typologie semble pertinente jusqu'ici pour décrire l'organisation des acteurs autour d'un projet de construction. Nous précisons progressivement notre analyse de l'activité collective dans le domaine.

³⁹ Traduction : Une configuration structurelle « capable de rassembler des experts provenant de différentes disciplines dans des équipes de projet « ad-hoc » et fonctionnant correctement. »

Nous relevons cependant une difficulté essentielle dans notre entreprise : les cinq configurations structurelles de Mintzberg (Figure 8) semblent s'adapter dans plusieurs situations du domaine du bâtiment. Il est donc maintenant nécessaire de comprendre les relations entre les différentes structures organisationnelles existant dans une opération de construction.

3.2.4. La dynamique de l'organisation

3.2.4.1. Un modèle de l'organisation à quatre niveaux

Alexandre Gachet et Patrick Brézillon, dans leurs récents travaux sur l'assistance à la prise de décision proposent une typologie des structures organisationnelles sous la forme d'un modèle multi-niveaux [Gachet et Brézillon 2005b].

Ils ont isolé dans un premier temps quelques structures organisationnelles remarquables :

- Les *réseaux sociaux* sont constitués d'individus qui se regroupent et se fédèrent autour de buts individuels. Leur structure se caractérise par une flexibilité et une absence de hiérarchie,
- Les *entreprises* se définissent comme un « ensemble de parties opérant sous le contrôle d'une organisation unique »⁴⁰. De manière moins formelle, les auteurs la définissent comme une « collection d'organisations et de personnes, formées pour créer et distribuer des produits ou des services aux clients dans un segment de marché compétitif »,
- Les *communautés de pratiques* sont des groupes semi-structurés de personnes partageant une thématique ou un problème, qui unissent leurs connaissances et leur expertise. Une forme particulière de hiérarchie (ou de reconnaissance) est observable, essentiellement basée sur les rôles de chacun des participants (producteurs ou consommateurs). Les communautés de chercheurs académiques sont cités en exemple. En effet, les chercheurs les plus « agés et reconnus » ont des rôles plus reconnus que les jeunes,

⁴⁰ Gachet et Brézillon se réfèrent à une définition de « l'US Census Bureau » : « an enterprise, or company, is comprised of all the establishments that operate under the ownership or control of a single organization »

- Les « *task forces* » sont des « organisations temporaires formées pour travailler sur une tâche ou activité unique bien définie »⁴¹. C'est moins la hiérarchie que la « mission » qui pilote cette équipe formée temporairement pour résoudre un problème imprévu.

Dans un deuxième temps, pour classer ces structures organisationnelles, Gachet et Brézillon proposent un modèle multi-niveaux (Figure 15) :

- Le *niveau humain* supporte les autres niveaux du modèle. Tous les autres niveaux sont composés d'acteurs individuels issus de réseaux sociaux du niveau humain,
- Le *niveau de l'organisation* décrit des réseaux de groupes sociaux, poursuivant leurs propres buts et intérêts. Englobant les entreprises, il comprend particulièrement une perspective technique et économique, ainsi que l'idée d'un système de production adapté à la demande. Ce niveau est relativement proche du concept de bureaucratie caractérisé par des procédures standardisées, un partage des responsabilités, une hiérarchie et des relations entre acteurs plutôt impersonnelles,
- Le *niveau de la communauté* se réfère ici à un « corps unifié d'individus émergeant d'un groupe social existant ». Ses racines sont à la fois dans le niveau de la communauté et le niveau humain. Une telle structure apparaît lorsque qu'un point de focalisation dans un domaine spécifique émerge entre des individus d'un réseau social ou d'une organisation. Cet objectif partagé donne à la communauté un contexte collectif et les individus s'organisent comme des acteurs avec des rôles,
- Le *niveau de « l'adhocratie »* représente toute forme d'organisation capable de saisir des opportunités, de résoudre des problèmes et d'obtenir des résultats. Une telle structure présente l'avantage d'être flexible, multi-disciplinaire et très adaptée pour les tâches complexes dans des environnements changeant et peu prévisibles [Beairsto 1997]. Elle n'est pas organisée autour de règles formelles et ne met pas en œuvre des procédures standardisées. Dans une entreprise, un regroupement adhocratique permettra, par exemple, de prendre des décisions exceptionnelles sans nécessiter l'approbation des responsables hiérarchiques.

⁴¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Task_force

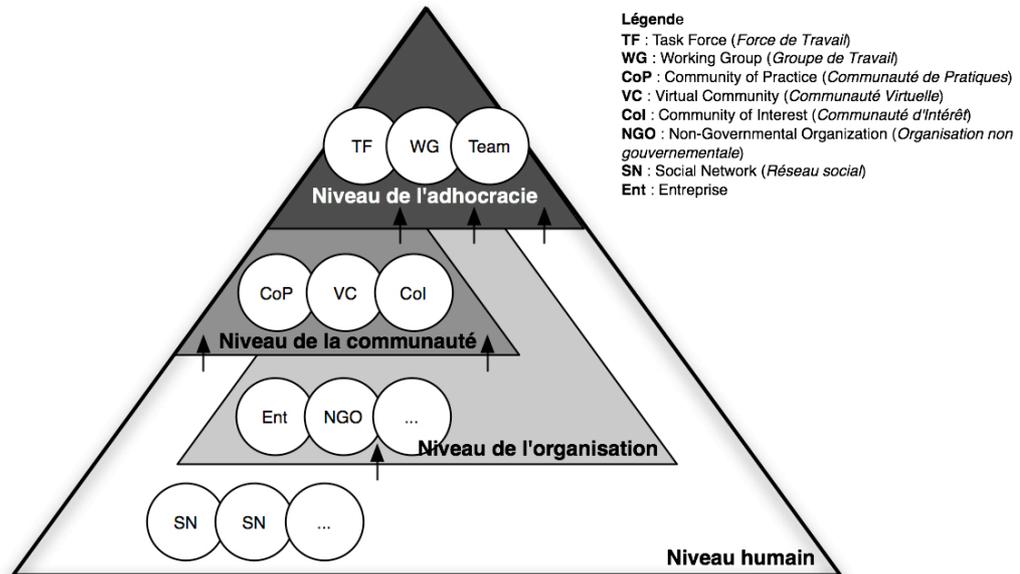


Figure 15 : Modèle organisationnel à 4 niveaux de Gachet et Brézillon

3.2.4.2. La dynamique de l'organisation en phase chantier

Selon nous, dans ce modèle, le groupe d'intervenants du chantier se situerait au niveau de la communauté. Le but est celui de la réalisation du bâtiment. Les rôles sont répartis entre les entreprises du « niveau de l'organisation »⁴². Le niveau adhocratique est présent et nous voyons bien ici qu'il convoque des acteurs de la communauté ou des entreprises (du niveau de l'organisation) pour la résolution d'un problème donné.

Si Gachet et Brézillon insistent essentiellement sur les différents niveaux et leurs caractéristiques de formation et de fonctionnement, nous sommes plutôt intéressés, dans l'approche qui est la nôtre, par la dynamique décrite par ce modèle.

En effet, comme le symbolisent les flèches noires de la Figure 15, chaque niveau du modèle trouve son origine et sa composition dans un niveau inférieur. L'avantage d'une telle définition

⁴² Notons que l'organisation revêt ici un sens limité à l'entreprise unique. Le groupe d'entreprises ou « l'entreprise-projet » se situerait plutôt au niveau de la communauté.

est sa flexibilité, qui permet de décrire de nombreuses situations observées dans différents domaines.

Ce modèle est proche de celui de Mintzberg (de la bureaucratie à l'adhocratie). Il diffère cependant par le fait que Mintzberg distingue les structures organisationnelles essentiellement en fonction de la complexité du système. Ce modèle est donc plus dynamique, permettant de prendre en compte les aspects imprévus et indéterminés des processus qui conduisent la structure à se transformer.

Le travail de Gachet et Brézillon prouve que l'organisation évolue dans le temps. Pour ces deux auteurs, l'organisation se fédère et se structure autour de tâches particulières. Les regroupements d'acteurs en « semi-structures » interviennent dans un but partagé et convergent. Le champ d'application de ces recherches est la prise de décision.

Nous pouvons d'ores et déjà remarquer que dans le bâtiment des équipes éphémères (de type « task forces ») se construisent autour d'un objectif commun, qui peut être lié à une prise de décision. Par exemple, dans notre première expérimentation, nous avons noté que des réunions et des échanges particuliers existent entre quelques acteurs pour la réalisation d'une tâche commune (un plan de réservation à produire ou une solution technique à concevoir par exemple).

Nous concluons à ce stade que de nombreuses configurations structurelles de l'organisation cohabitent dans l'activité collective de construction de bâtiment. Si une autorité hiérarchique est identifiable dans de nombreuses situations, nous notons aussi l'importance de l'ajustement entre acteurs dans de nombreux cas.

Mintzberg identifie des configurations structurelles de l'organisation qui s'appliquent en partie aux organisations identifiables sur le chantier. Gachet et Brézillon nous donnent des clefs pour comprendre la dynamique entre ces différentes formes organisationnelles.

Nous pouvons illustrer ces deux apports par des exemples tirés de notre étude de cas. La réunion de coordination hebdomadaire s'inscrit dans une forme de « structure divisionnalisée », dans laquelle les différentes entreprises (centre opérationnel) rendent des comptes à la maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre (sommet hiérarchique). Lorsque les entreprises se retrouvent ensuite sur le chantier, et se coordonnent entre elles de manière informelle pour partager des ressources (grue etc.) ou résoudre des problèmes mineurs (enchaînement de tâches, entraide), on

se trouve alors dans une configuration adhocratique focalisant sur la résolution du problème. Dans ces situations, l'innovation est régulière car les problèmes ne sont jamais identiques. Le passage de la structure divisionnalisée à l'adhocratie dans cet exemple illustre bien la dynamique de l'organisation du chantier, qui se modifie pour répondre aux changements et aux imprévus.

Face aux difficultés de l'activité dans le secteur AEC décrites dans le premier chapitre, nous avons remarqué que la responsabilisation des acteurs joue un rôle essentiel dans la résolution de problème et la conduite des processus. Si les entreprises ont une certaine liberté dans la réalisation de leur tâche, nous insistons tout de même sur le fait que les formes de contrôle ne sont pas optimales. Ainsi, le contrôle est basé sur le respect des normes ou la standardisation des solutions techniques. Il nous semble que ce n'est pas la voie qui favorisera la capacité d'adaptation des intervenants aux situations toujours particulières du chantier. Un des enjeux majeurs se situe plutôt, selon nous, dans la responsabilisation des individus, et dans le fait de favoriser leur implication dans le projet ou leur esprit d'initiative.

3.3. La coopération entre acteurs

Afin de mieux comprendre ces phénomènes organisationnels et leur dynamique, la question de la coopération entre les acteurs nous paraît centrale. Ces concepts de coopération et de collaboration sont d'ailleurs très adaptés pour décrire des situations de travail collectif entre des acteurs hétérogènes, qui ne sont pas forcément regroupés au sein d'une même organisation.

3.3.1. Distinguer les formes de l'activité collective

Mais tentons dans un premier temps de bien distinguer les concepts fondamentaux. En effet, dans les théories sur le travail collectif, coopération et collaboration ne portent pas la même signification.

3.3.1.1. L'activité collective

Une activité collective implique de nombreux acteurs, qui interagissent et génèrent de l'information en vue d'atteindre un objectif commun. Les objectifs peuvent être nombreux et variés, par exemple le suivi d'un cours, l'apprentissage d'un nouveau savoir, la rédaction d'un

document, le partage d'une connaissance, la réalisation d'un voyage ou la construction d'une voiture.

La caractéristique importante de l'activité collective est qu'un tel rassemblement d'acteurs nécessite la mise en œuvre de protocoles de coordination pour encadrer leur travail.

La coopération et la collaboration sont souvent perçues dans les théories sociologiques comme des formes de coordination car elles mêlent une organisation d'acteurs à des pratiques de coordination associées. Nous proposons de nous limiter ici à une définition de ces concepts en termes de structure, de relations entre acteurs et de partage d'objectifs ou de moyens. Dans notre étude sur la coordination de chantier, nous souhaitons montrer comment une approche centrée sur les activités collectives, coopératives ou collaboratives conduit à un système de coordination spécifique.

3.3.1.2. La collaboration

La collaboration est une forme d'activité dans laquelle l'organisation des acteurs se construit autour de la « résolution commune d'un problème ». Il s'agit de travailler ensemble afin de formuler des solutions qui satisfassent tous les acteurs concernés [Kvan 1997]. Dans les formes organisationnelles liées à l'activité collaborative, les acteurs ont des relations durables et proches, et ils partagent un objectif commun [Hanser 2003]. La coordination se traduit souvent par des règles et des rôles qui sont attribués aux acteurs afin de favoriser leur engagement. Le déroulement des activités de chacun est planifié au maximum afin de réduire les incertitudes lors de la réalisation.

On retrouve souvent dans les relations autour de la collaboration une expression de la hiérarchie entre acteurs dans la division du travail ou la répartition des tâches. Selon Kvan, « l'autorité est déterminée par la structure collaborative » [Kvan 2000].

3.3.1.3. La coopération

Dans la coopération entre acteurs, les relations sont plus informelles, sans mission, structure ou effort commun particulièrement définis [Kvan 1997]. Dans les formes d'organisations liées à l'activité de coopération, l'information est partagée « au besoin » et l'autorité est « détenue » par chacune des organisations participantes. Enfin, les ressources et les récompenses sont clairement séparées entre les membres.

Dans son travail, Damien Hanser distingue ces deux formes de structuration de l'activité en insistant sur le fait que la coopération semble « plus adaptée à la réalisation d'activités de conception, alors que le travail collaboratif est plus adapté à des processus de réalisation » [Hanser 2003].

Nous pourrions émettre l'hypothèse que le chantier de construction met essentiellement en œuvre de la collaboration entre les intervenants. En effet, une hiérarchie se distingue nettement à travers les prises de décision ou la planification des tâches. Cependant, de nombreuses activités impliquent de la négociation, dans laquelle chacun participe en fonction de son rôle, ses connaissances ou son savoir-faire. Par exemple, la conception de « détails » durant la mise en œuvre est coordonnée par l'architecte, mais les avis techniques sont donnés par le bureau d'étude, les financements accordés par le maître d'ouvrage et les choix techniques sont fortement influencés par le savoir-faire de l'entrepreneur. Ces situations de négociation sont donc plus proches de situations de coopération entre acteurs. C'est particulièrement dans ces activités d'ajustement que l'informel et l'implicite, dont nous avons parlé dans le premier chapitre, dominant.

3.3.1.4. La coordination

La nature même des relations et des activités menées par des acteurs en situation de coopération ou de collaboration est vue par de nombreux auteurs comme une forme de coordination. Il se dégage de ces théories que, dans les situations de collaboration la coordination serait « classique », c'est à dire basée sur des systèmes de hiérarchie ou de partage et de planification du travail.

Nous souhaitons cependant prendre position face aux concepts de coordination et de coopération. En effet, si certains théoriciens, notamment issus du domaine de la sociologie, voient la coopération comme une forme de coordination, nous pensons que cette approche, bien que fondée, est trop vague.

Nous préférons voir la coordination comme une activité particulière dans toute forme d'activité collective : coopérative ou collaborative. Nous tenterons plutôt de montrer que la coordination

prend des formes différentes et adaptées à la nature des activités et processus⁴³, ou encore des relations entre les acteurs.

« La coordination consiste à organiser la coopération et elle recouvre l'ensemble des modes d'organisation visant à articuler de façon efficiente et efficace les actions des individus et des groupes engagés dans le processus coopératif » [Sardas et al. 2002].

3.3.2. Inter-organisationnel et intra-organisationnel

En nous intéressant aux formes de coopération et de collaboration dans le domaine du bâtiment, il est important de souligner la spécificité essentielle de ce domaine qui est la diversité des acteurs impliqués dans l'organisation. Nous avons déjà vu que dans un projet de construction les acteurs étaient impliqués de manière temporaire (entreprise-projet), et que leurs compétences étaient extrêmement complémentaires. Nous qualifierons donc l'activité coopérative autour d'un projet, de coopération intra-projet, ou « *intra-organisationnelle* » bien que les intervenants appartiennent à des firmes différenciées.

Mais, une difficulté majeure dans l'implication de ces acteurs dans le projet collectif de construction est qu'ils sont impliqués dans plusieurs projets en parallèle. Selon leur taille, les entreprises mènent plusieurs chantiers, il en va de même pour les architectes. Il est donc nécessaire pour ces acteurs de mettre en place une coordination inter-projets, ou « *inter-organisation* » afin d'affecter les ressources en fonction des besoins ou encore de prendre en compte les urgences et les retards accumulés sur une opération particulière. Les stratégies internes que nous avons évoquées dans le premier chapitre sont directement liées à ces engagements dans de multiples projets.

Enfin, certains acteurs intervenant ponctuellement sur une opération peuvent difficilement être considérés comme « intervenant du chantier ». Nous citerons, par exemple, une entreprise qui réalise simplement le raccordement au réseau électrique du nouveau bâtiment. Nous considérons qu'elle est *en dehors de l'organisation* car elle ne participe pas aux réunions et qu'elle ne reçoit

⁴³ Les modèles de processus (ex. workflows) que nous présenterons dans la partie 6.2.1 ont pour objectif de détailler et coordonner l'exécution des activités collectives. Ces modèles, et notamment le niveau de granularité qu'ils proposent, sont à choisir en fonction du type d'activité à coordonner.

pas le compte-rendu hebdomadaire. Elle n'est d'ailleurs pas en relation avec tous les acteurs, mais généralement avec un seul d'entre eux qui la convoque à un moment précis pour réaliser une tâche limitée.

Nous considérerons qu'une telle firme extérieure à l'organisation est une ressource extérieure (de l'environnement) et qu'à ce titre la coordination de son intervention est particulièrement délicate et importante car elle peut générer des incertitudes dans l'organisation (Cf. Thompson, §3.2.1).

3.3.3. Une synthèse à travers le concept de « projet »

Notre approche de l'activité collective dans le domaine du bâtiment se concrétise donc à travers un regard transversal sur différentes théories : organisations, coopération, collaboration. Les caractéristiques de notre secteur nous obligent à proposer des acceptions particulières, parfois détournées, de ces théories.

Le concept d'organisation est très adapté pour décrire « l'entreprise-projet » : le regroupement temporaire de spécialistes concourant à la réalisation d'une opération de conception-construction de bâtiment.

Nous avons pris la précaution, dans ce chapitre, de bien signaler la manière dont nous définissons l'organisation. Contrairement aux entreprises habituellement analysées par les théoriciens que nous avons cités, l'organisation dans le bâtiment fédère des acteurs très indépendants, hétérogènes et entretenant des relations souvent informelles. Le va-et-vient entre une structure très *hiérarchique* et une structure plus *adhocratique* en est d'ailleurs un exemple frappant.

Cette dynamique de l'organisation est finalement la caractéristique essentielle de l'activité collective dans le secteur. Elle est d'ailleurs selon nous le gage d'une réponse adaptée aux incertitudes du programme, du projet architectural ou encore des équipes d'acteurs.

Le projet est donc l'élément central autour duquel les intervenants s'organisent, collaborent et coopèrent.

Le concept de « projet » peut avoir plusieurs définitions. Damien Hanser oppose fondamentalement les « activités de projet » aux « activités stabilisées ». Les activités de projet sont non-répétitives, les décisions sont irréversibles et l'incertitude est forte [Hanser 2003]. Jean-

Pierre Boutinet précise que le projet est « une anticipation d'une situation future, sous-tendue par une volonté d'innovation et possédant une vocation d'unicité » [Boutinet 1990].

Notons aussi que le sens commun du « projet » dans les milieux de l'architecture est celui du projet d'édifice. Derrière ce terme, les architectes entendent : la démarche conceptuelle, la conception originale et adaptée au contexte, etc. qui constituent une proposition architecturale.

Dans ce sens, le projet est donc plutôt vu comme un produit virtuel (mental) ou réel.

Dans le sens d'une activité collective, le « projet » est particulièrement adapté pour décrire la situation de conception en architecture, rassemblant des acteurs hétérogènes autour de l'objectif commun qu'est la conception d'un édifice unique. Nous pensons qu'il en est de même pour l'activité de réalisation du bâtiment, elle aussi unique, située et soumise à de nombreux aléas. Même si les tâches de construction élémentaires sont répétitives (exemple : poser une brique) leur enchaînement répond à une situation toujours particulière.

Une caractéristique essentielle liée à la notion de projet est le fait que celui-ci doit être régulé. En effet, tout projet mobilise des ressources limitées en hommes et en moyens matériels. Des techniques de « gestion de projet » apparaissent dans tous les domaines : plans de développement, planification des tâches, affectation de ressources, contrôle de l'exécution etc.

Les techniques de « gestion de projet » mettent en exergue le caractère collaboratif du projet (affectation de rôles, distribution des tâches...) et sa dimension collective. Nous insistons sur l'importance de la dimension individuelle que recouvre une approche coopérative. Dans le projet, l'expression individuelle est essentielle dans différentes situations : prise de décision, négociation, relationnel entre acteurs.

La gestion de projet prend donc une importance toute particulière lorsque se mêlent le collectif et l'individuel ou encore l'objectif partagé et la stratégie individuelle.

Cette remarque est fondamentale. Elle explique les dysfonctionnements dans les activités collectives que nous avons relevées dans le premier chapitre. Elle explique aussi les difficultés de changement dans les méthodes de travail dans le domaine du bâtiment et l'échec de la reproduction de méthodes issues du secteur industriel.

Nous proposons de revenir dans le champ des théories sur « les organisations ». Nous avons montré le parallèle existant entre l'organisation, souvent industrielle, et celle du projet dans le domaine du bâtiment et plus spécifiquement en phase de construction. La composition des équipes, la nature des relations entre les acteurs et leur dynamique sont assez aisément transposables dans notre domaine.

Nous continuons donc cette analyse en focalisant maintenant sur les mécanismes de coordination existants dans les différents types d'organisations, afin de caractériser les modes de coordination de notre secteur d'étude.

3.4. La coordination de l'activité collective

Selon le TLFi, l'activité de coordination est la « mise en ordre, l'agencement calculé des parties d'un tout selon un plan logique et en vue d'une fin déterminée ». Les différentes approches de chercheurs sur la coordination dans les organisations mettent en évidence les enjeux de cette activité dans le déroulement de l'activité collective.

Qu'il s'agisse d'activités de production ou de conception, le « plan logique » mis en évidence dans la définition précédente ne suffit pas, à notre avis, à analyser la dynamique de la coordination. Cette constatation rejoint d'ailleurs celle de la partie 3.3.1 qui démontre que, dans l'activité de construction, la collaboration et la coopération cohabitent. Nous verrons que les modes de coordination varient eux aussi au cours de l'activité et notamment qu'ils doivent pouvoir être souples et adaptables pour prendre en compte la complexité de l'activité ainsi que les évolutions et les changements de celle-ci.

3.4.1. La coordination, ou la gestion des interdépendances

Deux concepts sont essentiels dans la définition de la coordination : celui de « ressource » et celui de « tâche ». Les ressources peuvent être des acteurs (individuels ou en équipe), mais aussi des moyens matériels (matières premières, matériels). Les tâches sont des activités finement découpées. Dans les techniques de planification, on découpe l'activité en tâches élémentaires auxquelles on assigne des ressources.

Malone et Crowstone développent au MIT⁴⁴ une théorie de la coordination visant à unifier les approches de la coordination dans de nombreux domaines. Comme Mintzberg, ils pensent que les modes de coordination induisent des formes particulières d'organisation. Ils définissent la coordination comme étant « la gestion des interdépendances ».

« Coordination is managing dependencies between activities. This definition is consistent with the simple intuition that, if there is no interdependence, there is nothing to coordinate. » [Malone et Crowstone 1994]

Dans la littérature sur la coordination [Mintzberg 1978; Thompson 1967], deux points de vue se sont exprimés chronologiquement. Le point de vue organisationnel porte essentiellement sur la coordination des membres (les différentes parties d'une entreprise par exemple) et le point de vue des processus s'intéresse à la gestion des interdépendances entre les activités en termes de tâches et de ressources.

3.4.1.1. La gestion des « interdépendances entre les membres »

Nous avons déjà décrit les deux types d'organisations majeurs pour Thompson : le modèle naturel et le modèle rationnel (§3.2.1). Selon lui, dans ces deux modèles la coordination est la « gestion des interdépendances entre les parties de l'organisation » [Thompson 1967]. Il précise cependant que dans le modèle rationnel, il est plus simple de « localiser les interdépendances et d'anticiper leur nature ».

Durant un chantier, nous pensons que les deux modèles cohabitent. Ainsi, une partie des interdépendances est prévisible (les entreprises doivent fournir leurs plans de réservation pour une date donnée afin d'en faire une synthèse) alors que d'autres ne sont pas anticipables (tel ouvrier a détérioré un ouvrage et l'une des entreprises doit donc revenir).

Thompson affine son analyse en proposant une typologie des interdépendances. Il distingue le couplage de communauté, le couplage séquentiel et le couplage réciproque (Figure 16).

- Dans le *couplage de communauté* (pooled interdependence), les membres partagent des ressources, mais sont indépendants les uns des autres. Si l'on considère le chantier

⁴⁴ Massachusetts Institute of Technology

comme une organisation, ce cas n'est pas vraiment applicable, sauf à considérer les tâches de deux entreprises complètement isolées et indépendantes, et partageant seulement des ressources communes (la grue, les bennes à déchets),

- Dans le *couplage séquentiel* (sequential interdependence), les membres travaillent à la suite les uns des autres. Ce type d'interdépendance est parfaitement adapté aux conditions de production industrielles (chaîne de montage). En considérant le bâtiment fini comme le « produit » de l'activité de chantier, on peut voir une certaine similitude dans la succession planifiée des tâches de chaque entreprise concourant à cette réalisation,
- Enfin, dans le *couplage réciproque* (reciprocal interdependence), les membres se donnent du travail les uns aux autres. Ce troisième type d'interdépendance nous intéresse particulièrement car il existe lorsqu'un aléas intervient dans le travail planifié (couplage séquentiel) et qu'il nécessite un ajustement. Une entreprise est alors rappelée en fonction de son savoir-faire pour résoudre un problème provenant d'une autre activité.

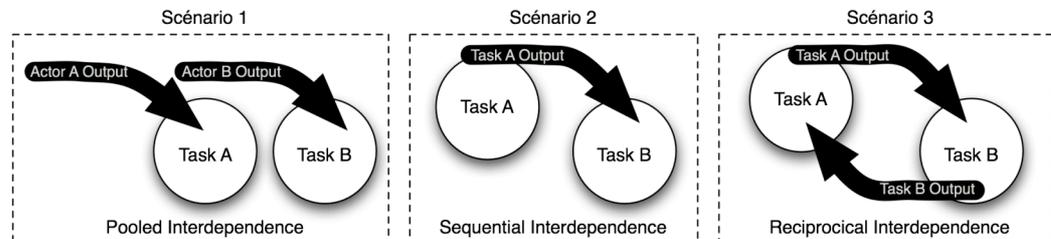


Figure 16 : Interdépendances entre membres, inspiré de [Zolin et al. 2000]

3.4.1.2. La gestion des « interdépendances entre les processus »

Malone et Crowstone mènent un travail interdisciplinaire visant à proposer une théorie générale de la coordination. Dans leur étude sur les organisations, ils adaptent l'analyse de Thompson en proposant une analyse centrée sur les dépendances et les flux entre activités dans un processus.

Pour Thompson, les dépendances se basent sur une topologie de relations entre acteurs. Malone et Crowstone proposent de mettre en relation ces dépendances avec des mécanismes de coordination car la typologie des dépendances est basée sur les ressources qui les génèrent.

L'objectif d'une telle approche est aussi de clarifier l'usage des mécanismes de coordination et de pouvoir proposer des alternatives à leur usage dans un objectif de ré-ingénierie des processus.

Malone et Crowstone proposent trois catégories d'interdépendance qui, si on les combine ou qu'on les spécialise, permettent de représenter toutes les situations d'activités collectives [Malone et al. 1999](Figure 17) :

- Les *dépendances d'ajustement* (Fit) existent lorsque des activités produisent une même ressource en associant leurs compétences. On peut voir ce type de dépendance lorsque plusieurs tâches de construction indépendantes et parallèles produisent un même ouvrage,
- Les *dépendances de flux* (Flow) représentent un enchaînement d'activités dans lequel le résultat de l'une sert de ressource à la suivante. Dans la construction, il s'agirait de tâches séquentielles construisant progressivement l'ouvrage : par exemple, l'enchaînement des fondations, murs porteurs, charpente et couverture. La tâche t-1 est alors nécessaire à l'accomplissement de la tâche t,
- Enfin, les *dépendances de partage* (Sharing) existent lorsqu'une même ressource est utilisée par différentes activités. Sur le chantier, l'exemple le plus fréquent est celui de la grue qui peut être utilisée par les différentes entreprises, ce qui crée des dépendances.

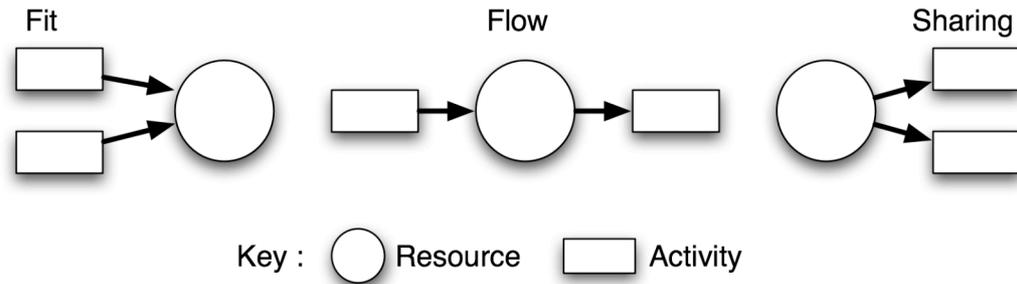


Figure 17 : Interdépendances selon Malone et Crowstone

On voit bien dans cette rapide analyse que les trois types de dépendances interviennent dans la plupart des activités de la construction. Malone et Crowstone précisent que ces dépendances représentent le noyau minimum à partir duquel d'autres types de dépendances peuvent être analysés, par agrégation ou spécialisation [Malone et al. 1999].

Cette approche des mécanismes de coordination montre d'abord que ce sont les interdépendances qui génèrent un besoin de coordination. En effet, une activité individuelle complètement indépendante (par exemple réaliser un tableau) ne nécessite pas de coordination. Par contre, la réalisation d'un projet architectural impliquant de nombreux acteurs, dont les tâches se complètent, nécessite de la coordination.

Les dépendances entre les membres proposées par Thompson sont définies dans le cas d'une organisation de type hiérarchique. Le résultat de l'activité d'un des membres est en relation avec l'activité d'autres participants. Dans ce cas, la coordination est largement influencée par le statut hiérarchique des intervenants. Malone et Crowstone montrent que les dépendances sont plus vastes et concernent les processus dans leur ensemble : les acteurs certes, mais aussi les ressources, les tâches elles-mêmes, les contraintes d'exécution.

Dans le domaine du bâtiment, les types d'interdépendances sont nombreux : attente de la réalisation d'une tâche d'un acteur, proximité géographique de deux tâches, dépendances non anticipées provenant d'une activité particulière etc.

Les théories basées sur les dépendances que nous venons d'évoquer s'appliquent donc à la construction et à l'activité collective du chantier. Cependant, même si elles nous permettent de décrire des situations isolées, nous cherchons à dégager une typologie des modes de coordination, afin de proposer une stratégie pertinente d'assistance à la coordination du chantier en fonction de ses particularités.

Nous proposons donc de revenir vers Mintzberg et, en suivant ses travaux, de caractériser les mécanismes de coordination existant dans les différentes structures d'organisation.

3.4.2. Une typologie des mécanismes de coordination et des conditions de leur utilisation

Les configurations structurelles de Mintzberg que nous avons appliqué au secteur du bâtiment sont étroitement liées à des mécanismes de coordination génériques. Nous allons les décrire ici puis, en nous tournant vers d'autres auteurs, nous verrons quelles sont leurs caractéristiques en termes d'interaction entre acteurs et de communication.

3.4.2.1. Les cinq mécanismes de coordination

Dans ses travaux, Mintzberg propose cinq mécanismes de coordination : la supervision directe, la standardisation des procédés de travail, la standardisation des compétences et des qualifications, la standardisation des produits et l'ajustement mutuel. Mintzberg les présente d'ailleurs comme « les éléments fondamentaux de la structure, la colle qui maintient ensemble les parties de l'organisation » [Mintzberg 1978].

Dans la *supervision directe*, une personne se trouve investie de la responsabilité du travail des autres. Ce responsable analyse et découpe les tâches à réaliser, les planifie en fonction de la disponibilité des ressources et contrôle le travail. Diverses méthodes de planification sont à sa disposition : le diagramme de Gantt, la méthode Pert ou le planning « chemin de fer ». Ce mode de coordination est *prédominant dans les structures simples*, mettant en relation directe centre opérationnel et sommet hiérarchique.

La *standardisation des procédés de travail* est le deuxième mécanisme de coordination selon Mintzberg. Il consiste à spécifier et programmer le contenu du travail à réaliser. Ce mécanisme se retrouve, par exemple, dans les chaînes industrielles où les employés voient leur tâches prédéfinies et répétitives. Il est *omniprésent dans les configurations structurelles du type de la bureaucratie mécaniste*.

La *standardisation des résultats* consiste à spécifier en amont le résultat que l'organisation doit produire. Il peut s'agir de normes que le produit doit respecter, de performances, ou d'une qualité de service. Ce type de coordination facilite l'enchaînement des tâches car l'évolution de la réalisation répond à un cahier des charges bien précis. Ainsi, dans le domaine du bâtiment, on citera la définition de marges de tolérance entre les ouvrages des différents corps d'état. Les ouvrages de maçonnerie tolèrent une marge de l'ordre du centimètre. Cette marge doit être respectée car elle contraint la précision du travail de corps d'état secondaires comme le menuisier dont la marge de tolérance est de l'ordre du millimètre. Ce mécanisme de coordination est *essentiellement présent dans les organisations de type structure divisionnalisée*. En effet, les dépendances de tâches entre les structures sont gérées par des attentes en termes de résultat du produit sortant d'une activité et entrant dans une autre.

La *standardisation des qualifications* est, pour Mintzberg, un moyen de répondre à l'impossibilité de standardiser des procédés ou des résultats. La qualification et le savoir sont

standardisés lorsqu'est spécifiée la formation de celui qui exécute le travail. Ce mécanisme de coordination existe dans la *bureaucratie professionnelle*, dans laquelle les professionnels tendent à s'identifier « plus avec leur profession qu'avec l'organisation dans laquelle ils la pratiquent ».

Enfin, Mintzberg décrit *l'ajustement mutuel*, dans lequel la coordination du travail se fait par simple communication informelle. « Grâce à l'ajustement mutuel, le contrôle du travail reste entre les mains de l'opérateur ». Deux caractéristiques permettent à un tel mécanisme de fonctionner : une bonne connaissance de l'environnement de travail de la part de l'opérateur en situation de décision et une relation aux autres membres permettant à chacun une liberté de décision. L'ajustement mutuel prend place dans la *configuration adhocratique*, notamment dans le cas d'environnement complexe et dynamique comme c'est le cas durant la construction de bâtiment. Les systèmes techniques sophistiqués ou adaptés aux aléas de mise en œuvre ne peuvent pas tous être maîtrisés par l'architecte ou le bureau d'étude. Les entreprises ont une marge de manœuvre et prennent des décisions dont elles assumeront les conséquences en cas de malfaçons. Dans ce contexte, l'ajustement mutuel est le seul moyen de répondre aux pressions de temps et d'économie.

Nous voyons à travers nos exemples que ces mécanismes de coordination essentiels proposés par Mintzberg peuvent s'adapter aux situations rencontrées dans le domaine du bâtiment. D'ailleurs, nous notons que la complexité de l'activité collective dans ce secteur est décrite à travers les cinq mécanismes.

Avant de dresser un bilan sur les typologies d'organisation du chantier et les caractéristiques des modes de coordination associés, nous proposons de porter un regard sur la coordination à travers d'autres théories qui permettront de caractériser plus finement notre domaine.

3.4.2.2. Formes de la coordination

Rejoignant la problématique du caractère informel de nombreux échanges durant les activités de construction, des travaux de recherche antérieurs ont porté sur une analyse critique de deux types de coordination : explicite et implicite.

- La *coordination explicite* est une situation de coordination dans laquelle l'acteur « sait ce qu'il doit faire parce qu'on le lui a dit » [Malcurat 2002]. Dans ce type de coordination, les activités sont planifiées a priori. Elle sert à assister des actions connues, presque répétitives, comme l'application des procédures décrites dans les

contrats passés entre les membres d'un groupe, et qui reviennent à chaque projet. Dans ce cas, chaque acteur du groupe connaît son rôle et veille à l'exécution de ses tâches. Elle suppose une « modélisation explicite du processus [...] et favorise l'apprentissage et la capitalisation de connaissance ou de savoir-faire [Godart et al. 2001]. Durant la phase chantier, ce mode de coordination est plus présent que durant la conception. Cependant, il est impossible de modéliser finement les activités de construction,

- La *coordination implicite* à l'opposé suppose une auto-coordination basée sur des mécanismes de conscience de groupe [Godart et al. 2001]. Elle ne nécessite pas de modélisation poussée du processus à coordonner. Elle présente donc l'avantage d'être dynamique et flexible, ce qui lui permet de s'adapter aux changements intervenant durant le déroulement de l'activité. La responsabilisation des acteurs est primordiale dans ce type de coordination car sa réussite dépend essentiellement de l'investissement des partenaires. Dans le domaine du bâtiment, on trouve beaucoup de coordination implicite, adaptée aux changements et évolutions incessants, mais aussi laissant une liberté d'action importante aux individus et permettant à chacun de préserver une part de « non-dit » (stratégies individuelles).

D'une manière générale, dans le domaine de l'architecture, le projet se déroule sur deux échelles de temps et de relations [Bignon 2004] :

- « L'ordinaire » correspond à l'activité anticipée ou reproduite, et met en œuvre une forme de coordination implicite, souvent informelle et spontanée,
- « L'exceptionnel » correspond à des activités uniques ou imprévues, dont la coordination est nécessairement explicite, formelle et si possible programmée.

3.4.2.3. Supports de la coordination

Schmidt et Simone dans leurs récents travaux se sont intéressés aux activités de coordination. Ils définissent un mécanisme de coordination comme un « ensemble composé d'une part, d'un *protocole* de coordination (groupe de procédures et de conventions décrivant l'articulation des activités indépendantes), et d'autre part, d'un *artéfact* (construit symbolique permanent) dans lequel le protocole est décrit »⁴⁵ [Schmidt et Simone 1996].

⁴⁵ « A coordination mechanism is a construct consisting of a coordinative protocol (an integrated set of procedures and conventions stipulating the articulation of interdependent distributed activities) on the one hand and on the other hand an artifact (a permanent symbolic construct) in which the protocol is objectified. »

Cette définition laisse penser que le protocole peut être défini a priori. Mais les auteurs insistent sur le fait qu'il est toujours « sous-défini » et qu'il ne peut prendre en compte en amont toutes les circonstances dans lesquelles la situation se déroule. Le rôle de l'artéfact est de représenter dynamiquement l'état d'exécution et les changements survenant dans les protocoles.

Nous pouvons aussi modérer cette définition en nous appuyant sur la théorie de l'action située de Suchman : « les plans sont des ressources pour l'action située, mais ne déterminent pas le déroulement exact de ces actions »⁴⁶ [Suchman 1987]. Nous reviendrons à ce propos sur l'importance du jugement de l'individu et de sa liberté d'action dans le déroulement de l'activité dans le chapitre suivant.

Schmidt propose de différencier les *artéfacts statiques* des *artéfacts dynamiques* [Schmidt 1997]. On distinguera par exemple un tableau de bord en temps réel dans une tour de contrôle aérien, d'un planning prévisionnel réactualisé de temps en temps sur un chantier. Le compte-rendu de chantier dont nous avons déjà parlé peut être vu comme un artéfact dynamique, rendant compte de manière hebdomadaire de l'état du chantier.

D'autres théories s'intéressent à la manière de diffuser l'information à propos de la coordination des activités. Andersen distingue la communication basée sur les artéfacts (dont nous venons de parler) de la *communication basée sur l'oralité* [Andersen et al. 2000]. Cette distinction nous intéresse particulièrement dans notre domaine d'étude fortement marqué par des relations informelles entre les acteurs. Pour cet auteur, la coordination orale est basée sur un « socle de connaissances » partagées par tous les acteurs impliqués dans l'activité de coordination. L'interaction est alors focalisée sur le « focus » ou « objet de la coordination ». Par exemple sur un chantier, la coordination orale peut intervenir entre deux ouvriers réalisant un même ouvrage, connaissant ses caractéristiques, les autres interventions sur cet ouvrage, la date limite de réalisation etc. Ces connaissances étant partagées, ils focaliseront leur discussion sur le problème à résoudre (par exemple : quand puis-je intervenir ?).

Andersen précise que ce type de coordination est pratiqué dans des domaines relativement simples. Dans une activité de chantier, c'est dans la configuration adhocratique qu'il est le plus souvent employé. L'implication des intervenants est là encore fondamentale.

⁴⁶ « Plans are resources for situated action, but do not in any strong sense determine its course ».

La coordination basée sur des artefacts est utilisée dans des cas complexes (nombreux acteurs concernés, projet de grande dimension, variabilité des activités). Elle consiste à faciliter la compréhension de l'information de coordination par l'utilisation de représentations adaptées au domaine d'expertise des acteurs. Par exemple, un plan va permettre à un architecte de mieux situer un problème, alors qu'un croquis schématique ou une vue 3D sera plus compréhensible pour un maître d'ouvrage.

3.5. Structures de l'organisation et coordination en phase chantier

Nous avons convoqué, dans ce chapitre, un certain nombre de théories issues des domaines de la sociologie, du management ou des sciences de l'organisation afin de mieux comprendre l'organisation de l'activité durant un chantier de construction. Nous avons vu que, de manière localisée, la plupart d'entre elles s'appliquent aux situations du chantier.

3.5.1. Synthèse

Les travaux de Mintzberg nous permettent d'isoler des configurations structurelles de l'organisation autour d'un projet de construction. La démonstration montre que plusieurs structures s'adaptent à des situations différenciées du chantier :

- La bureaucratie professionnelle représente bien les relations fortes entre entreprises de la construction et organes de contrôle (coordinateur, bureaux de contrôle),
- La structure divisionnalisée nous rappelle le concept « d'entreprise-projet ». Elle met en exergue l'indépendance des entreprises dans leur gestion et leurs stratégies internes, ainsi que leur relation hiérarchique à la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage,
- L'adhocratie est, finalement, la structure la plus apte à rendre compte de l'organisation informelle, temporaire et parfois opaque qui lie quelques acteurs pour la résolution d'un problème donné.

Gachet et Brézillon montrent que ces organisations évoluent au cours du temps, essentiellement en fonction des décisions à prendre. Selon les tâches particulières de l'activité de chantier, on passe d'un type d'organisation à l'autre :

- La réunion de chantier est par nature l'expression de la structure divisionnalisée et du rapport hiérarchique,

- Le travail sur le chantier fait face à des problèmes très concrets et met souvent en œuvre une organisation adhocratique pour la résolution de problèmes,

Mintzberg propose enfin des mécanismes de coordination que nous pouvons mettre en relation avec les structures organisationnelles :

- La supervision directe et la standardisation des procédés de travail, peu présents sur le chantier, mais caractérisant les protocoles hiérarchiques,
- La standardisation des résultats, qui consiste à spécifier l'attente qualitative sur la réalisation des ouvrages (suivant des normes, des DTU etc.),
- La standardisation des qualifications des intervenants, qui nous paraît plus intéressante car le savoir-faire conduit vers la responsabilisation des acteurs,
- L'ajustement mutuel qui rend compte des situations courantes de résolution de problèmes sur le chantier par voie informelle et implicite.

3.5.2. Proposition d'une typologie adaptée à l'activité de construction

Nous proposons une vision schématique de l'activité collective en phase chantier basée sur trois types de configurations que nous introduisons : *la configuration hiérarchique, la configuration adhocratique et la configuration transversale* (Figure 21).

- *La configuration hiérarchique* (Figure 18) est basée sur le pouvoir décisionnel des acteurs. Elle est à la frontière de la structure simple et de la bureaucratie mécaniste de Mintzberg. Il s'agit de la configuration générique des intervenants que l'on retrouve, par exemple, en réunion de chantier.

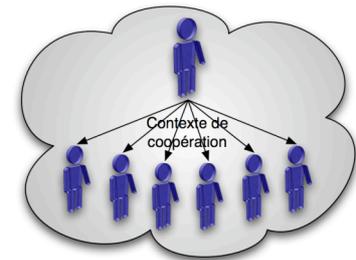


Figure 18 :
Configuration hiérarchique

La supervision directe et la standardisation des procédés de travail sont les mécanismes de coordination essentiels dans cette configuration. Il s'agit d'anticiper et de planifier les actions de chacun, et de s'assurer de la réalisation des tâches.

La coordination est essentiellement basée sur la modélisation et l'explicitation du déroulement du processus. Des artefacts dynamiques sont employés pour représenter et

diffuser l'information de coordination, comme le compte-rendu de chantier ou encore le planning d'exécution.

Ce type d'organisation se caractérise par une *coordination hiérarchique*.

- À l'inverse, dans la *configuration adhocratique* (Figure 19), les acteurs se rassemblent sur des temps courts, afin de résoudre des problèmes particuliers. Il s'agit, par exemple, d'une réunion informelle sur le chantier, ou d'un groupe formé provisoirement avec quelques intervenants pour résoudre un problème spécifique n'impliquant pas tous les intervenants.

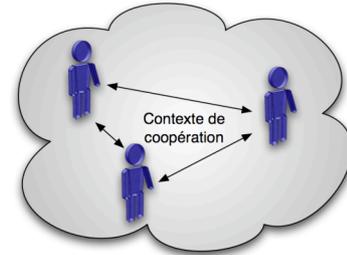


Figure 19 :
Configuration adhocratique

L'ajustement mutuel est le mécanisme de coordination qui est associé à cette configuration. Les intervenants négocient jusqu'à arriver à une solution satisfaisant chacun d'entre eux.

Ces situations sont par nature peu anticipables. Si de telles organisations peuvent se former rapidement lors de l'apparition d'un problème, le groupe sera capable de surmonter les aléas et les changements intervenant dans l'activité. C'est donc un mode d'organisation fondamental dans le domaine de la construction.

La coordination prend une forme essentiellement orale. Il est indispensable que chacun des intervenants possède une connaissance préalable du problème afin de participer activement dans un tel regroupement. La connaissance du contexte de son intervention est essentielle : quel est le problème ?, quelles solutions sont possibles ?, qui intervient ?, quel est le délai ? le risque sur les autres tâches ? etc. Le compte-rendu est censé fournir une grande partie de ces informations.

Nous parlerons dans ce type d'organisation de *coordination flexible*.

- Enfin, la *configuration transversale* (Figure 20) représente des formes organisationnelles intermédiaires. On y trouve la bureaucratie professionnelle, par exemple dans les relations entre les entreprises et les fournisseurs qui jouent un rôle de support. Elle représente aussi la structure divisionnalisée, où chaque entreprise peut être vue comme une organisation indépendante au sein de l'organisation générale du

chantier. Ce concept d'organisation transversale est donc extrêmement important sur le chantier et il illustre le fait qu'une « micro-organisation » (l'entreprise) est généralement impliquée dans plusieurs organisations différentes (plusieurs chantiers).

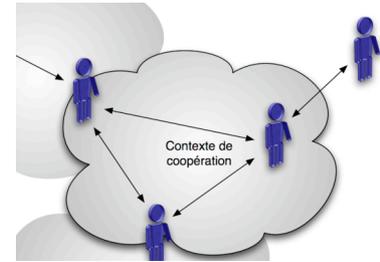


Figure 20 :
Configuration transversale

La standardisation est le mécanisme de coordination associé. La *standardisation des résultats* est importante dans la coordination avec les fournisseurs, dont on attend un produit ou un service précis. Cependant, lorsqu'elle se traduit en termes de normes (ex. ISO) ou de labels (ex. qualitel), on notera que l'adaptabilité est difficile, qu'elle n'incite pas les entreprises à dépasser la « qualité attendue » et qu'elle ne fait que développer « la réglementation préventive et la juxtaposition des contrôleurs et assistants [...] » [Dossier 2006]. La *standardisation des qualifications* semble plus prometteuse dans ce contexte. En effet, la formation des ouvriers est un enjeu de taille pour l'amélioration de la qualité des réalisations. Responsabiliser l'acteur final, celui qui réalise le travail « en bout de chaîne », et favoriser l'esprit d'initiative sont donc à notre avis les gages de la qualité de réalisation des ouvrages, mais aussi de qualité de déroulement des processus. Le CSTC⁴⁷ porte d'ailleurs cette idée basée sur le développement du capital humain dans l'innovation dans le secteur de la construction : « [...] l'ouvrier de la construction devra se transformer en collaborateur du savoir et de la compétence qui agit dans un environnement marqué par la richesse des connaissances » [CSTC 2005]. Nous parlerons dans ce type d'organisation de *coordination transversale*.

Ces trois types de configuration de l'organisation cohabitent donc durant l'activité collective en phase de construction des bâtiments (Figure 21). Notre hypothèse est que plusieurs types d'organisation existent et que plusieurs mécanismes de coordination y sont associés. Cette dynamique de la structure de l'organisation assure l'adaptabilité de l'activité aux changements fréquents qui interviennent dans le projet et dans le processus collectif.

⁴⁷ Centre Scientifique et Technique de la Construction en Belgique.

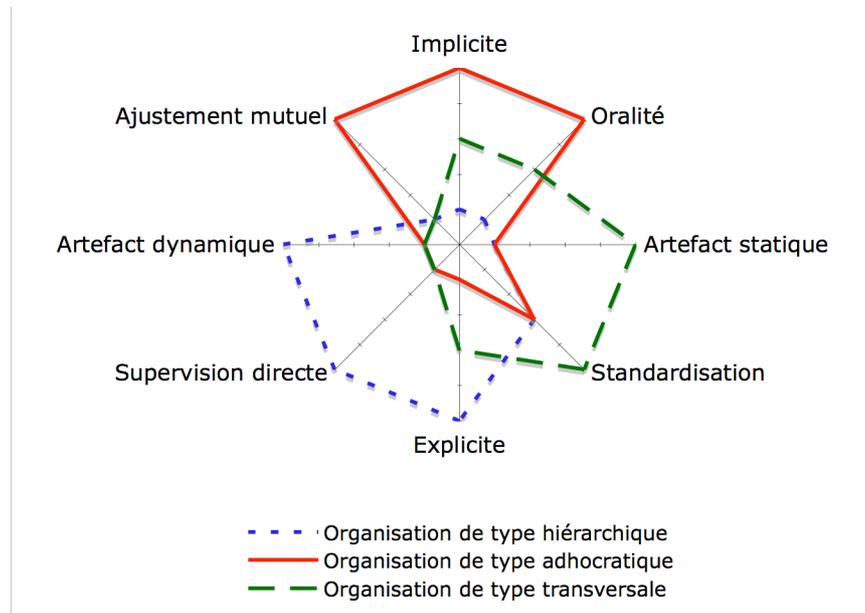


Figure 21 : Les mécanismes de coordination et leurs liens avec les typologies organisationnelles

Si l'organisation hiérarchique est facilement identifiable dans la plupart des chantiers, notre attention se porte sur les types d'organisation transversales et adhocratiques, qui sont particulièrement importantes dans l'activité de construction. Les modes de coordination associés, « transversale » et « flexible », pointent l'importance de la formation des intervenants, notamment opérationnels (les ouvriers), ainsi que la nécessité de laisser à chacun une certaine marge de manœuvre, qui permet de renforcer l'implication dans le projet, de favoriser la qualité du processus collectif et « in fine » de la réalisation elle-même.

Prendre en compte ainsi l'individu et sa capacité d'action au sein de l'organisation nous amène maintenant à questionner plus en détail les mécanismes cognitifs mis en œuvre dans l'action individuelle.

Dans le chapitre suivant, nous souhaitons éclairer la compréhension de ces mécanismes avant de revenir sur les outils et méthodes d'assistance à l'activité collective dans les différentes formes d'organisation. Nous détaillerons à cette occasion la notion de « contexte » afin de définir un contexte de l'activité collective, un contexte de l'action individuelle et un contexte lié aux outils d'assistance et à l'interaction avec l'utilisateur.

Chapitre 4. Le contexte dans l'action individuelle médiatisée

Nous avons proposé une analyse de l'activité collective, des modes d'organisation des acteurs et des mécanismes de coordination afin de caractériser le domaine complexe qu'est le secteur AEC et particulièrement la phase de construction de bâtiments.

Nous avons mis en évidence l'enjeu essentiel que représentent l'implication et la responsabilisation des individus afin d'assurer la qualité de déroulement des processus collectifs, souvent peu formalisés et marqués par une forte incertitude.

Avant d'émettre des hypothèses sur des stratégies d'assistance à la coopération pour la phase chantier, nous proposons d'aborder dans ce chapitre les conditions de l'action individuelle et de sa « mise en contexte ».

Il est nécessaire en effet de comprendre comment l'individu « interprète » l'activité collective. Nous avons déjà évoqué le concept de « contexte de coopération », que nous allons décrire précisément ici.

Nous proposons de plus, de passer en revue les mécanismes psychologiques ou sociologiques relatifs à l'activité individuelle au sein du groupe. L'action finale « observable » d'un sujet est motivée par une certaine connaissance de son contexte d'intervention, le type et les caractéristiques de ce contexte ou encore des aspects sociologiques et psychologiques liés à l'individu lui-même.

Pour aborder cette analyse fort complexe, nous nous appuyons sur plusieurs théories développées dans le domaine des sciences sociales, de la psychologie ou encore de l'intelligence artificielle.

L'environnement dans lequel l'action est située joue un rôle essentiel dans le déroulement de celle-ci. Plus spécifiquement, les connaissances manipulées par le sujet et leur contextualisation nous intéressent pour envisager par la suite des méthodes d'assistance adaptées.

Nous finirons l'étude de cette question en nous focalisant sur les mécanismes de perception du groupe que l'individu met en œuvre et la question primordiale du « point de vue individuel » sur l'activité collective. Nous verrons comment des outils, médiatisant l'activité individuelle, peuvent prendre en compte ce point de vue.

4.1. Les trois « contextes » de l'action

Le contexte, son sens et sa modélisation varient fortement en fonction des domaines d'utilisation ou d'analyse. Nous verrons que ce terme, fort usité, nous servira dans le cadre même de cette recherche à travers plusieurs de ses facettes. Il convient donc, en premier lieu, de mener une discussion comparative sur les diverses acceptions de ce concept.

L'approche qui nous semble la plus globale et unifiante consiste à s'intéresser au « *contexte de l'interaction entre 2 [ou plus] agents* » [Brézillon 2002].

4.1.1. Différents domaines de référence pour la définition et l'utilisation du contexte

4.1.1.1. Approche générale

Nous noterons tout d'abord, dans une approche générale, qu'on « ne parle de contexte qu'en référence à quelque chose » [Brézillon 2002]. La définition du « contexte » doit donc elle-même faire référence à un contexte donné, ce qui nous pousse ici à exemplifier son usage dans des *domaines spécifiques*. C'est cependant dans les situations où il *contraint le déroulement de l'action sans pour autant y intervenir directement* que nous utiliserons le terme de contexte dans la suite de ce mémoire.

En *linguistique*, et plus spécifiquement dans *l'interaction entre un auteur et son lecteur* (médiatisée par un texte), le contexte se définit comme un « ensemble d'un texte précédant ou suivant un mot, une phrase, un passage qui éclaire particulièrement la pensée d'un auteur » (Le

Grand Dictionnaire Terminologique, 1974⁴⁸). Il permet donc de favoriser la compréhension d'un fragment informationnel isolé.

En *architecture*, le contexte d'un bâtiment ou d'un projet est l'environnement dans lequel il s'insère. Il peut être appréhendé à différentes « échelles » [Boudon et al. 1994]⁴⁹, et permet notamment de guider les choix du concepteur.

Enfin, en *psychologie*, le contexte contient tous les éléments agissant comme des stimulus sur le comportement de l'individu [Bazire et Brézillon 2005].

4.1.1.2. Le contexte dans l'assistance à l'activité à travers des applications informatiques

Un champ de recherche particulièrement actif sur la question du contexte est celui de l'informatique mobile et ubiquitaire.

Ce champ de recherche s'intéresse aux dispositifs informatiques mobiles (PDA, téléphone, ordinateurs portables) et à leur utilisation en divers lieux et à divers moments. Le terme ubiquitaire désigne leur capacité à percevoir leur environnement et à s'adapter aux besoins changeants de leurs utilisateurs.

Le contexte de l'utilisateur est donc un concept important, concernant à la fois son environnement physique et la nature du terminal qu'il utilise. Les modèles du contexte de l'utilisateur développés se distinguent d'autres modèles de processus par l'importance de la représentation des informations spatiales et temporelles.

Dans le domaine de la communication, l'utilisation d'informations contextuelles implicites améliore « la bande passante de la communication explicite et la rend plus efficace » [Rey 2005]. Pour mieux comprendre cette caractéristique, Rey cite les échanges dans la communication interpersonnelle et nous fait remarquer l'importance des gestes qui accompagnent le discours, des attitudes corporelles ou encore des expériences partagées.

Dans les applications informatiques, l'utilisation d'information implicite est embryonnaire du fait que les applications n'ont généralement pas encore d'accès au contexte de l'utilisateur (cela nécessite des capteurs physiques). Le contexte pris en compte est plutôt lié à la tâche effectuée qui, elle, est modélisée (par exemple, les menus contextuels sont adaptés à une tâche de l'utilisateur en cours).

⁴⁸ <http://www.granddictionnaire.com>

⁴⁹ Nous faisons référence ici aux échelles architecturologiques développées par Philippe Boudon permettant de modéliser les facteurs influençant la conception architecturale et de mesurer leur importance.

On perçoit tout l'intérêt de développements centrés sur la modélisation et l'utilisation du contexte de l'utilisateur dans la personnalisation des applications en fonction de besoins ad-hoc.

Selon Anind Dey : « un système sensible au contexte utilise le contexte pour fournir une information et/ou des services pertinents à l'utilisateur ». Selon lui, la pertinence de la prise en compte du contexte découle de la tâche de l'utilisateur [Dey et Abowd 1999].

Le contexte, selon Schilit, inclut la localisation et l'identité des personnes et des objets à proximité ainsi que les modifications pouvant intervenir sur ces objets [Schilit et al. 1994]. Plus largement, « le contexte couvre toutes les informations pouvant être utilisées pour caractériser la situation d'une entité. Une entité est une personne, un lieu, ou un objet qui peut être pertinent pour l'interaction entre l'utilisateur et l'application, y compris l'utilisateur et l'application» [Dey et al. 2001].

En se basant sur cette définition, Dockhorn Costa ajoute que les applications sensibles au contexte ne sont donc pas seulement celles qui « répondent au contexte » par sa détection, son interprétation et leur adaptation. En effet, il élargit ces applications à celles qui reflètent simplement le contexte à l'utilisateur ou encore qui l'utilisent sans pour autant le détecter (la détection et l'interprétation pouvant être réalisées par d'autres entités informatiques) [Dockhorn Costa 2003].

Saul Greenberg introduit la dynamique dans la prise en compte du contexte (contexte changeant, évoluant). Cette dynamique est à prendre en compte dans la conception d'applications [Greenberg 2001]:

- Étudier attentivement les contextes d'usage envisagés,
- Les outils de développement doivent aussi incorporer de la flexibilité. Les erreurs dans la reconnaissance du contexte sont inévitables puisqu'il est en constante évolution. Les utilisateurs doivent pouvoir modifier ces informations ou les mettre à jour,
- Concevoir judicieusement les interfaces : les utilisateurs doivent pouvoir visualiser quel contexte et quelles informations contextuelles le système prend en compte. Les actions initiées par le système doivent être clairement liées au contexte pris en compte.

En conclusion, le contexte dans la conception de systèmes informatiques peut être vu comme un *ensemble d'information*, utilisé, soit par l'utilisateur (acteur dans une activité et utilisateur d'un outil la médiatisant), soit par le système lui-même afin de s'adapter à l'utilisateur.

Le contexte et son utilisation dans l'optique de l'assistance à la coordination d'une activité collective nous ont conduit à formuler l'hypothèse d'une définition « tri-facettes » sur laquelle nous nous appuyerons par la suite.

4.1.2. Notre acception de ce concept

Trois facettes du contexte retiennent notre attention et vont guider notre analyse de l'activité collective et des méthodes permettant de l'assister :

1. Le *contexte de l'activité collective* (ou contexte de coopération) concerne l'activité, son objectif, les moyens mis en œuvre pour les atteindre, les acteurs impliqués, leurs relations, ou encore les artefacts qu'ils manipulent et produisent,
2. Le *contexte de l'acteur* agissant dans une activité collective regroupe les connaissances que celui-ci manipule et les mécanismes cognitifs qu'il met en œuvre pour agir. Ces mécanismes sont fortement influencés par sa formation, son métier mais aussi son rôle dans l'activité collective,
3. Le *contexte de l'utilisateur d'un outil* (logiciel) contient les informations utiles pour adapter l'outil à l'utilisateur : localisation, nature du terminal utilisé etc. On y retrouve aussi les informations transmises par l'utilisateur dans une optique de personnalisation de l'outil (préférences d'utilisation par exemple).

Cette définition tri-facettes met en évidence les caractéristiques de l'action individuelle au sein d'une activité collective.

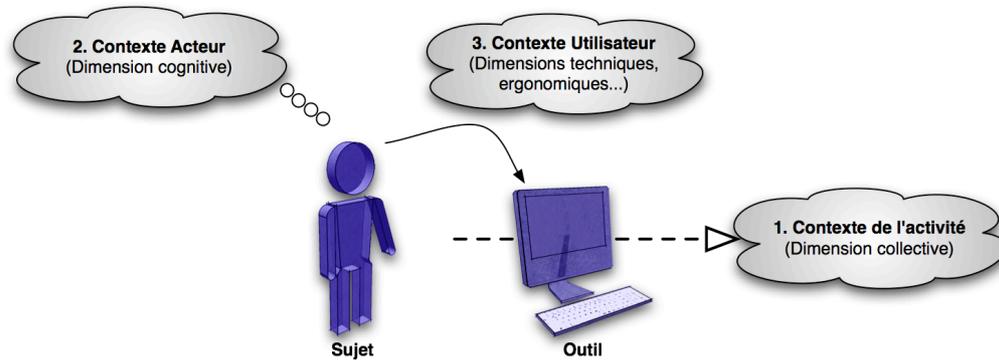


Figure 22 : Les « trois contextes » considérés

Nous détaillerons d'abord le *contexte de l'activité* dans sa dimension collective (n°1 sur la figure, §4.2), et verrons notamment qu'il est très lié aux organisations d'acteurs et aux modes de coordination de l'activité.

Le *contexte d'un acteur impliqué dans une activité collective* est la seconde de ces facettes (n°2 sur la figure, §4.3). Nous verrons d'un point de vue individuel que les mécanismes cognitifs qui sont mis en œuvre sont primordiaux dans l'action. Ainsi, la manipulation et la production de données, d'informations et de connaissances est-elle étroitement liée à des aspects individuels et collectifs, sociologiques ou psychologiques. Dans cette approche, nous tenterons aussi de mieux comprendre le caractère situé de l'activité individuelle qui fait qu'une action est toujours motivée par l'état et la perception du contexte de l'activité collective. En effet, un sujet met en œuvre des conditions et des moyens de réalisation de l'action en cohérence avec son contexte.

Dans la problématique générale d'assistance à la coordination par des outils logiciels, nous nous intéresserons finalement à la prise en compte de l'utilisateur dans la conception de systèmes informatiques (n°3 sur la figure, §4.4). Nous parlerons alors du *contexte de l'utilisateur* et de son utilisation dans la conception d'outils supportant son activité.

4.2. Le « contexte de l'activité collective »

Le Chapitre 3 nous a permis de voir que toute organisation met en œuvre des dispositifs de coordination dépendant de sa structure ou encore de ses objectifs. L'activité principale d'une organisation consiste à atteindre un ou plusieurs objectifs qui peuvent se matérialiser sous la forme d'un produit concret ou d'un service.

Cependant, l'analyse de l'activité et de la manière dont elle sollicite les acteurs fait émerger un ensemble de tâches dédiées à la coordination, effectuées par un ou plusieurs acteurs responsables et produisant des documents spécifiques (artéfacts).

Dans les différentes théories sur la structure des organisations que nous avons décrites, il nous semble important de souligner qu'un certain nombre d'éléments les composant sont bien évidemment récurrents et intimement liés à l'essence même de l'activité : le « contexte de l'activité collective » ou « contexte de coopération ».

4.2.1. L'acteur

Le concept d'*acteur* est bien sûr central. Les organisations d'acteurs que nous avons décrites sont le résultat des relations complexes liant l'acteur individuel au groupe dans la réalisation d'un *objectif commun*. La mise en place de mécanismes de coordination et particulièrement la définition des relations entre les acteurs se traduisent par l'attribution de rôles aux acteurs qui limitent leur capacité ou leur potentiel d'action.

D'un contexte de l'activité collective à l'autre, les acteurs et les relations qu'ils entretiennent peuvent changer. Ainsi, suivant les 3 configurations organisationnelles que nous avons retenues on peut réaliser de nombreux contextes de coopération dans lesquels les acteurs impliqués sont différents et leurs relations sont adaptées à la structure particulière ainsi qu'à la nature de l'activité.

Nous avons vu que l'acteur peut être complètement intégré au contexte de coopération (intraorganisationnel et interorganisationnel) ou alors, qu'il peut en être extérieur. La relation qu'il entretient avec le contexte de coopération, son point de vue sur l'activité collective, sera fortement influencé par sa place dans le contexte :

- S'il fait partie d'un seul contexte, il favorisera une vision d'ensemble ou de détail de l'activité,
- S'il fait partie de plusieurs contextes, il aura besoin d'une synthèse entre ses différentes activités pour guider son action,
- S'il est extérieur à un (ou plusieurs) contexte(s), il n'aura besoin que d'information très ponctuelle sur le déroulement de l'activité pour agir.

4.2.2. L'activité

L'activité est fondamentale dans l'organisation et plus généralement dans le travail collectif. Nous pouvons souligner que ce concept relativement abstrait peut prendre différents sens lorsqu'on l'analyse au sein de l'organisation. Le « projet » que nous avons décrit précédemment est un type d'activité (dont le niveau de granularité est très élevé). Les phases organisent le déroulement de l'activité, mobilisent des acteurs spécifiques et conduisent à la production de documents clairement identifiés. Enfin, les tâches sont réalisées par des acteurs. Elles peuvent être de natures variées. Nous distinguerons essentiellement les tâches de production, de coordination et de synthèse [Hanser 2003]. On voit donc que la coordination se retrouve derrière le concept d'activité, tant par le fait que toute activité collective nécessite de la coordination, que par les tâches spécifiques qui lui sont consacrées.

Nous rajouterons que les phases décrivent le déroulement de l'activité en grandes étapes, alors que les tâches sont de granularité plus fine, voire décrivent des actions uniques réalisées par les acteurs.

L'activité et son découpage en phase et en tâche sont une fois de plus très dépendants du contexte de coopération particulier. D'un contexte de coopération à l'autre le découpage répondra aux spécificités de l'objet de l'activité.

4.2.3. Les documents

Les documents peuvent être produits ou juste consultés par les acteurs. Les documents à produire dans le cadre d'une activité sont souvent clairement identifiés dans les contrats. Dans le code des marchés publics, une phase de l'opération engendre un certain nombre de documents à fournir pour la valider. Par exemple, pour une phase APS (Avant Projet Sommaire), la loi MOP demande de fournir des plans à l'échelle 1/200 et des détails à l'échelle 1/100.

En ce qui concerne la coordination, nous avons vu que les documents de coordination pouvaient être statiques ou dynamiques (§3.4.2.3). Ils décrivent le protocole de coordination et pour certains d'entre eux rendent compte de manière dynamique de l'état de l'activité.

4.2.4. Les objets

L'objet dans l'activité collective représente un « modèle de l'objet à réaliser ». On y fait référence dans les documents de coordination. Les acteurs participent à la conception (architecte, ingénieur) ou à la réalisation de l'objet (entreprise).

Dans le contexte de l'activité, l'ensemble des objets représente, par exemple, le bâtiment à construire.

4.2.5. Les outils

Enfin, les outils permettent de réaliser des actions. Ils donnent aussi une vision sur le contexte de l'activité collective, du point de vue de leur utilisateur.

Ils sont spécifiques à un contexte d'activité donné. En effet, une organisation d'acteurs particulière nécessite des outils particuliers pour travailler. L'ensemble des outils supportant un contexte de coopération est établi généralement en amont par le coordinateur de l'activité. C'est lui qui définit les outils à utiliser et les protocoles d'échange en fonction de la nature l'activité, de la structure de l'organisation ou encore des documents à produire.

La flexibilité dans le choix des outils est nécessaire, et il est important qu'un acteur puisse choisir d'utiliser un nouvel outil durant le déroulement de l'activité, en fonction d'un besoin particulier.

Ces concepts de base nous permettent de décrire plus précisément le contexte d'une activité collective tel que nous l'avons défini. La Figure 23 approfondit l'approche générale des trois facettes du contexte et représente particulièrement le contexte de l'activité collective.

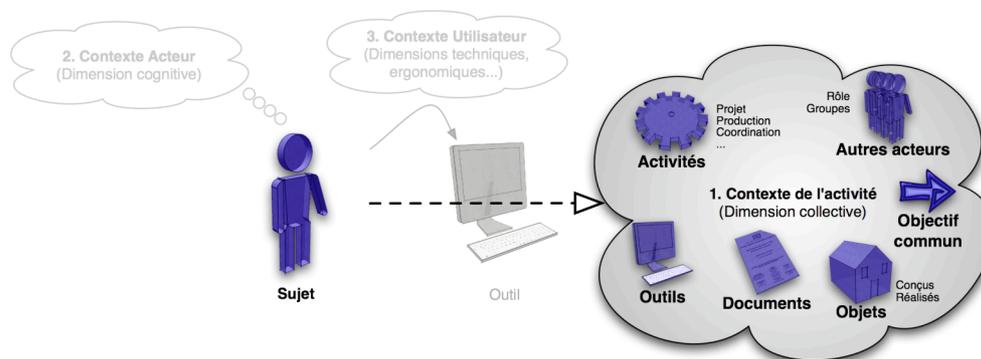


Figure 23 : Une représentation du contexte de l'activité collective

Ces entités coopérantes représentent la connaissance la plus générale et explicite à propos de l'activité. Bien sûr, une autre partie de cette connaissance est implicite et n'apparaît évidemment pas derrière cette représentation du contexte.

Quel que soit le niveau d'explicitation de ces interactions, les interdépendances entre les entités et leur gestion (anticipation, communication aux acteurs, flux d'information etc.) représentent l'essence de la coordination.

Le *contexte de l'activité collective*, que nous appellerons aussi dans la suite de ce mémoire le *contexte de coopération*, se caractérise différemment d'une opération à l'autre par les entités impliquées et la nature des relations qu'elles entretiennent. Il permet de représenter les différents modes d'organisation et les types de coordination associés que nous avons étudié dans le troisième chapitre.

4.3. Le « contexte de l'acteur » impliqué dans l'activité

La sociologie et plus particulièrement les courants de recherche sur l'action individuelle d'un sujet au sein d'une communauté nous permet de mieux appréhender quand et comment le contexte de l'action va guider celle-ci.

4.3.1. La théorie de l'action située

Face au constat d'échec de nombreuses tentatives de rationalisation des processus, la théorie de l'action située propose une analyse de l'action et du processus en parallèle et non en séquentiel. Bonnie Nardi explique que l'analyse de la structure de l'activité n'est pas quelque chose qui peut précéder l'action, mais qu'elle doit se faire dans le développement immédiat de l'action⁵⁰ [Nardi 1996].

Cette théorie nous intéresse particulièrement dans le sens où elle laisse une grande place à la nature opportuniste de l'homme en situation de résolution de problème. Elle s'oppose à d'autres visions plus rationalistes qui voient les plans et les objectifs comme principal guide de l'action.

« The view, that purposeful action is determined by plans, is deeply rooted in the Western human sciences as the correct model of the rational actor. The logical form of plans makes them attractive for the purpose of constructing a computational model of action, to the extent that for those fields devoted to what is now called cognitive science, the analysis and synthesis of plans effectively constitutes the study of action ». [Suchman 1987]

Suchman s'oppose à cette vision rationaliste et défend l'idée que l'action individuelle dépend fortement de l'environnement (culturel, social, matériel) dans lequel elle a lieu. Ces travaux ne portent donc pas sur la manière de produire des plans pour supporter l'action, mais s'orientent plutôt sur la compréhension des mécanismes permettant à l'homme de produire des plans au cours de l'action.

« Les actions sont toujours socialement et physiquement situées, et la situation est essentielle à l'interprétation de l'action. Par situation, on doit entendre un complexe de ressources et de contraintes, qui peuvent toutes le cas échéant jouer un rôle significatif sans pour autant que ce rôle soit nécessairement réductible à un jeu de représentations mentales préalablement objectivées dans les appareils cognitifs ». [Visetti 1989]

⁵⁰ « A central tenet of the situated action approach is that the structuring of activity is not something that precedes it but can only grow directly out of the immediacy of the situation »

Il est particulièrement intéressant de noter dans cette approche la relation étroite que le sujet entretient avec le contexte dans lequel il intervient. En suivant cette théorie, nous voyons que la compréhension dynamique du contexte est fondamentale pour que l'acteur puisse déterminer les conditions et la manière dont il va agir en réaction aux évolutions constantes du contexte.

Il se dessine aussi que certains éléments du contexte vont jouer un rôle déterminant alors que d'autres ne seront que secondaires dans la réalisation d'une action particulière.

Nous verrons par la suite que Brézillon et Pomerol caractérisent cela par la notion de procéduralisation d'un certain nombre de connaissances contextuelles.

Enfin, cette notion essentielle du caractère situé de l'action nous rappelle les processus de décision ad-hoc qui sont développés durant les chantiers de construction. En effet, l'incertitude dans le déroulement du processus conduit les acteurs à examiner l'état de celui-ci à un l'instant particulier de la prise de décision afin de réagir, tout en étant peu dans une logique de planification.

4.3.2. Le contexte de l'action sous l'angle de la théorie de l'activité

La théorie de l'activité nous fournit un cadre d'analyse plus large sur les caractéristiques de l'action. Elle repositionne d'abord les concepts d'opération, d'action et d'activité. Elle va nous permettre d'affiner la compréhension de la relation entre l'acteur et son contexte dans l'action.

Nous ne détaillerons pas ici la théorie de l'activité sous ses multiples facettes. Des travaux récents y font déjà largement référence, dans le domaine de l'interaction homme-machine [Kuutti 1996], de la coopération en ingénierie logicielle [Bourguin 2000], ou encore de la coopération en conception architecturale [Hanser 2003].

Cependant, nous ne pouvons faire l'économie dans ce chapitre d'en présenter les grands concepts. Ils permettent en effet une approche centrée sur l'individu et son contexte dans l'activité collective, en particulier dans les travaux de Leontiev [Leontiev 1978] et Engeström [Engeström 1987]. Nous verrons, grâce à cette théorie, l'importance et les caractéristiques du contexte dans laquelle se déroule l'activité individuelle.

Leontiev [Leontiev 1978] décompose l'activité selon trois concepts essentiels que l'on peut assimiler à trois niveaux de granularité : l'opération, l'action et l'activité.

Activité	Motivation, objet
Action	But
Opération	Conditions d'exécution

Tableau 1 : Niveaux hiérarchiques de l'activité

4.3.2.1. L'action

Les actions, qu'elles soient individuelles ou collectives sont dirigées vers un but conscient, une intention. Dans l'objectif d'atteindre ce but, le sujet met en œuvre une phase d'*orientation* dans laquelle il prend connaissance du contexte dans lequel l'action doit être *exécutée*. Enfin, pour l'exécution, il prend en compte l'aspect *instrumental* pour déterminer comment réaliser l'action (anticipation, méthode et objectifs intermédiaires).

« Actions have both an intentional, orientational aspect (what is to be done) and an instrumental aspect (how to do it: anticipated plan and general method to reach intermediary goals) » [Linard 1993]

Dans l'apprentissage, c'est à dire la capitalisation des conditions de l'action et sa transformation en opération, le sujet met en œuvre des mécanismes d'appropriation et d'internalisation de l'activité externe [Leontiev 1981]. Ce processus est réalisé par la production d'artéfacts permettant de médiatiser l'interaction du sujet et de son environnement afin d'agir sur l'objet.

4.3.2.2. L'opération

Les opérations constituent le niveau le plus bas de la théorie. Le sujet exécute l'opération de manière inconsciente, dans des conditions précises et connues. Il s'agit en fait « d'actions dont le modèle s'est montré réellement fiable » en fonction de ces conditions [Bourguin 2000]. L'opération est une sorte d'action dont la phase d'orientation est déjà établie sur la base de l'expérience apparue au contact des conditions matérielles concrètes de l'opération [Bardram 1997].

4.3.2.3. L'activité

Au niveau le plus élevé de cette théorie se trouve l'activité. Les activités sont menées en relation avec un but conscient, une motivation et peuvent engendrer de nombreuses actions possibles.

« An activity is a form of doing directed to an object, and activities are distinguished from each other according to their object » [Kuutti 1996]

La relation entre activité et action a aussi été longuement discutée [Davydov et al. 1983; Kuutti 1996]. Une action peut, elle aussi, monter d'un niveau et devenir une activité. Dans la Théorie de l'Activité, les limites entre les différents niveaux de la structure hiérarchique sont mouvantes et floues. Elles dépendent à la fois du domaine d'étude et de l'individu.

C'est donc au cours de l'action que le sujet prend des décisions influencées par le contexte. L'activité est le niveau de définition des objectifs (l'objet de l'activité) et du cadre général de déroulement des actions et des opérations. Dans ce sens, l'activité dans son ensemble donne un contexte aux actions.

Nous retiendrons essentiellement ici que c'est au niveau de l'action que le sujet est directement confronté à son contexte puisqu'il doit en percevoir les traits essentiels afin d'adapter son comportement (Cf. la théorie sur l'action située)

4.3.2.4. Structure de base d'une activité

Les théoriciens russes (Vygotski)[Leontiev 1978], spécialistes du domaine de la psychologie, et à l'origine de cette théorie s'intéressaient essentiellement à l'étude de l'activité individuelle et ont spécifié l'activité comme « unité de base » d'analyse de l'action. La « structure de base » exprime la relation entre le *sujet* et l'*objet* de l'activité. Elle est médiatisée par le concept d'*outil* (aussi bien matériel que cognitif).

L'outil est particulièrement important car il a un double rôle : il permet à la fois de réaliser l'objet de l'activité ou une partie de cet objet, mais aussi, il informe sur l'état de l'objet en cours de transformation [Bertelsen 1998].

Engeström a étendu ce modèle afin de représenter à la fois les niveaux individuels et sociaux de l'activité [Engeström 1987]. Il montre que l'individu n'est pas isolé mais intégré à une *communauté* partageant le même objet. Deux nouveaux médiateurs sont définis : les *règles* qui déterminent la place du sujet dans la communauté et la *division du travail* qui réalise l'organisation de la communauté pour la réalisation de l'objet.

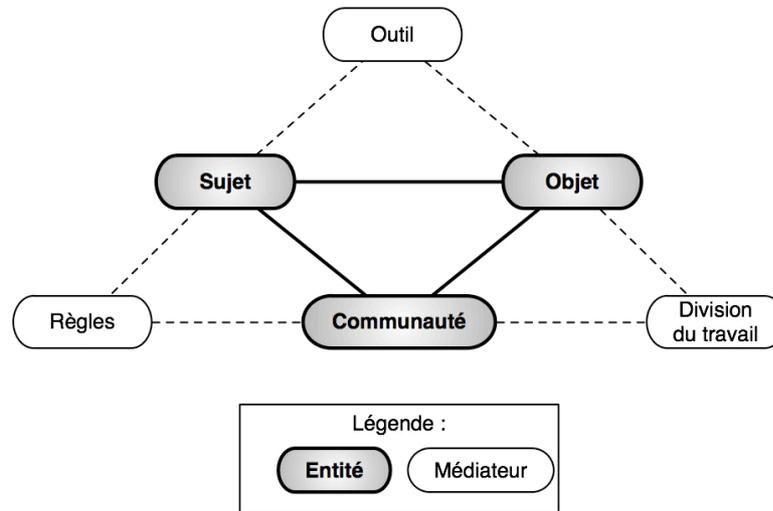


Figure 24 : Structure basique d'une activité (vue simplifiée)

Nous retiendrons de cette représentation de la structure de l'activité un certain nombre de caractéristiques qui nous intéressent dans notre étude de l'action individuelle :

- Le sujet agit en vue de la réalisation d'un objet, qui peut être défini plus ou moins précisément selon la nature de l'observation,
- Dans une activité, il met en œuvre des mécanismes d'observation du contexte et d'anticipation de l'état futur de l'objet de l'activité,
- Au-delà d'être un moyen de l'action, l'outil peut aussi servir dans l'interaction entre l'utilisateur et son environnement, par exemple, en l'informant de l'état de l'activité, voire en spécifiant des actions.

Nous avons posé les bases de ce qu'est le contexte d'un sujet individuel réalisant une activité. Nous avons vu que c'est dans le niveau de l'action que le contexte prend toute son importance, essentiellement dans la phase d'orientation.

Ce contexte, pour l'instant encore assez général, comprend des informations sur l'objectif de l'activité, les moyens d'y parvenir ainsi que des aspects liés au groupe (Chapitre 3).

Dans le « contexte acteur », la connaissance que possède l'acteur est issue de mécanismes cognitifs permettant l'acquisition et la transformation d'informations. Nous allons aborder cette question dans le chapitre suivant.

4.3.3. Les formes de la connaissance dans l'activité

La question de l'activité humaine ne peut être abordée sans faire référence à la connaissance qu'elle manipule, utilise ou génère. Le thème de la gestion de la connaissance (Knowledge Management) est d'ailleurs particulièrement étudié actuellement et cela est dû en partie au fait que les nouvelles technologies assistant le travail (informatisation) manipulent et produisent de plus en plus de « connaissances » liées aux actions individuelles ou collectives.

Pour un acteur impliqué dans une activité, l'outil joue un rôle de médiateur dans l'acquisition de connaissance.

4.3.3.1. Connaissance et projet

La représentation et la gestion de la « connaissance » fait l'objet de nombreuses études, et les cabinets de conseil spécialisés en « knowledge management » se font de plus en plus nombreux vu la demande des organisations de toute sorte. Nous ne souhaitons pas ici rentrer dans le détail des techniques de gestion de connaissance mais simplement caractériser et mieux comprendre ce que manipulent les acteurs dans l'activité.

En préambule, il convient de replacer la connaissance et son utilisation par rapport au concept de projet.

Nous nous appuyerons pour cela sur la classification de Damm et Schindler [Damm et Schindler 2002], discutée dans [Otjacques 2004], qui distingue trois types de connaissance :

- La connaissance **à propos des projets** concerne l'information ou le cadre de déroulement de divers projets « inter » ou « intra » organisationnels,
- La connaissance **issue des projets** est le fruit de l'analyse a posteriori des conditions de déroulement des projets,
- Enfin, le troisième type de connaissance qui nous intéresse particulièrement dans notre approche est la connaissance **présente dans le projet**. Il s'agit d'une connaissance existant dans un projet donné, qui est partagée ou répartie entre tous les acteurs

impliqués. Elle peut être contenue dans différents artefacts : « concrets » (comme des documents, des bases de données) ou « intellectuels » à travers lesquels les acteurs manipulent la connaissance.

4.3.3.2. Donnée, information et connaissance

Afin de mieux discerner ce que manipulent mentalement les acteurs du projet, commençons par distinguer certains termes dont l'usage peut prêter à confusion : donnée, information et connaissance. Selon P. Quinlan, il faut distinguer « l'informatique traditionnelle qui gère les données de l'information de l'entreprise » de ce qu'il appelle « l'informatique de la connaissance qui gère aussi les modèles applicables à cette information, c'est à dire la connaissance. » [Quinlan 2005].

Une **donnée** permet de caractériser une situation. Pour Deneux, il s'agit d'un descripteur de situation, au même titre qu'un « fait » [Deneux et al. 2002].

L'**information** peut être vue comme une donnée réductrice d'incertitude. Deneux souligne l'importance du contexte en fonction duquel le fait acquiert le statut d'information : « le contexte précise l'espace dans lequel se place le fait et dans quelle mesure il apporte donc de l'information ». Selon Leplat, « quand une personne transforme des données en information, cette transformation dépend des *données contextuelles* que la personne possède » [Leplat 1985].

Enfin, la **connaissance** peut donc revêtir le statut de modèle, associant à l'information une stratégie, des pratiques ou encore une méthode. Notons que ce statut de modèle confère à la connaissance une application aussi bien cognitive (d'un point de vue connaissance-processus) qu'informationnelle (d'un point de vue connaissance-objet). P. Brézillon décrit ainsi le rôle des connaissances : transformer des données en informations, déduire de nouvelles informations à partir de celles qui sont existantes et acquérir de nouvelles connaissances [Brézillon 2003].

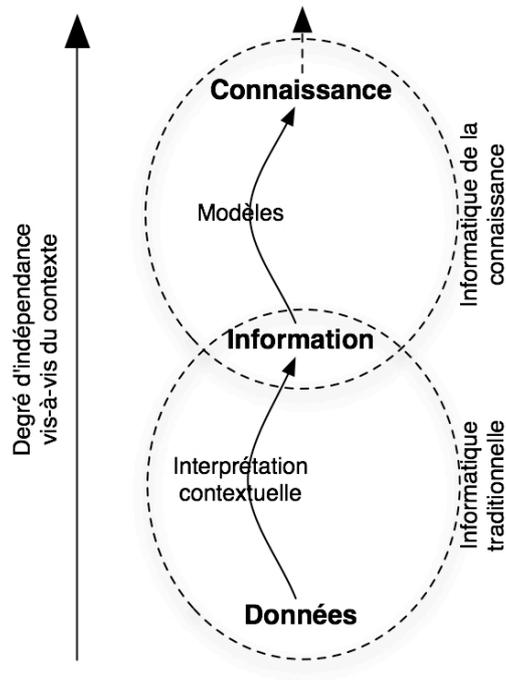


Figure 25 : Données, information et connaissance

4.3.3.3. Nature des connaissances

Comprendre la nature des connaissances est essentiel en vue de décrire ses mécanismes de transmission et de transformation dans les processus intellectuels.

Connaissances individuelles ou collectives

La première caractéristique essentielle est la distinction entre la connaissance que peut avoir un individu et celle que peut avoir un groupe d'individus. À ce sujet, Fagin distingue la connaissance commune de la connaissance distribuée [Fagin et al. 1995].

Dans le premier cas, la connaissance est détenue par tous les acteurs (connaissance générale à propos de l'entreprise ou du projet par exemple), alors que dans le deuxième cas, elle est distribuée donc détenue par au moins un des acteurs.

Connaissances techniques ou managériales

Une autre distinction peut être faite entre les types de connaissances en fonction de leur finalité. Les connaissances techniques concernent la tâche effectuée par l'acteur ou encore le produit de son activité. En ce qui concerne l'exécution de la tâche, la connaissance peut prendre la forme de procédures. Les connaissances liées au produit permettent de le décrire tout au long de son cycle de vie [Deneux et al. 2002].

Les connaissances managériales sont plutôt utilisées par les acteurs dirigeants de l'organisation. Elles assurent la coordination et la coopération de tous les acteurs de l'organisation. Pour cela, elles concernent des aspects d'organisation des activités et des processus, de stratégie mais aussi, de connaissances des acteurs mêmes de l'organisation, très importante afin de développer la coopération.

Connaissances déclaratives ou procédurales

Un parallèle peut être fait entre les connaissances techniques et managériales et leur nature déclarative ou procédurale. Leur manipulation dans le processus cognitif de l'acteur peut changer radicalement en fonction de cette caractéristique.

Les connaissances déclaratives décrivent une situation ou établissent des faits. À l'opposé, les connaissances procédurales permettent d'énoncer des règles ou de décrire les conditions d'exécution d'une tâche.

Connaissances tacites ou explicites

Ce point est déterminant et largement étudié dans les domaines visant l'intégration de Systèmes d'Information (SI) dans les organisations.

Selon I. Nonaka [Nonaka 1985], « la connaissance explicite peut être exprimée dans un langage formel et partagée sous la forme de données, formules scientifiques, spécifications, manuels etc. [...]. À l'opposé, la connaissance tacite est hautement personnelle et sa formalisation est difficile [...]. La connaissance tacite est fortement ancrée dans les actions, les procédures, les routines, les engagements, les idéaux, les valeurs [morales] ainsi que les émotions⁵¹ ».

Cette nature tacite ou explicite est largement discutée dans l'optique du développement de systèmes d'assistance à la gestion des connaissances de l'organisation et notamment, quant à la

⁵¹ « Explicit knowledge can be expressed in formal and systematic language and shared in the form of data, scientific formulae, specifications, manuals and such like [...] In contrast, tacit knowledge is highly personal and hard to formalise. [...] Tacit knowledge is deeply rooted in action, procedures, routines, commitment, ideals, values and emotions. » [Nonaka et al. 2000]

structuration des données dans de tels systèmes. En effet, on constate que le développement des outils conduit souvent à une demande forte de la part des concepteurs, mais aussi, des managers à expliciter l'information. À la clé, c'est la traçabilité de l'information échangée ou produite (comme par exemple, les décisions prises) qui est en jeu.

4.3.3.4. Transformation de connaissances

La différence faite entre connaissance tacite (ou implicite) et connaissance explicite est essentielle. Cette caractéristique va fondamentalement contraindre la capacité d'échange et de partage. Par nature, les connaissances implicites sont soit largement personnelles soit communes aux acteurs d'un même domaine, alors que les connaissances explicites sont plus facilement partageables [Brézillon 2003]. La possibilité de transformation entre ces types de connaissances est donc importante notamment du fait que le contexte de l'acteur peut contenir indifféremment ces différentes formes de connaissances.

Ces transformations ont été étudiées par T. Nonaka, qui a proposé un modèle visant à représenter la nature dynamique de la création de connaissance : le modèle SECI (Socialization, Externalization, Combination, Internalization) [Nonaka 1985].

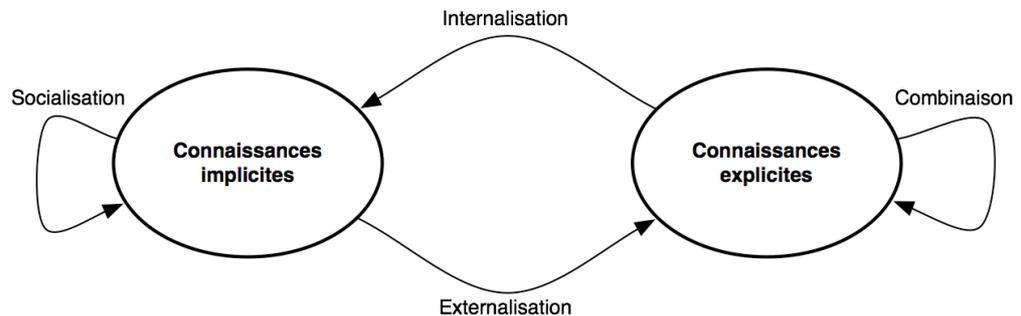


Figure 26 : Relations entre connaissances explicites et implicites. Selon [Nonaka et al. 2000], inspiré de [Brézillon 2003].

La Figure 26 est une représentation graphique de ces transformations adaptée par Brézillon.

« La socialisation des connaissances consiste à générer de nouvelles connaissances tacites à partir de connaissances tacites partagées. L'externalisation concerne la conversion de connaissances tacites en connaissances explicites. La combinaison de connaissances explicites

aide les individus dans une organisation. L'internalisation prend place quand les connaissances explicites deviennent tacites d'une manière très proche de l'apprentissage. » [Brézillon 2003]

Nous portons un intérêt particulier au processus de socialisation et d'externalisation qui, lorsqu'ils s'appliquent à l'action individuelle, nous rappellent les mécanismes d'orientation menés par le sujet (Cf. la phase d'orientation de l'action de la Théorie de l'Activité). Le mécanisme d'internalisation des connaissances se rapproche du passage du niveau de l'« action » vers celui de « l'opération ».

Nous allons maintenant revenir sur les connaissances manipulées par l'acteur dans une perspective d'action, en nous intéressant aux relations entre connaissance individuelle et contexte de l'activité.

4.3.4. La connaissance dans l'action individuelle contextualisée

Nous proposons ici de nous focaliser sur les processus cognitifs liés à la connaissance et réalisés par l'acteur en situation d'action. Il nous importe de comprendre comment les connaissances sont utilisées dans l'action « située » ou « contextualisée ». Nous sommes donc intéressés ici par le niveau de l'action décrit dans la Théorie de l'Activité et dans lequel le contexte de l'activité joue un rôle essentiel.

Pour aborder cette question, nous nous appuyons essentiellement ici sur les travaux de P. Brézillon et J.C. Pomerol dans le domaine de la psychologie et de l'intelligence artificielle, et plus spécifiquement au sujet de l'aide à la décision dans des systèmes complexes. Ils distinguent trois types de connaissances mis en œuvre par l'acteur dans une telle situation : les connaissances externes, les connaissances contextuelles et le contexte procéduralisé [Brézillon 2003; Brézillon 2005].

Le mouvement de connaissances que décrivent ces auteurs s'applique au-delà de la prise de décision, puisque le mécanisme décrit s'oriente autour d'un « focus d'attention » (point de focalisation dans la décision) qui est plus général. Nous faisons un parallèle direct entre ce « focus d'attention » et l'objet de l'activité dans la Théorie de l'Activité.

4.3.4.1. Connaissances externes

Les connaissances externes sont des connaissances que possède l'acteur mais qui ne sont pas nécessaires au focus d'attention particulier [Brézillon et Marquois-Ogez 2003]. Elles ne peuvent changer de statut pour devenir « contextuelles » que si le focus d'attention évolue lui aussi. Cette connaissance externe devra alors éventuellement être acquise.

4.3.4.2. Connaissance contextuelle

Les connaissances contextuelles dépendent essentiellement de l'agent qui les possède et de l'action qu'il doit réaliser. Il s'agit de connaissances issues de son environnement, et donc intimement liées à la structure de l'activité qu'il réalise.

La question de la *perception du contexte* de l'activité collective est centrale dans l'acquisition de la connaissance contextuelle. Elle concerne autant la connaissance de « l'état de l'activité » (qui peut lui être fourni par des outils), que la définition de « l'action qu'il doit effectuer » (plutôt liée à la division du travail, la coordination ou encore à son rôle).

Notons enfin que la capacité de perception du contexte est fortement liée au caractère explicite ou implicite de la connaissance qui lui parvient. De plus, selon Brézillon, les connaissances contextuelles sont « largement tacites parce qu'elles représentent ce que tout le monde connaît sans avoir besoin de l'exprimer ». La connaissance contextuelle est une connaissance d'arrière-plan alors que le contexte procéduralisé est utile immédiatement pour la tâche en cours d'accomplissement.

4.3.4.3. Contexte procéduralisé

Pour réaliser une action particulière, un sous-ensemble des connaissances contextuelles est procéduralisé, ce que Brézillon et Pomerol appellent le contexte procéduralisé [Pomerol et Brézillon 2003]. Celui-ci est « invoqué, structuré et situé par rapport à un focus d'attention donné » (l'étape courante de l'activité).

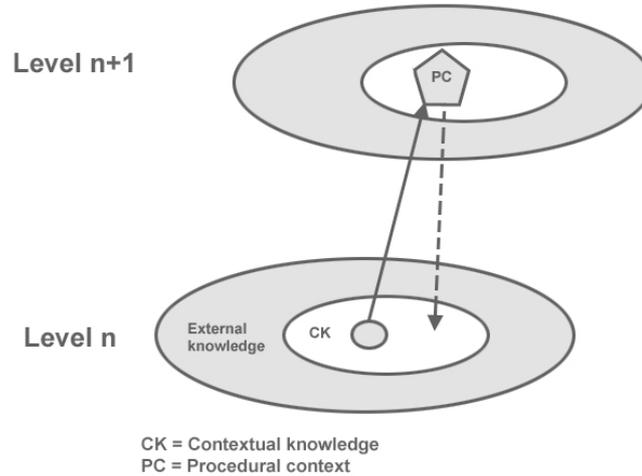


Figure 27 : Connaissances et procéduralisation

L'approche proposée par Patrick Brézillon est particulièrement intéressante dans la prise en compte du caractère dynamique des processus de contextualisation et de procéduralisation des connaissances. Cette dynamique est surtout identifiable dans le mouvement entre les connaissances contextuelles et le contexte procéduralisé.

« D'une étape à la suivante, le contexte procéduralisé change, par exemple en y intégrant le résultat de la première étape. Le contexte procéduralisé va alors dans le corps des connaissances contextuelles »

La procéduralisation de connaissances en fonction d'un contexte donné, et avec un focus d'attention particulier, peut s'apparenter au processus d'internalisation du contexte externe défini dans la théorie de l'activité au niveau de l'action (§4.3.2.1). Cependant, Brézillon précise qu'à l'étape suivant une prise de décision donnée (étape n+1) une partie du contexte procéduralisé retourne dans le champ de la connaissance contextuelle (flèche pointillée sur la Figure 27).

Ce mouvement de connaissance (lié notamment à la capacité cognitive du sujet) peut prendre selon nous deux formes :

- Celle d'un simple « changement » de connaissances utiles à l'étape n+1 en vue de la résolution d'un autre problème (changement du focus d'attention),

- Celle d'un changement de statut des connaissances où, en s'appuyant sur le processus d'apprentissage défini dans le cadre de la Théorie de l'Activité, l'analyse des connaissances procéduralisées dans le cadre de « l'action », ainsi que son résultat, permettent de définir de nouvelles « opérations » répétables ultérieurement. Dans ce cas, et en extension de la définition proposée par Brézillon, nous pensons que l'opération et ses conditions d'applications connues du sujet s'intègrent dans le champ du contexte externe.

4.3.5. La question du point de vue sur le contexte de l'activité collective

Les mécanismes d'acquisition et de mobilisation de connaissances en vue de l'action sont hautement individuels et intrinsèquement liés aux acteurs impliqués dans un projet : leur rôle, leurs tâches mais aussi leurs compétences, leur formation ou leur sensibilité. Derrière ces caractéristiques, c'est le point de vue de l'acteur qui détermine la manière dont il va procéduraliser les connaissances afin d'agir dans le projet.

Dans le domaine de la résolution de problèmes, le point de vue peut avoir des formes différentes. Il représente aussi bien « un aspect donné du problème que l'approche ou la position des participants » [Bana e Costa 1992]. Bien sûr, cette notion varie en fonction du domaine dans lequel on l'utilise. Dans le domaine des négociations par exemple, L. Rousseau souligne qu'on peut distinguer un point de vue « privé » d'un point de vue « public » [Rousseau 2003].

Déterminer le point de vue des acteurs est crucial dans la conception des applications. En effet, l'utilisateur doit pouvoir exprimer son point de vue afin de permettre une personnalisation dans l'interaction homme-machine [Noté 1999].

Le point de vue « est un dispositif de mise en relation d'informations formant un sous-ensemble cohérent dans une perspective donnée. [...] Il est guidé par un but » [Bignon 2002]. Jérôme Thibault a proposé dans son travail de DEA une hiérarchie de points de vue d'acteurs de la construction en s'appuyant sur une analyse des problèmes qu'ils ont à résoudre durant leurs activités [Thibault 2004].

Dans l'interaction entre un acteur et le projet, le contexte de l'acteur est largement influencé par son point de vue sur l'activité. Par exemple, les connaissances contextuelles dont il dispose peuvent dépendre des droits de visibilité qu'il a sur l'information. De plus, les relations informelles qu'il entretient avec les autres intervenants sont déterminantes dans le partage de l'information.

La procéduralisation de connaissance fait aussi intervenir le point de vue de l'acteur. La « perspective » de l'action qu'il doit mener dans l'activité va fortement influencer la phase dans laquelle il va convoquer la connaissance nécessaire. Ce point de vue est en partie anticipable car les acteurs ont un certain nombre de tâches répétitives d'un projet à l'autre qu'ils réalisent en fonction de leur métier, leurs compétences. Mais il est aussi fortement lié à une situation ou un besoin. Dans ce cas, l'acteur le construit en fonction de l'information qu'il perçoit du contexte.

4.3.6. Synthèse

La Figure 28 synthétise ces notions et souligne notamment les mécanismes essentiels au niveau de l'activité individuelle :

- Les jeux de *mobilisation de connaissances* au niveau du « contexte de l'acteur » impliqué dans l'activité, leur nature (externe ou contextuelle) et leur procéduralisation pour les rendre opérationnelles en vue de l'action,
- L'importance des mécanismes de *perception* du « contexte de l'activité » qui permettent la constitution de connaissances contextuelles. Cette perception est intimement liée au *point de vue* de l'acteur sur le contexte de l'activité. Enfin, le contexte procéduralisé représente une partie de ces connaissances mobilisées pour l'action.

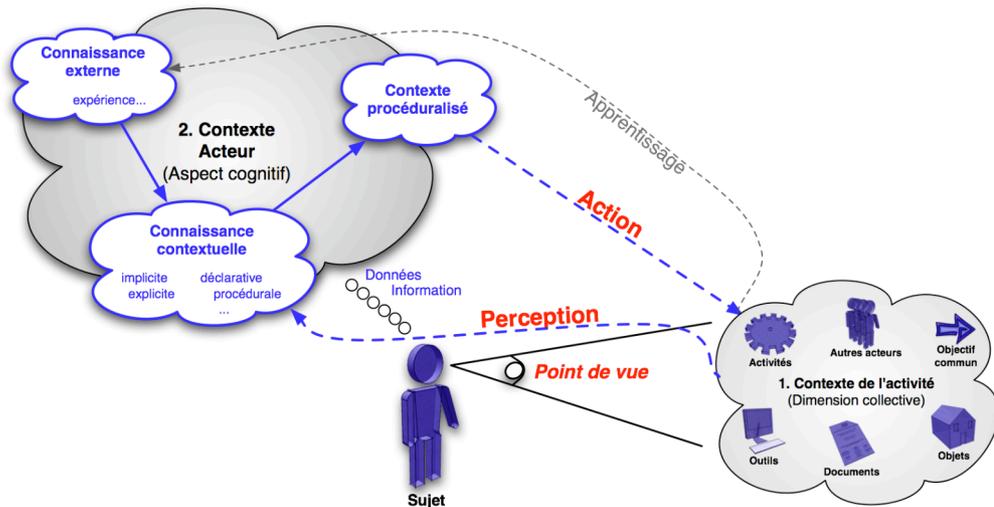


Figure 28 : Contexte de l'acteur, une synthèse

Dans la conception d'outils et de méthodes d'assistance à l'activité, la prise en compte de ces facteurs est essentielle. Ce constat est encore plus important dans les secteurs où l'activité est soumise à de nombreux aléas, modifications et donc, qu'elle est difficilement anticipable. Comme le souligne la théorie de l'action située, l'acteur doit alors fortement contextualiser ses décisions et les modalités de son action.

Ces constats s'appliquent directement au domaine du bâtiment, répondant à tous ces critères :

- Les relations peu formalisées entre les acteurs rendent les échanges d'informations encore plus complexes. La perception du contexte de l'activité est donc souvent partielle et difficile à mettre en œuvre dans des outils qui, à l'heure actuelle, manquent d'efficacité,
- L'action est souvent peu formelle elle aussi, et les procédures de capitalisation sont quasiment inexistantes. L'apprentissage que nous décrivons dans la figure ci-dessus est donc rendu très difficile dans les activités du domaine de la construction.

Enfin, soulignons l'apport de la théorie de l'activité, et essentiellement l'éclairage sur le rôle de l'outil comme médiateur de l'activité. Au-delà d'être un « moyen de l'action », il peut servir la perception de « l'état de l'activité ». En ce sens, il doit être adapté à l'acteur, son besoin, son point de vue, en un mot : son contexte.

Les outils utilisés sur le chantier répondent à ce constat. Ils donnent en effet un aperçu plus ou moins dynamique de l'état de l'activité. Ils présentent cependant des limites que nous avons évoquées dans le paragraphe précédent (surchage d'informations aux acteurs, redondance, contradiction etc.).

4.4. Le « contexte de l'utilisateur »

Nous nous penchons maintenant sur le troisième type de contexte : le contexte de l'utilisateur d'un outil. Nous verrons que ce contexte se place à l'intersection entre le « contexte de l'acteur » et le « contexte de l'activité » et qu'il supporte les mécanismes de perception du contexte, que permettent notamment les outils.

4.4.1. Favoriser la perception du contexte : la conscience de groupe

La connaissance du contexte et sa procéduralisation sont des mécanismes qui dépendent irrémédiablement des moyens de perception dont le sujet dispose. Avant d'aborder la manière dont cette perception se réalise à travers des outils, nous souhaitons exposer ici le concept important qu'est la conscience de groupe⁵².

La conscience de groupe est une connaissance dont un individu dispose, et qui résulte « *de la perception des signaux émis par les autres participants d'une tâche collective* » [Lonchamp 2003].

Dourish et Bellotti sont les premiers à en proposer une définition :

« L'awareness est la compréhension de l'activité des autres, qui procure un cadre à votre propre activité. Ce contexte est utilisé pour s'assurer que les contributions individuelles s'insèrent dans l'activité globale du groupe, et pour évaluer les actions individuelles au regard des buts et de l'évolution du groupe⁵³ » [Dourish et Bellotti 1992].

Les travaux sur la conscience de groupe s'orientent depuis quelques années sur les problèmes rencontrés dans les activités collectives distantes et asynchrones favorisées par le développement des technologies de communication. En effet, les acteurs d'une activité ne perçoivent pas directement les signaux renvoyés par les autres participants comme c'est le cas dans une activité en face-à-face. Ils ont donc plus de difficultés à adapter et planifier leur comportement en fonction de ce qu'ils savent réciproquement les uns des autres. Les outils de coopération doivent donc jouer ce rôle de médiateur entre l'utilisateur et son environnement.

En situation de chantier, notre optique diffère légèrement. En effet, l'assistance de l'outil informatique est encore peu répandue. Cependant, nous constatons que la connaissance des activités des autres acteurs est un problème réel, dû à plusieurs raisons :

- Un chantier est souvent vaste, donc les acteurs ne travaillent que rarement à proximité les uns des autres,
- Les interventions sont en partie séquentielles. En effet, un enchaînement logique de tâches est déterminé afin de les exécuter dans un ordre respectant les règles de l'art,

⁵² Le terme anglais consacré est « awareness ».

⁵³ « [...] awareness is an understanding of the activities of others, which provides a context for your own activity. This context is used to ensure that individual contributions are relevant to the group's activity as a whole, and to evaluate individual actions with respect to group goals and progress. »

- En dehors des réunions de coordination, chacun travaille dans son entreprise ou sur d'autres chantiers. Les situations de rencontres formelles entre les acteurs sont donc réduites.

Pour toutes ces raisons, la connaissance des activités du groupe pour un acteur donné est très difficile. Donner conscience à chacun de l'état de l'activité globale est une des fonctions du coordinateur de chantier afin de favoriser l'implication individuelle.

Salembier souligne l'importance « d'incorporer les processus informels dans la conception de supports à la coopération entre agents » [Salembier et al. 2001]. Selon Dourish, ces informations peuvent être, soit générées explicitement (et présentées dans un espace de travail spécifique), soit collectées et distribuées passivement (dans l'espace de travail principal) [Dourish et Bellotti 1992].

Il ajoute l'importance de « l'awareness » d'un point de vue sociologique, permettant à chacun de connaître sa place et son rôle au sein du groupe. Enfin, nous noterons que la conscience de groupe favorise les interactions imprévisibles et informelles entre les personnes [Gutwin et al. 1996]. Ces contacts informels jouent un rôle majeur dans l'auto-coordination d'une équipe de projet [Bouthier 2004; Hanser 2003].

Gutwin a proposé une classification des différents types d'awareness en quatre catégories [Gutwin 1997] :

- *L'awareness informel* est la conscience générale de « qui se trouve autour » et de ce « que chacun fait ». Ce type de conscience de groupe n'est pas explicite, il existe habituellement lorsqu'on travaille dans le même lieu et au même moment que ses collègues. Il facilite les échanges informels entre les acteurs,
- *L'awareness social* comprend les informations concernant les autres interlocuteurs dont une personne dispose dans son contexte social ou conversationnel. Il s'agit par exemple, de l'attitude des acteurs durant une réunion. L'expression du visage, les onomatopées sont essentielles dans ce type d'awareness. Il est très difficile à obtenir lorsque la conversation se fait à distance (téléphone) ou encore, de manière asynchrone (via un forum, un email),
- *L'awareness de la structure du groupe* regroupe la connaissance d'un acteur à propos de l'activité collective dans laquelle il est impliqué. Il s'agit de connaître l'objectif du projet, le rôle et les responsabilités des autres intervenants, les protocoles de

communication et les règles de coopération ou de collaboration. Cette connaissance facilite la coordination entre les personnes et fournit des indicateurs concernant l'état de l'activité,

- *L'awareness de l'espace de travail* est la conscience de l'activité du groupe sur l'espace de travail. Il est obtenu en fonction de la capacité des outils de collaboration à médiatiser l'espace de travail partagé. Ce type d'awareness englobe dans certains cas les précédents, par exemple, la connaissance des droits des utilisateurs dans un collectif est aussi une forme d'awareness de la structure du groupe.

Gutwin a montré dans ses travaux que ces différentes formes d'awareness se chevauchent dans la réalité d'une activité collective. L'implémentation que l'on peut observer dans des outils de type « collectif » porte généralement sur l'awareness de l'espace de travail, ce qui revient à favoriser la compréhension par l'utilisateur du contexte de l'activité *géré par l'outil*. En effet, lorsque l'information ne transite pas par l'outil, il est très difficile de la traiter pour en rendre compte à l'utilisateur.

Mica Endsley distingue trois étapes essentielles dans les processus d'awareness, qui sont mises en œuvre par un sujet individuel impliqué dans un travail de groupe [Endsley 1995] :

- La perception des éléments de l'environnement, notamment, de l'état de l'activité, des processus en cours,
- La compréhension de la situation courante, qui peut consister à approfondir la perception par une analyse détaillée d'un point précis suscitant l'intérêt,
- La prédiction du futur état de l'environnement, qui permet de déterminer le type et les conditions de l'action à réaliser (détecter l'urgence par exemple).

Il est intéressant, suite à notre analyse sur les outils et leurs fonctionnalités en début de chapitre, de réfléchir à la manière dont ces trois étapes peuvent être supportées et médiatisées par des outils.

4.4.2. Le contexte de l'utilisateur d'un outil

Le processus d'awareness est supporté par de nombreux outils existants. Il s'agit par exemple, de tableau de bord ou de logs de connexions dans les portails de projet. Notons que ces informations sont déterminées en fonction de leur utilité pour un utilisateur donné. Ainsi, de nombreux outils

permettent de paramétrer l'affichage que l'on souhaite utiliser en fonction de son intérêt particulier ou de ses habitudes d'utilisation (langue, paramètres d'affichage etc.).

Les travaux sur le contexte dans le domaine de l'informatique approfondissent encore cette prise en compte de l'utilisateur dans la conception des systèmes.

Diverses données « captées » de l'environnement permettent aux systèmes d'adapter l'information et l'interaction avec l'utilisateur :

- Les données de géolocalisation GPS permettent ainsi de repérer géographiquement l'utilisateur d'un terminal mobile. Des services localisés peuvent alors lui être proposés (ex. des horaires de train dans une gare, des services pour handicapés sur des bornes d'autobus) ,
- La continuité des services consiste à permettre à l'utilisateur de se déplacer tout en utilisant son terminal (ex. du téléphone portable utilisé en voiture, jeu en situation extérieure) [Le Sommer et Roussain 2005],
- L'adaptation au terminal utilisée est aussi nécessaire en fonction de ses capacités d'affichage de l'information (ex. taille de l'écran) [Chaari et al. 2005],
- Des systèmes de « cours augmentés » permettent d'afficher des informations relatives à un enseignement pédagogique magistral sur des terminaux mobiles dont disposent les étudiants [Lecolinet et al. 2005],
- Enfin, un dernier exemple est celui du moteur de recherche Google qui utilise le contenu de la recherche pour afficher des publicités contextualisées : Google AdSense [Google].

L'intérêt de ces travaux, outre un certain nombre d'applications possibles sur les chantiers de construction, réside dans la caractérisation du « contexte de l'utilisateur » dans ce genre de systèmes. On distinguera des propriétés liées à la localisation de l'utilisateur (environnement), au terminal qu'il utilise ou encore à l'utilisateur lui-même (Figure 29) :

- La *localisation* permet de connaître le lieu d'utilisation d'un outil : coordonnées GPS, ou type d'environnement (bureau, maison, chantier),
- La nature du *terminal* utilisé (PDA, téléphone, Pocket PC, ordinateur portable, ordinateur de bureau etc.) permet de connaître les caractéristiques de visualisation et d'interaction dont dispose l'utilisateur,
- Enfin, les informations sur *l'utilisateur* regroupent des informations générales comme son métier, ses compétences, ses habitudes dans l'utilisation des outils (paramétrage,

personnalisation) ainsi que des informations particulières dans un projet donné (son rôle dans le projet, les activités qu'il réalise, les documents qu'il manipule etc.).

La préoccupation que nous avons ici est de comprendre comment médiatiser la perception du contexte de coopération à travers des outils qui *représentent* ce contexte et qui fournissent un *potentiel d'action* à l'utilisateur. Nous voyons que la conscience de groupe est fortement liée à la capacité des outils à rendre compte de l'état de l'activité collective, tant pour la perception, la compréhension que l'anticipation de l'état futur de cette activité.

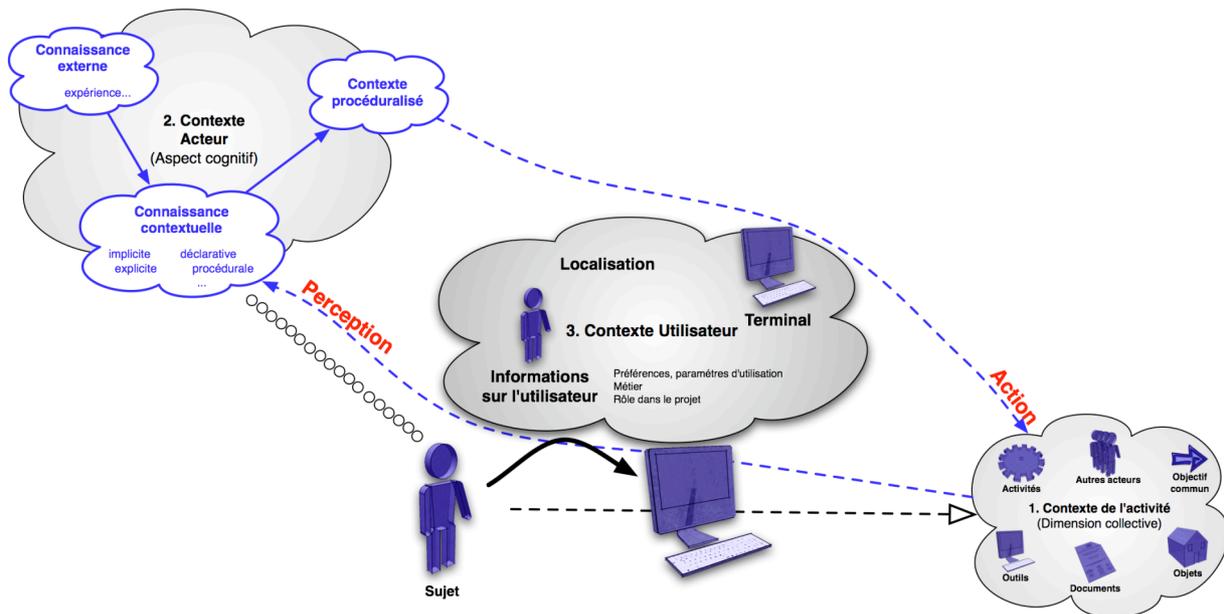


Figure 29 : Le contexte de l'utilisateur, synthèse

La prise en compte du contexte de l'utilisateur dans l'interaction entre l'acteur et le contexte de coopération est donc un élément majeur dans l'assistance à l'activité. La Figure 29 représente ce « contexte utilisateur » dans le schéma général des « contextes » que nous avons introduit dans la première partie de ce chapitre (Figure 22).

4.5. Synthèse

Nous avons vu que le « contexte » peut prendre plusieurs sens :

- Le *contexte de l'activité collective*, ou contexte de coopération qui comprend tous les éléments caractéristiques de l'activité de groupe : acteurs, activités, documents ou encore objets produits. La structure de l'organisation d'une activité, et les modes de coordination employés (Chapitre 3) sont représentés par cette notion de contexte de l'activité,
- Le *contexte d'un acteur* impliqué dans l'activité permet de définir les mécanismes cognitifs qu'il met en jeu afin de guider son action personnelle en cohérence avec le contexte de l'activité. Sa perception de ce contexte est largement influencée par le point de vue qu'il endosse, lié par exemple à son métier ou son rôle dans le projet,
- Le *contexte de l'utilisateur* d'un outil permet de décrire les informations importantes à prendre en compte dans la médiatisation de la perception du contexte par un outil. Les outils ont en effet la capacité de rendre compte du contexte de l'activité collective mais doivent pour cela s'adapter aux utilisateurs qui les manipulent.

Nous verrons par la suite que ces contextes sont manipulés dans tous les outils d'assistance à la coopération existants actuellement (Chapitre 5).

Nous proposerons alors une méthodologie de modélisation pour représenter ces contextes (Chapitre 6). En particulier nous décrirons un modèle du contexte de coopération, et des modèles d'outils focalisant sur leur capacité à représenter des concepts de ce contexte de coopération.

Puis, nous verrons comment « contexte acteur » et « contexte utilisateur » peuvent être pris en compte dans le développement de nouveaux outils d'assistance à la coopération à travers nos propositions (Chapitre 7).

Assister la coordination flexible de l'activité de construction de bâtiments.
Une approche par les modèles pour la proposition d'outils de visualisation du contexte de coopération.

Partie 3

Propositions d'outils et de modèles

Médiatiser la perception du contexte de l'activité collective

Chapitres

- Ch.5* Un guide pour le choix d'outils de coopération en phase chantier.
- Ch.6* Une approche dirigée par les modèles.
- Ch.7* Propositions d'outils pour l'assistance à la coopération en phase chantier.
- Ch.8* Validation des propositions.

Chapitre 5. Un guide pour le choix d'outils de coopération en phase chantier

Dans le secteur du bâtiment, comme dans tout autre secteur d'activité, les acteurs impliqués dans un travail collectif utilisent des outils afin d'accomplir leurs tâches. Ils mettent aussi en œuvre des méthodes leur permettant de s'organiser dans la réalisation de ces tâches.

Nous proposons, dans ce chapitre, de nous intéresser particulièrement à ces outils et méthodes existant dans le secteur afin de les caractériser au regard de l'analyse précédente sur les organisations autour du projet de construction.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur le concept « d'outil » ainsi que sur une classification qui nous permettra de mieux identifier les outils utilisés par les acteurs du bâtiment. Nous verrons ensuite que l'innovation est relativement présente puisque de nombreux outils sont actuellement émergents, soit à un stade de recherche expérimentale, soit à un stade opérationnel. Nous proposerons alors de comparer le domaine de la construction avec d'autres secteurs d'activités afin de décrire les outils qu'ils mettent en œuvre et leur potentiel dans l'assistance à la coopération en phase chantier.

Puis, nous délivrerons une analyse critique des outils d'assistance à la coordination. Cette analyse se fonde sur la mise en relation des types d'organisations du chantier, identifiés précédemment, avec des outils d'assistance. Elle nous permettra de faire émerger un guide fonctionnel, pour le choix d'outils d'assistance à la coordination des acteurs dans le secteur du bâtiment, et plus particulièrement dans les différentes configurations organisationnelles qu'il présente.

Nous proposons ce guide, issu d'une analyse critique, à l'attention des coordinateurs dans les phases de préparation de chantier, lorsque sont définis par exemple, les protocoles d'échanges.

Nous pensons que les outils à utiliser sont fortement dépendants de l'organisation et de sa dynamique, et qu'ils sont, par conséquent, à adapter au contexte de la coopération.

En outre, nous ferons émerger les tendances en terme d'innovation dans les outils informatiques, et particulièrement dans les interfaces de visualisation d'information. Nous verrons quels types de visualisation du contexte de coopération permettraient d'améliorer la connaissance contextuelle des acteurs, et donc la flexibilité de la coordination.

5.1. État des lieux des outils pour le travail collectif dans le secteur de la construction

Les acteurs du bâtiment utilisent depuis toujours des outils pour réaliser leurs activités particulières. Certains de ces outils, hautement individuels, aident les acteurs à réaliser les tâches qui leur sont attribuées en conception comme en construction : par exemple « dessiner un plan à l'aide d'un crayon », ou « déplacer du sable grâce à une pelle ».

D'autres outils sont plus adaptés à la dimension collective du travail. L'exemple le plus répandu est certainement le « téléphone portable » qui permet, par exemple, de discuter à distance avec d'autres intervenants d'un chantier.

Le développement des outils informatiques d'assistance au travail collaboratif (TCAO⁵⁴) trouve par ailleurs un impact fort dans de nombreux domaines. Nous reviendrons dans cette partie sur leur application dans le secteur du bâtiment et sur les enjeux de l'introduction de nouveaux outils.

5.1.1. Le concept d'outil

5.1.1.1. Définition

Le sens le plus répandu de ce concept est celui d'un « objet finalisé, utilisé par un être vivant dans le but d'augmenter son efficacité naturelle dans l'action. « L'augmentation » se traduit par la simplification des actions entreprises, par une plus grande rentabilisation de ces actions, ou par l'accès à des actions impossibles sans cet outil » [McLuhan 1968].

⁵⁴ Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (Computer Supported Collaborative Work, en anglais)

Cette définition met en avant le sens de l'outil vu comme un objet technique, qui est fortement inspiré des mouvements de l'homme, ou même qui est un prolongement du corps humain (ex. scie, marteau).

Une définition plus large propose de considérer l'outil « automatisé », pouvant fonctionner sans la présence de l'homme. Nous pouvons alors citer les robots, les machines-outils ou encore les ordinateurs.

Le TLFi propose une définition qui, à notre avis, englobe toutes ces caractéristiques de l'outil. Il propose de le voir comme un « moyen [...], qui permet d'obtenir un résultat, d'agir sur quelque chose ». Nous insisterons bien sur l'idée d'un *moyen*, au sens large, permettant de *transformer l'objet de travail* selon un *but* fixé.

Cette précision croissante de la définition de « l'outil » nous amène donc à nouveau vers la Théorie de l'Activité (§4.3.2). Kuutti définit l'outil exprimé dans la Théorie de l'Activité comme un « artéfact matériel ou symbolique qui médiatise l'activité » [Kuutti 1996]. Nous avons vu dans la partie 4.3.2.4 que l'outil se place comme « médiateur » entre le sujet et l'objet de l'activité.

«An activity contains various artefacts (e.g. instruments, signs, procedures, machines, methods, laws, forms of work, organisation). An essential feature of these artefacts is that they have a mediating role.»

Considérer l'outil comme un artéfact⁵⁵ permet d'élargir les définitions initiales. Nous pouvons alors considérer qu'un document, par exemple, est une sorte d'outil dès lors qu'il est utilisé par un acteur pour réaliser une activité. Ainsi, le compte-rendu de chantier utilisé par tous les acteurs durant le chantier est un outil qui les aide dans l'accomplissement de leurs tâches (notamment pour la coordination de ces tâches). Bien sûr, un logiciel permettant de dessiner les plans du bâtiment est lui aussi un outil, qui assiste la production de l'ouvrage.

Nous pressentons que les outils, qu'ils soient des documents (graphiques, textuels), des logiciels informatiques, des machines ou des objets de toute nature (marteau, engin de chantier) sont destinés à assister le déroulement de tâches spécifiques.

⁵⁵ Terme emprunté à l'anglais « artefact » ou « artifact ». Il signifie « ce qui est réalisé par l'homme, un produit artificiel » [TLFI].

5.1.1.2. Plusieurs acceptions « métier »

Cette définition très générale de l'outil comme support de l'activité nous conduit maintenant à préciser sa nature, notamment dans le domaine de l'architecture et de la construction.

D'abord, on peut opposer les outils supportant le travail « manuel » (ex. une pelle, une pioche), des outils assistant les tâches « intellectuelles ».

Dans cette deuxième catégorie, nous proposons de distinguer :

- Les « outils-machines » tels que l'ordinateur, le télécopieur, le téléphone ou le GPS,
- Les « outils-documents » comme les plans, les descriptifs, les ordres de service qui sont nécessaires au déroulement de l'activité,
- Les « outils-méthodes » tels que la planification ou la liste de tâches (to-do list),
- Les « outils-logiciels » comme les traitements de textes, tableurs, logiciels de dessin, d'imagerie, de navigation, ainsi que les logiciels spécifiques supportant les activités de groupe (collecticiels).

Nous nous focaliserons dans la suite de ce chapitre sur les « outils-logiciels » et les « outils-machines » assistant l'activité collective en phase chantier. Nous évoquerons naturellement aussi les « outils-documents », qu'ils remplacent pour partie, et les « outils-méthodes », qu'ils utilisent.

5.1.1.3. Une classification fonctionnelle des outils informatiques

Pour mieux les catégoriser, nous allons nous inspirer d'une classification issue des recherches dans le domaine du Travail Coopératif Assisté par Ordinateur (TCAO). Cette classification introduite par Ellis [Ellis et Wainer 1994] et complétée par Salber [Salber et al. 1995] vise à distinguer les différents espaces fonctionnels dans lesquels se situent les outils permettant l'interaction entre l'utilisateur et le système.

- L'espace de « production » est celui dans lequel les acteurs peuvent agir sur des données partagées,
- L'espace de « coordination » sert à planifier le déroulement des activités,
- Enfin, l'espace de « communication » permet aux acteurs d'échanger de l'information.

Dans cette classification, l'espace de communication comprend les échanges synchrones, dont on perd toute trace dans les outils après leur déroulement (par exemple avec des outils de téléphonie), mais aussi les échanges asynchrones, qui sont par nature persistants dans un système informatique.

Pour lever cette ambiguïté, Bertrand David propose une évolution du trèfle fonctionnel, intégrant un nouvel espace de « conversation » [David 2001]. Cet espace comprend les outils permettant la communication entre les acteurs, mais ne produisant pas d'information persistante, au contraire de l'espace de communication (Figure 30).

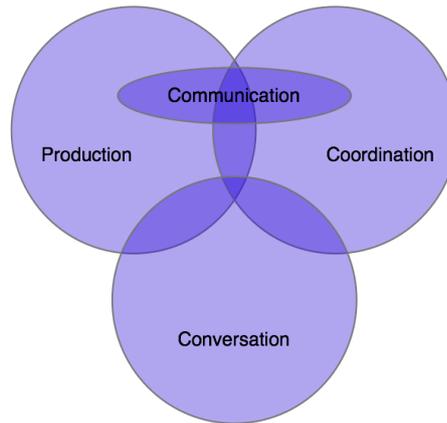


Figure 30 : Les quatres espaces fonctionnels pour l'analyse des outils de TCAO

Notons encore un cinquième espace, apparaissant notamment dans les travaux menés à l'Université de Savoie : celui de la régulation [Ferraris et Martel 2000]. Il n'est cependant pas vraiment identifiable dans les outils que nous allons présenter par la suite.

Nous utiliserons cette classification, qui sert habituellement à caractériser les fonctionnalités des outils de TCAO (les collecticiels), pour qualifier deux familles d'outils existant dans le domaine du bâtiment : les outils de production (et de représentation du projet) et les outils de coordination. Cette classification suivant les espaces fonctionnels, servant initialement à l'analyse d'outils pour le Travail Coopératif, nous permettra d'aborder les caractéristiques des outils du point de vue de la coopération entre les acteurs. Cependant, nous assumons un certain détournement de la fonction initiale de ces quatre catégories, notamment dans la partie suivante dans laquelle nous traiterons d'outils pas toujours orientés vers le support de l'activité collective.

5.1.2. Les outils « classiques » utilisés dans le secteur de la construction

5.1.2.1. Outils de production

Les outils de production sont très nombreux et diffèrent largement d'un acteur à l'autre. D'abord, le nombre de solutions concurrentes est très élevé et ensuite, chaque « métier particulier » dispose d'outils adaptés aux tâches de production spécifiques qui font partie de ses activités.

Ces outils sont dédiés « in fine » à la représentation du projet. Dans le domaine de l'architecture et de la construction, on distingue généralement :

- Les « outils-logiciels » de *dessin* (CAO/DAO) sont plus ou moins automatisés et permettent de produire les documents graphiques représentant le projet. Ils proposent parfois des fonctions de calcul, vérification, rendu réaliste etc. L'édition synchrone (collaborative) de ce type de document est inexistante dans le bâtiment. Pourtant plusieurs acteurs différents interviennent sur les plans, mais, dans le meilleur des cas, ils se transfèrent simplement les documents numériques. C'est pourquoi l'enjeu immédiat porte sur l'interopérabilité entre les systèmes afin de faciliter les échanges de données,
- Les « outils-logiciels » de *traitement de texte*, *tableurs* ou autres *logiciels spécialisés*⁵⁶ permettent de produire les pièces écrites comme les dossiers DQE (Descriptif Quantitatif Estimatif) représentant aussi le projet. Dans certains cas, il existe un lien entre documents graphiques et les pièces écrites. Par exemple, le descriptif du projet peut être issu de sa représentation graphique dans l'outil de CAO,
- Enfin des « outils-documents » sont utilisés par les architectes dans la formalisation du projet : *croquis*, *photographies*, *maquettes* etc. Nous considérons aussi qu'ils jouent le rôle d'outils dans le sens où ils médiatisent la transformation (souvent mentale) de l'objet.

Cependant, nous insistons sur le fait que la coopération est très faible autour des outils de production. Un document est produit par un auteur unique, et éventuellement modifié par un autre. L'édition synchrone, qui commence à apparaître dans certains collecticiels, est inexistante dans les pratiques actuelles de chantier.

⁵⁶ Le logiciel HyperArchi est dédié à la gestion d'agence et de projet en architecture. Il intègre plusieurs modules utiles à la gestion de l'activité d'une agence d'architecture : DQE, planification de chantier, rédaction de compte-rendu etc. Il peut être couplé à un outil de CAO pour récupérer l'information sur les ouvrages conçus (interface avec ArchiCad).

5.1.2.2. Outils de coordination

Les « outils-documents » décrivant l'ordre des interventions des acteurs, les problèmes rencontrés ou d'une manière générale les conditions de déroulement de l'activité du chantier sont des outils dont la fonctionnalité est liée à la coordination. Ils sont produits à l'aide « d'outils-logiciels » (pour la mise en forme) et « d'outils-méthodes ».

Durant un chantier, il s'agit essentiellement :

- De *documents de planning* organisant et décrivant les tâches de construction à effectuer. Des logiciels de planification⁵⁷ sont généralement utilisés par les coordinateurs pour les chantiers importants. La tâche de planification est généralement indépendante de la représentation du projet lui-même (càd ressaisie des tâches dans le logiciel spécifique) mais certaines solutions spécialisées intègrent des fonctions de planification des tâches⁵⁸,
- De *comptes-rendus de chantier* répertoriant la plupart de l'information de coordination liée à l'activité : état du chantier (effectifs des entreprises, météorologie), avancement des tâches, points ou problèmes soulevés et décisions prises durant la réunion. Le plus souvent un simple outil de traitement de texte est utilisé pour rédiger le compte-rendu. Si cela est efficace sur de petits chantiers, nous soulignerons la difficulté de gestion pour les chantiers plus importants, dans lesquels les comptes-rendus sont nombreux et volumineux. Différentes méthodes sont mises en œuvre pour la rédaction des comptes-rendus, visant soit à réduire la taille du document, soit à être exhaustif, soit à favoriser la lecture par les acteurs concernés,
- D'autres « outils-documents » comme les *bordereaux* ou les *factures* qui permettent d'assurer la coordination des tâches de chacun. Les formulaires sont alors généralement en « format papier ».

Tous ces « outils-documents » ne sont pas élaborés de manière coopérative, c'est-à-dire qu'ils ne sont réellement produits que par un seul acteur. La rédaction du compte-rendu de chantier diffère cependant légèrement. En effet, l'information qu'il contient peut être potentiellement émise par tous les acteurs du chantier, mais c'est le coordinateur qui décide si elle sera publiée ou non dans

⁵⁷ Microsoft Project est le plus répandu. Des solutions concurrentes sont cependant parfois adoptées : Gantt Project (logiciel libre) ou xTime Project (plateforme Apple).

⁵⁸ Citons à ce sujet encore une fois le logiciel HyperArchi.

le compte rendu. S'il n'a aujourd'hui qu'un seul auteur, plusieurs sources d'information co-existent dans le document (coordinateur de chantier, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage ou entreprises).

5.1.2.3. Outils de conversation

En situation de conversation synchrone et en même lieu, l'échange oral interpersonnel est le seul mode de conversation. Mais vu la taille des chantiers, et la séquentialité des tâches de chacun, les intervenants ne travaillent que rarement ensemble. Le *téléphone* est « l'outil-matériel » essentiel pour la conversation et particulièrement le téléphone portable qui équipe aujourd'hui chaque acteur.

Par nature, les outils de conversation ne génèrent pas de documents. De même, peu de méthodes y sont associées (il s'agit souvent de conversations informelles).

5.1.2.4. Outils de communication

La *télécopie* s'est imposée depuis de nombreuses années comme « outil-matériel » de communication entre les acteurs du chantier. D'ailleurs, de nombreux bordereaux, comptes-rendus mais aussi schémas, croquis, notes techniques ou documentations sont encore transmis par télécopie.

Cependant, l'essor des NTIC se traduit dans le bâtiment par une adoption de plus en plus généralisée du *courrier électronique* qui permet d'envoyer à moindre coût des documents volumineux et de meilleure qualité.

Ces « outils-matériels » permettent l'échange de documents qui peuvent servir la coordination du chantier (« outils-documents »). Des « outils-méthodes » peuvent être associées à l'utilisation d'outils de communication, comme des règles de nommage de fichier, ou d'utilisation d'un serveur.

5.1.2.5. Synthèse sur les outils existants

Cette rapide analyse basée sur les caractéristiques fonctionnelles des outils de TCAO montre que de nombreux outils (matériels, méthodes, logiciels et documents) existent actuellement dans le secteur de la construction. Leur utilisation permet aux équipes de mener à bien les projets.

Certains d'entre eux sont certes rudimentaires, et pourraient bénéficier des apports des Technologies de l'Information et de la Communication. Le compte-rendu de chantier, par exemple, est un élément essentiel dans la coordination de l'activité, mais aussi comme moyen de communication (asynchrone) dans une activité peu couplée. Nous reviendrons particulièrement sur le potentiel de l'informatisation du compte-rendu de chantier qui fait l'objet de l'une de nos propositions (Chapitre 7).

5.1.3. Des outils émergents pour favoriser la coordination

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, l'innovation dans le secteur du bâtiment se traduit notamment par l'utilisation croissante « d'outils-logiciels » et « d'outils-matériels » basés sur les Technologies de l'Information et de la Communication.

Quelques-uns de ces outils font leurs preuves et se répandent soit pour leur utilité, soit parce que leur utilisation est imposée, par exemple par les maîtres d'ouvrage. Ainsi dans notre cas d'étude, le chantier du collège de Blénod, chaque entreprise se devait d'être connectée sur Internet afin de recevoir le compte-rendu par courrier électronique.

Les « outils-logiciels » et « outils-matériels » dont nous allons parler dans les paragraphes suivants sont émergents dans le secteur de la construction, c'est-à-dire que même s'ils ne sont pas généralisés à tous les chantiers, leur distribution commerciale existe et leur utilisation est croissante.

5.1.3.1. Appels d'offres électroniques

Nous ne rentrerons pas dans le détail des procédures d'appels d'offres dans le domaine du bâtiment. Cette procédure n'est d'ailleurs pas spécifique à ce domaine. Elle a lieu dans tous les cas d'attribution de marchés publics⁵⁹.

Depuis le 1^{er} janvier 2005, les organismes publics sont tenus par la loi⁶⁰ d'être en mesure d'accepter les réponses à un appel d'offre par voie électronique⁶¹. Cela implique de transmettre et

⁵⁹ Un marché public est un contrat administratif conclu à titre onéreux passé avec des personnes publiques ou privées et qui répond aux besoins de l'administration en matière de fournitures, services et travaux.

⁶⁰ Article 56 du code des marchés publics

⁶¹ Pour les travaux, notamment de construction, le seuil pour une telle procédure formalisée est fixé à 5 270 000€.

de traiter de façon sécurisée les différentes pièces du marché. Les textes réglementaires font référence à deux procédés de sécurisation : la signature électronique et le certificat électronique. Dans un chantier de construction d'un bâtiment public, tous les acteurs sont donc concernés par ces dispositions : du maître d'ouvrage qui publie le marché aux différentes entreprises qui y répondent.

De nombreuses solutions existent pour assister ces passations de marchés. Des outils de « dématérialisation de marchés publics » existent, généralement sous la forme de plates-formes Web. Par exemple, le groupe « Moniteur » français a développé un outil nommé « Marchés Online »⁶² permettant de publier ou de répondre à un appel d'offre dans le domaine du bâtiment et de la construction.

Ces évolutions dans la passation des marchés concernent l'amont de la phase de chantier, alors que la construction en elle-même n'a pas réellement débutée. Nous noterons surtout dans ce cas précis que les entreprises, pour rester compétitives et signer des marchés, doivent suivre ces évolutions. Le cadre législatif est un vrai moteur de l'innovation dans le secteur. Les outils de coopération autour de la passation des marchés sont aujourd'hui bien implantés dans le secteur en particulier pour la publication des marchés. Cependant, seuls 3% des réponses aux appels d'offres sont dématérialisés. La complexité de la réponse numérique est due essentiellement aux procédures de signature électronique qui rebutent encore les entreprises.

5.1.3.2. Plates-formes de gestion de projet

Les plates-formes de gestion de projet de construction sont des collecticiels appliqués au domaine du bâtiment. Leur utilisation se répand car elles apportent une certaine efficacité dans la conduite des activités collectives. Nous verrons dans ce paragraphe quelles sont les spécificités de ces collecticiels pour l'architecture et la construction, et quelles fonctionnalités sont réellement efficaces au regard des caractéristiques du secteur (Cf. Chapitre 1).

Le collecticiel (en anglais « groupware ») est la base du TCAO (Travail Coopératif Assisté par Ordinateur ou CSCW en anglais). Clarence Ellis définit les collecticiels comme des « systèmes

⁶² <http://www.marchesonline.com> est un portail Internet du groupe Moniteur permettant un accès centralisé à l'ensemble des appels d'offres publics et privés, dans tous les secteurs d'activités dont le bâtiment.

informatiques qui supportent des groupes de personnes engagés dans une tâche commune (ou un but) et qui fournit une interface à un environnement partagé » [Ellis et Wainer 1994].

« A computer-based systems that support groups of people engaged in a common task (or goal) and that provide an interface to a shared environment »

Nous retiendrons plusieurs points essentiels à propos des collecticiels :

- D'abord leurs fonctionnalités sont multiples. L'analyse réalisée dans le paragraphe 5.1.1 montre cependant qu'elles peuvent se résumer en quatre grandes familles de fonctions (production, coordination, communication et conversation),
- Ensuite, la mise en œuvre de ces fonctionnalités ne peut se faire qu'après une étude approfondie mettant en évidence l'objectif de l'utilisation d'un collecticiel dans une activité de groupe. En effet, l'appropriation de tels outils est difficile pour les utilisateurs finaux. Une première barrière est celle de l'utilisabilité du système. Sa pertinence au regard des tâches à réaliser est donc essentielle. La définition des fonctionnalités proposées par un collecticiel dans un projet fait aujourd'hui partie intégrante de la mise en œuvre de la coopération elle-même. Les tâches individuelles étant désormais souvent assistées par ordinateur, la coopération assistée par ordinateur ne doit pas remettre en question ces pratiques individuelles,
- Enfin, la définition des fonctionnalités d'un système (Cf. classification fonctionnelle, partie 5.1.1) montre aussi qu'il se positionne comme une interface entre l'utilisateur et l'environnement (partagé). Il agit donc comme un médiateur, favorisant la perception du contexte de coopération pour son utilisateur. Ce point de vue nous intéresse particulièrement à travers le développement de techniques de représentation du contexte de coopération adaptées à l'utilisateur.

Des collecticiels spécialisés pour le domaine du bâtiment sont apparus depuis quelques années. Avec un regard quelque peu critique, nous pourrions dire qu'ils tentent d'implanter dans un secteur particulier des méthodes « innovantes » qui paraissent cependant parfois inadaptées. Bien entendu, une telle affirmation ne peut être généralisée. Elle est fortement dépendante une fois de plus des conditions particulières de chaque opération (type de construction, intervenants particuliers impliqués, mode d'organisation, forme de contrat etc.).

Une typologie des fonctionnalités de ces outils pour « l'échange, l'organisation et le traitement de l'information d'un projet » a été réalisée par le CSTC [Fassin et Pirlot 2005]. Les auteurs précisent que les portails n'interviennent que pour la « phase collaborative » d'un projet, afin « d'assurer la publication et le partage d'information » Ils distinguent les fonctions orientées « mémoire », « diffusion » et « application » (Figure 31) :

- La fonction « mémoire » comprend des bases documentaires, des historiques (versions successives de documents), crée les relations entre ces documents⁶³ ou permet de les trier,
- La fonction « diffusion » gère la distribution de l'information entre les acteurs. On y trouve des fonctions de contrôle des flux de documents (révision, vérification, approbation), de statut de ces documents ou des générations de rapports (par exemple, nombre de consultations),
- Enfin, la fonction « application » assiste les relations entre les intervenants et facilite la coordination de leurs tâches. On y trouve par exemple les agendas partagés, des listes de tâches, et des décisions à prendre ou en suspens.

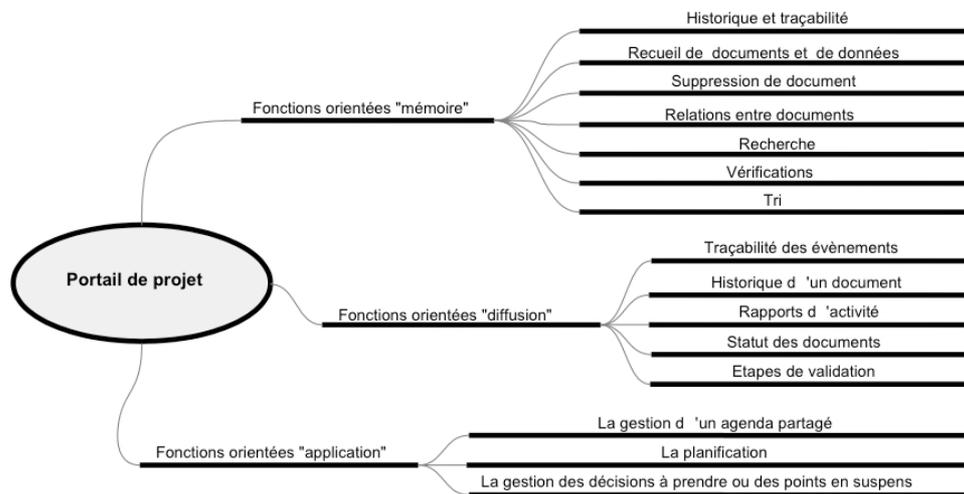


Figure 31 : Fonctionnalités des portails de projet, tiré de [Fassin et Pirlot 2005].

⁶³ Certains portails de projet permettent de mettre en relation des documents (« faire référence à », « partie de »)

Nous distinguerons pour notre part deux types de fonctionnalités sur lesquels nous porterons un regard critique : l'assistance à la gestion documentaire et la gestion de l'activité même des acteurs.

De nombreux collecticiels, ou portails de projets, existant sur le marché dans tous les domaines où la gestion de projet est présente proposent de telles fonctionnalités : gestion des tâches, gestion des documents, gestion des discussions (requêtes ciblées, forums de discussion etc.). Certains proposent de déterminer et planifier les tâches en amont (par exemple PhpCollab⁶⁴) et chaque responsable de tâche peut gérer les documents qui y sont attachés. D'autres se contentent de gérer des tâches, des documents et des discussions de manière plus indépendante, tels Batibox () ou ActiveCollab⁶⁵.

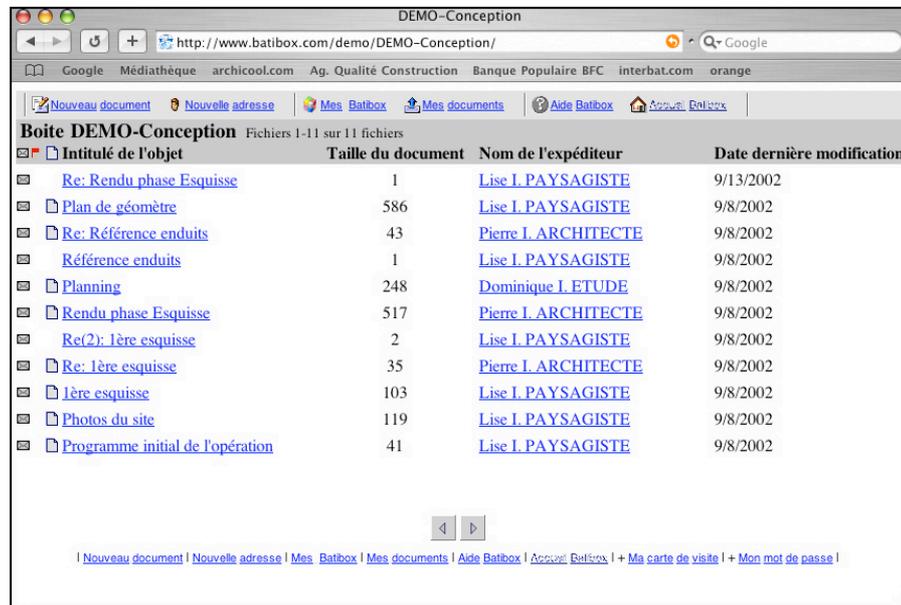


Figure 32 : Batibox, une "boîte projet" et l'ensemble des documents qu'elle contient

⁶⁴ <http://sourceforge.net/projects/phpcollab>

⁶⁵ <http://www.activecollab.com/>

Les expériences que nous avons réalisées dans un cadre pédagogique et les nombreux entretiens que nous avons eus avec des professionnels du secteur nous permettent de formuler un positionnement critique sur l'utilisation de tels outils dans les activités de construction :

- La gestion *documentaire* semble la plus fonctionnelle et la plus prometteuse. L'outil Batibox⁶⁶ (Figure 32) développé par un syndicat d'architectes français (l'UNSA) le prouve : la diffusion des documents est centrale dans l'outil. Mais ces documents ne sont reliés qu'à de grandes phases du projet afin de ne pas compliquer le dépôt. Une tendance pour certains éditeurs, comme Prosys avec sa solution MezzoTeam⁶⁷ (Figure 33), est de reproduire une hiérarchie de dossiers contenant les documents du projet, de manière similaire à « l'explorateur » de Windows ou le « Finder » de Mac OSX, afin de simplifier l'usage de la plateforme pour les utilisateurs,
- La gestion de *l'activité*, impliquant de définir à l'avance et de manière fine les tâches de chacun, est peu pratiquée à l'heure actuelle. Évidemment, les tâches de construction proprement dite (réalisée par le coordinateur) sont planifiées de manière efficace, mais le découpage des tâches reste très grossier (ex. la construction de l'ensemble des murs du rez-de-chaussée). De plus, les tâches de chaque acteur liées à la coordination en général (ex. la production de plans, la planification d'une réunion d'ajustement) sont bien souvent informelles, implicites et donc peu planifiées. Les fonctionnalités de gestion d'activité des collecticiels sont largement sous exploitées à l'heure actuelle.

La plateforme de gestion *Bat'Group*, développée au MAP-CRAI, propose des fonctionnalités de gestion documentaire et de gestion de l'activité. Elle est par ailleurs adaptée au secteur de la construction, c'est-à-dire que les concepts qu'elle manipule sont spécifiques à ce secteur. De plus, elle est adaptable à chaque projet de construction (possibilité de définir les acteurs impliqués, les documents à fournir, ou les tâches à réaliser).

⁶⁶ <http://www.batibox.com>

⁶⁷ http://www.prosys.fr/article.php3?id_article=74

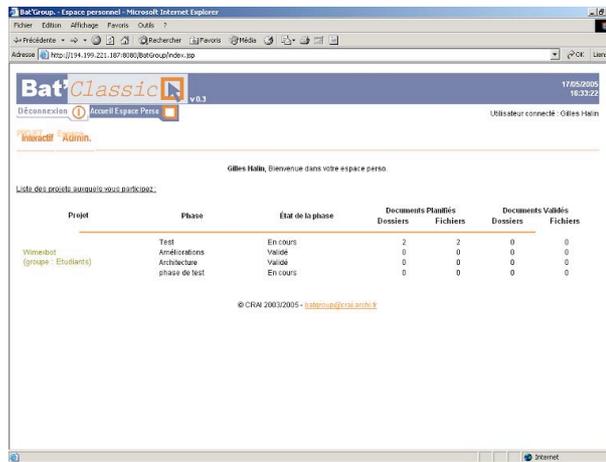


Figure 33 : Etat des projets dans l'interface de Bat'Group

5.1.3.3. Mobilité et géolocalisation sur chantier

Le développement de l'informatique mobile et ubiquitaire a engendré des développements particulièrement intéressants pour le support aux activités de chantier. On peut citer d'abord les outils de téléphonie mobile qui équipent désormais presque chaque intervenant. Les téléphones cellulaires présentent des fonctionnalités de conversation, mais ne permettent pas l'archivage de données.

Ensuite, la photographie de chantier a connu un essor important avec la généralisation des appareils numériques [Hernandez 2000]. Ils permettent de garder une trace de la mise en œuvre, de communiquer sur l'activité (illustration du compte-rendu de chantier, suivi à distance) [Abeid et al. 2003], ou encore de constituer des bases imagées de réalisations.

La miniaturisation des équipements informatiques, comme les assistants personnels (PDA) ou les ordinateurs de poche (PocketPC), présentent aussi des atouts importants. De nombreuses informations peuvent désormais s'adapter à ces outils miniatures afin de suivre les intervenants sur le chantier même et d'assister le travail d'équipes distribuées [Johanson et Törlind 2004; Ward et al. 2004]. Ils disposent ainsi d'informations localisées correspondant aux zones qu'ils parcourent. La compréhension est donc largement favorisée par rapport aux réunions dans la cabane de chantier. Certaines solutions permettent aussi de gérer les sites distants, par exemple

suivre les livraisons de béton entre l'usine de production et le chantier, afin d'adapter l'activité au rythme des fournisseurs. Un autre exemple est celui d'une entreprise qui contacte l'architecte ou l'ingénieur depuis le chantier afin de vérifier un détail, valider une réalisation ou obtenir une précision.



Figure 34 : Tablette tactile utilisée sur un chantier

Dans cette catégorie d'outils utiles aux acteurs du chantier, nous ajouterons la localisation GPS, effectivement utilisée dans certains chantiers de taille importante, ou pour des projets complexes. L'équipe de Franck Gehry a par exemple implanté cette fonctionnalité dans sa version du logiciel Catia pour la construction. Le positionnement par GPS aide notamment à mieux positionner les ouvrages complexes (toitures courbes, murs inclinés).

5.1.3.4. Conception 4D Assisté par Ordinateur (4D CAD)

Une autre technologie, récemment issue de la recherche, est de plus en plus expérimentée et utilisée. Il s'agit de la conception 4D des ouvrages (CAO 4D ou 4D CAD). Largement impulsée par les chercheurs de l'université de Stanford, les technologies 4D consiste à mettre en relation la maquette tridimensionnelle du projet avec le planning d'exécution des travaux [Chau et al. 2005; Sadeghpour et al. 2004]. On obtient ainsi un « planning augmenté » permettant une représentation de l'état d'avancement du chantier dans le temps.

Ce procédé permet notamment :

- De « concevoir » de manière judicieuse le planning de réalisation des ouvrages, en vérifiant la faisabilité spatiale des tâches, en optimisant les emplacements de stockage, les rotations de grue,
- De mieux communiquer avec le maître d'ouvrage à propos des étapes de construction de son bâtiment, et de lui permettre un suivi à distance plus explicite qu'à travers des documents comme les plans ou les comptes-rendus.

Si la CAO 4D est issue de recherches récentes, son implémentation dans des outils de CAO classiques est désormais réalisée [Gao et al. 2005], par exemple avec ArchiCad de Graphisoft, ou Revit d'Autodesk. Ces outils permettent aux concepteurs de simuler la phase de construction des projets.

De nombreux questionnements restent cependant du ressort de la recherche :

- La visualisation 4D est encore peu efficace pour les bâtiments complexes et finement modélisés. Dans ce cas, il est difficile d'optimiser la navigation dans le modèle pour bien « voir » les objets à l'écran,
- L'interopérabilité entre les logiciels est au cœur de la problématique 4D. En effet, ces méthodes mettent aussi bien en œuvre des modèles 3D que des techniques de planification. Des logiciels spécifiques sont utilisés pour ces deux activités habituellement distinctes. L'enjeu est donc de reconnaître et fédérer ces différentes données dans un environnement 4D spécialisé⁶⁸.

⁶⁸ Le logiciel « 4DSuite » permet de réaliser un modèle 4D, c'est à dire qu'il permet de déclarer quels ouvrages du modèle 3D sont concernés par une tâche du planning. Cependant, il n'utilise pas un format ouvert puisqu'il se limite au « dwg » pour le modèle et aux plannings issus de Microsoft Project.

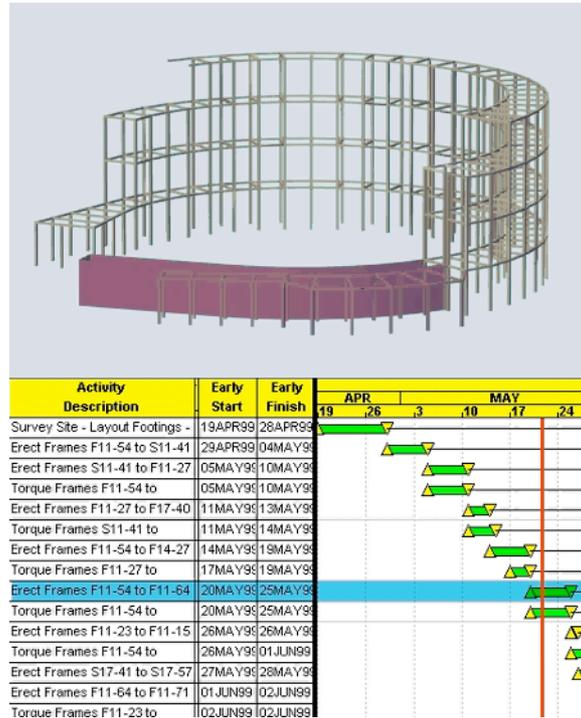


Figure 35 : Une vue 4D associant planning et modèle 3D

5.1.3.5. Maquette numérique (Building Information Model)

Le concept de « maquette numérique » dans le domaine de l'architecture renvoie inévitablement aux traditionnelles maquettes tri-dimensionnelles « physiques » que les architectes produisent et utilisent pour représenter les ouvrages projetés à une échelle réduite. L'avènement de la CAO et notamment de la modélisation 3D a permis de porter cette pratique dans l'environnement de travail numérique. La réalisation de perspectives d'intégration à base d'images de synthèse, de vidéos montrant des parcours dans le bâtiment projeté est aujourd'hui très répandue.

La maquette numérique est plus récemment vue comme le modèle du bâtiment permettant l'échange de données et la coopération autour du projet. Ce point de vue a donné naissance au terme anglais « Building Information Model » (BIM).

Le BIM a pour objectif d'unifier la représentation de la connaissance, en distinguant une couche généraliste (le bâtiment lui-même, ses ouvrages décrits), de couches métiers, propres aux actions que les différents acteurs ont à réaliser. En ce sens, la notion de « projet numérique » s'écarte donc de la simple maquette, englobant la coordination autour de la conception et de la réalisation, les différentes versions de maquettes numériques, les documents qui y sont liés etc.

Une étude sur le « projet numérique » en phase de conception a fait l'objet d'un travail de thèse récent [Bouattour 2005]. Elle a montré la difficulté de la gestion d'une activité concourante sur la production du modèle commun du bâtiment (gestion des versions, ajout d'ouvrage, modification etc.).

En situation de construction, le projet est peu évolutif. Ce problème est donc secondaire. La maquette numérique devient alors, à notre avis, un support aux activités collectives de construction des ouvrages. Ainsi, son utilisation permet :

- Une représentation tri-dimensionnelle qui *favorise la compréhension* des ouvrages tant par les entreprises que par les coordinateurs ou encore le maître d'ouvrage. Par exemple, la représentation 3D des ouvrages, dont la construction suppose une « interface » entre deux entreprises, peut favoriser la compréhension du mode opératoire prévu par le pilote,
- Une *vérification des solutions et du mode de construction* envisagées, dans l'esprit des techniques de 4D,
- Un *enrichissement du modèle numérique du bâtiment* avec de nouvelles informations issues des activités de construction (modifications éventuelles, précisions sur les produits employés, références, traçabilité),
- D'une manière générale, la modélisation 3D est un mode de représentation largement répandu dans le secteur de la construction. À ce titre, *le modèle peut aussi servir d'interface afin de convoquer de l'information tierce* au sujet d'un ou plusieurs ouvrages (nous reviendrons sur ce point dans nos propositions).

5.1.3.6. La question de l'interopérabilité dans les outils pour la construction

Les différents outils présentés dans les parties 5.1.2 et 5.1.3 posent tous un même problème qui n'est pas, à l'heure actuelle, vraiment résolu. Il s'agit de la *représentation des données du*

domaine dans un format interopérable afin de faciliter les transferts d'informations entre les applications logicielles.

À l'heure actuelle, les différentes solutions logicielles se basent sur des modèles techniques spécifiques, qui leur permettent de représenter la connaissance liée à un domaine (le bâtiment) et qui sont spécifiques à un métier. En réalité, chaque solution se base sur un modèle propriétaire de l'information et des actions spécifiques qu'il permet de réaliser (simulations etc.). Dans ce contexte, le « dialogue » entre logiciels ne peut se faire que par un rapprochement entre deux équipes de développeurs et un effort de « traduction des données ».

Des initiatives existent cependant depuis de nombreuses années et sont maintenant implémentées dans plusieurs solutions logicielles. L'IAI (International Alliance for Interoperability)⁶⁹ développe et fait la promotion du format de données IFC⁷⁰. Ce format (ou modèle) utilise des classes représentant les objets manipulés dans le secteur de la construction. Il dispose aussi d'une couche « coopérative » permettant d'identifier les intervenants travaillant sur une même maquette numérique par exemple.

Deux types d'outils utilisent actuellement ce format :

- Les outils de production (CAO ou autres) propres à différents métiers. Ils permettent pour l'instant d'importer ou d'exporter des données au format IFC. Cela permet l'échange de maquettes numériques, par exemple entre membres de la maîtrise d'œuvre, et l'édition ou la modification des ouvrages, la réalisation de simulation etc.,
- Des outils de coordination comme certaines plates-formes de gestion de projet en ligne qui permettent de partager une maquette numérique du projet. Des connexions avec les différents « logiciels métier » par import-export permettent d'actualiser tout ou partie de la maquette en ligne.

Nous noterons cependant dans ce deuxième type d'outils que la structuration du modèle IFC n'est pas utilisée pour la partie « coopérative » de la plateforme qui se présente le plus souvent comme un portail de gestion de projet classique (voir §5.1.3.2). Les connexions entre les objets

⁶⁹ <http://www.iai-international.org/>

⁷⁰ Industry Foundation Classes renommé récemment Information For Construction

de la maquette et des tâches ou des documents sont inexistantes dans la plupart des outils. Deux raisons permettent selon nous d'expliquer cela :

- La dimension coopérative dans la conception des ouvrages n'est pas rentrée dans les méthodes de travail de groupe. Cette activité est détenue par l'architecte, qui modifie son projet en fonction des remarques de ses collaborateurs mais ne se remet que rarement entièrement à leur avis. Le modèle est donc contrôlé par l'architecte,
- Le modèle IFC dans ses premières versions était « pauvre » du point de vue de la gestion du processus. L'objectif premier de la démarche de l'IAI était de fournir une représentation unifiée et interopérable. Les dernières versions disposent toutefois des classes nécessaires à la gestion de processus (Cf. partie 6.2.2.2). On peut donc imaginer que la dimension coopérative dans la gestion des objets d'une maquette numérique sera implémentée dans les collecticiels d'ici quelques années.

Des solutions commerciales utilisant la maquette numérique IFC existent. Citons par exemple Active3D⁷¹ (Figure 36) qui, outre des fonctionnalités de gestion de projet, permet le partage de maquettes numériques, et leur visualisation en ligne. Cette solution s'oriente cependant actuellement vers la gestion de patrimoine, c'est-à-dire le support à l'activité de maîtres d'ouvrage responsables de parcs immobiliers. Il semble que la coopération via un tel outil, en phases de conception et de construction, soit encore limitée essentiellement à l'échange de documents.

Les outils énumérés dans cette partie sont donc émergents et leur utilisation est encore peu répandue. Bien sûr, nous n'omettons pas de souligner que ce constat doit être entendu avec précaution. D'une opération à l'autre, d'une équipe à l'autre, d'une région à l'autre, l'organisation de l'échange d'information varie considérablement. La volonté d'innovation de l'un des acteurs peut suffire à généraliser l'utilisation d'un outil pour une opération de construction. Cependant, rien n'est acquis et lorsqu'une organisation se reforme autour d'un nouveau projet, les outils peuvent être très différents.

⁷¹ <http://www.active3d.net/>

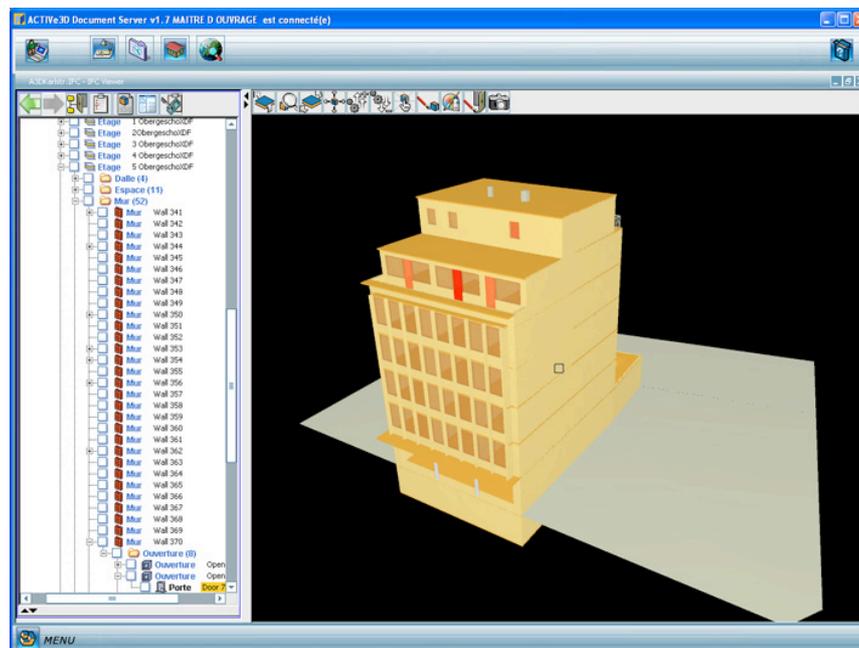


Figure 36 : Vue de l'outil Active 3D, édition de maquette numérique

5.1.3.7. Synthèse sur les outils innovants

Nous avons tenté de mettre en évidence ici le potentiel des outils innovants dans l'assistance à la coordination du chantier. Nous pouvons d'ores et déjà distinguer la coordination des tâches de construction, très formalisée et répondant à une logique hiérarchique, de la coordination des diverses tâches connexes (production de plans, formulaires, devis etc.) qui est beaucoup moins explicite et moins formelle.

Les outils que nous avons décrits ci-dessus possèdent une *vraie utilité dans la description et la coordination des étapes de la construction*. Cependant, nous soulignons que *l'assistance se fait plus difficile quand des changements inopinés interviennent*. En effet, la manipulation s'avère lourde et coûteuse en temps lorsqu'il s'agit de modifier une liste de tâches, d'éditer une maquette numérique pour un changement mineur, ou plus généralement de mettre à jour un document. Ces

manipulations nécessitent de se trouver devant sa machine, or beaucoup de changements apparaissent in-situ, sur le chantier.

De plus, il est toujours difficile d'obtenir une vision globale et synthétique de l'activité du chantier car les outils-documents ou les outils-logiciels présentant cette information sont généralement « sur-renseignés ».

Selon notre point de vue, *adapter les outils-logiciels de coopération au secteur de la construction nécessite de reposer les questions fondamentales de la modélisation des activités* (granularité, anticipation etc.), que nous aborderons dans le chapitre suivant.

Si l'anticipation nous semble délicate, nous pensons par contre qu'il est nécessaire dans ces outils de *rendre compte de l'état du processus*, d'assister la perception du contexte de l'activité (Cf. §4.3.6), afin que chacun puisse *adapter son action en fonction de l'état de ce contexte*.

5.1.4. Outils de coordination dans d'autres secteurs de production

Tournons nous maintenant vers d'autres domaines d'activité afin d'analyser les outils d'assistance à la coordination qui sont utilisés. Suivant notre classification initiale (§5.1.1.2), nous aborderons ici des « outils-logiciels » et des « outils-méthodes ».

Nous reprendrons les deux domaines de référence abordés dans le premier chapitre, le monde industriel et celui de l'informatique, auxquels nous ajouterons le « domaine transversal », ou plutôt l'activité, qu'est le « management » de projet.

5.1.4.1. Planification des tâches

Comme nous l'avons abordé dans le premier chapitre et décrit dans le second, le secteur industriel s'est doté dès la fin du XIX^{ème} siècle « d'outils-méthodes » rigoureux et scientifiques pour organiser et coordonner le travail. Henry Gantt (1861-1919), un disciple de Taylor, a mis en place un « outil-méthode » de planification, consistant à définir les tâches à réaliser, leur enchaînement ainsi que leurs relations temporelles (par exemple : fin conditionnant un début). La représentation graphique associée à cette méthode aujourd'hui très répandue, le diagramme de Gantt, permet notamment de comparer des prévisions de travaux à leur déroulement réel. Dans un diagramme de Gantt, on représente en ligne les différentes tâches à réaliser, et en colonne les unités de temps. Il s'agit d'un « outil-document ».

La Figure 37 représente un extrait d'un planning d'exécution, issu de notre étude de cas sur le chantier du collège de Blénod-lès-Pont-À-Mousson.

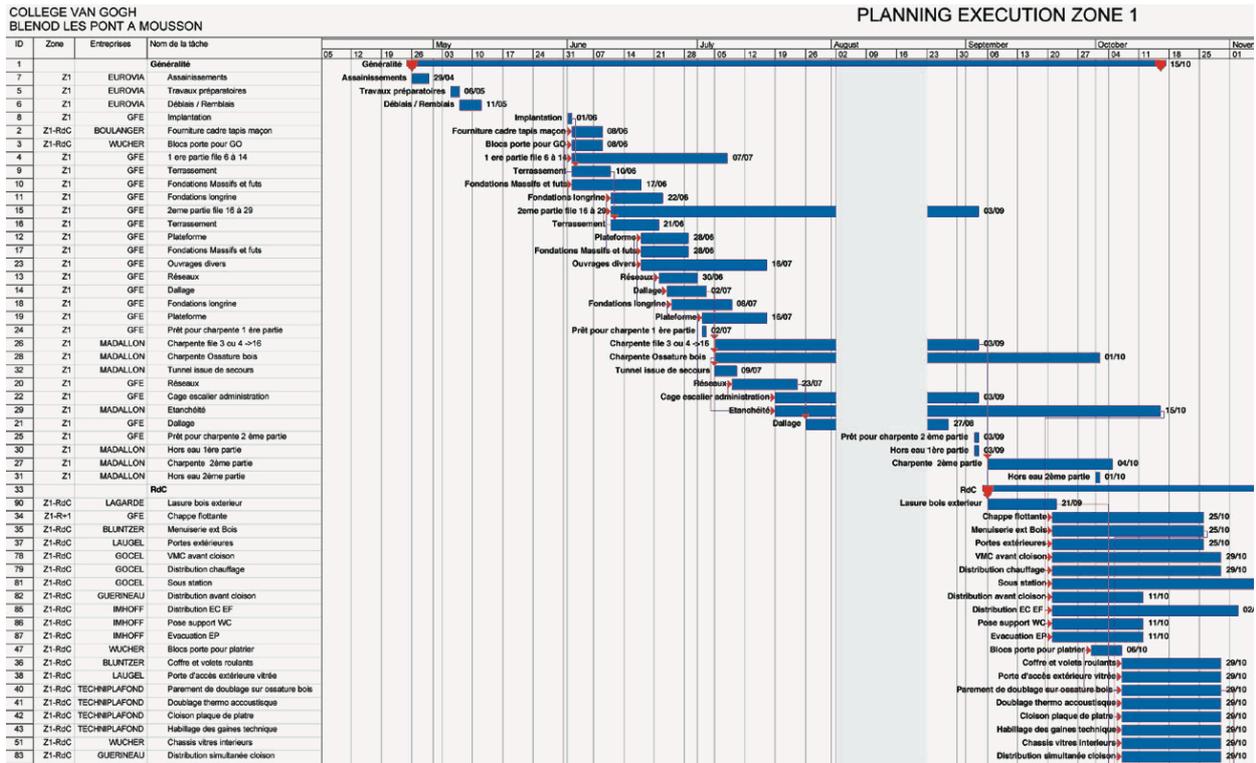


Figure 37 : Exemple de diagramme de Gantt, chantier du collège de Blénod

Un autre « outil-méthode » de planification très répandu, provenant à l'origine du domaine militaire, est le réseau PERT⁷². Un graphe PERT est composé de tâches et d'étapes (Figure 38).

Il consiste à déterminer l'organisation optimale des tâches afin qu'un projet soit terminé dans les meilleurs délais. Il permet aussi d'identifier les tâches critiques, c'est-à-dire celles dont le retard d'exécution pénaliserait l'ensemble du projet.

⁷² « PERT » pour Program Evaluation and Research Task, développé en 1957 par l'US Navy.

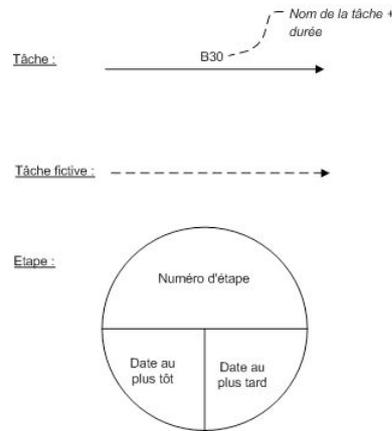


Figure 38 : Eléments de base d'un graphe PERT

Cette vision rationaliste s'est propagée à de nombreux secteurs d'activités, et l'apparition d'outils informatiques a permis d'instrumenter ces pratiques. Aujourd'hui la planification à travers des outils⁷³ permet de gérer de plus en plus d'informations (ressources, jours fériés etc.) de manière automatisée. La collaboration est aussi au centre des développements récents, permettant à chaque utilisateur d'être informé de ses tâches à réaliser par exemple.

⁷³ Les outils de planification les plus répandus sont Microsoft Project, Gantt Project (libre) ou encore xTime Project.

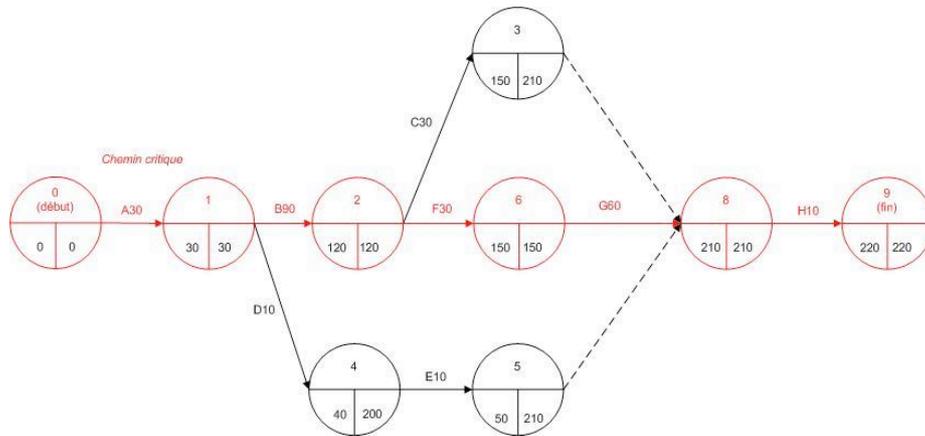


Figure 39 : Un exemple de graphe PERT

D'autres « outils-méthodes » consistent à prendre en charge les « flux de tâches » dans une activité de manière plus large. Il s'agit des « workflows », dont l'utilisation dans le secteur industriel est standardisée par la Workflow Management Coalition⁷⁴ (WfMC). Les workflows permettent la modélisation et la gestion des tâches à accomplir et des acteurs concernés dans la réalisation de processus métiers. Par exemple, on peut définir le flux d'information nécessaire à la production d'un document (production initiale, circuits de diffusion, modifications et validations), les flux de communication ou tout autre type de processus opératoires.

⁷⁴ Organisme international fondé en 1993, <http://www.wfmc.org>

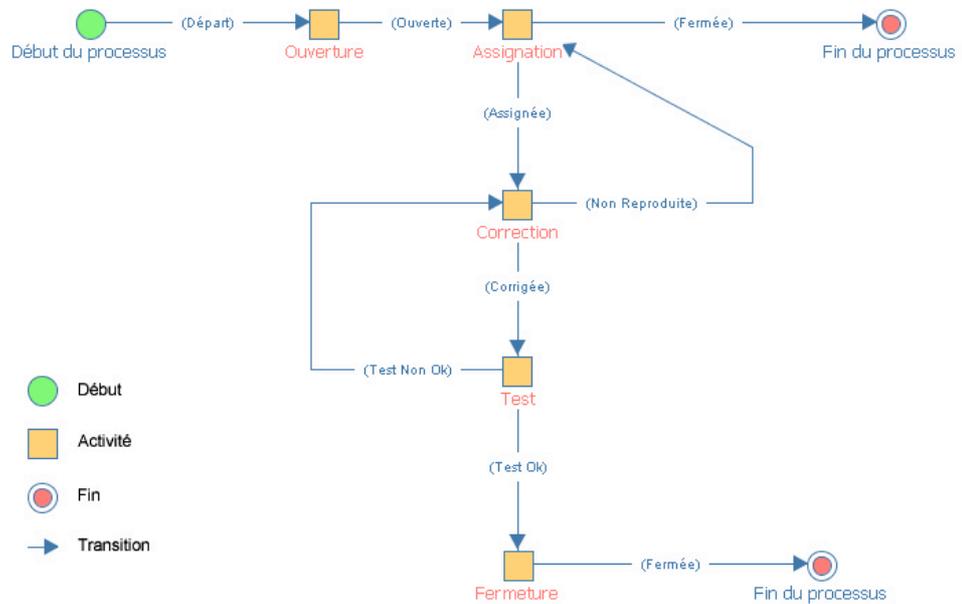


Figure 40 : Un exemple de workflow

Des « outils-logiciels » permettent de définir et d'exécuter un ou plusieurs workflow(s). Couplés à un collecticiel par exemple ils permettent le suivi des tâches à réaliser et la vérification des processus.

5.1.4.2. Outils de pilotage et de gestion de la performance dans les projets

Les « outils-méthodes » de planification et de gestion de flux sont issus du monde industriel. Ils sont maintenant généralisés dans divers domaines où l'organisation est complexe, comme des entreprises de service (ex. logistique), de manutention. Ces « outils-méthodes » permettent d'organiser le déroulement des activités dans le temps, en prenant en compte de nombreux paramètres tels que les aléas de commandes, les ressources disponibles (main d'œuvre, matières premières).

Cependant, le facteur humain est peu présent dans ces méthodes. Le pilotage (ou management) est une activité qui met en œuvre des méthodes pour analyser la performance d'une organisation.

Le management se définit d'ailleurs comme « l'art d'inciter les autres à faire ce qu'ils n'ont pas toujours forcément envie » [Fernandez 2005].

La fonction de management est généralement portée par un acteur de l'organisation. C'est lui qui met en place les stratégies de déroulement des activités, et qui gère le changement dans les processus.

Il dispose pour cela « d'outils-logiciels » ou « d'outils-méthodes » qui rendent compte de l'état de ces processus, qui lui permettent d'anticiper leur état futur probable, et d'évaluer les risques encourus dans la conduite d'une stratégie.

Les outils de type « tableau de bord » sont donc aujourd'hui en pleine expansion dans de nombreux domaines : industrie, secteur bancaire, médical etc. Le tableau de bord est un instrument d'aide à la décision. *Il fournit à son utilisateur des éléments lui permettant d'apprécier, de mesurer et d'anticiper la performance d'un système* (de production, économique, social ou autre). Il présente des indicateurs, dont le rôle est de mesurer l'état des processus et d'en informer l'utilisateur. Ces indicateurs doivent être synthétiques pour fournir une vision d'ensemble de l'activité et doivent permettre une analyse de détail sur point précis du processus.

La Figure 41 montre un tableau de bord pour la gestion d'un site Web (statistiques de consultation du site) proposé par XiTi. Dans la partie centrale de la fenêtre, on voit que les différents indicateurs correspondent à des mesures spécifiques : volumétrie, critères d'intérêt des visiteurs, sources pointant vers le site, heures de visite, géolocalisation et équipement technique.

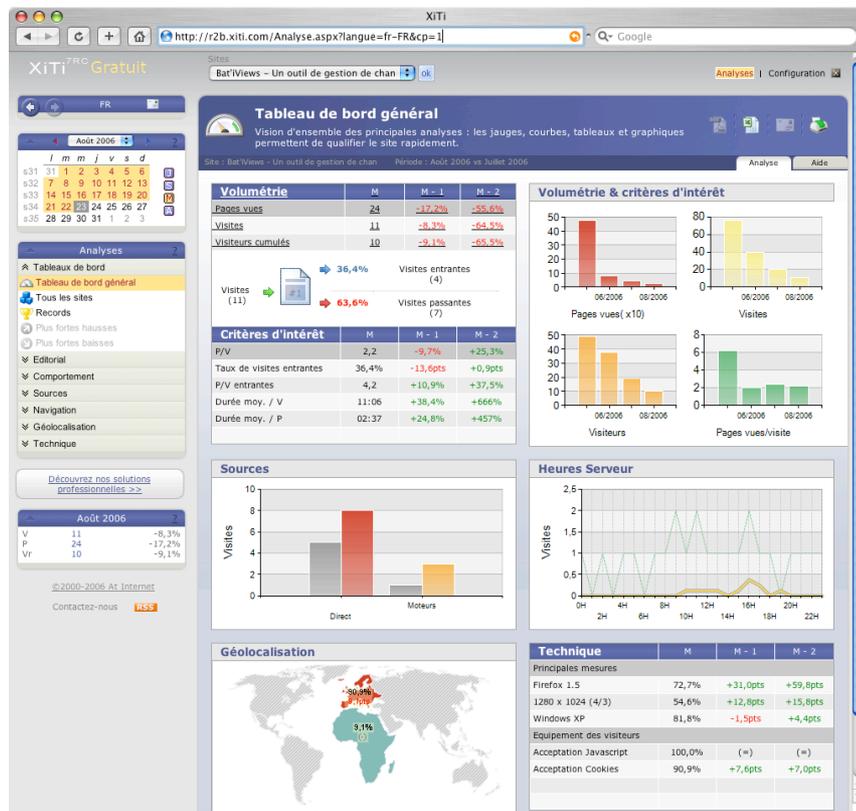


Figure 41 : Tableau de bord XiTi pour la gestion d'un site Web

Nous soulignons dès à présent que pour mettre en place de tels outils de gestion dans une activité collective, certaines conditions doivent être respectées :

- Il est nécessaire de *modéliser le processus en amont* de son déroulement afin de développer des indicateurs qui puissent baser leur mesure sur une anticipation de l'état désiré à un instant donné,
- La *transparence des données* (et de l'information) est nécessaire. En effet, la mesure ne peut se faire que sur des données explicites et localisables dans des documents ou des Systèmes d'Information. Dans le cas d'organisations transversales, le problème de ces

outils réside dans la récupération de l'information dans des structures hétérogènes (par leurs méthodes de travail, leurs outils etc.).

5.1.4.3. Outils de gestion de projet en Génie Logiciel

Nous avons introduit dans le premier chapitre notre intérêt particulier pour le domaine de l'informatique et plus particulièrement du développement logiciel, pour les similitudes qui existent avec l'activité de chantier. Les « outils-méthodes » et « outils-logiciels » de gestion de projet sont particulièrement innovants dans ce domaine, nous allons les présenter succinctement ici.

Les « outils-méthodes » d'assistance au déroulement des projets informatiques peuvent nous inspirer dans notre recherche ciblant le domaine de la construction. On distingue plusieurs types « d'outils-méthodes », allant de simples « guides » pour la conduite de projet en équipe jusqu'à des processus de développement finement détaillés. Ils peuvent être accompagnés « d'outils-logiciels » assistant leur mise en œuvre.

La « méthode agile »⁷⁵ vise à *impliquer au maximum le client*, et donc « permet une grande réactivité à ses demandes ». Il s'agit d'une méthode très pragmatique visant plus la satisfaction du client que celle d'un contrat pré-établi. Les quatre valeurs fondamentales de cette méthode sont l'équipe, l'application, la collaboration et l'acceptation du changement.

« Extreme Programming » (XP) est une évolution de la méthode agile « adaptée aux équipes réduites avec des besoins changeants »⁷⁶. Cette méthode pousse des *principes simples* « à l'extrême » [Beck 2000]:

- Le code est entièrement vérifié par un binôme,
- Les tests sont systématisés durant les différentes phases de développement,
- La conception dure tout au long du projet,
- La solution la plus simple doit toujours être retenue,
- Les cycles de développement doivent être très rapide pour s'adapter au changement,
- Etc.

⁷⁵ http://fr.wikipedia.org/wiki/Méthode_agile

⁷⁶ http://www.xprogramming.com/what_is_xp.htm

On notera dans cette méthode une volonté d'unification de l'équipe sur le plan social. Ainsi, on trouve dans le manifeste de Kent Beck un certain nombre de valeurs telles que la communication, le feedback (retour d'expérience de l'utilisateur) ou encore le courage.

Ces méthodes ne sont pas implémentées dans des outils d'assistance car elles reposent essentiellement sur des « règles de bon sens » ou des modalités d'organisation implicites.

La seconde catégorie « d'outils-méthodes » propose des modèles d'optimisation de processus adaptés au domaine du génie logiciel :

Le plus connu est le modèle USPM (Unified Software Process Metamodel). Il s'agit d'un *processus unifié qui décompose le cycle de conception du logiciel en phases itératives* [Kruchten 2003]. Il se propose comme un guide pour la mise en œuvre et le suivi des projets (gestion des tâches spécifiques, des ressources).

USPM est implanté dans « l'outil-logiciel » RUP (Rational Unified Process) développé par Rational (aujourd'hui filiale d'IBM) et met donc en œuvre tous les outils Rational utilisables dans les différentes tâches de production du logiciel [Rational 2001]. Il permet à un coordinateur ou un manager de définir les différentes phases qui seront nécessaires à la conduite d'un projet particulier. Ces phases contiennent ensuite des tâches qu'il pourra attribuer à des membres de l'équipe. Ceux-ci recevront alors des guides pour réaliser leurs tâches : documents modèles et outils à utiliser.

Ces méthodes de gestion de processus informatiques sont finalement assez proches des techniques de management et des flux de tâches que nous avons vus précédemment. Les outils utilisés sont d'ailleurs des moteurs de workflow ou des collecticiels.

5.1.4.4. Outil de gestion du développement de logiciels libres

Intéressons-nous maintenant aux activités de développement de logiciels libres. Dans ces projets, seules quelques grandes phases sont déterminées, dans lesquelles on trouve non pas des tâches à réaliser, mais plutôt des objectifs à atteindre (implémenter une nouvelle fonctionnalité, « déboguer » un point précis). De plus, ces « tâches » ne sont pas attribuées à un acteur précis,

chaque membre du projet peut la choisir, apporter sa contribution et remettre son travail à la communauté qui décidera de le valider ou non.

Cette vision de la coopération est donc participative et communautaire, impliquant des membres qui sont, de plus, bénévoles.

Des outils existent pour supporter ces projets. Le plus connu est certainement SourceForge⁷⁷. Il s'agit d'un système de gestion pour le développement collaboratif de logiciel libre. « Il fournit une interface unifiée à une série de logiciels « serveurs » et intègre plusieurs applications libres de droits (tels mailman et CVS) »⁷⁸.

Google propose aussi un service d'hébergement de projets logiciels nommé « Google Project Web Hosting »⁷⁹. Nous avons pris comme troisième exemple « ObjectWeb »⁸⁰, une autre plateforme d'hébergement de projets de logiciels libres.

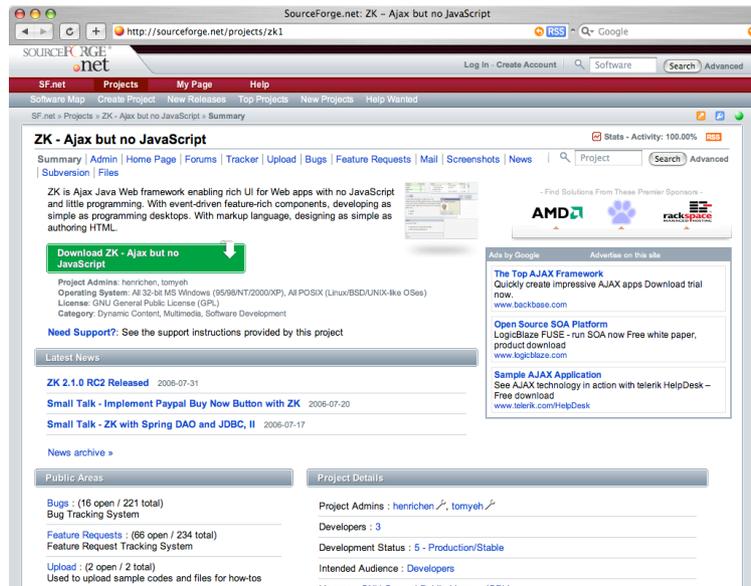


Figure 42 : Vue synthétique d'un projet sur SourceForge

⁷⁷ <http://sourceforge.net/>

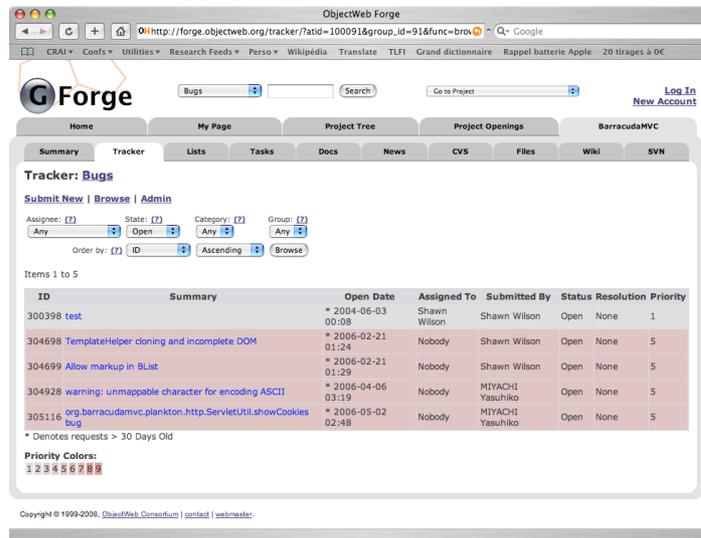
⁷⁸ <http://fr.wikipedia.org/wiki/SourceForge>

⁷⁹ <http://code.google.com/hosting/>

⁸⁰ <http://forge.objectweb.org/>

Ces plates-formes de gestion présentent principalement les fonctionnalités suivantes :

- Description du projet et type de licence (Figure 42),
- Gestion des utilisateurs et de leurs rôles éventuels dans le projet (développeur, bêta-testeur, administrateur etc.),
- Forums de discussions,
- Liste de bugs (Figure 43) et discussions détaillées au sujet d'un problème (Figure 44),
- Gestion de versions concurrentes, lorsque des développeurs travaillent en même temps sur les mêmes portions de code. La plateforme « LibreSource »⁸¹ intègre notamment un gestionnaire de configurations permettant l'unification du code [Molli 2005],
- Annonces de versions et versions finalisées et code source au téléchargement.



The screenshot shows the ObjectWeb Forge web interface. At the top, there's a navigation bar with 'GForge' logo and search options. Below that, a 'Tracker: Bugs' section is visible, including filters for Assignee, State, Category, and Group, and an 'Order by' dropdown set to 'ID'. A table of bugs is displayed with columns for ID, Summary, Open Date, Assigned To, Submitted By, Status, Resolution, and Priority. The table contains five entries, with the first one being a 'test' bug and the others being specific issues like 'Templatehelper cloning and incomplete DOM' and 'warning: unmapable character for encoding ASCII'.

ID	Summary	Open Date	Assigned To	Submitted By	Status	Resolution	Priority
300398	test	* 2004-06-03 00:08	Shawn Wilson	Shawn Wilson	Open	None	1
304698	Templatehelper cloning and incomplete DOM	* 2006-02-21 01:24	Nobody	Shawn Wilson	Open	None	5
304699	Allow markup in BList	* 2006-02-21 01:29	Nobody	Shawn Wilson	Open	None	5
304928	warning: unmapable character for encoding ASCII	* 2006-04-06 03:19	Nobody	MIYACHI Yasuhiko	Open	None	5
305116	org.barracudamvc.plankton.http.ServletUtil.showCookies bug	* 2006-05-02 02:48	Nobody	MIYACHI Yasuhiko	Open	None	5

Figure 43 : Liste de bugs sur objectweb

Si ces outils ressemblent à première vue à des collecticiels traditionnels, nous noterons que leur usage est relativement particulier. En effet, l'orientation communautaire de ces plates-formes engendre une répartition des rôles moins stricte et surtout une affectation de tâches très libre. Ainsi, la liste de bogues est complétée par chacun des utilisateurs, et tout développeur peut

⁸¹ LibreSource est une plateforme de gestion de projet développé par l'équipe ECOO du laboratoire Loria dans le cadre d'un projet RNTL. <http://dev.libresource.org:80/home/overview>

soumettre une nouvelle version du code corrigeant les problèmes ou ajoutant des fonctionnalités. Dans ce cas, une validation est tout de même nécessaire par un ou plusieurs responsable(s).

Nous soulignerons donc le fait que l'activité est déterminée a priori, de manière relativement intuitive, grâce à l'intégration de nombreux composants de coordination dans la plateforme. Néanmoins, ces environnements présentent des inconvénients dans leur utilisation, essentiellement en rapport avec leur faible malléabilité. En effet, les outils disponibles dans l'environnement sont définis a priori, durant la mise en place de la coopération. L'intégration dynamique de nouveaux outils n'est en général pas envisageable, ou difficilement accessible à l'utilisateur [Lewandowski et Bourguin 2005].

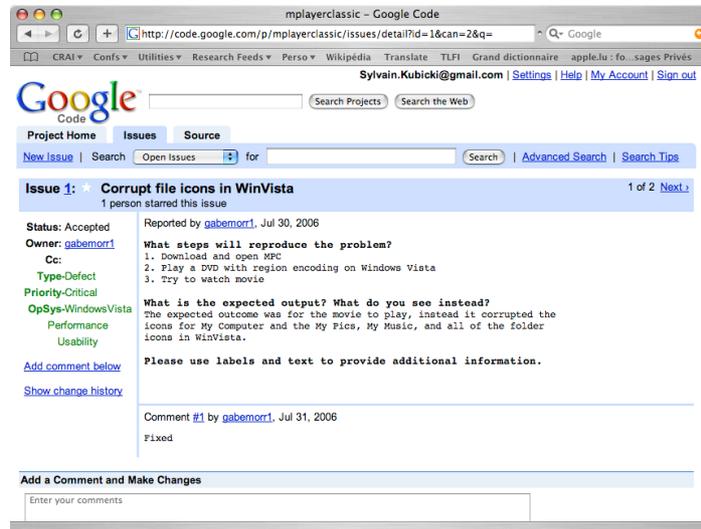


Figure 44 : Discussion à propos d'un problème sur Google Code

Un projet de logiciel libre évolue donc au gré des disponibilités et de l'investissement de chacun des membres. La réussite et l'aboutissement de ces projets suscitent beaucoup d'intérêt. Le management de type « participatif » semble performant.

Il s'agit donc d'une approche alternative au management traditionnel « hiérarchique », très adaptée à des activités dans lesquelles les tâches des acteurs sont « peu couplées », et peu prédictibles.

5.1.4.5. Potentiel d'application de ces outils dans les activités de construction

Ces outils provenant d'autres domaines présentent un certain potentiel d'application pour assister les activités de construction, mais des limites sont aussi à souligner.

Nous avons vu dans le premier chapitre de ce mémoire que l'utilisation des outils issus du secteur industriel ne s'est pas vraiment répandue dans le secteur de la construction. La raison mise en avant pointe les différences entre les deux secteurs dans les processus, les relations entre acteurs ou encore le degré d'explicitation des activités de chacun.

Cependant, les *outils (méthodes et logiciels) de planification* sont utilisés aujourd'hui par les coordinateurs de chantier afin de définir à l'avance les phases et les tâches particulières de construction des ouvrages par les entreprises. Les diagrammes de Gantt sont manipulés par tous les acteurs, afin de resituer temporellement leurs actions, mais aussi afin de prévoir l'impact que pourrait avoir un problème particulier sur le déroulement global de l'activité.

Ces méthodes de planification visent directement les processus de production. C'est pourquoi elles sont adaptées à la gestion des tâches de construction dans l'activité de chantier⁸² :

- Les tâches (consistant à réaliser des ouvrages) sont entièrement définies, à quelques exceptions près (détails à concevoir),
- Les activités sont pour la plupart connues et maîtrisées (savoir-faire, règles de l'art) : couler un voile, poser une fermette, installer un ascenseur etc.

Notons tout de même qu'elles ne permettent d'organiser que les processus anticipables. Or, de nombreuses activités sont réalisées de manière située durant la construction. Les plannings ou les moteurs de workflows ne sont que difficilement adaptables pour refléter dynamiquement de l'état du processus.

On constate donc dans l'usage de ces outils un détournement qui consiste à planifier l'activité « à grande échelle », de manière à laisser une certaine « marge de manœuvre » aux acteurs.

Les *outils de pilotage et de gestion de la performance* présentent aussi un vrai potentiel pour la gestion du chantier par le pilote ou le coordinateur. Cependant, les conditions de leur mise en œuvre posent réellement question dans le cadre d'un chantier :

⁸² Le constat est très différent si l'on considère les activités de conception beaucoup moins formelles et définies.

- Le processus n'est pas finement détaillé, comme nous venons de le dire. Les plannings de chantier restent « grossiers », donc il est difficile d'imaginer une mesure de tendance, d'avancement ou de performance sur cette base,
- Les stratégies internes de chacune des entreprises impliquées entraînent une part de « non-dit » significative, un « flou » dans les activités. Cela se traduit par une certaine opacité de l'information interne à une entreprise, qui n'est pas partagée (effectifs, priorités entre plusieurs chantiers etc.). Dans ce contexte, il paraît difficile de mettre en place des indicateurs car la mesure nécessiterait ce type d'information.

Enfin, les *outils pour le développement de logiciels libres* sont très spécifiques au domaine de la production de logiciel (gestion de versions, liste de bugs etc.). Ils nous apportent cependant un enseignement essentiel sur l'outillage d'activités peu couplées et peu anticipables. En effet, dans ces outils, l'accent est mis sur la représentation de l'état de l'activité (bugs connus, activité dans le projet) plus que sur la planification des tâches de chacun.

Nous noterons dans ce cas la leçon de la flexibilité dans l'outil d'assistance à la coopération, permettant aux acteurs d'obtenir une vision de leur contexte et d'adapter leur action à l'état du contexte de coopération.

Nous retiendrons de ces « outils-méthodes » et « outils-logiciels » utilisés dans d'autres secteurs d'activité deux points essentiels pour la mise en œuvre d'outils de coordination en phase chantier :

- Les aléas et incertitudes liés à l'activité du chantier nécessitent une *planification macroscopique des tâches*, qui favorisera l'adaptation et la réactivité des intervenants, notamment dans l'organisation de type hiérarchique,
- Le caractère adhocratique de l'organisation autour de certains problèmes rend indispensable *une bonne représentation du contexte de l'activité coopérative*, par, et pour, les acteurs.

5.2. Un guide pour l'assistance à la coordination en phase de construction de bâtiments

5.2.1. Constat général

Le constat sur les outils pour la coordination du chantier (§5.1.2 et §5.1.3) souligne :

- *L'existence d'outils-méthodes et d'outils-logiciels éprouvés* pour assister la gestion des projets de bâtiments : logiciels de CAO pour la production, plannings et comptes-rendus pour la coordination et téléphone pour la conversation. Ces méthodes et ces logiciels sont généralement maîtrisés par les différents intervenants. Nous estimons donc que la proposition de nouvelles méthodes innovantes doit prendre en compte cet état de fait, c'est-à-dire s'inspirer de ces pratiques,
- Les outils-documents, dont nous avons parlé, présentent de nombreux inconvénients. Ils ne sont pas toujours *numériques*, et leur *diffusion est donc longue et coûteuse*. Par exemple, dans nombre de cas, les plans du bâtiment sont déposés et photocopiés chez un imprimeur, qui joue aussi le rôle de gestionnaire et distributeur de documents. Ces *documents multiples représentant le même projet* sont autonomes mais pas indépendants. Ainsi un CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) et un plan d'exécution représentent les mêmes ouvrages, mais peuvent être *contradictoires* car produits par des personnes différentes, ou à des moments différents,
- Enfin, nous avons noté qu'un certain nombre d'outils-logiciels émergents sont de plus en plus utilisés en phase chantier, comme les plateformes d'appels d'offres électroniques, de gestion de projet, ainsi que les terminaux mobiles ou la maquette 4D.

De plus, nous avons présenté un certain nombre d'outils (méthodes et logiciels) issus d'autres domaines (§5.1.4) qui pourraient pour certains d'entre eux être utilisables dans le bâtiment. Nous avons vu leurs limites, essentiellement dues à l'incertitude qui caractérise l'activité de construction. Cependant, nous avons introduit l'idée de dispositifs flexibles, représentant l'état du projet et favorisant donc la conscience de l'activité du groupe.

Nous nous intéresserons désormais, dans la suite de ce mémoire, uniquement aux outils-logiciels qui feront l'objet de nos propositions. Selon nous, quatre tendances principales se dégagent dans le développement de tels outils innovants pour la coordination de chantier, profitant des bénéfices des Technologies de l'Information :

- *La mise à disposition d'outils favorisant l'échange et la communication des documents du chantier*, comme le font la plupart des plates-formes de projet. Ces outils assurent la rapidité du transfert des documents, un suivi éventuel des modifications, en somme une « mémoire du projet ». Lorsqu'ils sont focalisés sur la gestion documentaire, le succès

de leur utilisation est presque assuré. En effet, c'est un besoin réel pour les équipes d'acteurs qui peinent généralement à échanger leurs documents, ou à disposer de la version la plus à jour,

- *L'introduction d'outils basés sur la gestion des activités* nous laisse plus sceptiques. Dans un domaine largement dominé par l'informel et la réactivité à des événements imprévus, l'explicitation des activités et des tâches de chacun est un effort particulièrement difficile. Par contre, l'instrumentation de documents comme le compte-rendu de chantier semble plus prometteuse. Le compte-rendu est le recueil de *l'information dynamique sur l'activité* du chantier (c'est un artéfact dynamique de coordination). Il retrace les micro-événements ainsi que les décisions « situées » liées à l'activité. A l'opposé, les plannings (artéfacts statiques de coordination) sont généralement peu détaillés et décrivent les grandes phases de la construction. Nous pensons que des outils comme les moteurs de workflows seraient plutôt un frein à la dynamique et l'adaptabilité du chantier,
- *La représentation du contexte de coopération*, d'une manière adaptée à l'acteur en situation d'action (tenant compte du « contexte acteur » et du « contexte utilisateur ») est un point crucial. Que ce soit dans les outils actuels ou à venir, l'adaptabilité est une fonctionnalité essentielle afin de refléter le point de vue de l'acteur sur l'activité. Ainsi, on devrait pouvoir adapter l'information affichée par le biais de filtres, mais aussi la représentation de cette information par le choix de modes de visualisation pertinents pour un besoin donné,
- *Le développement de formats d'échange permettant l'interopérabilité entre les applications* a pour objectif l'uniformisation de la représentation de l'information liée au domaine du bâtiment. L'usage de tels formats favorisera à terme l'interopérabilité dans le secteur. Cependant, on pressent immédiatement la lourdeur de tels dispositifs qui nécessitent une explicitation complète de l'information liée au projet. De telles pratiques sont bien souvent difficiles dans nombre de projets de petite envergure.

Au regard de notre analyse organisationnelle de la coordination de l'activité collective en phase de construction de bâtiment, nous proposons maintenant de formaliser notre approche au travers d'un guide pour le choix d'outils d'assistance à la coopération en phase chantier.

En effet, afin de répondre aux multiples configurations de l'organisation durant cette activité, nous voyons que les outils utilisés ne présentent pas les mêmes caractéristiques. L'opposition entre relations informelles et hiérarchiques durant certaines de ces activités en est un exemple frappant. Un outil d'assistance doit être adapté aux besoins des modes de coordination qu'il supporte. Par exemple, il est inutile de proposer des fonctionnalités de planification dans un outil dédié à l'ajustement mutuel.

Nous nous focaliserons sur trois espaces du trèfle fonctionnel présenté ci-dessus (§5.1.1) : l'espace de coordination (que nous détaillerons dans les trois types de configuration), l'espace de communication et l'espace de conversation. En effet, dans l'optique de l'assistance à la coordination par des outils-logiciels, nous écartons l'espace de production bien qu'il puisse être tout de même intéressant (par exemple pour la co-édition de document).

5.2.2. Un guide pour l'assistance à la coordination du chantier

5.2.2.1. Configuration hiérarchique de l'organisation

Dans la configuration hiérarchique de l'organisation, on trouve généralement un coordinateur qui doit organiser les tâches des autres intervenants et suivre leur déroulement.

L'activité est décrite de manière précise, il s'agit par exemple de l'enchaînement des tâches de construction qui est planifié.

En ce qui concerne la coordination, des outils de planification sont déjà largement utilisés. Nous pensons que d'autres outils pourraient améliorer la coordination dans la configuration hiérarchique de l'organisation (Tableau 2) :

- Des *outils « instrumentalisant » le compte-rendu de chantier*. La diffusion du document pourrait être améliorée (suivi des envois). Sa consultation est actuellement laborieuse, comme nous avons pu le noter dans notre expérience de suivi de chantier (§2.2). Elle pourrait être facilitée, par exemple par des images illustrant les points. D'autre part l'utilisation de filtres permettrait de sélectionner l'information pertinente pour un utilisateur. Enfin un moteur de recherche dans les comptes-rendus permettrait de faciliter la recherche d'information dans le cadre d'un chantier (décision antérieure, remarque déjà effectuée) ou de plusieurs chantiers,

- Un *tableau de bord du chantier* pourrait rendre compte de l'état de l'activité, avertir des retards sur des tâches ou de tout autre problème. Outre les informations liées aux tâches de construction planifiées a priori, il faudra trouver des moyens pour recueillir en temps réel l'information de coordination, qui circule dans des documents dynamiques (comme le compte-rendu ou des formulaires). Un tel outil est plutôt destiné au coordinateur (pilote) qui doit gérer le déroulement de l'activité,
- On pourrait aussi imaginer de généraliser la *visualisation 4D* (planning + maquette 3D) en la liant à une troisième « vue » spécifique à la coordination : le *compte-rendu* de chantier. On aurait ainsi un trio très pertinent : compte-rendu, modèle 3D et planning pour parcourir l'information de coordination et améliorer la compréhension de l'état de l'activité par chacun des acteurs,
- Enfin, l'utilisation émergente de *serveurs de gestion de projet* permet d'améliorer la gestion des documents. Ils favorisent aussi la traçabilité et la communication asynchrone.

Configuration hiérarchique	Innovation fonctionnelle	Représentation du contexte de coopération
Outil de compte-rendu de chantier	<i>Organiser l'information de coordination</i> (remarque, avancement etc., niveau de priorité). <i>Recherches</i> dans les comptes-rendus (traçabilité).	Représentation essentiellement textuelle, ou tableaux. L'image pourrait améliorer la compréhension de l'information.
CAO 4D	<i>Assister la phase de préparation</i> du chantier par l'analyse 3D de séquences de mise en œuvre. <i>Montrer l'avancement</i> durant le chantier.	Maquette 3D et diagramme de Gantt.
Tableau de bord	Outil de synthèse (indicateurs de tendance, de performance). « <i>Mesure du processus</i> » sur la base de documents traçant sa	Indicateurs graphiques (barregraphes, radars etc.)

	dynamique.	
Serveur de gestion de projet	Gestion des documents (versions, validation). Traçabilité des décisions. Discussions asynchrones.	Listes hiérarchiques.

Tableau 2 : Outils pour la coordination dans l'organisation de type hiérarchique

Le Tableau 2 décrit ces outils utiles pour la coordination dans l'organisation de type hiérarchique du chantier. Il associe aux outils les modes de représentation du contexte habituellement mis en œuvre dans leurs « interfaces homme-machine ».

5.2.2.2. Configuration transversale de l'organisation

Dans la configuration transversale, l'enjeu majeur est la maîtrise de la diffusion de l'information liée à la coordination entre un acteur interne au chantier et un autre intervenant extérieur au contexte de coopération du chantier donné.

Dans cette optique les outils de compte-rendu ou de tableau de bord évoqué précédemment ont leur intérêt. De plus, des outils spécifiques aux différents métiers pourraient être reliés aux outils génériques, par exemple des outils de simulation, de vérification ou encore de comptabilité.

On recherche là encore des outils facilitant l'accès à l'information par l'utilisateur. Ainsi, la personnalisation et la prise en compte du contexte de l'utilisateur sont fondamentales.

5.2.2.3. Configuration adhocratique de l'organisation

Enfin, dans la configuration adhocratique, les acteurs coopérant doivent disposer d'informations leur permettant de réaliser leurs tâches en ayant une bonne connaissance de leur contexte d'intervention. On peut dire que les outils actuels sont encore trop peu efficaces pour remplir cette fonction. Les comptes-rendus sont trop condensés, et souvent l'information n'est pas (ou mal) mise à jour. Les plannings sont encore moins souvent réactualisés.

Aujourd'hui, les intervenants sont trop régulièrement conduits à prendre des décisions en ayant une mauvaise connaissance du problème qu'ils traitent. Nous avons vu, dans la partie 4.3.4.2, l'importance de la connaissance contextuelle dans les mécanismes cognitifs liés à l'action individuelle. Nous pensons donc qu'il est nécessaire d'introduire, dans les outils, *des*

fonctionnalités améliorant la perception et la compréhension du contexte par chacun des acteurs du chantier.

Des outils et interfaces favorisant la perception et la compréhension du contexte ont été proposés dans le cadre de divers projets de recherche, mais leur transfert vers des applications professionnelles est encore timide. Nous allons maintenant présenter ceux qui présentent selon nous le plus d'intérêt, et qui guideront notre réflexion *sur la contextualisation de l'information de coordination en phase chantier.*

Bat'Map est une interface de navigation dans un contexte de coopération, basée sur un graphe hypermédia. Cette interface se focalise sur les relations existantes entre les différentes entités en jeu dans le contexte de coopération et adapte le contenu représenté à l'utilisateur [Hanser 2003]. Une série de filtres permet à l'utilisateur de choisir le type d'information qu'il souhaite parcourir (acteurs, activités ou documents).

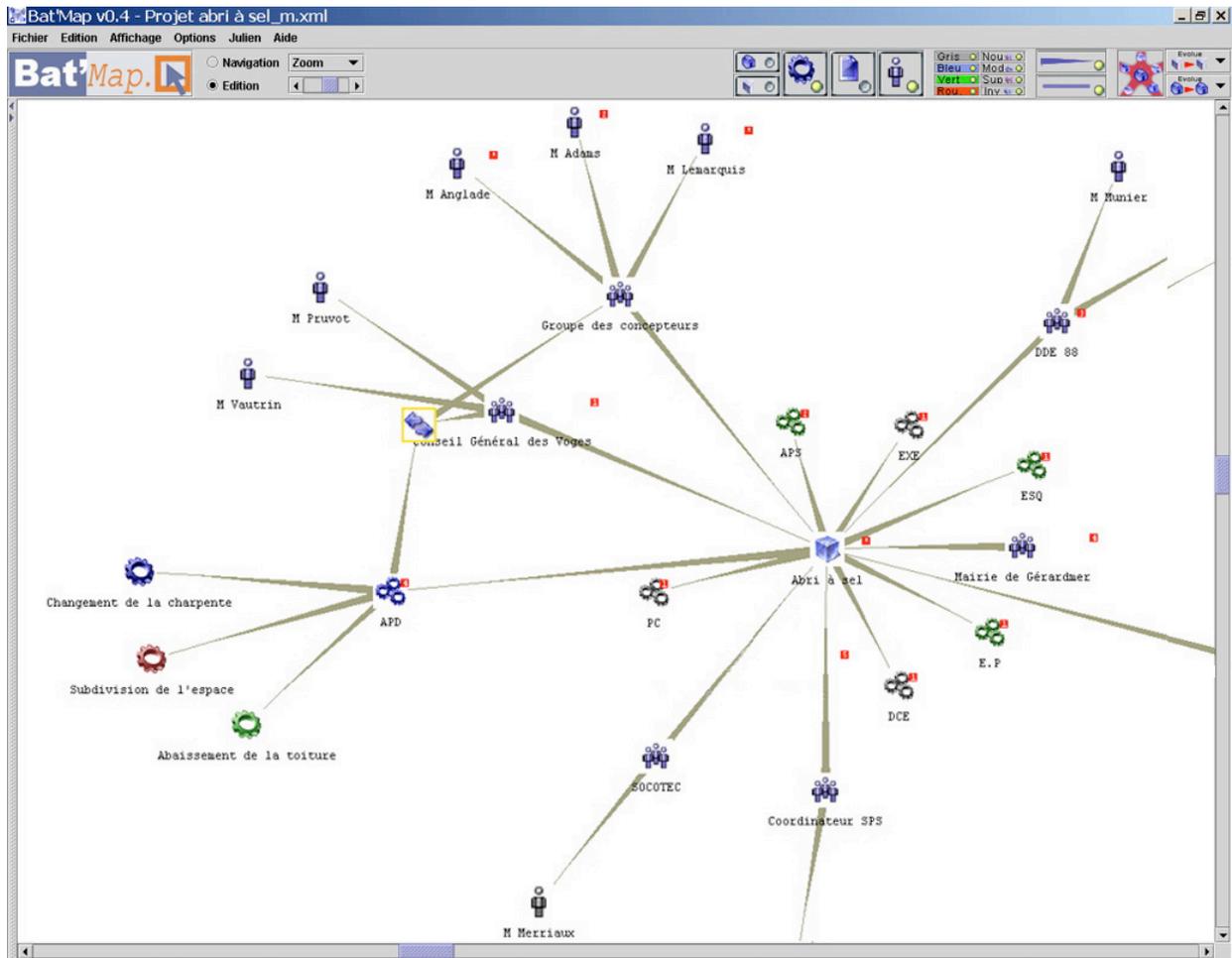


Figure 45 : Hypergraphe relationnel de l'interface de Bat'Map

Mat'Graph est une interface permettant de représenter les interactions entre les différents intervenants d'un projet sur la base des échanges de courriers électroniques [Otjacques et al. 2005]. L'interface permet de filtrer les interactions, par exemple en fonction du type de document échangé (plans, feuille de calcul) ou encore de la période considérée.

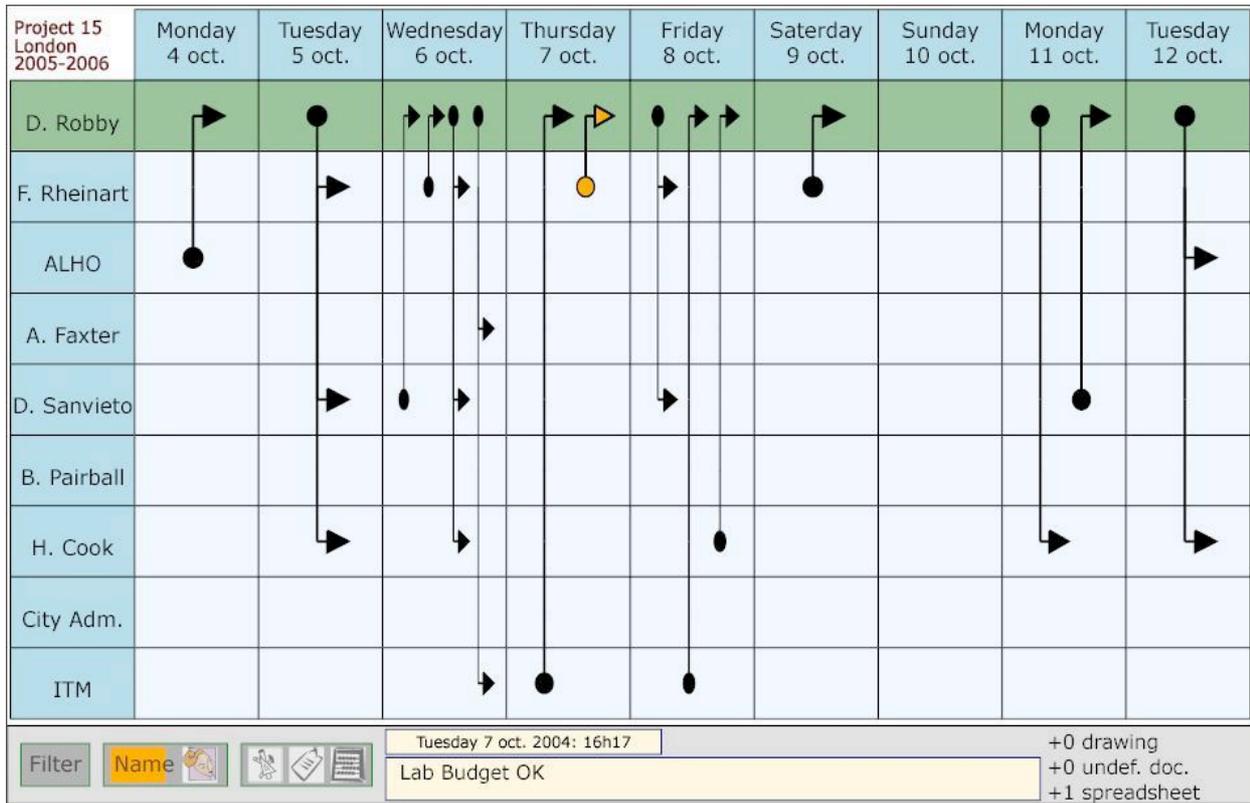


Figure 46 : L'interface de Mat'Graph

Enfin nous nous sommes intéressés à un champ de recherche dans le domaine de la « visualisation d'ensembles informationnels complexes » : les techniques de multi-visualisation. Il s'agit de décomposer les vues sur un « même ensemble » afin de faciliter sa compréhension par l'utilisateur de l'interface.

On distingue dans ce domaine :

- La multi-visualisation d'un même ensemble à travers plusieurs points de vue, qui permettent de réduire sa complexité [Wang-Baldonado et al. 2000]. Dans le domaine du bâtiment, l'exemple le plus évident est celui des outils de CAO qui présente plusieurs vues du bâtiment : plan, coupe, vue 3D, métré, plans de détail etc. (Figure 47),

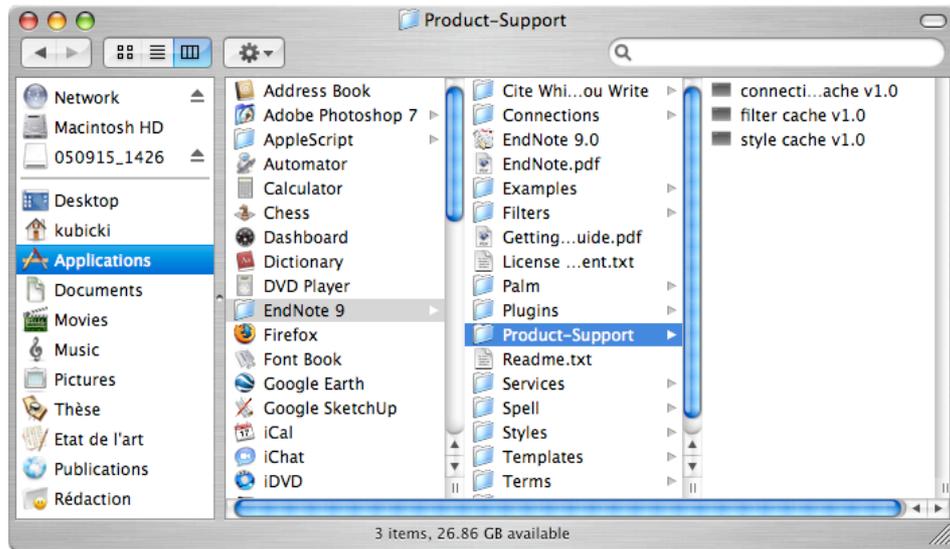


Figure 48 : La navigation par vues multiples en relation dans le Finder (Mac OS X)

Dans la configuration ad hoc de l'organisation du chantier, nous considérons le contexte de coopération comme un ensemble d'informations complexe, dont la compréhension n'est pas aisée par les acteurs. Les outils actuels n'en fournissent qu'une représentation partielle : géométrique (plans), tridimensionnelle (maquette 3D), temporelle (planning), remarques pour la coordination (compte-rendu) etc. Une interface multi-vues représentant les relations entre ces vues favoriserait donc la compréhension du contexte à travers ses multiples facettes.

Le Tableau 3 synthétise ces trois outils en mettant en avant les innovations fonctionnelles qu'ils présentent. De plus, nous décrivons le mode de représentation du contexte de coopération qu'ils utilisent, dans leur rôle de médiateur dans la perception de l'activité.

Configuration adhocratique	Innovation fonctionnelle	Représentation du contexte de coopération
Bat'Map	Perception relationnelle des entités impliquées dans un contexte de coopération.	Hypergraphe relationnel.
Mat'Graph	Amélioration de la perception des échanges et de leur nature au sein d'une équipe.	Graphe matriciel.
Interfaces multi-vues	Mise en relation d'éléments dans des vues existantes du contexte de coopération. Navigation dans le contexte de coopération à l'aide de vues synchronisées.	Arrangement de vues multiples. Mode de visualisation propre à chaque vue existante (CR, planning, 3D etc.)

Tableau 3 : Outils pour la coordination dans l'organisation de type adhocratique

5.2.3. Des fonctionnalités communes de support à la communication et à la conversation

L'espace de communication se révèle essentiel dans les outils de TCAO du fait de la nature géographiquement distribuée des équipes. Ainsi, l'enjeu est de taille lorsque les acteurs travaillent de manière asynchrone et/ou dans des lieux différents.

De telles situations sont largement présentes en phase de construction. Les acteurs sont dispersés dans leurs entreprises respectives et ne se rencontrent généralement qu'une fois par semaine. Cependant, ce n'est pas le cas des entreprises de construction qui travaillent ensemble sur le chantier, même si les rythmes peuvent différer ou si leurs interventions sont séquentielles.

Les outils dont les fonctionnalités relèvent de l'espace de communication sont essentiels pour la traçabilité et l'accès aux échanges d'informations. Instrumentaliser le compte-rendu peut permettre d'effectuer des recherches dans tous les documents et ainsi de retrouver la trace d'une décision antérieure. De même, des fils de discussion sur une plateforme de gestion de projet constituent une « mémoire des échanges ».

Dans cette idée, le prototype de recherche Mat'Graph propose une visualisation des échanges de mails entre différents intervenants du projet afin de déterminer la quantité et le sujet des interactions entre différents acteurs [Otjacques et al. 2005](Figure 46, au-dessus).

L'innovation, dans ce type d'outil, est assurément la traçabilité des échanges et des décisions qui est aujourd'hui presque inexistante ou alors très coûteuse en recherche documentaire.

Enfin, l'espace de conversation a été marqué depuis quelques années par la généralisation de la téléphonie mobile. Quelle que soit la configuration organisationnelle considérée, cet outil est d'une utilité quotidienne.

De nouveaux dispositifs de conversation émergent et paraissent prometteurs. Il s'agit des « smartphones »⁸³. Ces appareils permettent d'utiliser bien plus qu'un téléphone, et particulièrement, ils disposent d'un écran plus large qui permet, par exemple, la navigation Web. On imagine donc le potentiel qu'ils représentent pour le développement d'interfaces « miniatures » qui permettraient de rester connecté à un serveur de gestion de projet tout en déambulant sur le chantier. D'une manière générale, ils pourraient permettre d'augmenter la connaissance contextuelle durant une simple conversation téléphonique et donc, au final, d'améliorer la qualité de l'échange.

5.3. Synthèse

Nous avons détaillé le potentiel d'un certain nombre d'outils pour l'assistance à l'activité collective durant le chantier. Nous proposons ici une synthèse replaçant les fonctionnalités essentielles de ces outils en fonction des configurations de l'organisation considérées.

Les outils assistant l'activité de groupe se classent en plusieurs catégories. Nous avons montré qu'ils proposent des fonctionnalités de production, de coordination, de conversation ou de communication.

⁸³ Un Smartphone est un téléphone mobile couplé à un PDA. Il permet une meilleure gestion du temps grâce à des fonctionnalités agenda/calendrier mais également de la navigation Web, de la consultation de courriel, une connectivité à un client de messagerie instantanée, la navigation GPS, etc. [Wikipédia]

Les outils-logiciels ne sont pas très présents dans les activités de construction. Nous avons vu que cette activité coopérative fait appel à divers documents (plannings, comptes-rendus), méthodes (planification), ou encore machines (téléphone). Elle se dote progressivement d'outils logiciels de Travail Coopératif Assisté par Ordinateur, notamment à travers l'usage des plateformes de gestion de projet sur certains chantiers. D'autres technologies sont plus émergentes et présentent un vrai potentiel (comme la 4D).

Nous avons ensuite proposé un « guide pour l'assistance à la coopération en phase chantier ». Cette proposition, destinée aux coordinateurs de chantier, vise à assister le choix d'outils adaptés à des situations particulières de coopération. En effet, chaque organisation de chantier est différente et les outils à utiliser par les acteurs doivent être choisis en fonction d'une activité coopérative particulière.

Cette proposition, se focalisant sur les outils de coopération pour le chantier, pourrait d'ailleurs être étendue aux autres phases du cycle de vie du bâtiment. Elle nous est inspirée des expériences pédagogiques de co-conception que nous avons mené (Cf. §2.3), et qui ont montré l'importance du choix des outils dans la mise en œuvre d'une coopération. Ce choix conditionne fortement le déroulement du projet.

Le guide que nous décrivons se base sur l'analyse des formes d'organisation et de la coordination en phase chantier (Chapitre 3). Nous avons vu que la structure organisationnelle était différente d'une opération à l'autre, mais aussi évolutive durant une même activité de chantier. Nous avons donc mis en relation les outils qui nous semblent pertinents pour supporter telle ou telle forme d'organisation.

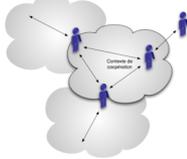
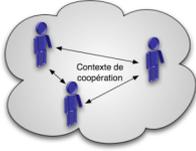
Le Tableau 4 propose une synthèse sur les *outils d'assistance à la coordination du chantier*. Il associe des outils de coordination, de conversation et de communication aux différentes configurations organisationnelles. Il décrit particulièrement les interfaces utilisées pour représenter le contexte de coopération ainsi que les fonctionnalités innovantes que présentent ces outils (cellules grisées).

On voit d'abord, dans ce tableau, que ce sont surtout les outils pour la coordination qui se différencient d'un type d'organisation à l'autre. Nous les distinguons en fonction du niveau de

description de l'activité qu'ils mettent en œuvre. Un planning décrit dans le détail les tâches à effectuer et leurs relations, alors qu'une liste de tâches (une « to-do list ») n'est qu'une énumération, pas forcément organisée.

Cet exemple montre bien que selon le type d'activité, d'organisation d'acteurs, et les modalités de la coordination, on choisira l'un ou l'autre. Nous distinguerons surtout des fonctionnalités innovantes particulières :

- Dans la coordination hiérarchique, il est important d'assurer la bonne diffusion de l'information. L'utilisation des contextes « acteur » et « utilisateur » pour adapter l'affichage permet aux acteurs d'être mieux informés des tâches à réaliser,
- Dans la coordination adhocratique, il n'est pas question de guider l'utilisateur sur ce qu'il doit faire. On cherche plutôt à favoriser sa perception du contexte de coopération. Pour cela, l'innovation passe, selon nous, par des interfaces de visualisation nouvelles (ex. graphe relationnel ou vues multiples).

		Configuration hiérarchique 	Configuration transversale 	Configuration adhocratique 
Espace de coordination	Définition de l'activité	Précis (dans la globalité du chantier : tâche/sous-tâche).	Précis (sur des tâches ponctuelles).	Précis « au besoin ».
	Exemple d'outil	Planning, compte-rendu, 4D, tableau de bord.	Formulaire, compte-rendu, tableau de bord et outils « métiers » (ex. vérification).	Photos, Liste de tâches, Bat'Map, Interface multi-vues.
	Interface de visualisation	Diagramme de gantt, plans de synthèse, maquette 3D.	Interfaces spécifiques « métiers ».	Liste de tâches.
	Fonctionnalités innovantes	Information <u>adaptée à l'acteur cible</u> , synthèse (tableau de bord), possibilités d'effectuer des <u>recherches dans l'information</u> .		<u>Visualisation</u> du contexte de coopération. <u>Mettre en relation</u> différentes informations. <u>Synchroniser</u> des vues.
Espace de conversation	Localisation des acteurs	Souvent dans des lieux différents.		Souvent même lieu (sur le chantier).
	Exemple d'outil	Téléphone (notamment portable). Visiophone. Smartphone.		Croquis informel sur un mur. Smartphone (données GPS, informations contextuelles).
	Interface pour la conversation	Oralité. Image (dans le cas de la visioconférence par exemple).		Oralité. Dessin, texte.
	Fonctionnalités innovantes	Plus d'interactivité dans les réunions virtuelles avec des acteurs non présents sur le chantier (ex. fournisseurs, bureau de contrôle).		Appuyer la conversation par de l'information contextuelle, support à l'échange (plan, remarque du compte-rendu, planning, ouvrage en 3D etc.).

Espace de communication	Type de communication	Synchrone et asynchrone.	Souvent asynchrone.	Plutôt synchrone.
	Localisation des acteurs	Même lieu (sur le chantier) ou lieux différents.	Lieux différents (ex. chantier – bureau).	Même lieu (chantier).
	Exemple d'outil	Compte-rendu de chantier (instrumentaliser). Plateforme d'échange, forums de discussion, discussions liées à des tâches, des documents dans la plateforme. Mat'Graph (visualisation des échanges de courriers électroniques entre intervenants).		
	Interface pour la communication	Interfaces de collecticiels (texte, tableaux).		
	Fonctionnalités innovantes	Contextualisation des échanges pour la communication. Mise en relation d'informations dans divers supports de communication (ex : mail + point d'un compte-rendu + plan). Traçabilité des échanges (ex. fils de discussions basés sur le courrier électronique).		

Tableau 4 : Fonctionnalités d'outils de coopération pour chaque configuration de l'organisation

Nous avons aussi établi quelques différences entre les outils de conversation, en fonction de l'organisation supportée.

- Dans les situations hiérarchiques d'abord, les outils de visioconférence permettent de réunir virtuellement tous les acteurs du chantier, même si ceux-ci sont éloignés géographiquement, où que leurs interventions ponctuelles ne nécessitent pas leur présence régulière.
- Concernant les situations adhocratiques, et les activités d'ajustement mutuel en particulier, nous avons bien sûr noté l'importance de la téléphonie mobile. Les fonctionnalités innovantes accompagnant les nouvelles générations de téléphones, résident dans la possibilité d'afficher de l'information sur des écrans toujours plus grands et de meilleure résolution. Cela nous permet d'envisager, par exemple, de prendre en compte des données du « contexte utilisateur », comme la localisation géographique, afin d'afficher sur l'écran des photos, des plans ou toute autre information contextuelle relative au besoin d'un acteur situé sur le chantier.

Enfin, les outils de communication supportent selon nous indifféremment tous les types d'organisation. En effet, ils ne sont que médiateurs dans la visualisation des échanges.

L'innovation dans ces outils réside essentiellement dans la traçabilité des changements et des décisions qui manque beaucoup aux acteurs à l'heure actuelle.

Nous avons pris soin dans ce tableau de faire figurer la nature du mode de visualisation du contexte qu'emploie chacun de ces outils. En effet, nous souhaitons porter notre attention plus précisément sur les interfaces homme-machine utilisés dans les outils qui médiatisent la perception du contexte de coopération.

Nous proposons dans le chapitre suivant une méthodologie pour modéliser le contexte et les interfaces de visualisation qu'utilisent les outils, afin de les mettre en relation. L'objectif est de pouvoir développer plus facilement de nouvelles vues, et de permettre à l'utilisateur une navigation dans le contexte de l'activité.

Les propositions que nous développerons dans le chapitre 7 s'appuient elles-aussi sur ce guide. Les fonctionnalités innovantes sur lesquelles nous avons travaillé se fondent sur la configuration organisationnelle que nos outils visent à supporter, ainsi que sur le fonctionnement de leurs interfaces de visualisation de l'information.

Chapitre 6. Une approche dirigée par les modèles

Les nouveaux outils d'assistance à l'activité collective peuvent être appréhendés selon leurs fonctionnalités et leurs interfaces, dans le cadre du guide que nous avons proposé dans le chapitre précédent.

Les points essentiels pour la conception de nouveaux outils sont les suivants :

- Représenter la *connaissance particulière du domaine*, à travers la structure de l'outil (par exemple, en structurant de manière cohérente une base de données), afin d'assurer l'interopérabilité avec d'autres applications,
- Être conforme à *l'activité spécifique du domaine de la construction*, c'est-à-dire adapter l'outil aux fonctionnalités réelles qui seront exploitées (on a vu par exemple qu'un workflow rigide serait voué à l'échec dans une activité de chantier),
- Représenter le *contexte de coopération*, à travers les interfaces utilisées dans l'outil (modes de visualisation pertinent pour une fonction donnée et un type d'information à représenter). Il faut aussi que la place de l'outil dans ce contexte soit clairement définie, par exemple le type de coordination qu'il supporte,
- Prendre en compte dans l'outil les *caractéristiques de l'acteur* qui va l'utiliser : son contexte acteur (métier, expérience, besoins), son rôle dans l'organisation (visibilité d'information) et son point de vue,
- Prendre en compte son contexte en tant *qu'utilisateur d'un outil* (contexte utilisateur : terminal utilisé, préférences, configuration, modes de visualisation).

Ces différents aspects doivent, selon nous, être intégrés dans la conception de nouvelles applications et peuvent être communes à différents outils :

- Afin d'être en mesure de les capitaliser,
- Afin de les réutiliser d'une opération à l'autre.

Il est donc nécessaire de structurer la connaissance liée à ces besoins, c'est ce que nous permet l'approche par les modèles.

De plus, dans la dimension interdisciplinaire de notre étude, nous avons besoin d'une telle approche qui nous conduit à mieux comprendre les domaines auxquels nous touchons et à les modéliser afin d'échanger des idées ou de valider des propositions avec les spécialistes de ces différents domaines.

L'approche par les modèles que nous allons décrire maintenant est issue de ce constat. Que ce soit pour dialoguer entre chercheurs, entre concepteurs d'applications, avec les développeurs informaticiens ou encore avec les utilisateurs finaux des outils, nous avons besoin d'une méthode rigoureuse de représentation de nos propositions. La modélisation nous apporte cette rigueur dans la formulation de la connaissance du domaine ou du comportement des outils. Elle nous permet aussi d'envisager un certain nombre d'automatisations, par exemple dans la construction d'interfaces.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le cadre méthodologique que nous avons mis en œuvre afin de conduire notre recherche ainsi que les propositions de modèles que nous formulons dans cette thèse.

Dans un premier temps, nous développerons les concepts de base de l'approche « orientée modèles », en nous attardant sur les enjeux particuliers qu'elle soulève dans le domaine de l'informatique.

Nous détaillerons ensuite les divers modèles sur lesquels nous nous appuyons dans le développement de systèmes d'assistance à la coopération en phase de construction de bâtiments.

Enfin, nous présenterons notre proposition d'une infrastructure unificatrice pour la définition de modèles spécifiques au domaine de la construction, et qui permettra de gérer le développement et l'intégration de vues du contexte de coopération.

6.1. Le concept de modèle

6.1.1. Un concept aux définitions multiples

6.1.1.1. Définition générale

Le sens « original » et interdisciplinaire du terme « modèle » renvoie à « une chose ou personne qui, grâce à ses caractéristiques, à ses qualités, peut servir de référence à l'imitation ou à la reproduction » [TLFI]. On peut distinguer « l'objet de référence » par sa nature animée (par exemple un être humain) ou inanimée (par exemple un document).

Le dictionnaire cite alors les variantes d'interprétation dans différents domaines :

- Dans le domaine artistique, le modèle peut être « un dessin, un objet ou une personne dont l'artiste veut représenter l'image ou reproduire la forme » [TLFI],
- En architecture, un modèle peut être un bâtiment existant servant de référence à la conduite du processus de conception d'un nouveau bâtiment. Certaines de ses qualités ou spécificités influenceront alors le projet, soit par simple reproduction, soit en s'en inspirant afin de modifier le processus,
- Dans l'industrie, un modèle renvoie à l'idée de « prototype d'un objet destiné à la fabrication industrielle en série [...] » [TLFI],
- Enfin, dans le domaine de la mode, un « modèle » de vêtement est un prototype destiné à la reproduction.

6.1.1.2. Un sens particulier dans le domaine de la recherche scientifique

Le sens du terme « modèle » qui nous intéresse particulièrement est issu de la recherche épistémologique et scientifique. Le modèle est alors vu comme un « système physique, mathématique ou logique *représentant* les structures essentielles d'une réalité et capable à son niveau d'en expliquer ou d'en reproduire dynamiquement le fonctionnement » [Birou 1966].

Cette définition introduit les concepts de base de l'approche par les modèles que nous adoptons : un *modèle* est une *représentation* d'un *système*, en vue *d'agir* sur ce système. Ajoutons l'objectif de *simplification* qu'introduit une approche par les modèles, réduisant un système à ses « traits essentiels », nécessaires à sa compréhension d'un point de vue donné.

D'autres auteurs affinent la compréhension en s'intéressant à la construction des modèles :

- Pour Ladrière, le modèle est un « objet abstrait, construit selon des procédures dont on estime qu'il constitue une représentation suffisamment fidèle bien que simplifiée de la réalité » [Ladrière 1991]. Derrière l'idée de simplification ou d'abstraction on notera aussi le fait de ne tenir compte pour la réalisation d'un modèle que de certains traits de la réalité qu'il convient d'étudier ou sur lesquels agir. Cette définition rappelle que le *point de vue* est un élément déterminant dans toute observation d'un système réel,
- C'est d'ailleurs ce que soutient Pascal Nouvel pour qui le modèle est une « construction élaborée dans le but de faire ressortir certains traits d'une situation donnée » [Nouvel 2002],
- À travers cette définition, il ressort donc que le modèle joue un rôle d'outil expérimental, médiateur entre un sujet et l'objet de son activité. « Dans le cadre de la recherche scientifique, le modèle a toujours une acception instrumentale, l'activité intellectuelle a besoin d'outils, qu'ils soient matériels ou méthodologiques » [Legay 1997].

Rothenberg donnera finalement une définition qui nous paraît consensuelle :

« Modéliser, au sens large, est l'utilisation économique de quelque chose à la place de quelque chose d'autre dans un objectif cognitif. Cela nous permet d'utiliser quelque chose de plus simple, plus sûr ou plus économique au lieu de la réalité elle-même pour accomplir une activité. Un modèle représente la réalité dans un but donné, c'est une abstraction dans le sens où il ne représente pas tous les aspects de la réalité [...] »⁸⁴ [Rothenberg 1989]

⁸⁴ « Modeling, in the broadest sense, is the cost-effective use of something in place of something else for some cognitive purpose. It allows us to use something that is simpler, safer or cheaper than reality instead of reality for some purpose. A

Enfin, ajoutons que la formalisation d'un modèle prend des formes très différentes d'un domaine à l'autre.

6.1.2. L'Ingénierie Dirigée par les Modèles dans le domaine de l'informatique

6.1.2.1. Model Driven Architecture

L'OMG développe depuis 2000 une approche nommée Model Driven Architecture (MDA) pour le développement des systèmes logiciels [Soley et OMG 2000]. Leur objectif est de définir un cadre de standards industriels certifiés, dans une approche normative. Cette spécification est bâtie autour de différentes spécifications de l'OMG telles que :

- Le MOF (Meta Object Facility) associé à une architecture de modèles,
- UML (Unified Modeling Language) qui est un langage de description de modèles,
- ou CWM (Common Warehouse Metamodel) qui traite de l'entrepôt de données (Figure 49).

model represents reality for the given purpose; the model is an abstraction of reality in the sense that it cannot represent all aspects of reality. [...] »

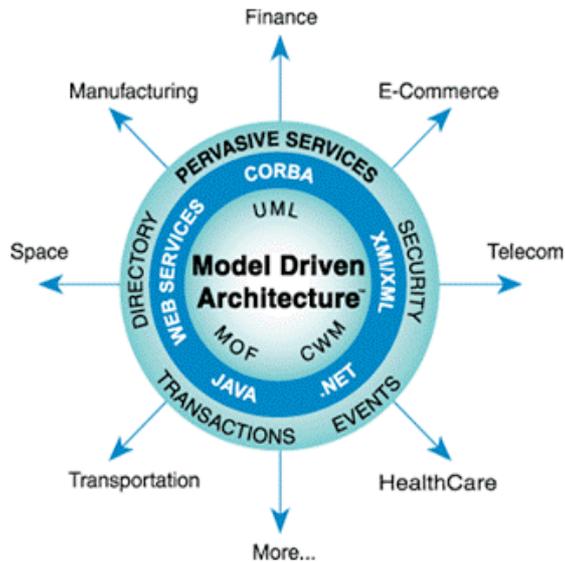


Figure 49 : Technologies de la « Model Driven Architecture » proposée par l'OMG

Le MOF (Figure 50)[OMG 2000] fournit une infrastructure pour la représentation et la manipulation de métamodèles [Lemesle 2000] :

- Le niveau M3 est le métamétamodèle MOF, qui s'autodécrit,
- Le niveau M2 est celui des métamodèles eux-mêmes,
- Le niveau M1 comprend tous les modèles conforme à un métamodèle,
- Et le niveau M0 décrit le monde réel.

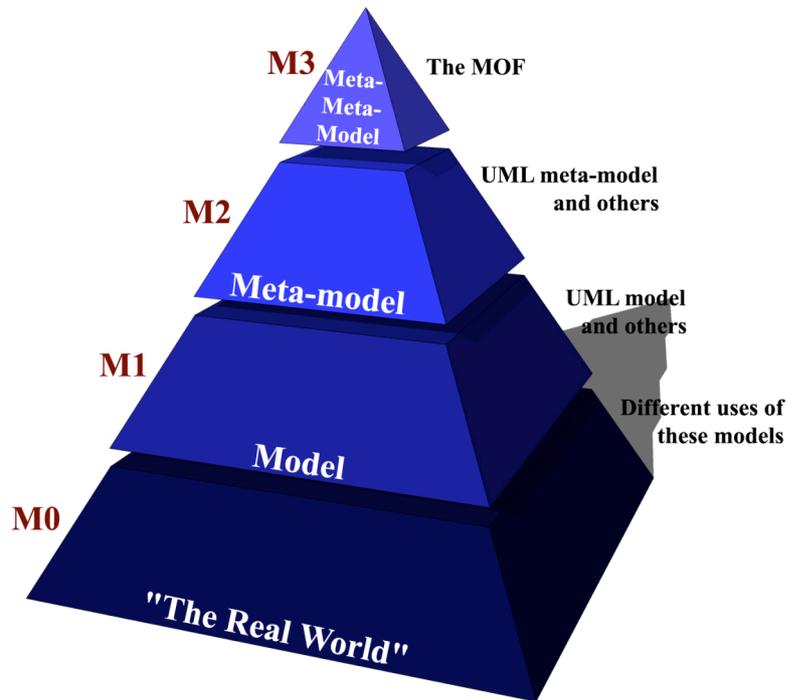


Figure 50 : Architecture de modèles du MOF

L'idée fondamentale est que les fonctionnalités du système à développer sont définies dans un modèle indépendant de la plateforme (Platform Independent Model, PIM), puis traduites dans un ou plusieurs modèles spécifiques à une plateforme (Platform Specific Model, PSM) pour l'implémentation concrète du système (Figure 51).

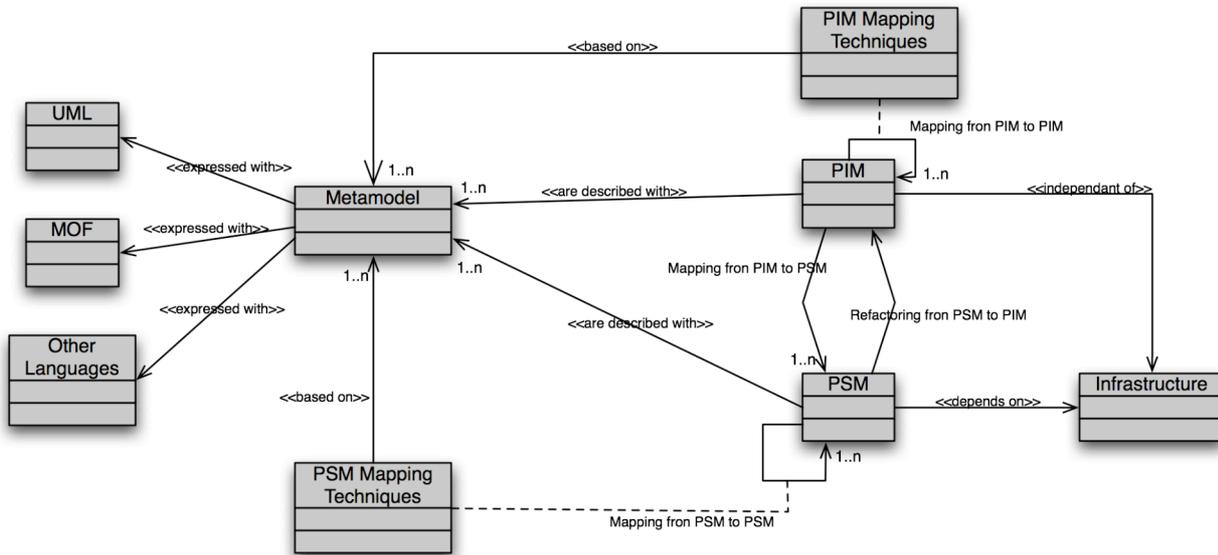


Figure 51 : Métamodèle de MDA [Miller et Mukerji 2001]

Certains problèmes apparaissent toutefois. D'abord l'approche MDA met en œuvre *uniquement les formalismes et langages de modélisation développés par l'OMG* (MOF, UML, CORBA etc.) ce qui est un frein pour l'interopérabilité entre les modèles. Les techniques de « mapping »⁸⁵ PSM ou PIM sont en effet inopérantes avec des modèles d'ontologies ou des modèles de bases de données non conforme à la spécification du MOF.

Ensuite, ces techniques de « mapping » sont encore à un stade expérimental, même entre les technologies de l'OMG. Peu de transformations de modèles PIM vers PSM sont effectives à l'heure actuelle du fait de la difficulté à modéliser des systèmes propriétaires [Bézivin 2005]. Pour résoudre ce problème majeur, il est nécessaire de développer des modèles de description de plates-formes (PDM) qui permettraient d'automatiser ces transformations.

⁸⁵ « Mapper » signifie mettre en correspondances des éléments entre les modèles.

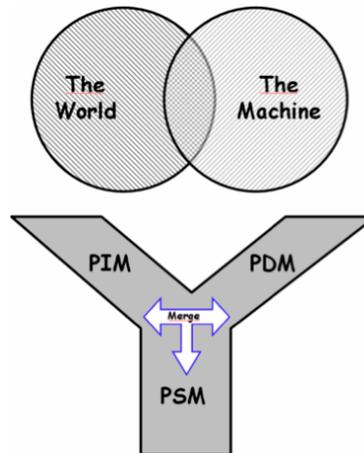


Figure 52 : "Platform Description Model" pour décrire la plateforme « cible » utilisée pour la transformation, tiré de [Bézivin 2005]

Dans le domaine du développement logiciel, ces techniques ne sont encore qu'exploratoires.

6.1.2.2. Le courant de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles

En parallèle à ces travaux, le courant de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM ou Model Driven Engineering en anglais) est une généralisation du MDA, développée à la fois dans les laboratoires de recherche et par des industriels du génie logiciel (IBM, Microsoft).

Ce courant de recherche trouve son fondement dans le constat d'échec des technologies « orientées objet » face aux besoins contemporains dans les applications : Web services, patrons de conception, « plugins » etc. Pour ses promoteurs, l'ingénierie dirigée par les modèles serait capable de surmonter les problèmes rencontrés par les technologies « orientées objet », en particulier en intégrant différents paradigmes comme des services, des règles, des processus, ou encore l'architecture globale d'une application [Bézivin 2003].

Nous ne rentrerons pas plus avant dans les aspects techniques de ces technologies. Nous allons cependant détailler les concepts de base de l'IDM, afin de voir par la suite comment les utiliser pour répondre à nos besoins spécifiques de modélisation et de développement.

Le concept central est bien sûr celui de « modèle ». Un *modèle* (1) est *une représentation* (2) d'un *système étudié* (2) [Favre 2004; Seidewitz 2003]. L'exemple de la carte de France est particulièrement représentatif de cette propriété [Favre et al. 2006] : le « système géographique de la France » peut être modélisé par une carte représentant le découpage administratif en régions et départements (un modèle)(Figure 53).

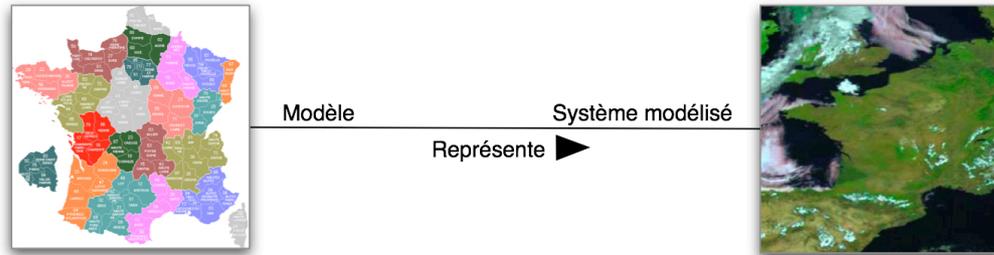


Figure 53 : Un modèle représente un système, tiré de [Favre et al. 2006]

Nous avons évoqué l'importance du point de vue dans la construction d'un modèle. Ceci se traduit par le fait qu'un même système puisse être représenté par de nombreux modèles différents. En effet, dans notre exemple, d'autres modèles de la France existent : carte du relief, carte des routes etc. Ces modèles sont des représentations abstraites de la réalité.

Le second concept essentiel dans l'IDM est celui de métamodèle. Un *métamodèle* est un *modèle de langage de modélisation* [Bézivin 2004; Favre et al. 2006]. On dit alors qu'un modèle est *conforme* à un métamodèle (Figure 54). Le métamodèle fait état de « ce qui peut être exprimé dans des *modèles valides* dans un certain langage de modélisation » [Seidewitz 2003].

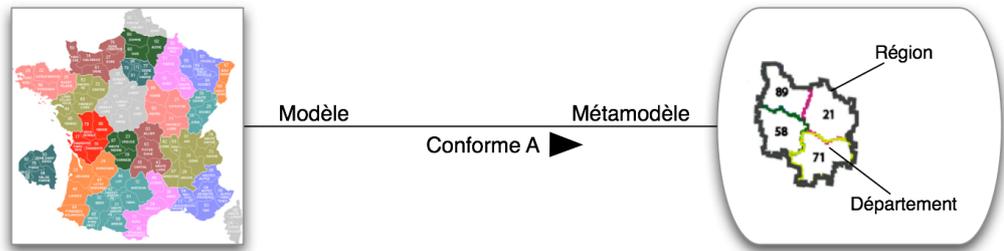


Figure 54 : Un modèle est conforme à un métamodèle, tiré de [Favre et al. 2006]

Dans notre exemple, un métamodèle de la carte de France serait donc une représentation du langage particulier utilisé, spécifiant les régions et les départements. Notons bien que le métamodèle *n'est pas* le langage mais un modèle de celui-ci. Dans l'exemple, le *langage* serait l'ensemble des cartes décrites selon des conventions particulières (Figure 55)[Favre et al. 2006].

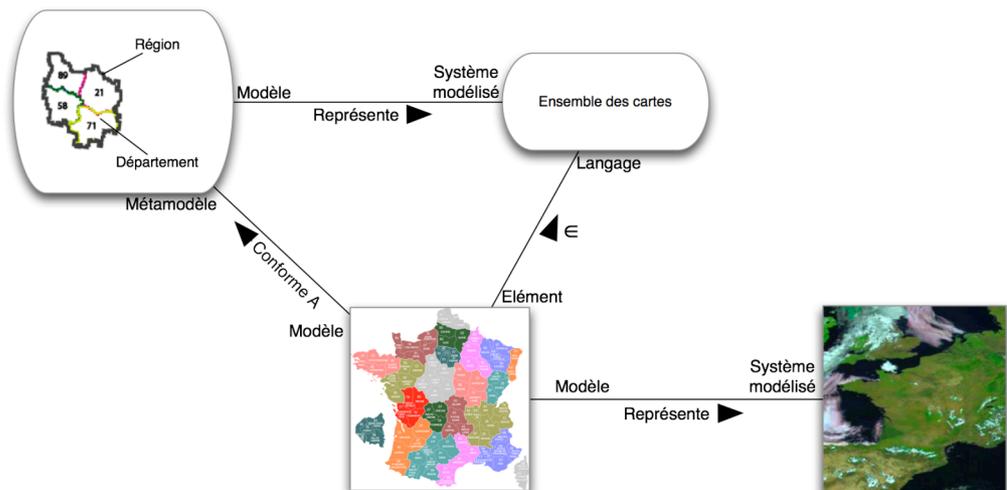


Figure 55 : Relations entre système modélisé, modèle, langage et métamodèle, tiré de [Favre et al. 2006]

Nous insisterons bien sur le fait que cette définition de la modélisation et métamodélisation est propre à l'IDM, qui a cependant pour vocation d'unifier d'autres approches basées sur les

modèles. L'identification précise des relations « représente » et « conforme à » entre les modèles est essentielle afin de rendre ces modèles productifs, c'est à dire automatisables.

6.1.2.3. Unifier des espaces techniques disparates (Technical Spaces)

L'IDM ne se focalise pas sur une seule technologie (comme l'OMG avec le MOF et UML) mais vise à unifier différents espaces techniques (XML, Base de données, ontologies etc.). Cette caractéristique essentielle en fait une approche intégrative [Bézivin 2005].

La Figure 56 représente différents espaces techniques sous la forme d'un empilement de modèles et métamodèles :

- L'espace technique des grammaires,
- L'espace technique des modèles (avec le MOF ou encore Ecore),
- L'espace technique des bases de données (algèbre relationnelle, entité-association, Niam),
- L'espace technique des documents, défini par des langages de marquage (html, XML),
- Ou d'autres espaces n'apparaissant pas sur la figure comme celui des ontologies avec le langage de description d'ontologie OWL.

Ces différents espaces techniques répondent donc à la logique de l'IDM comme le prouve l'empilement de leurs modèles et métamodèles. Un fondement de l'IDM consiste à reconnaître l'intérêt de chacun de ces espaces techniques pour ses caractéristiques propres [Favre et al. 2006]. Ainsi le « BDware » est orienté autour de la représentation et de la recherche de données, le « Docware » autour du transport de données et de leurs transformations etc. Il est donc nécessaire de conserver ces espaces techniques essentiels et indépendants, tout en favorisant leur intégration ou leur unification [Bézivin 2005].

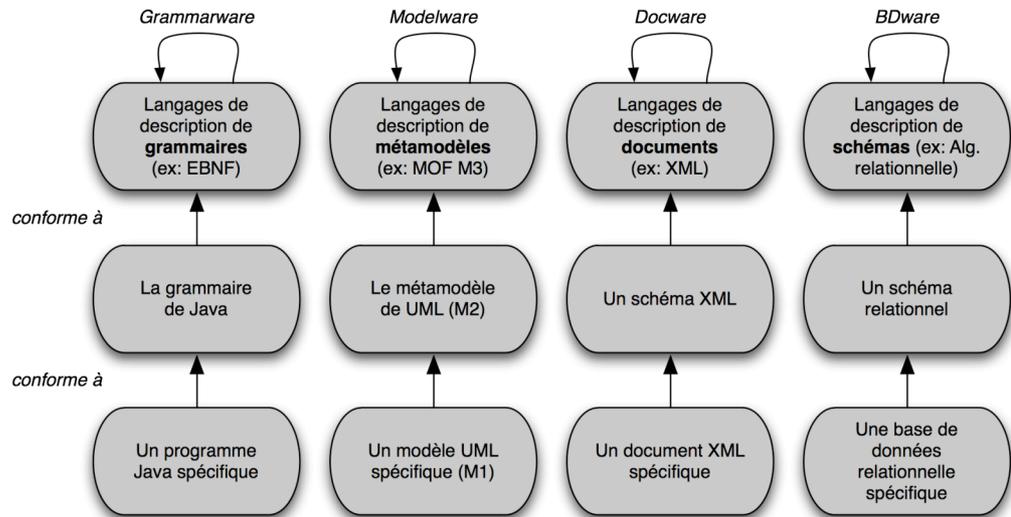


Figure 56 : L'IDM et l'unification des espaces techniques, tiré de [Favre et al. 2006]

La réalité des entreprises et des développeurs d'applications aujourd'hui est conforme à la représentation de la Figure 56 : il faut faire face à un ensemble hétérogène de modèles, et tenter de développer « à la demande » des interpréteurs pour les faire dialoguer.

6.1.2.4. Transformation de modèles

Pour permettre ce dialogue, la notion de *transformation* est le dernier concept central de l'IDM. « Décrire comment transformer un modèle est indispensable pour le rendre productif » [Favre et al. 2006].

Si les transformations entre PIM et PSM que propose l'OMG sont encore à un état embryonnaire, cet organisme a tout de même développé une spécification très utilisée pour l'export ou le partage de modèles (UML par exemple) : XMI (XML Metadata Interchange)[OMG 2002]. Cette spécification s'appuie sur le formalisme XML pour décrire les modèles, leur structure et leurs propriétés.

La Figure 57 montre les différents documents XMI qui peuvent être générés en fonction des différents niveaux de modélisation (UML dans notre exemple). Le schéma XML (ou la DTD)

permet de représenter le niveau supérieur de modélisation UML. Par exemple, pour un modèle UML décrit dans un document XMI, le métamodèle UML sera décrit dans un schéma XML correspondant. La relation de conformité permet de conserver l'intégrité de la relation entre le modèle et son métamodèle. Le formalisme hiérarchique d'UML est particulièrement adapté à la représentation de modèles. Il n'est d'ailleurs pas « orienté objet » [Gasevic et al. 2006].

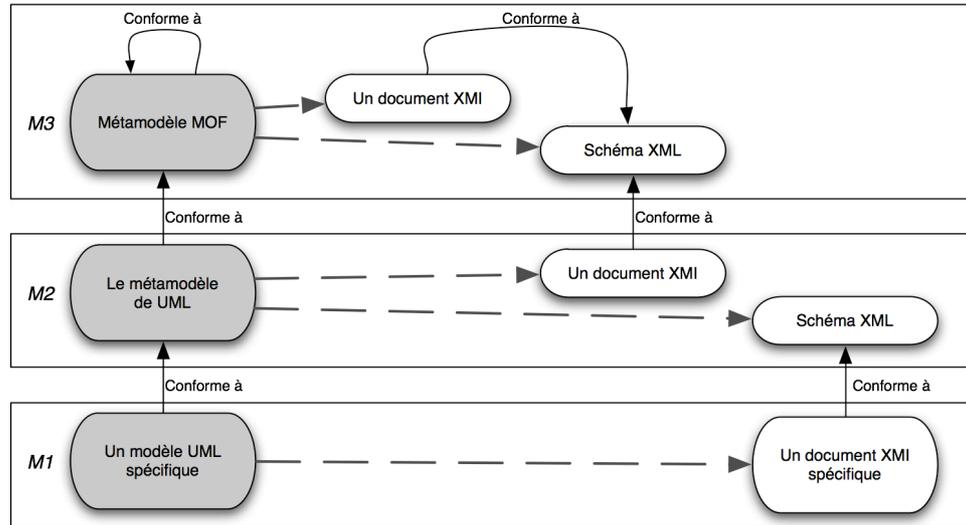


Figure 57 : Modèles UML exprimés avec la spécification XMI

La transformation peut être réalisée à l'aide d'un processeur XSLT (XSL Transformation) qui accepte un fichier source en entrée (ex. modèle UML), lui applique des règles de transformation en fonction des données contenues et génère un fichier cible (ex. fichier XMI). XSLT est utilisable pour la « transformation d'arbres » : un arbre en entrée est parcouru et ce parcours génère des fragments de l'arbre de sortie.

Les logiciels de modélisation basés sur les standards de l'OMG permettent déjà des échanges de modèles entre outils (par exemple exporter un modèle UML de l'outil MagicDraw vers l'outil Poseidon).

Cependant, l'OMG n'a pu fournir pour l'instant un cadre opérationnel pour réaliser des transformations entre des modèles spécifiques. C'est pourtant un manque important vu la diversité des PSM (modèles spécifiques à des plateformes commerciales par exemple).

L'IDM a pour objectif de combler ce manque, en mettant au point des méthodes de transformation basées sur les modèles.

L'hypothèse de base est qu'une transformation entre deux modèles est elle-même un modèle qui peut être « exécuté ». Le modèle de transformation doit s'appuyer sur le formalisme des métamodèles d'entrée et de sortie, tout en étant évidemment conforme à un métamodèle de transformation (Figure 58).

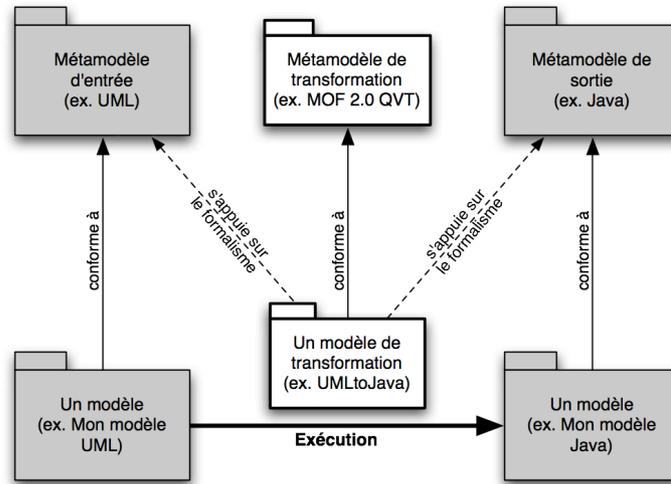


Figure 58 : Modèles de transformation

L'OMG travaille depuis 2001 sur la définition d'un langage de transformation : le métamodèle MOF QVT (Query, View, Transformation). Il décrit :

- Des requêtes effectuées pour la transformation (Query),
- La correspondance structurelle entre deux modèles (View),
- Des règles de construction utilisées pour le modèle généré (Transformation).

D'autres langages existent, comme ATL (Atlas Transformation Language) développé par l'INRIA [Bézivin et al. 2003], qui propose un métamodèle de transformation assez proche basé sur les notions de modules (ensemble de règles de parcours), de requêtes et de règles.

6.2. Des modèles pour le développement d'outils dans le secteur de la construction

Le champ de l'IDM propose une vision qui nous semble assez généraliste de la notion de modèle. Nous nous en inspirerons fondamentalement dans notre raisonnement vers des outils d'assistance à la coordination « flexible » en phase chantier, afin de structurer les domaines à l'intersection desquels nous nous trouvons.

En effet, nous avons besoin de représenter de manière unifiée et rigoureuse :

- *L'activité collective* elle-même et les processus qu'elle met en oeuvre,
- *L'organisation*, sa structure, et les *acteurs* qui y agissent,
- Le *bâtiment* et la structure des *ouvrages* et des espaces qui le composent,
- Ainsi que les *outils* que nous utilisons ou proposons : leur structure fonctionnelle, l'organisation des données, et l'interface de visualisation.

Nous distinguons donc quatre types de modèles distincts, qui permettent de formaliser cette connaissance hétérogène et que nous tenterons par la suite d'unifier :

- Les modèles de « *processus métier* » sont aujourd'hui très répandus dans de nombreux secteurs d'activités (production industrielle, production de services etc.). Leur développement constant est fortement lié à la recherche de qualité des processus et au développement d'outils servant de support à l'exécution de ces processus (optimisation, planification, aide à la décision etc.),
- Les *modèles de description d'objets* sont utiles à la structuration des données et à la gestion de la collaboration autour des activités de production,
- Les *modèles d'organisation* permettent de représenter les acteurs impliqués dans une activité collective ainsi que les relations qu'ils entretiennent,
- Enfin, nous aborderons les *modèles utilisés pour l'IHM* (Interaction Homme-Machine) dans notre visée d'instrumentation des pratiques collectives par des outils informatiques.

6.2.1. Modèles de « processus métier »

Un processus est un enchaînement d'activités, une « route à suivre dans le but de définir ou de réaliser un produit » [Olle et al. 1992]. Un modèle de processus décrit les tâches à réaliser, la démarche méthodologique à mettre en oeuvre pour atteindre l'objectif souhaité. Il décrit, à un

niveau abstrait, « la façon d'organiser la production du produit : les étapes, les activités qu'elles comprennent, leur ordonnancement, et parfois les critères pour passer d'une étape à une autre » [Rolland 2005].

6.2.1.1. Le « Workflow Reference Model »

Les outils de gestion de flux de tâches que nous avons présenté dans la partie 5.1.4 se basent sur des modèles de processus, décrivant les activités et leurs enchaînements dans une activité donnée.

La Workflow Management Coalition (WfMC) a développé un métamodèle de workflow (Figure 59) permettant de décrire des modèles propres à différents secteurs d'activités [WfMC 1999].

Ce métamodèle permet de définir des modèles de processus (*Workflow Process Definition*). Il est relativement simple afin que les modèles produits s'intègrent de manière efficace dans des modèles organisationnels déjà en place au sein des entreprises (*Resource repository or Organizational Model*).

Ce métamodèle se place plutôt dans la catégorie des modèles « orientés activité ». Un processus est défini par un certain nombre d'activités (*Activity Set*). Elles peuvent être élémentaires (*Atomic Activity*) ou composées de sous-activités (*Sub-Process Definition*). Elles sont ordonnancées par des informations de transition (*Transition Information*), qui peuvent être des données gérées par le workflow (*Workflow Relevant Data*) ou bien des données extérieures (*System and Environmental Data*).

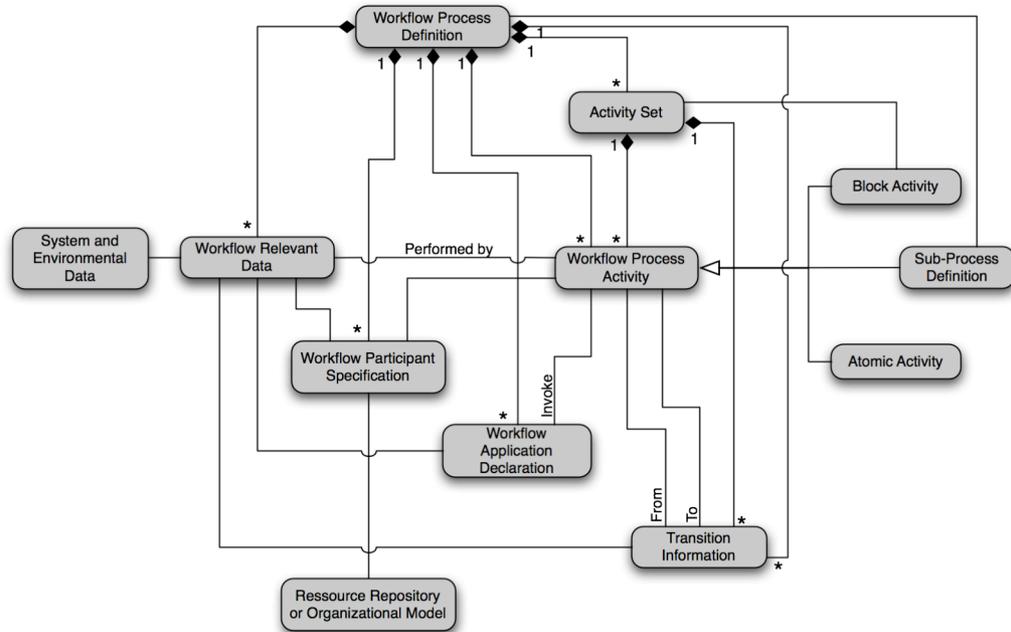


Figure 59 : Métamodèle d'un processus de workflow, par la WfMC

Ce métamodèle simple demeure cependant relativement rigide à l'utilisation. Il est adapté à des organisations stables et suffisamment grandes pour être rentables [Hanser 2003]. De nombreux travaux portent sur l'introduction de « workflows adaptatifs », permettant la malléabilité de la définition du processus durant l'exécution de celui-ci [Benali et al. 2002].

Dans cette optique, les travaux de Cerovsek et Katranuschkov portent sur l'idée de la réutilisation de processus dans le secteur de la construction. Leur hypothèse est que la connaissance à propos des processus peut être enrichie dans l'analyse et la réutilisation de ceux-ci [Cerovsek et Katranuschkov 2006]. Ils introduisent le concept de « modèle de processus actif »⁸⁶, dont l'originalité est de pouvoir être modifié en temps réel lors de l'exécution du processus.

⁸⁶ « Active Process Models (APM) are process reuse models, where *active* means that processes are modeled and executed in a media which can actively in real-time influence process execution »

6.2.1.2. Le méta-modèle SADT

Le métamodèle SADT (Structured Analysis and Design Technique) est essentiellement utilisé dans le domaine des processus industriels. Un modèle SADT représente une image d'un système ou d'un processus que l'on veut appréhender par analyse fonctionnelle descendante. Cela signifie que l'analyse traite le système par niveaux, du général vers le particulier, de l'activité globale (ex. construire un bâtiment) vers des sous-activités (ex. mener le chantier).

SADT modélise deux types d'analyse d'un système :

- Les actigrammes portent sur les activités d'un système, leur enchaînement et les flux de données qui les relient,
- Les datagrammes représentent les données d'un système et les activités qui les modifient.

Les flux considérés sont les flux entrants, les flux sortants, les flux de contrôle ainsi que les mécanismes de support (Figure 60).

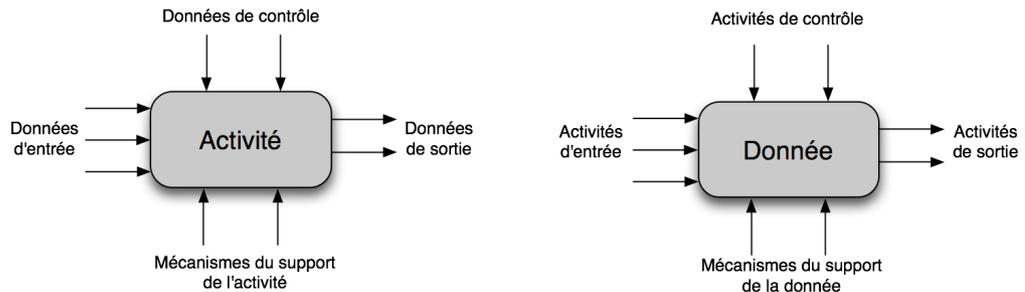


Figure 60 : Le métamodèle d'un diagramme SADT

Il s'agit donc d'un métamodèle « orienté activité ». Une version étendue a d'ailleurs été proposée : E-SADT, prenant en compte les facteurs de *déclenchement* d'une activité ainsi que la *réaction* à une activité (Figure 61).



Figure 61 : Le métamodèle de E-SADT (Extended SADT)

Un exemple de modélisation avec E-SADT a été proposé dans le cadre d'une recherche du Plan Construction et Architecture [Tahon 1997] sur le pilotage simultané des projets dans la construction et l'ingénierie concurrente (voir partie 1.2.2). L'objectif de cette recherche était d'impliquer plus d'acteurs dans la définition du projet en amont de la mise en chantier. La modélisation E-SADT avait pour but de déterminer précisément les activités de chacun et les flux de validation, de production etc. (Figure 62).

En appliquant la méthode E-SADT, l'ensemble du processus doit être planifié en amont de son déroulement et ne laisse pas de place à des activités imprévues ou dont le résultat serait variable. L'objectif recherché dans ce projet de recherche est celui de décrire précisément les activités afin d'impliquer au maximum les différents intervenants. Cependant, nous avons vu que l'anticipation dans l'activité de construction est très difficile. Il semble, néanmoins, qu'un tel modèle du processus soit la seule possibilité pour mettre en place un pilotage et un suivi précis de l'activité du chantier.

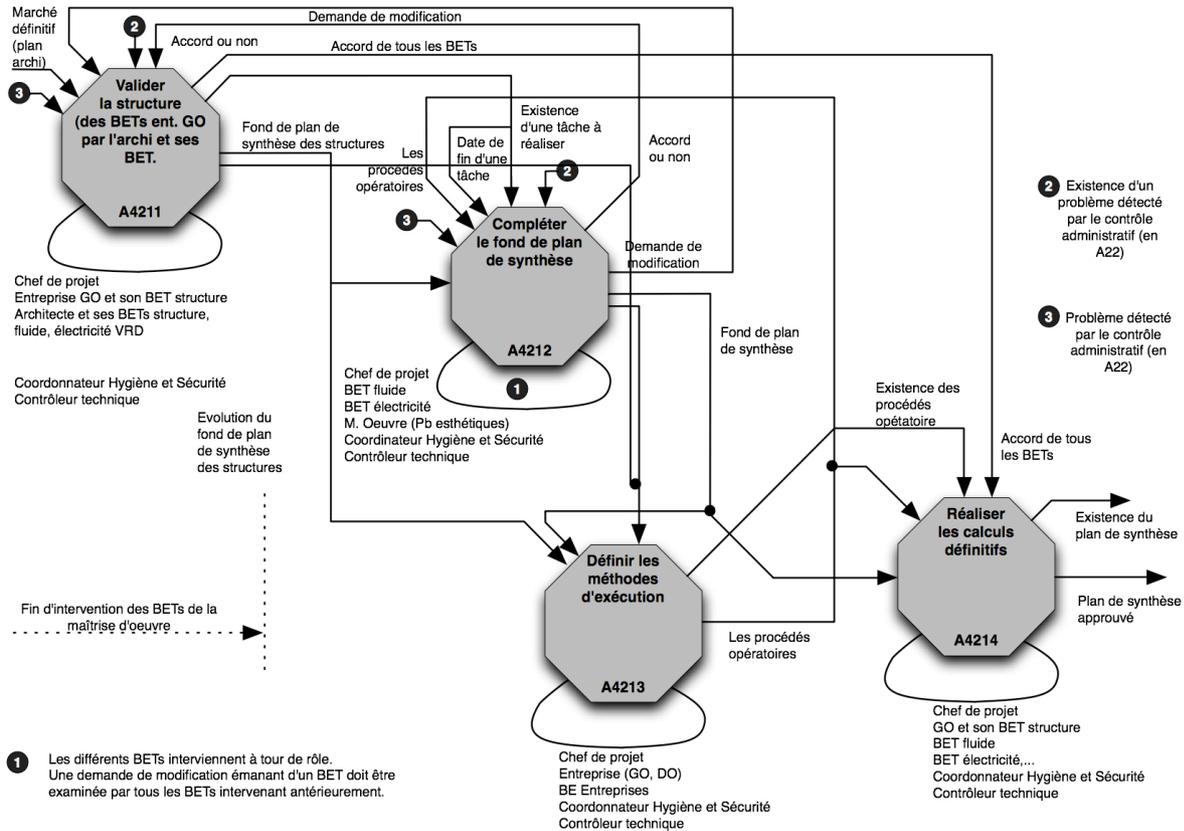


Figure 62 : Un diagramme E-SADT pour l'activité de construction, tiré de [Tahon 1997]

6.2.1.3. Le modèle DARE (Distributed Activities in a Reflexive Environment)

Le projet DARE se focalise sur le support de l'activité collective dans le domaine de l'apprentissage [Bourguin 2000]. Le modèle d'activité proposé dans ce projet vise à permettre aux utilisateurs de paramétrer leur environnement en fonction des besoins précis dans le cadre de leurs tâches. Fortement inspiré de la Théorie de l'Activité, ce modèle s'articule autour des concepts de tâche/sous-tâche, objet, sujet/communauté, outil et rôle. Le projet vise à fournir un environnement intégrateur d'outils. Dans cette optique la modélisation de l'activité permet de définir les outils et vues nécessaires à l'acteur pour accomplir ses tâches.

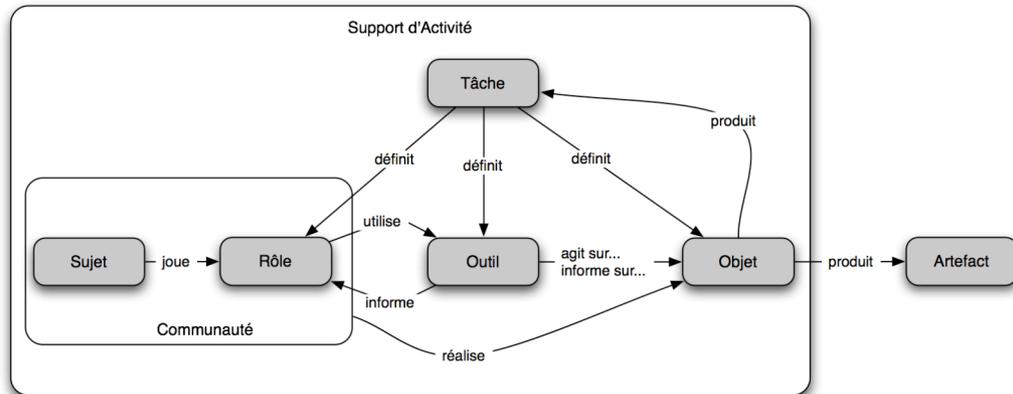


Figure 63 : Métamodèle du Support d'Activité dans le projet DARE

Bourguin insiste sur la place de l'outil dans le support de l'activité collective. Celui-ci « permet et limite la réalisation de l'objet, et informe le sujet, en fonction de son rôle, sur l'état de la réalisation » [Bourguin et Derycke 2005].

L'approche anthropocentrique à l'origine de ce développement insiste sur la nécessité de la malléabilité du système. Le besoin de malléabilité est une réponse aux contraintes et à la rigidité des modèles de processus présentés précédemment (workflows et SADT).

- La malléabilité fonctionnelle a pour objectif de permettre d'adapter l'infrastructure technologique « aux usages envisagés et aux différences inter-individuelles » [Bourguin et Derycke 2005]. Ainsi, chaque projet peut contenir des séquences d'activités distinctes ou rassembler des équipes d'acteurs spécifiques. Les fonctionnalités de l'outil doivent pouvoir être adaptées. De même l'apparition d'une tâche inopinée peut avoir recours à des outils ou des ressources non prévus que l'infrastructure doit permettre d'intégrer,
- La malléabilité organisationnelle permet l'adaptation aux différents contextes organisationnels dans lesquels l'outil va être utilisé. CoolDA, le projet succédant à DARE, vise à instrumenter l'activité collective de développement logiciel, soumise comme le domaine du bâtiment à une variation de la structure organisationnelle.

Derrière le concept de malléabilité dans le support de l'activité, Bourguin propose en réalité des fonctionnalités permettant d'agir sur la structure même de l'outil et du paramétrage d'activités spécifiques.

L'approche par métamodèle permet de définir les fonctionnalités possibles de l'outil au niveau « modèle » (M1), et de laisser l'utilisateur modifier la structure de l'activité en agissant, via une interface, sur ce niveau M1, qui structure le comportement de l'application.

Le métamodèle proposé dans le cadre de ce projet est donc « orienté activité » puisqu'il se base sur la théorie du même nom. Cependant, la prise en compte d'informations contextuelles peut conduire l'utilisateur à modifier le processus tel qu'il a été anticipé (Cf. l'action située). Dans ce sens, il est donc aussi « orienté contexte ». La malléabilité est la possibilité donnée à l'utilisateur de prendre en compte le contexte dans la redéfinition de l'activité.

6.2.1.4. « Unified Software Process Metamodel », USPM

Le métamodèle de processus logiciel unifié (USPM) est un modèle de description de processus créé pour l'activité de développement logiciel. Au cœur de ce modèle, le développement logiciel est vu comme la collaboration en trois entités abstraites (Figure 64) : un *rôle* (porté par un individu) réalisant des opérations (*activités*) sur des entités concrètes et tangibles (les *artéfacts*). Selon les créateurs de ce modèle initial, l'objectif global du processus est de porter un ensemble d'artéfacts à un état défini au départ⁸⁷[Kruchten 2003].

Le Rational Unified Process développé par Rational Software Corporation (division d'IBM) propose un support au processus itératif⁸⁸ de développement logiciel basé sur le métamodèle USPM. Il vise à fournir aux équipes de développeurs un environnement adaptable pour guider les processus collectifs [Jacobson et al. 1999]. Les concepts du métamodèle du RUP [Kruchten 1999] sont très proches de ceux évoqués dans les métamodèles de processus précédents (Figure 64).

⁸⁷ « The overall goal of a process is to bring a set of artifacts to a well-defined state »

⁸⁸ Un processus itératif contient un certain nombre de tâche destinées à être exécutées plusieurs fois, répétitives.

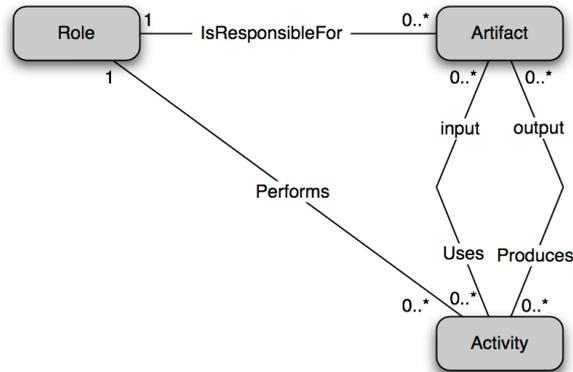


Figure 64 : Les concepts de bases d'USPM

Le métamodèle complet, présenté dans la Figure 65, est centré sur la description du processus (*ProcessDefinitionElement*), décomposé en *phases* et *itérations*. Un rôle (*Role*) est chargé de l'exécution d'une partie du processus, selon la définition du travail (*WorkDefinition*). Une activité utilise des artefacts en entrée et en sortie, ou encore elle change l'état d'un artefact (mettre à jour, raffiner, valider etc.). Enfin, des outils sont associés à la réalisation d'une activité ou à la production d'un artefact.

Nous noterons enfin le concept de « *guidance* » qui a pour utilité de définir des guides pour l'utilisateur (par exemple associer un ensemble d'outils, d'artefacts et d'acteur à un processus).

Le RUP est intégré à la suite d'outils de développement proposée par Rational Software (IBM). Elle met à la disposition des équipes de développement un environnement intégré permettant de construire le processus pour chaque nouveau projet : définir les tâches particulières, choisir les artefacts à produire ou transformer et y associer des outils spécifiques et des rôles exécutants (des acteurs du projet).

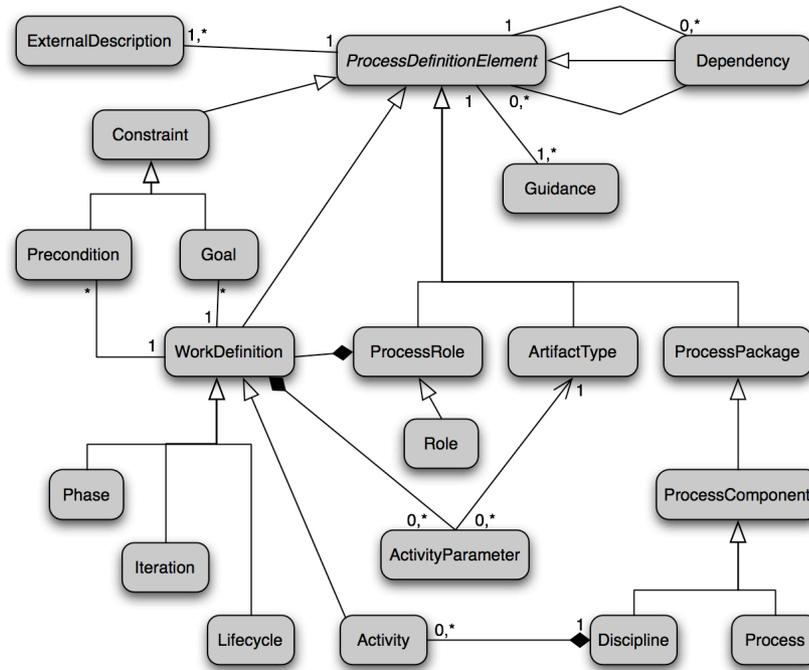


Figure 65 : Le métamodèle du Rational Unified Process

Cet environnement nous intéresse particulièrement pour l'assistance qu'il fournit dans la *mise en place de la coopération*. Cependant, comme les autres métamodèles de processus vus précédemment, excepté DARE, il présente l'inconvénient d'être difficilement malléable durant le déroulement du processus.

6.2.1.5. Synthèse sur la modélisation de l'activité

Cet état de l'art montre que les « processus métiers » sont largement assistés par des modèles dans différents domaines. L'application de ces modèles se fait généralement dans trois types d'activités :

- La *définition des processus* dans un secteur d'activité émergent où les méthodes sont encore inexistantes ou mal définies,
- La *redéfinition des processus* (réingénierie) dans des organisations où la compétitivité devient problématique. Il est alors nécessaire de revoir le déroulement des processus

afin de réduire les temps d'exécution, de réduire les coûts ou encore d'améliorer la qualité du produit,

- Enfin, la *mise en place d'outils d'assistance au déroulement des processus* (comme un Système d'Information, un collecticiel ou un workflow) qui ont pour but d'améliorer la qualité de ces processus.

Il existe deux enjeux importants dans l'application de ces modèles à l'activité de construction dans le domaine du bâtiment :

- La recherche d'un *niveau de granularité adéquat* dans la définition des activités élémentaires garantira l'efficacité du modèle. Dans un domaine où les acteurs ne consacrent que peu de temps aux méthodes de travail, des modèles de processus trop détaillés risquent l'échec,
- La *malléabilité du modèle* doit permettre de faire face aux aléas qui caractérisent l'activité. Il est en effet essentiel de ne pas contraindre l'activité telle qu'elle se réalise par un modèle trop rigide. Les intervenants doivent pouvoir prendre des initiatives à tout instant, et le modèle représentant le processus doit pouvoir en rendre compte.

La modélisation des processus est à la base de la coordination de l'activité collective dans les organisations contemporaines. Elle permet le suivi des tâches ainsi que l'automatisation et la vérification de la conduite des processus (mesure des écarts, indicateurs). Dans cet objectif, elle est couplée de manière plus ou moins explicite à des modèles représentant l'objet en cours de production.

6.2.2. Modèles « produit »

Les processus mis en œuvre dans une activité se réfèrent toujours à l'objectif de cette activité (par analogie, « l'objet » de la Théorie de l'Activité). Lorsque l'activité consiste à produire un objet, qu'il soit physique ou virtuel (service, logiciel), le processus fait référence aux diverses étapes de transformation de ce produit.

La modélisation des activités, et la coordination de celles-ci durant leur exécution, nécessite donc une description du produit tel qu'il est conçu. Un besoin de sémantique apparaît donc afin de faire référence au produit, notamment, dans le modèle du processus.

6.2.2.1. STEP, un standard pour l'échange de données de produit

Le besoin d'un modèle de description de produit s'est d'abord fait ressentir dans le domaine industriel. Les pertes de temps et les coûts liés à l'échange des données « produit » [Brunnermeier et Martin 1999]⁸⁹ entre les divers membres d'une équipe ont conduit l'organisme ISO à définir la norme STEP⁹⁰ (ISO 10303).

En réalité, l'ambition de standard est plus importante que la simple interopérabilité des données. Il vise :

- D'abord à *définir un format neutre de représentation des produits*, interprétable par tous les systèmes informatiques et indépendant du système ayant généré les données,
- À *faciliter l'échange des données* entre les différents membres de l'équipe coopérant autour du produit, en prenant en compte le point de vue de tous les métiers,
- À *favoriser la coopération* entre les acteurs aux différentes étapes du cycle de vie du produit (conception, analyse, fabrication, maintenance, démantèlement).

La Figure 66 propose une vue du modèle du format STEP, permettant de décrire des produits industriels [Ungerer et Buchanan 2002]. Il est exprimé dans le langage EXPRESS [Schenck et Wilson 1994; Wilson 1998].

⁸⁹ L'institut national de standardisation américain estime le coût de l'incompatibilité des données « produit » dans l'industrie manufacturière à 90 billions de dollars.

⁹⁰ STEP, « STandard for the Exchange of Product model data »

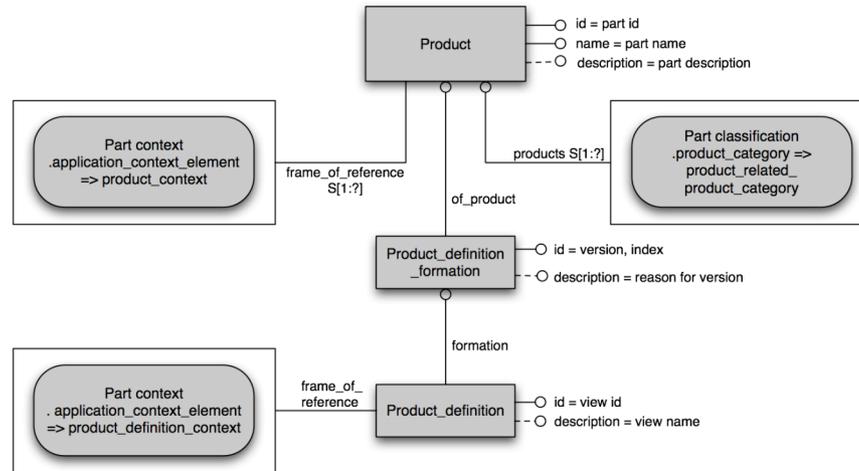


Figure 66 : Extrait du métamodèle du format STEP

Ce modèle focalise sur le produit (*Product*). Il représente les différentes versions du produit (*Product_definition_formation*) et les vues pertinentes à différentes étapes du cycle de vie (*Product_definition* et *product_definition_context*).

Il définit aussi les types de point de vue sur l'objet, spécifiques à chaque métier impliqué (*product_context*). Enfin, il existe un lien avec le processus de production du produit, c'est-à-dire, sa « conception » et ses « modifications » (*product_related_product_category*).

6.2.2.2. IFC, un modèle orienté « objets du bâtiment »

Sur la base du format STEP, l'IAI⁹¹ a développé le format IFC⁹², dédié spécifiquement au secteur du bâtiment. Il a donc pour objectif de standardiser la description des objets du bâtiment et de faciliter l'interopérabilité entre les différents logiciels utilisés dans ce secteur.

La Figure 67 représente l'architecture globale du modèle IFC dans sa version 2x3⁹³.

⁹¹L'IAI (International Alliance for Interoperability) est une alliance américaine fondée en 1995. Elle regroupe la plupart des éditeurs de logiciels pour le domaine AEC. Plus particulièrement, l'initiative BuildingSmart vise à promouvoir l'utilisation du standard d'échange numérique IFC dans les projets de construction. <http://www.iai-international.org>

⁹² « Industry Foundation Classes » aussi dénommé plus récemment « Information For Construction »

⁹³ http://www.iai-international.org/Model/R2x3_final/index.htm

- Les entités communes décrivant des ressources non spécifiques au secteur de la construction sont décrites dans la partie inférieure du schéma (couche des entités communes). On retrouve en grande partie les concepts généralistes de STEP. Par exemple *ActorResource* contient toutes les informations sur une organisation (nom, adresse, etc.),
- La couche centrale contient le noyau (*Kernel*) et des extensions particulières. Elle représente les entités spécifiques du secteur du bâtiment partagées par tous les métiers qui exploiteront ce format,
- La couche des extensions métiers (partie supérieure) contient les entités propres à un métier particulier. Par exemple, dans le domaine architectural (*ArchitecturalDomain*), on retrouve l'activité particulière de programmation spatiale (*IfcSpaceProgram*). On retrouve là l'idée de point de vue sur le modèle. Dans ce cas, il est guidé par le contexte de l'acteur (son rôle dans l'activité).

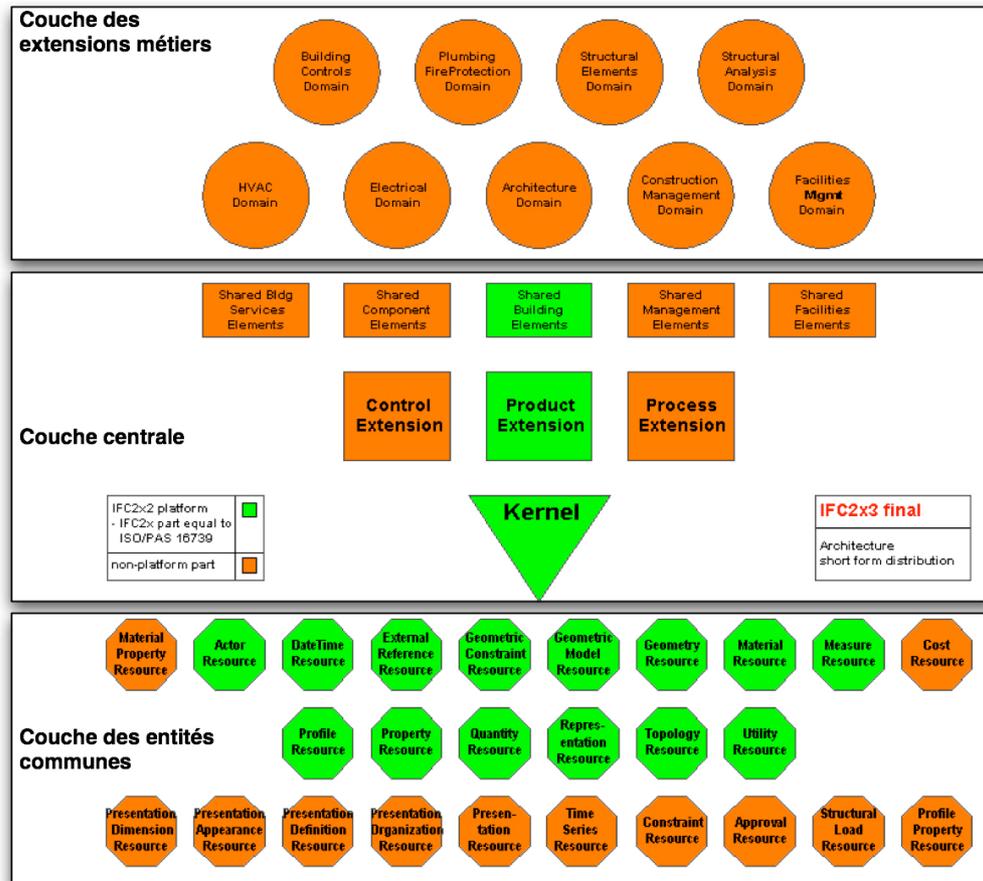


Figure 67 : L'architecture globale du format IFC 2x3

On retrouve dans le modèle IFC une spécialisation du modèle STEP décrit ci-dessus. Le concept de produit est spécialisé pour représenter les spécificités des objets dans le secteur AEC (Figure 68) :

- Une classe spécifique décrit les *ouvrages* du bâtiment (*IfcBuildingElement*). On y trouve les sous-classes « mur » (*IfcWall*), « poutre » (*IfcBeam*), « colonne » (*IfcColumn*), « fenêtre » (*IfcWindow*), « porte » (*IfcDoor*),

- La famille des « éléments » (*IfcElement*) contient d'autres entités plus générales comme le projet (*IfcProject*), les espaces (*IfcSpace*), le site (*IfcSite*),
- Le produit (*IfcProduct*) désigne tout objet ou groupe d'objet a un sens encore plus général. On se rapproche du produit au sens industriel, caractérisé par sa représentation géométrique (*IfcObjectPlacement*) et son contexte spatial,
- L'objet est un concept générique auquel on peut associer des bibliothèques, des documents ou tout type de propriétés,
- La racine (*IfcRoot*) est le concept le plus « haut » décrivant tout « chose » sémantiquement décrite dans le modèle. Il représente les objets physiques tangibles (ex. mur), les objets physique « existants » (ex. espace), ainsi que des objets plus conceptuels (grille structurelle de conception par exemple). Il comprend aussi les processus, les tâches, les contrôles, les coûts etc.

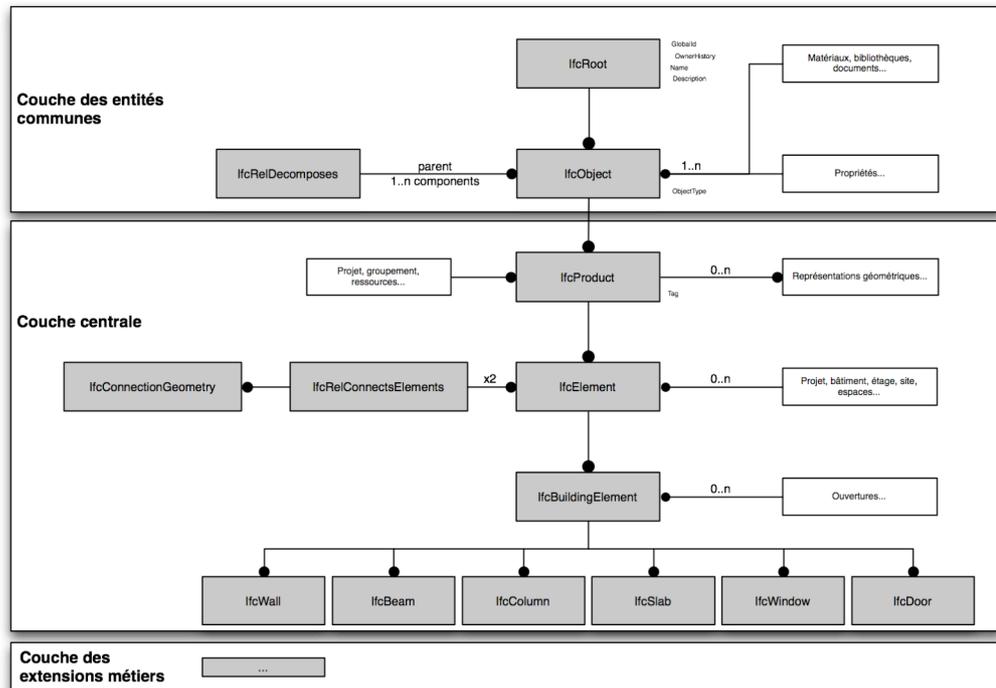


Figure 68 : Les objets de la construction dans le modèle IFC

La particularité de ce « modèle objet » est de contenir des fonctionnalités liées à l'exécution des processus (*ProcessExtension*). Elle permet, par exemple, de gérer la planification des tâches de construction liées aux entités du modèle (*IfcWorkSchedule*, *IfcTask*). Ces fonctionnalités « orientées activité » sont cependant peu implémentées dans les outils commerciaux utilisant le format IFC.

6.2.3. Modèles d'organisation

Pour compléter ce tour d'horizon des modèles gravitant autour du sujet de la coordination de l'activité collective et utilisés dans les outils d'assistance, nous abordons maintenant les modèles d'organisation.

6.2.3.1. Modèles issus des sciences de l'organisation

Nous avons décrit une typologie décrivant la structure des organisations dans le troisième chapitre de ce mémoire (théorie de Mintzberg). Cette classification distingue les « parties de l'organisation » : sommet stratégique, technostucture, ligne hiérarchique, fonctions de support logistique et centre opérationnel. Elle décrit aussi les rapports qu'elles entretiennent (ex. le sommet stratégique supervise le centre opérationnel).

À partir de cette typologie, nous avons vu que Mintzberg lui-même qualifiait différentes configurations organisationnelles. Pour cela, il donne plus ou moins d'importance aux différentes parties et précise la nature de leurs relations.

Dans notre approche par les modèles, nous considérons que la typologie générale est un métamodèle de l'organisation, et que les différentes configurations structurelles sont des modèles conformes à ce métamodèle.

Bien sûr, ces modèles et métamodèles de l'organisation sont beaucoup moins formels que ceux que nous avons présentés précédemment pour les processus et les produits. Dans le domaine des sciences sociales, ils permettent essentiellement d'exprimer et de discuter une théorie ou un concept, mais pas de l'automatiser comme on peut le faire en informatique.

6.2.3.2. Le modèle d'organisation dans USPM

Des modèles de l'organisation sont présents dans les outils d'assistance aux activités coopératives. En reprenant le modèle USPM implémenté dans RUP, nous pouvons en extraire une partie concernant directement l'organisation (Figure 69).

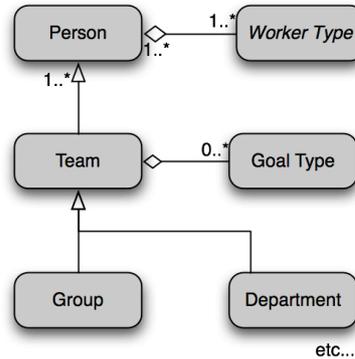


Figure 69 : Modèle de l'organisation dans le RUP

On y retrouve les concepts d'équipe (*Team*) et d'acteur (*Person*) du projet, et à l'échelle de l'entreprise de groupe (*Group*) et département (*Department*).

6.2.4. Modèles pour la construction d'interfaces de visualisation

L'approche par les modèles que nous décrivons dans ce chapitre s'intègre enfin dans une réflexion plus technique sur le développement d'outils pour l'assistance à la coopération.

6.2.4.1. Les modèles UML

UML⁹⁴ est un langage graphique de modélisation de données et de traitement utilisé dans le domaine de l'ingénierie logicielle. Il s'agit maintenant d'un standard défini par l'OMG dans le cadre de l'architecture logicielle définie dans le métamodèle du MOF⁹⁵.

⁹⁴ Unified Modeling Language (Cf. §6.1.2.1)

⁹⁵ Meta Object Facility (Cf. §6.1.2.1)

L'objectif d'UML est de modéliser un développement logiciel en le décomposant en un certain nombre de vues, qui représentent chacune une manière d'aborder le système (un point de vue) : organisationnel, dynamique, temporel, architectural ou encore logique.

Ces vues sont concrétisées dans UML au travers d'un certain nombre de diagrammes graphiques.

Ces diagrammes se classent en trois catégories :

- Les diagrammes structurels : diagrammes de classes, d'objets, de composants, de déploiement, des paquetages et de structures composites,
- Les diagrammes comportementaux : diagrammes des cas d'utilisation, états-transitions, d'activité,
- Les diagrammes d'interaction : diagrammes de séquence, de communication, global d'interaction et de temps.

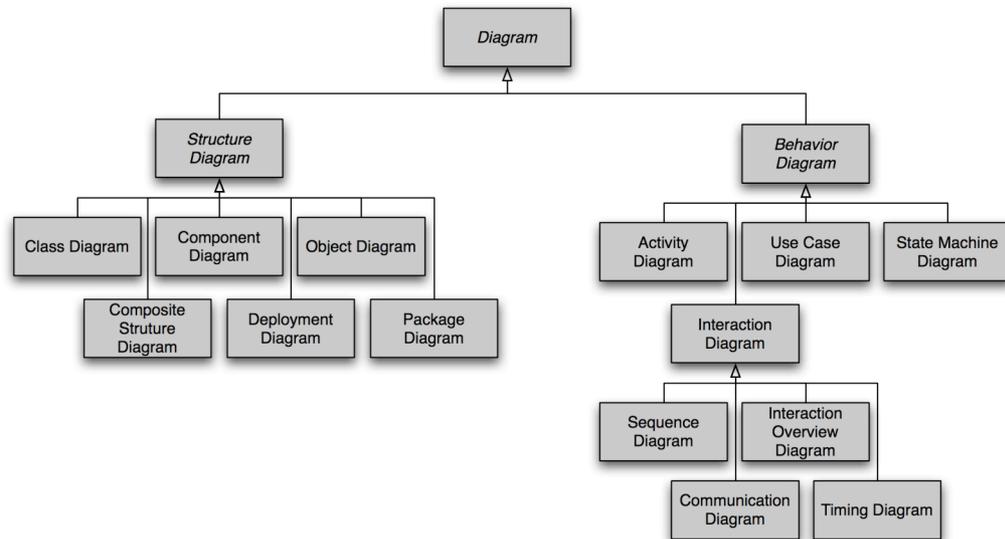


Figure 70 : Métamodèle des diagrammes UML

Le métamodèle des diagrammes UML représente les liens existant entre les différents diagrammes (Figure 70). L'activité consistant à concevoir ou représenter un système logiciel commence par le choix d'un certain nombre de diagrammes utiles, qui seront conformes à ce métamodèle.

6.2.4.2. Ingénierie Dirigée par les Modèles pour l'Interaction Homme-Machine

Une branche naissante de la discipline IDM s'intéresse au potentiel des modèles pour la conception des Interfaces Homme-Machine (IHM)⁹⁶. De nombreux modèles ont été proposés, pour répondre à différentes perspectives sur l'IHM, envisagées par les chercheurs : modèles utilisateur, modèles de tâches, modèles de dialogue, modèles de présentation, architecture logicielle etc. [Bastide et al. 2006]. Cependant, leur multiplication, dans d'innombrables activités de conception d'IHM, demeure pour l'instant incontrôlée, car aucun processus d'unification de leurs métamodèles n'a été entrepris.

Par ailleurs, le pouvoir d'unification des modèles [Bézivin 2005], présenté initialement dans le domaine du génie logiciel pour ses capacités opérationnelles de génération de code, semble trouver un impact réel dans la communauté IHM [Bull et Favre 2005; Sottet et al. 2006].

La proposition de fond consiste à mettre en correspondance des métamodèles pour la conception d'une IHM. Au-delà de la modélisation habituelle du système ou des données, l'approche vise à intégrer le contexte d'usage (triplet utilisateur, plateforme, environnement) à travers sa métamodélisation explicite pour la réalisation d'interfaces plastiques⁹⁷[Thevenin 2001].

Une ensemble de modèles pour l'interaction homme-machine a été identifié dans plusieurs travaux [Sottet et al. 2005; Vanderdonckt 2005] :

- Le modèle des *concepts* décrit les concepts manipulés dans le domaine spécifique pour lequel est conçue l'IHM,
- Le modèle des *tâches* décrit les tâches que l'utilisateur peut réaliser grâce à l'IHM en termes d'objectifs et de procédures. En amont de la programmation, un analyste décrit l'activité de l'utilisateur par un arbre de tâches qui décompose les tâches en sous-tâches [Lucquiaud 2005]. Différents modèles ont été proposés jusqu'ici : « ConcurrTaskTree » (CTT), « DIANE+ » [Tarby et Barthet 2001], « MAD » [Baron et al. 2006] etc.,
- Le modèle des *concepts-tâches* lie les deux modèles précédents afin de définir quels concepts du domaine sont manipulés par les tâches utilisateur,

⁹⁶ Le premier atelier francophone sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles et l'Interaction Homme-Machine s'est déroulé en marge de la conférence IHM 2006, à Montréal, le 18 avril 2006.

<http://www.ihm2006.org/atelier.html>

⁹⁷ La plasticité des interfaces a pour but de répondre à la diversification des terminaux informatiques utilisés. Elle s'oppose à des développements d'IHM spécifiques à certains types d'appareils en intégrant des données sur la plateforme, l'utilisateur et son environnement.

- Le modèle des *espaces de travail* décrit les zones d'interaction permettant la réalisation des tâches de l'utilisateur. Si l'espace est composé de vues multiples (multi-fenêtres), nous parlerons alors d'*arrangement de vues*,
- Le modèle des *interacteurs*, que nous appellerons dans la suite de ce document « modèle de *visualisation* », détermine la nature de la représentation utilisée par une vue. Il décrit les éléments graphiques de la vue ainsi que les interactions que chacun de ces éléments peut générer (bouton, lien cliquable etc.),
- Le modèle des *programmes* décrit la technologie utilisée pour construire l'IHM et gérer les interactions (php, java, javascript, html etc.), ainsi que les bibliothèques spécifiques qui sont utilisées (swing, ajax etc.).

L'objectif de l'approche IDM pour l'interaction homme-machine est de fédérer ces modèles isolés qui servent la conception des interfaces.

- La première étape est de rendre chacun de ces modèles explicite et productif, en définissant le métamodèle auquel il se conforme. Cette première étape permettra de valider les modèles ainsi proposés,
- Ensuite, il s'agit d'établir les correspondances entre les modèles afin d'automatiser la génération de l'IHM et de maîtriser son comportement durant l'utilisation. Par exemple, la relation entre modèle de visualisation et modèle de données permet de récupérer le contenu qui va être visualisé dans l'IHM. Ces relations seront définies dans des *modèles de transformations* de modèles, concept-clef de l'IDM (Cf. §6.1.2.2).

6.2.5. Synthèse des modèles pour les outils d'assistance à la coordination

Notre synthèse sur cette approche par les modèles porte sur la nature des modèles utilisés dans différents outils d'assistance à la coordination. Nous montrerons aussi que, dans le développement de nouveaux outils, les choix de modèles peuvent être faits en fonction de la configuration organisationnelle dans laquelle s'insère cet outil (Cf. Tableau 4, partie 5.3).

Notre approche par les modèles est intimement liée au caractère interdisciplinaire de cette thèse. En effet, le recul conceptuel qu'elle autorise permet le dialogue avec des chercheurs et des spécialistes de domaines différents.

Nous nous plaçons ici à l'intersection entre les domaines de la construction et de l'informatique, tout en intégrant des théories et des modèles issus de la psychologie cognitive, de l'ergonomie, de la science des organisations ou encore du management.

Ce chapitre nous a permis d'évoquer un certain nombre de points fondamentaux pour décrire notre travail.

D'abord, l'IDM nous fournit un cadre méthodologique pour la définition de modèles, basé sur les concepts de système, modèle, métamodèle, et des relations entre ces concepts (*représente, conforme à, transformation*).

Ensuite, nous avons vu que plusieurs types de modèles sont à considérer pour la représentation du domaine de la construction et pour le développement de nouvelles applications :

- Les *modèles de processus*, qui décrivent le déroulement d'une activité collective, sont essentiels pour le développement d'outils assistant la coordination,
- Les *modèles de produit*, ou modèles « objet », sont généralement liés aux processus qui les produisent ou les transforment. Dans le domaine AEC, nous soulignons évidemment l'émergence du modèle IFC pour la description des objets architecturaux,
- Les *modèles d'organisations* décrivent les groupes, les acteurs qui les composent et les relations qu'ils entretiennent. Nous focalisons sur l'aspect dynamique de certains de ces modèles, très adaptés à l'activité de construction,
- Enfin, nous avons abordé les *modèles pour le développement d'applications interactives*, en distinguant les modèles pour la conception de ces applications (comme UML) des modèles utiles à la construction des IHM.

Ce tour d'horizon des modèles nous permet maintenant d'affiner la compréhension des outils d'assistance à la coordination que nous avons débutée au Chapitre 5.

Le Tableau 5 propose une description des principaux outils évoqués précédemment, et décrit les modèles de processus, d'« objet » et d'organisation sur lesquels ils se basent.

Nous qualifions ces modèles utilisés dans les outils de la manière suivante :

- Un modèle de processus peut être « simple », par exemple les tâches sont représentées de manière indépendante, « intermédiaire » ou « complet ». Dans ce dernier cas le processus est finement modélisé : tâches, enchaînements et conditions,

- L’outil de coopération peut être mis en relation avec le modèle « objet », afin de faire référence à la sémantique de l’objet conçu,
- Enfin, l’outil d’assistance à la coopération intègre toujours une représentation de l’organisation dans laquelle il s’insère. Là encore, selon sa finalité, le niveau de description de l’organisation ne sera pas le même : « simple » (par exemple, les acteurs-ressources dans un outil de planification) à « détaillé » (par exemple, pour gérer des workflows administratifs dans lesquels le rapport hiérarchique entre les individus est pris en compte).

Tous ces modèles font l’objet de développements variés dans différents domaines. Certains sont spécifiques à des secteurs d’activités (ex. modèle IFC) alors que d’autres sont plus génériques (modèles de workflows). Dans un développement d’outil de coopération, il est nécessaire de réfléchir au problème suivant : doit-on re-développer un modèle pour tel ou tel aspect de l’application ? Ou bien ne pourrait-on pas utiliser un modèle existant ?

Considérant que le contexte de coopération (acteurs, activités, documents, objets et outils, Cf. §4.2) est multidimensionnel, et focalise sur les liens entre ses entités, nous proposons maintenant de décrire un métamodèle du contexte de coopération, mettant en relation ces concepts. Nous verrons que, selon le besoin, ce métamodèle décrit précisément le contexte (ex. niveaux de granularité d’une activité) ou fait simplement référence à un modèle spécifique (référence au modèle IFC).

Outil	Type d'organisation	Modèles et métamodèles		
		Processus	Objet	Organisation
Outil de planification de tâches	Hiérarchique	« Simple » : Enchaînement de tâches et chemin critique	Lien possible avec le modèle objet (tâche-ouvrage)	« Simple » Acteur-ressource
Outil d'assistance au compte-rendu de chantier	Hiérarchique Transversale	« Simple » : lié aux tâches planifiées ci-dessus (ex. DARE)	Lien possible avec le modèle objet (remarque-ouvrage)	« Simple » Acteur-source et acteur-destinataire d'une remarque
CAO 4D	Hiérarchique Transversale	« Simple » : Enchaînement de tâches et chemin critique	Modèle objet complet (ex. IFC)	« Simple » Acteur-ressource
Tableau de Bord du chantier	Hiérarchique Transversale	« Complet » : Modèle complet des activités et flux (ex. E-SADT) Si non, pas de mesure possible	Lien possible avec le modèle objet (indicateur-ouvrage)	« Détaillé » La mesure peut concerner tous les acteurs : besoin d'un modèle détaillé
Gestion électronique de formulaires	Hiérarchique Transversale	« orienté flux de documents » (Ex. Workflow documentaire)	Néant	« Simple » Acteur responsable
Plateforme de gestion documentaire	Hiérarchique	« orienté flux de documents » (Ex. Workflow documentaire)	Lien possible avec le modèle objet (document-ouvrage)	« Intermédiaire » Gestion des droits (Lecture/Ecriture, Validation etc.)
Plateforme de gestion de tâches	Hiérarchique	« Complet » ou « intermédiaire » : Modèle complet des	Lien possible avec le modèle objet (tâche-ouvrage)	« Détaillé » Besoin d'attribuer des tâches en

		activités et flux (ESADT, DARE)		fonction des acteurs etc.
Graphe relationnel Bat'Map	Adhocratique	« Simple »	Lien possible avec le modèle objet (noeud- ouvrage)	« Simple »
Mat'Graph	Adhocratique	« Simple »	Lien possible avec le modèle objet (courrier concerne ouvrage)	« Simple »
Interface de multi- visualisation	Adhocratique	« Simple »	Lien avec le modèle objet (dispositif d'accès à l'information)	« Simple »

Tableau 5 : Modèles pour le développement d'outil d'assistance à la coordination

6.3. Propositions

L'approche par les modèles que nous décrivons dans ce chapitre doit être perçue dans une dynamique de recherche plus large que ce travail de thèse.

D'abord, la modélisation des ouvrages architecturaux est une problématique abordée dans les laboratoires de recherche depuis l'introduction de l'informatique spécifique pour l'architecture. L'organisation des connaissances liées aux ouvrages du bâtiment a d'ailleurs fait l'objet de recherches antérieures au sein du MAP-CRAI [Bignon 2002; Sahnouni 1999].

Ensuite, le thème de la coopération entre acteurs en phase de conception des bâtiments a conduit à la proposition d'un métamodèle de coopération décrivant les entités en jeu dans une activité collective et les relations qu'elles entretiennent.

Nous décrivons ici ce métamodèle, son évolution et les modifications que nous proposons de lui apporter afin de représenter :

- Un modèle spécifique représentant le contexte d'un chantier de construction,
- Les « outils-logiciels » d'assistance à la coopération en phase de construction.

Nous verrons ensuite l'infrastructure de modèles que nous proposons afin de construire les vues du contexte qui sont associées aux différents outils.

6.3.1. Contribution au développement d'un méta-modèle de coopération « orienté relation »

La proposition formulée initialement pour modéliser l'activité collective s'appuie sur un ensemble d'entités de base que l'on retrouve dans de nombreux outils de coopération actuels : des *acteurs* sont impliqués dans des *activités* et manipulent des *documents*. Ces entités sont à la base des modèles de la plupart des collecticiels disponibles.

Les travaux menés au CRAI se sont focalisés sur les activités de conception, et plus particulièrement de conception architecturale, qui constituent un contexte particulier de coopération basé sur des relations de nature variable entre acteurs (hiérarchie, ajustement mutuel), activités (interdépendantes ou non) et documents. Il en va d'ailleurs de même en phase chantier comme nous l'avons vu précédemment. Le modèle de coopération proposé se centre donc sur les relations entre les acteurs, les activités et les documents dans un contexte coopératif.

La réalisation de ce modèle s'est faite dans l'architecture multi-niveaux du MOF. Ce choix se justifie de la manière suivante :

- La distinction entre les niveaux de modélisation (du plus général au plus spécialisé) est d'abord garante d'une meilleure *lisibilité du modèle*,
- *L'interopérabilité des applications* est facilitée par l'adoption de métamodèles standards. Ainsi, comme défini dans le standard MDA, des modèles définis dans l'architecture MOF peuvent être facilement convertis à l'aide de modèles de transformations reposant sur le MOF QVT. Dans le cas contraire, où chaque application importe ou exporte des données dans un format propriétaire, la transformation ne peut se faire que par le développement d'interpréteurs spécifiques,
- Enfin, dans le cadre des propositions d'outils d'assistance à la coordination, l'adoption de cette architecture permet de définir un modèle de l'application (M1) conforme au métamodèle de coopération (M2). Ainsi, on peut fournir à l'utilisateur final un moyen de *modifier le modèle de l'application* pour que son fonctionnement soit plus proche de

la réalité de l'activité en cours, tout en respectant les règles de base d'une coopération énoncées dans le métamodèle⁹⁸.

6.3.1.1. Travaux antérieurs

Le métamodèle original proposé par Gilles Halin [Halin 2004] et Damien Hanser [Hanser 2003] se compose de trois entités principales : l'acteur, l'activité et le document (Figure 71). Nous ne les présenterons que succinctement ici afin d'y faire référence par la suite⁹⁹.

- « *L'activité* » est le concept central du modèle. On distingue plusieurs niveaux de granularité dans la définition d'une activité : projet, phase et tâche. L'exploitation dans une activité collective de ces différents niveaux de définition est hautement liée à la nature explicite ou implicite des interactions entre les membres. Les activités peuvent avoir des objectifs différents : coordination, production ou synthèse. Notons que des modèles spécifiques se bornent à décrire l'activité, comme les modèles de processus que nous avons évoqués dans la partie 6.2.1. La classe « activité » permet de les instancier,
- L'entité « *acteur* » fait référence à « l'acteur simple », membre participant à l'activité, comme au « groupe d'acteurs », entreprise ou organisation impliquée dans l'activité. Au niveau individuel l'acteur se caractérise par ses compétences, son métier ou ses habitudes de travail ainsi que par la place qu'il occupe au sein de l'organisation à laquelle il appartient (l'entreprise). L'organisation elle-même se caractérise par sa structuration, les règles qu'elle établit dans son fonctionnement ou encore son statut juridique. Mintzberg propose un modèle organisationnel spécifique qui représente les relations existantes entre les parties de l'organisation (Cf. partie 3.2.3), et qui pourrait être décrit à l'aide de ce métamodèle,
- Le « *document* » est un artefact lié à l'activité, dont la production est généralement décrite dans des contrats. Un « groupe de document » (ou dossier) peut rassembler

⁹⁸ Le collecticiel Bat'Group développé au CRAI se focalise sur l'adaptabilité de la plateforme aux situations coopératives. L'administrateur d'un projet peut ainsi modifier l'organisation des phases et des tâches par « types de projet », tout comme les documents à fournir et les acteurs impliqués.

L'hypergraphe relationnel Bat'Map permet de saisir de nouvelles entités dans un contexte de coopération (nouveaux acteurs, nouveaux documents, requêtes etc.) directement en créant un nœud dans le graphe à partir d'un nœud existant. La création d'un nœud au niveau M0 est contrainte par le modèle M1 et le métamodèle M2 qui définissent les relations possibles entre une entité existante et une nouvelle entité.

⁹⁹ Une description détaillée de ces trois entités et de leurs instances au niveau M1 a été réalisée dans le mémoire de thèse de Damien Hanser et la HDR de Gilles Halin.

plusieurs « documents simples ». La gestion des documents d'une activité se fait à travers des règles de nommage des fichiers ainsi que par le suivi des validations et des versions. Des modèles spécifiques sont consacrés à la gestion documentaire (workflows documentaires, plateformes de gestion de documents).

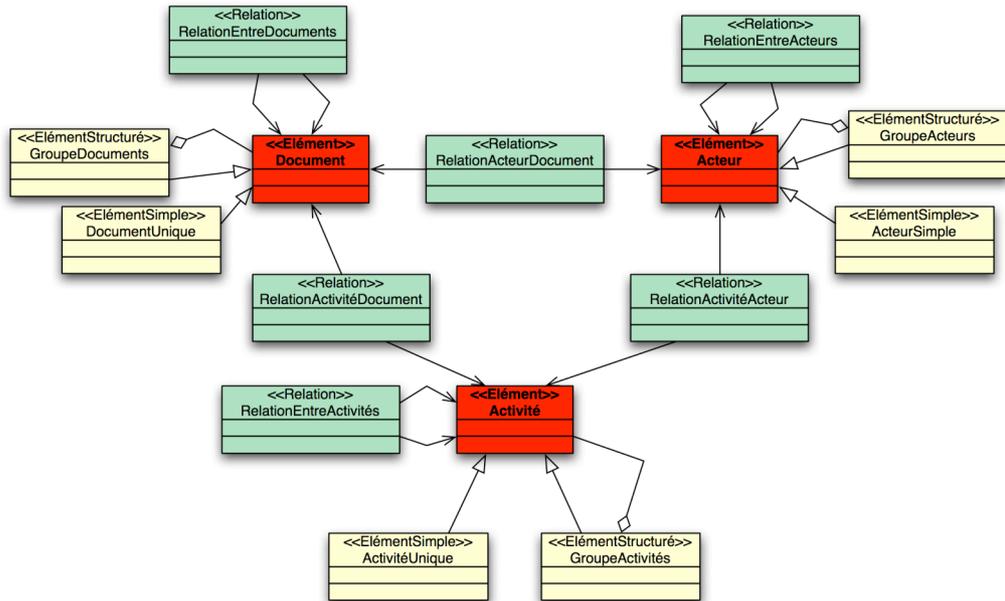


Figure 71 : Extrait du métamodèle de coopération dans sa forme originale

Les relations entre les trois entités de base sont donc essentielles dans la proposition de ce métamodèle relationnel. Une relation est un type de lien existant entre deux éléments du modèle.

- Les relations entre activités consistent à organiser le déroulement d'un processus. Elles sont donc de l'ordre de la planification,
- Les relations entre acteurs et activités sont déterminantes dans la coopération. Elles représentent la manière dont les acteurs sont impliqués dans des activités en fonction de leur rôle. On distingue le rôle organisationnel (la « place » de l'individu dans l'organisation), du rôle opérationnel dans l'activité qui va directement influencer son action,

- Les relations entre acteurs et documents sont proches de celles qui sont utilisées dans l'édition : Supervise, Produit, Commente, Consulte, Corrige, Diffuse. Elles peuvent être décrites dans des workflows spécifiques,
- Les relations entre activités et documents sont relatives à la production d'information : Génère, Utilise,
- Les relations entre acteurs dépendent de la structure organisationnelle (Cf. typologie de Mintzberg) et de la répartition des rôles entre les membres : Dirige, Supervise, Collabore,
- Les relations entre documents sont liées à la gestion de version,

La problématique de la représentation sémantique des ouvrages, liée au développement de l'utilisation de maquettes numériques dans le domaine du bâtiment, a conduit à l'intégration d'un quatrième concept dans le métamodèle de coopération : « l'objet » [Bouattour 2005]. Cette modification du modèle trouve son origine dans la volonté de lier les entités de base de la coopération à la sémantique des objets sur lesquelles elle se focalise¹⁰⁰. Dans une activité spécifique de construction, « l'objet » pourra être un « ouvrage », un « groupe d'ouvrage » ou encore un « espace » (Figure 72).

L'objet peut donc être simple ou composé d'autres objets. Nous verrons que la sémantique propre au domaine du bâtiment nous conduit à distinguer les ouvrages simples des ouvrages composés dans la réalisation d'un modèle M1 conforme à ce métamodèle, notamment en fonction du besoin de détail dans la modélisation et dans la représentation. Des propriétés diverses peuvent être attachées à ces objets : géométrie, propriétés physiques, matériaux, coûts etc.

Le modèle IFC, ou d'autres modèles « objet » pour la construction, permettent déjà de représenter ces caractéristiques liées aux ouvrages du bâtiment. Il nous semble plus fondamental de nous intéresser aux relations de l'objet avec les autres entités du métamodèle :

- Les relations entre objets et documents permettent par exemple de référencer les documents dans lesquels sont décrits les objets. À l'inverse ils permettent de caractériser

¹⁰⁰ Levons une ambiguïté récurrente sur ce concept. « L'objet » n'est pas vu dans cette proposition comme l'objectif de l'activité, mais plutôt comme l'entité (virtuelle ou matérielle) que l'activité contribue à définir ou à modifier. Nous ne sommes pas non plus dans la problématique des langages « orientés objet » dans le domaine de la programmation informatique.

l'objet dont traite un document : par exemple un point du compte rendu de chantier traite d'un problème sur un ouvrage spécifique,

- Les relations entre objets et acteurs permettent de déterminer qui conçoit ou réalise un objet particulier,
- Les relations entre objets et activités déterminent les tâches dans lesquelles sont conçus ou réalisés les objets (planification des tâches de construction des ouvrages par exemple).

Ces relations entre les « objets » et le contexte de coopération dans sa globalité ne sont que partielles dans le modèle IFC à l'heure actuelle [Bouattour 2005], d'où l'intérêt de l'intégrer à ce métamodèle.

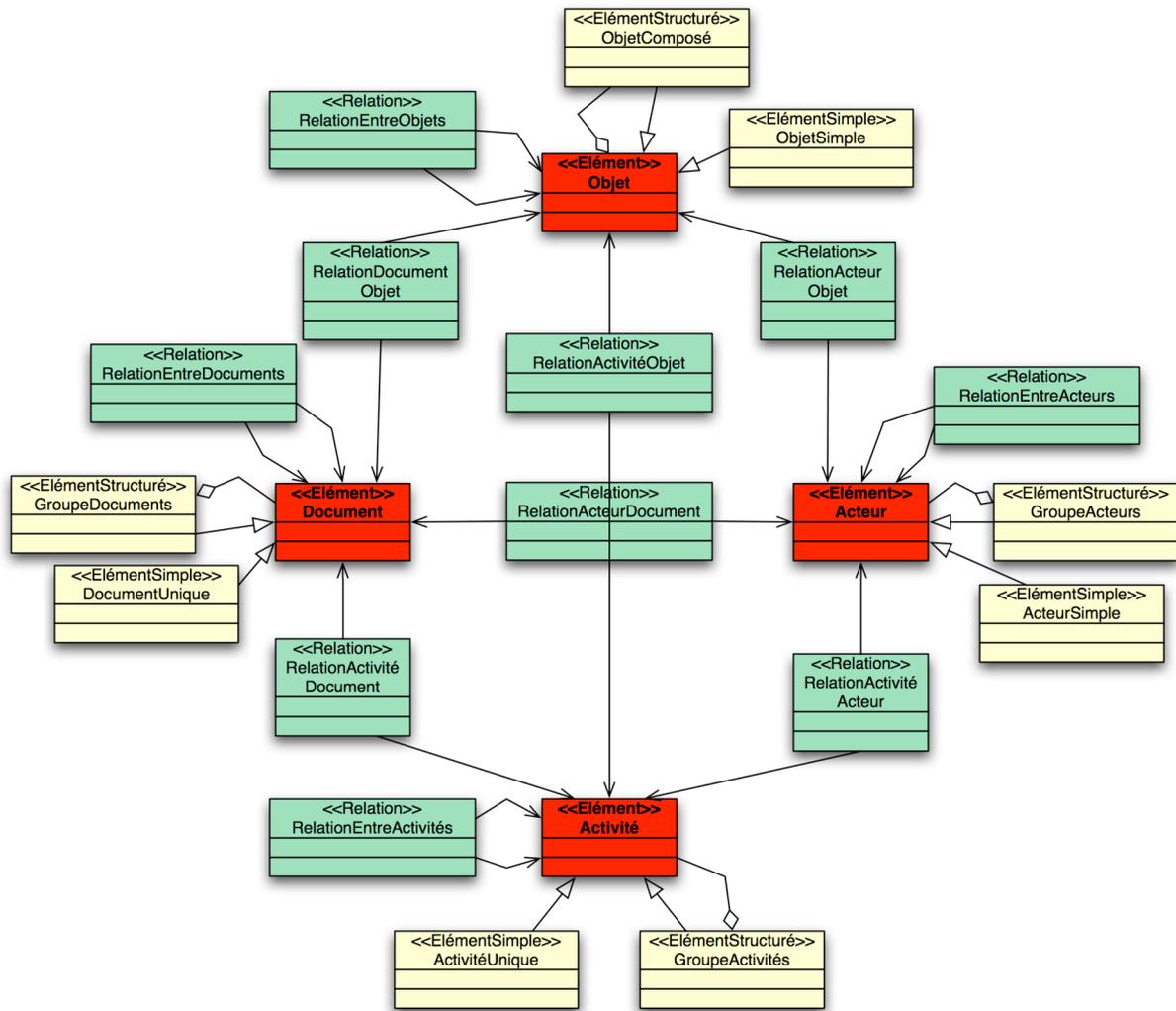


Figure 72 : Le concept "d'objet" dans le métamodèle

6.3.1.2. Le concept d'artéfact

Notre problématique sur les outils d'assistance à la coordination en phase de construction nous a conduit à quelques modifications de ce métamodèle.

D'abord, dans plusieurs domaines dans lesquels la coopération existe, le concept d'objet renvoie à plusieurs acceptions : en informatique, il s'agira du logiciel et même du type de langage de programmation (« orienté objet »). Dans l'industrie, l'objet peut désigner l'objet mécanique par exemple, ou de manière générale, le « produit final ».

Dans le domaine de l'architecture, il désigne les ouvrages et les espaces qui composent le bâtiment.

Nous avons pu constater que ce concept placé au rang des trois autres (activité, document et acteur) portait à confusion, notamment dans les différentes communautés de recherche auxquelles nous avons présenté notre métamodèle (informaticiens, ingénieurs, architectes).

Vue la proximité des concepts, et de leurs relations avec les autres entités, nous proposons de regrouper les « documents » et les « objets » sous une catégorie supérieure que nous nommons « artéfact » (Figure 75). Au sens de la théorie de l'activité, l'artéfact est le médiateur entre le sujet et « l'objet » (au sens d'objectif de l'activité). Il peut être matériel (un document) ou immatériel (une pensée). En ce sens, il permet donc de décrire à la fois des « objets » (conçus ou réalisés), des « documents » ou encore des « modèles » (dans le domaine du génie logiciel, par exemple les diagrammes UML) (Figure 73).

- Les relations entre artéfacts et acteurs consistent à gérer la production ou la modification de ces artéfacts,
- Les relations entre artéfacts et activités correspondent à la planification de la conception ou de la réalisation d'artéfacts.

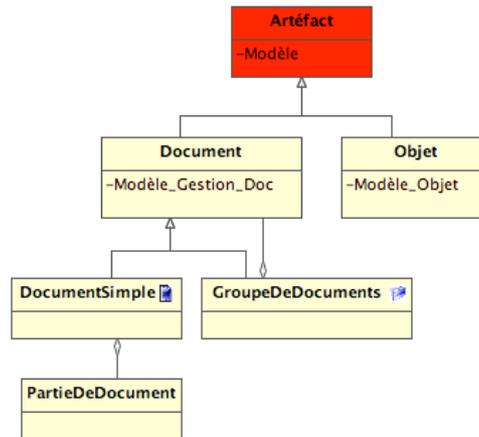


Figure 73 : L'artéfact dans le métamodèle

L'objet dans cet extrait peut faire référence à des modèles spécifiques le décrivant (comme STEP ou IFC). Nous soulignons que, dans un modèle spécifique au domaine de la construction, on trouvera les concepts importants « d'espace » et « d'ouvrage », conformes au méta-concept « objet ».

6.3.1.3. Le concept d'outil

Le deuxième questionnement que nous avons soulevé dans le cadre de ce travail est celui de la représentation de l'outil dans le métamodèle. Dans notre perspective d'outiller les activités coopératives en phase chantier, précisons que nous parlons ici « d'outil-logiciel ». Les documents (et donc les « outils-documents » évoqués précédemment) sont une classe à part dans le modèle (*Document*)(Figure 73). Bien sûr « outils-logiciels » et « outils-documents » permettent de visualiser le contexte de coopération. Mais « l'outil-logiciel » se distingue par une médiatisation de la perception (navigation, tris, filtres) et/ou une capacité d'action sur le contexte. De plus l'outil-logiciel peut s'adapter au « contexte utilisateur », et prendre en compte son point de vue sur le contexte de coopération.

Rappelons que le mot « outil » désigne désormais uniquement des « outils-logiciels ».

Dans cette réflexion, nous avons été guidé par un certain nombre de travaux :

- La Théorie de l'Activité place l'outil comme médiateur dans la relation entre le sujet et l'objet de l'activité. Suivant cette théorie, l'outil revêt un double rôle. D'abord, il permet *d'agir sur l'objet de l'activité*. Dans ce sens, il assiste la réalisation de l'activité en fournissant aux acteurs des moyens pour réaliser leurs tâches (ce qui le distingue du document). Ensuite, le deuxième rôle de l'outil est de fournir à l'acteur une *représentation du contexte partagé de l'activité*, notamment en lui permettant de naviguer, ou de modifier son point de vue. En cela, il agit comme une interface entre l'acteur et le contexte. Il présente de l'information dont l'acteur est susceptible d'avoir besoin pour se positionner lui-même dans le contexte et agir (Cf. contexte acteur et contexte utilisateur, Chapitre 4). De ce point de vue, les différents outils de coordination et de communication que nous avons évoqués dans le Chapitre 5 peuvent être considérés comme des « vues » du contexte de coopération, adaptées à l'utilisateur,
- Ensuite, les projets DARE et CoolDA que nous avons décrits dans la partie 6.2.1.3 illustrent la *flexibilité dans l'utilisation des outils* dans une activité d'apprentissage ou de développement logiciel. Un développeur peut avoir besoin dans une situation donnée d'un outil particulier qui n'a pas forcément été anticipé en amont, lors de la mise en place de l'activité coopérative. La plateforme CoolDA permet de reconfigurer son espace de travail en fonction de l'évolution des besoins. Pour permettre la malléabilité dans le choix des outils supportant l'activité, le concept « d'outil » a été introduit dans le métamodèle de DARE (Cf. §6.2.1.3),
- Enfin, nous nous sommes largement inspirés du modèle USPM (Cf. partie 6.2.1.4). Dans USPM, les outils sont considérés comme un « type de ressource nécessaire pour exécuter un processus. Ils sont associés à des activités, qu'ils peuvent automatiser »¹⁰¹ [Kruchten 1999]. Le RUP les référence essentiellement dans le concept de « guidance » et les associe à la réalisation d'activités particulières ou la production d'artéfacts. Lors de la mise en place d'une activité coopérative (par exemple, durant la distribution de tâches à des acteurs), on prévoit quels outils sont adaptés à la réalisation d'une tâche par l'utilisateur final. Évidemment, ce cas est particulier puisque l'ensemble des outils est intégré à la plateforme « Rational Suite ». Les échanges de données sont grandement facilités par l'utilisation de formats propriétaires. Le concept de « *Tool Mentor* » (Figure

¹⁰¹ « Tools are the other kind of resources needed to run a process. Tools may be associated to specific activities, which they may completely automate. »

74) fournit une « description détaillée de la manière de réaliser des processus, activités ou étapes spécifiques ou encore de produire des artefacts ou des rapports en utilisant un ou plusieurs outils »¹⁰² [Rational Software Corporation 2002].

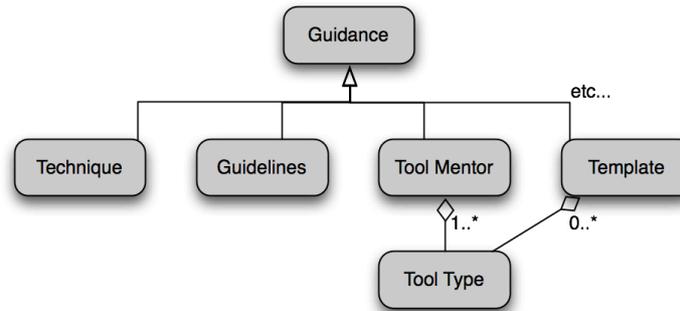


Figure 74 : Les formes de la "guidance" dans le métamodèle du RUP

Nous voyons deux finalités dans l'introduction du concept « d'outil » dans le métamodèle du contexte de coopération :

- D'abord, en se basant sur l'analyse des outils d'assistance à la coordination proposée dans le Chapitre 5, on pourrait *définir et réutiliser des ensembles d'outils pertinents dans des configurations organisationnelles particulières*. Ainsi, dans les activités précédant la mise en chantier, on peut fournir au coordinateur un « guide » pour l'aider à choisir les outils utiles en fonction de l'organisation de chantier qu'il met en place,
- Ensuite, nous pourrions, grâce à notre métamodèle du contexte de coopération, créer des liens entre outils et contexte de coopération. Plus particulièrement, nous souhaitons établir *le lien entre les modèles de visualisation d'information spécifiques de chaque outil et le contexte de coopération qu'il représente*. Nous considérons ici que chaque outil propose une vue particulière sur le contexte : un planning focalise sur la représentation temporelle, une maquette numérique représente la géométrie des ouvrages, un outil de compte-rendu représente textuellement des informations liées à la coordination. Le modèle des concepts sous-jacent à chacune de ces vues peut être

¹⁰² « Tool Mentors provide detailed descriptions of how to perform specific process activities or steps, or produce a particular artifact or report, using one or more tools. »

entendu comme un sous-ensemble, une spécialisation ou une transformation du modèle de coopération.

6.3.1.4. Synthèse sur le métamodèle du contexte de coopération et son utilisation

La Figure 75 présente le métamodèle de coopération dans la version que nous proposons. On retrouve les quatre entités essentielles d'un contexte de coopération : l'activité, l'acteur, l'artéfact et l'outil.

- L'activité a été décomposée ici dans ces différents niveaux de granularité. Le concept renvoie à des modèles de processus, par exemple ceux identifiés dans la partie 6.2.1,
- L'acteur renvoie aux modèles organisationnels tels que des organigrammes ou des modèles plus élaborés, issus du domaine de la sociologie, énoncés dans la partie 6.2.3,
- L'artéfact se décompose en plusieurs concepts : document, modèle ou objet. Le document renvoie à des modèles de gestion documentaire, l'objet renvoie à des modèles « de produit », par exemple STEP ou IFC (partie 6.2.2),
- L'outil est décomposé en « Outil Simple » et « Groupe d'Outils » (par exemple une plateforme comme Rational Suite dispose de plusieurs outils intégrés). Il permet à un acteur d'agir sur l'objet de l'activité, d'où la relation avec « l'action possible » (« relation acteur/activité »). Il se caractérise en outre, par différents modèles : modèle du mode de visualisation, modèles des concepts visualisables, modèle de tâches utilisateur, modèle des espaces de travail et modèles de programme (Cf. partie 6.2.4.2).

Cette synthèse fait mieux apparaître le rôle de ce métamodèle tel que nous le percevons dans notre réflexion particulière. Il a pour objectif de mettre en relation des modèles existant dans toute activité collective (Cf. §6.2 : processus, objet, organisation et outil). Il s'appuie pour cela essentiellement sur les relations entre ces quatre entités. Il n'a cependant pas prétention à représenter de manière complète la connaissance liée à ces domaines.

Pour mieux comprendre l'opérationnalité de cette architecture de modèles, nous proposons un exemple d'utilisation du métamodèle dans une activité spécifique de construction (Figure 76).

Ce modèle représente une partie du contexte de coopération en phase chantier. Il a été développé en se basant sur l'étude de cas du chantier du collège de Blénod-lès-Pont-À-Mousson (Cf. §2.2).

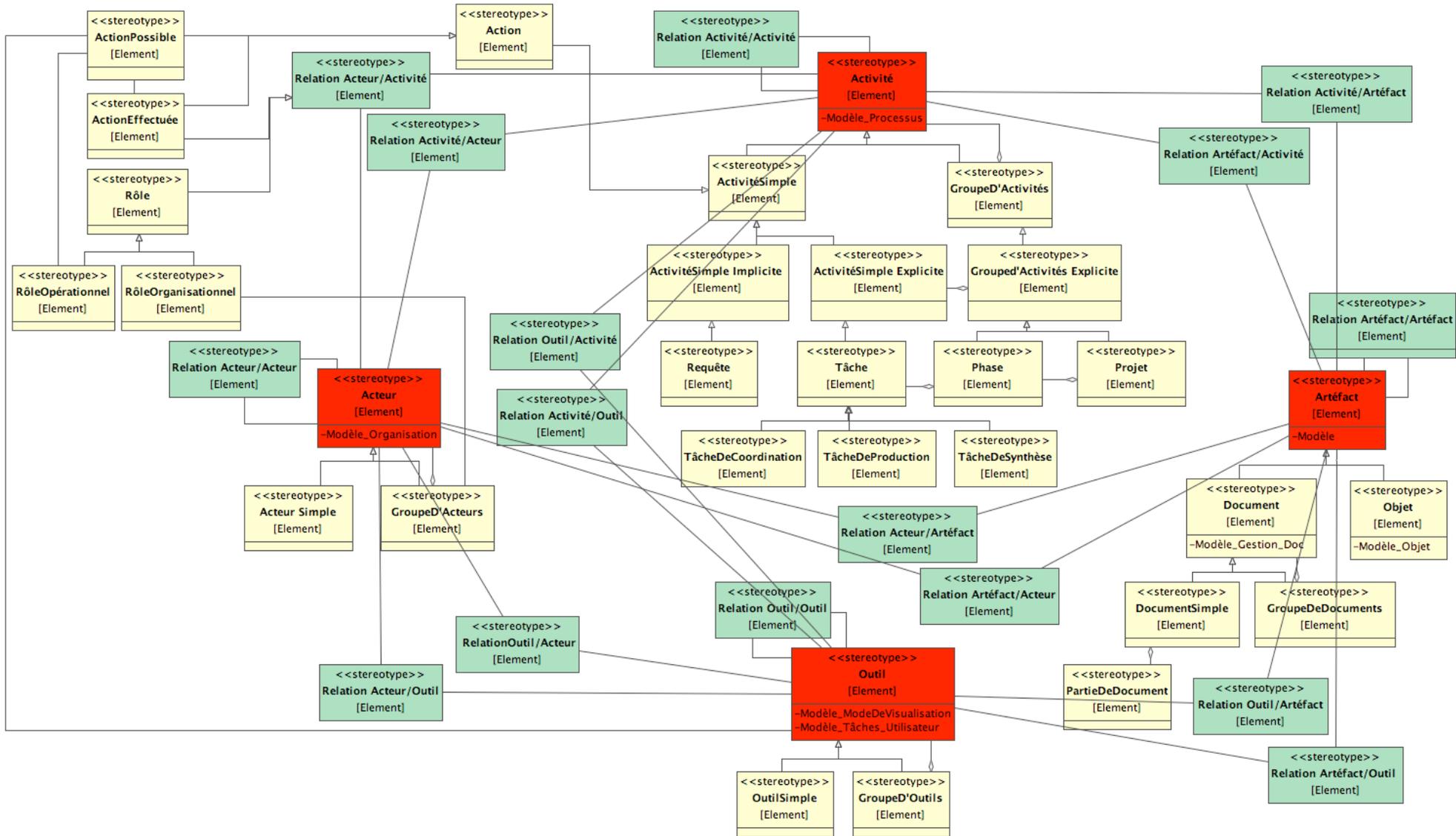


Figure 75 : Le méta-modèle du contexte d'une activité coopérative

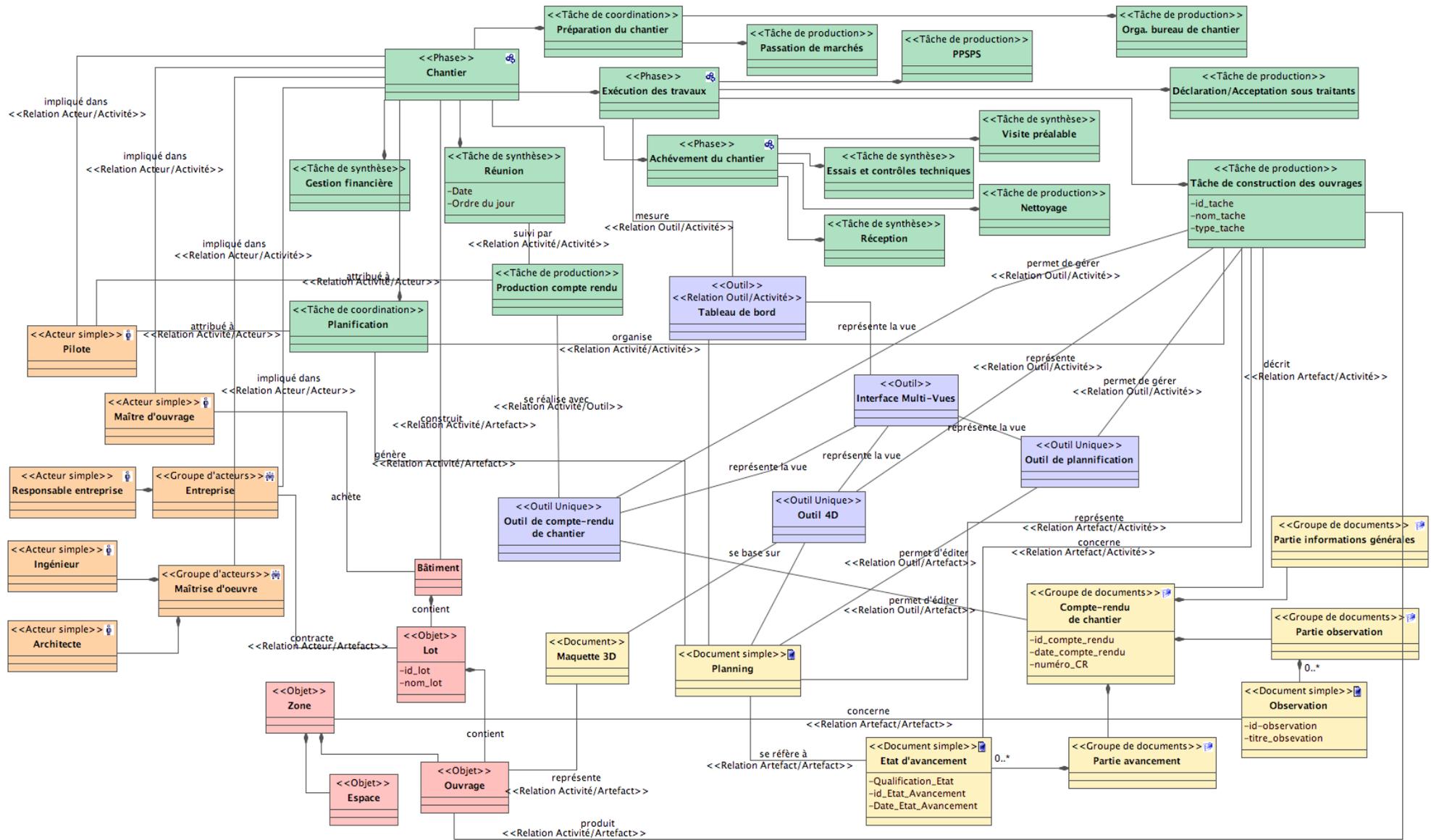


Figure 76 : Un modèle du contexte de coopération en phase chantier

6.3.2. Proposition d'une infrastructure de modèles pour le développement unifié d'outils d'assistance à la coopération

Le métamodèle du contexte de coopération (Figure 75), et un modèle conforme représentant le contexte de coopération en situation de chantier (Figure 76), permettent de décrire la connaissance liée au domaine de la construction. D'un point de vue opérationnel, cette architecture permet de structurer l'information à propos d'une activité collective dans des outils dédiés spécifiquement au domaine du bâtiment.

6.3.2.1. Des modèles de vues pour la coordination

À travers l'insertion du concept « d'outil » dans le métamodèle nous avons soulevé une autre problématique qui est celle de la représentation de ce contexte dans des « interfaces utilisateur ». Le contexte de coopération est représenté dans de nombreuses vues manipulées actuellement par les acteurs du secteur de la construction :

- Des « documents » textuels, tels que le compte-rendu de chantier, focalisés sur la coordination de l'activité, ou des plannings, organisant l'activité etc.,
- Des plans représentant les ouvrages (concept « objet » dans le métamodèle),
- Des « outils-logiciels » comme une application de CAO, de 4D etc.

Ces vues sont « décrites » par un certain nombre de modèles, comme nous l'avons vu dans la partie 6.2.4.2. La Figure 77 montre l'exemple d'une vue « planning de Gantt » utilisée durant le chantier. Elle représente les différents modèles qui la décrivent :

- Le modèle des concepts contient les concepts spécifiques de la vue,
- Le modèle du mode de visualisation est lié à la technologie employée pour la visualisation. Ici c'est le SVG (Scalable Vector Graphics) qui a été choisi,
- Le modèle de programme lié à la vue. Une vue « planning » est par exemple générée à partir de données du contexte interprétées par des scripts php,
- Le modèle des tâches qui définit l'interaction avec l'utilisateur (par exemple, pour la navigation dans le planning),
- D'autres modèles pourraient la compléter.

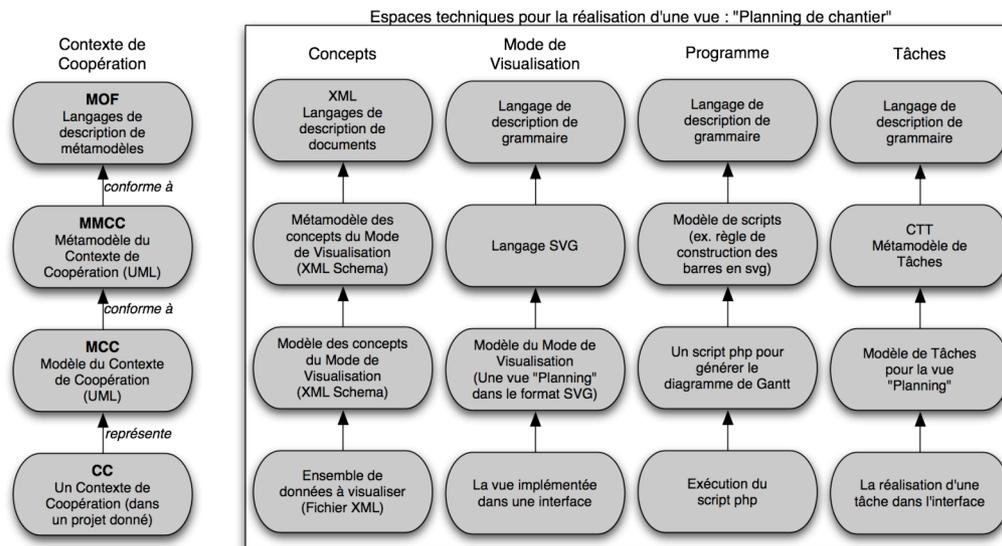


Figure 77 : Modèles pour la réalisation d'une vue "planning"

Si ces différents modèles devaient être appréhendés pour décrire la construction de vues du contexte, nous nous intéresserons ici spécifiquement au modèle des concepts d'une vue.

La « construction » d'une vue renvoie naturellement à des concepts en partie issus du contexte de coopération : soit, ils y font référence directement (un ouvrage « mur » construit par un « maçon ») soit, ils y sont reliés par une transformation : un « objet3D » dans une vue « maquette numérique » correspond à un « ouvrage » dans le contexte de coopération.

6.3.2.2. Réflexion sur une infrastructure pour l'exploitation des modèles

Nous avons donc défini une infrastructure permettant d'envisager l'intégration de modèles pour la construction de vues du contexte de coopération.

La pyramide présentée dans la Figure 78 montre en son axe central les différents niveaux de modélisation du contexte de coopération (surfaces en couleur marron). Les vues de ce contexte gravitent autour de cet axe. Nous en avons représenté trois en bleu, mais il peut y en avoir une multitude.

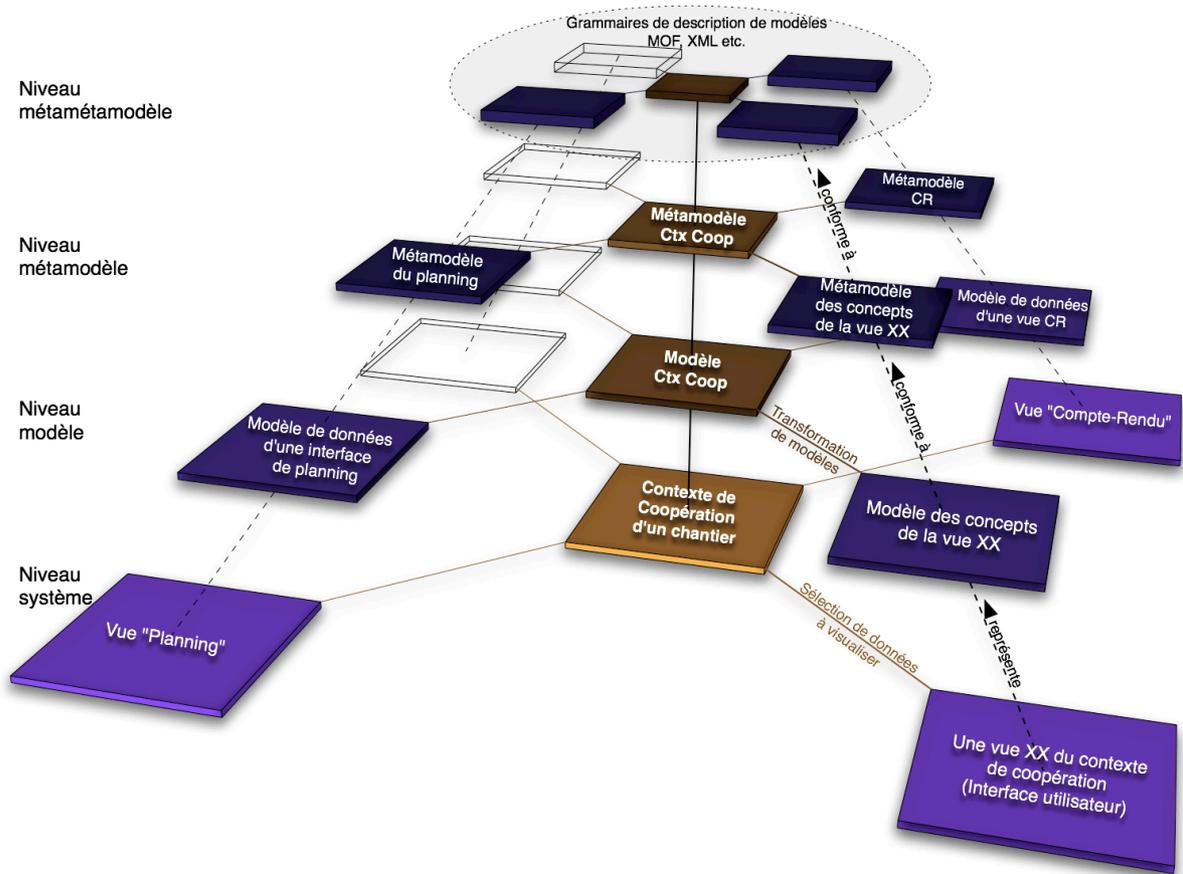


Figure 78 : Une infrastructure pour l'exploitation des modèles

L'objectif de cette infrastructure est par exemple de pouvoir ajouter des vues sur le contexte dans une plateforme de gestion de projet quelconque, à condition de fournir un modèle de la vue à introduire et de définir la transformation permettant de la construire. On pourrait donc se donner ainsi beaucoup de liberté dans la définition de nouvelles interfaces, adaptées à des situations ou des acteurs particuliers, et représentant le contexte d'un projet coopératif.

Les surfaces se trouvant à la base de la pyramide représentent la vue, elle-même, en exploitation (ou l'interface utilisateur). Les modèles décrivent les concepts qu'elles utilisent. Ces modèles sont conformes aux métamodèles des vues (par exemple UML).

Si on reprend l'exemple de la vue « planning de chantier » (Figure 77), la vue est l'interface de visualisation d'un diagramme de Gantt, les données qu'elle affiche sont des tâches de construction, leurs durées, leurs enchaînements et les entreprises qui les réalisent. Le modèle est celui de tout diagramme de Gantt : il se base sur les concepts de « tâche » et de « ressource » (nous détaillerons cet exemple repris dans notre prototype).

Pour construire une vue particulière, on opère une transformation de modèles pour extraire les concepts du contexte de coopération à représenter dans la vue (« *transformation de modèles* » dans la pyramide). Au niveau le plus bas, pour la construction de l'interface de visualisation à partir des données du contexte d'un projet, la transformation s'établit en réalité comme une transformation et une sélection d'informations pertinentes dans le contexte pour la construction de la vue. Cette opération de sélection se réalise en fonction de ce que la vue « peut » réellement afficher (en fonction de son modèle de concepts), mais aussi, en fonction d'autres critères qui peuvent être pris en compte comme le contexte de l'acteur utilisant la vue (son rôle, son droit de visibilité sur l'information etc.).

Le principe de construction d'une vue « planning » est décrit dans la Figure 79. Cette figure reprend notre principe général de construction d'une vue et montre les modèles spécifiques à chaque niveau de la pyramide.

Dans la perspective du développement d'interfaces de multi-visualisation du contexte de coopération, l'unification des modèles que propose cette infrastructure est nécessaire afin d'homogénéiser les relations entre les vues. Ainsi, le modèle du contexte de coopération fournit aux vues la sémantique globale (le contexte de coopération) dans laquelle s'insèrent leurs concepts.

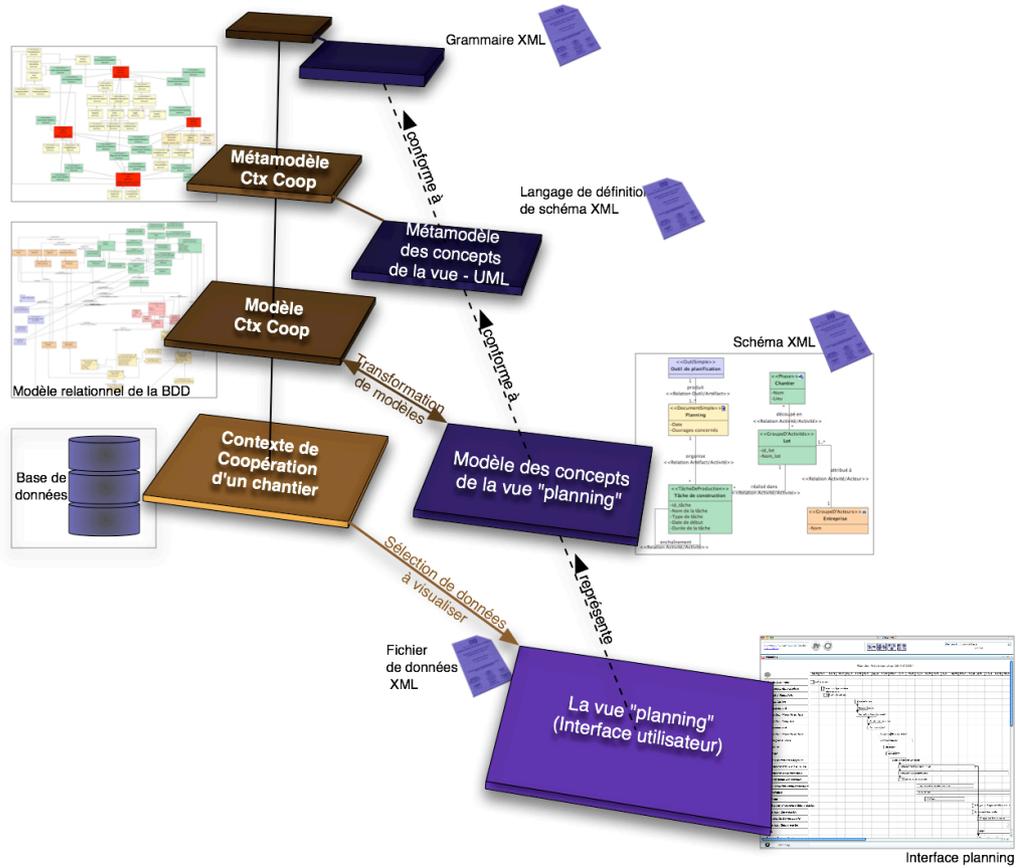


Figure 79 : Principe de construction de la vue "planning"

Cette sémantique sera nécessaire afin de permettre aux vues d'interagir. Nous pourrions ainsi mettre en correspondance des concepts différents entre deux vues.

Par exemple dans la Figure 80, une vue « planning » (1) représentant des concepts de « tâches » (3) et une vue « compte-rendu » (2) représentant des « documents » (4) n'ont pas de sémantique commune lorsqu'elles sont considérées indépendamment. Pourtant, dans le modèle du contexte de coopération, une relation les lie (ex. une tâche fait l'objet d'un ou plusieurs point(s) particulier(s) dans le compte-rendu).

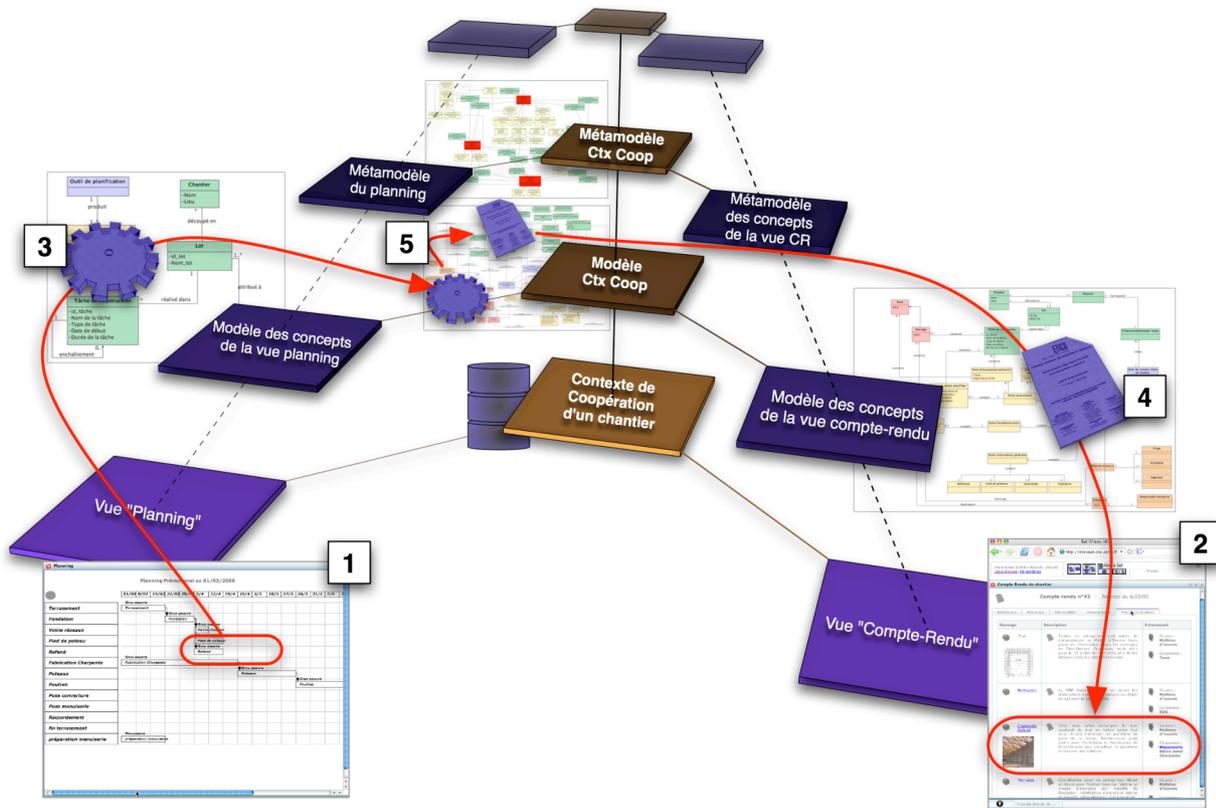


Figure 80 : Mise en œuvre de l'infrastructure pour l'interaction entre les vues

Nous verrons par la suite comment l'infrastructure pyramidale va être utilisée pour la construction de telles interfaces de navigation dans un contexte de projet (Proposition *Bat'iViews*, §8.1.2).

Chapitre 7. Propositions d'outils pour l'assistance à la coopération en phase chantier

Nous avons décrit dans les deux chapitres précédents nos réflexions sur une démarche de choix des outils adaptés aux situations particulières de chantier (Chapitre 5) et sur une infrastructure d'intégration de modèles pour le développement d'applications (Chapitre 6).

Le troisième volet de notre proposition fait l'objet de ce chapitre. Il consiste à présenter les différents développements d'outils que nous avons expérimentés durant ce travail de thèse.

Nous avons particulièrement spécifié et réalisé, en collaboration avec des informaticiens, deux prototypes d'outils d'assistance à la coordination du chantier :

- Un *outil d'assistance à la diffusion du compte-rendu de chantier*,
- Et une *interface de multi-visualisation du contexte de coopération*.

D'autres développements s'inscrivent dans la problématique de l'assistance à la coopération en *phase de construction* au laboratoire MAP-CRAI. Ils ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et produit des résultats tangibles [Belmiziti 2006; Fondeur 2005; Jin 2005]. Nous proposons dans cette thèse une synthèse de ces approches dans lesquelles nous avons été impliqués.

Ces recherches que nous avons encadrées, menées par des stagiaires de Master, ont permis d'explorer des pistes parallèles à notre problématique et ont contribué à affiner l'analyse du contexte de coopération en phase de construction.

Nous allons maintenant présenter ces propositions, en distinguant le support à la coordination « traditionnelle » dans les configurations hiérarchiques ou transversales et le support à la coordination dite « flexible » dans les configurations de type adhocratique. Nous verrons les spécificités de nos réflexions en terme d'innovation fonctionnelle ainsi qu'en terme de modèles mis en œuvre.

7.1. Assister la coordination « traditionnelle » dans les configurations hiérarchiques et transversales

La question de la flexibilité dans la coordination nous a conduit dans un premier temps à une réflexion sur les outils d'assistance existants, et sur la manière dont ils peuvent être adaptés à leurs utilisateurs.

Selon nous, la prise en compte dans un outil des contextes « acteur » et « utilisateur » est une manière d'adapter l'outil et l'information au besoin de l'utilisateur. C'est une première étape pour favoriser sa compréhension du contexte de l'activité coopérative.

7.1.1. Développement d'un outil pour assister la production et la rédaction du compte-rendu de chantier : prototype *Image.Chantier*

Nous avons pu constater dans le cadre de notre approche expérimentale (§2.2) le rôle central du compte-rendu de chantier dans la coordination. Ce document et la réunion de coordination sont les pièces maîtresses du dispositif de coordination, que l'on retrouve dans toutes les organisations de chantier.

Nous avons noté des dysfonctionnements récurrents dans la production et la consultation de ce document :

- Les outils de rédaction se résument le plus souvent à des outils de traitements de texte. Si le travail de rédaction n'est pas suffisamment rigoureux, il y a un risque de redondance, ou d'oubli d'un compte-rendu à l'autre,
- La quantité d'information qu'il contient rend la consultation difficile par les intervenants qui ont du mal à trouver les points qui les concernent directement,
- Souvent décrite par un texte, l'information de coordination contient beaucoup d'implicite (lié à une conversation qui a eu lieu durant la réunion par exemple). Les

intervenants non conscients d'un problème peuvent donc avoir beaucoup de difficulté à le comprendre (nature du problème, situation géographique sur le chantier, période etc.).

7.1.1.1. Objectifs et fonctionnalités du prototype

L'objectif de la réalisation d'un prototype était de *tester la pertinence d'un outil informatique permettant de diffuser l'information de coordination du compte-rendu de chantier aux différents intervenants*, et donc d'essayer de faire face aux dysfonctionnements observés.

Nous avons développé un outil se focalisant sur la diffusion du compte-rendu aux intervenants du chantier. Un modèle structuré représente l'outil et ses fonctionnalités. Il est utilisé pour réaliser la base de données qui contient et gère l'information. Celle-ci est diffusée à l'utilisateur sous la forme de pages Web. L'accès au compte-rendu par un simple navigateur se fait de manière sécurisée afin de préserver la confidentialité des informations.

Notre effort s'est porté essentiellement sur la conception des pages d'affichage des comptes-rendus. Nous avons tenu à structurer l'information en cohérence avec les documents traditionnels (en reprenant les sections existant généralement dans le compte-rendu). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur une analyse de plusieurs comptes-rendus de chantier, issus de plusieurs auteurs différents, afin de comparer leur structure, leur taille, et la façon de présenter l'information.

Puis, dans le cadre de ce développement, nous avons restreint notre champ d'étude afin d'isoler certains concepts issus du document initial. Nous nous sommes focalisés sur les parties du document qui contiennent de l'information de coordination à propos des tâches en cours :

- Les *points d'avancement* sont les informations relatives à l'état d'avancement d'un ouvrage particulier. On les relie à l'*acteur* réalisant l'ouvrage, la *zone* géographique dans laquelle se situe l'*ouvrage*, le *pourcentage d'avancement* réel de la tâche de réalisation de cet ouvrage (à la date du compte-rendu) et le *pourcentage théorique* planifié en amont du chantier,
- Les *points particuliers* regroupent toutes les informations, remarques et les descriptions de problèmes singuliers. Ils se caractérisent par un émetteur (auteur du point) et un ou plusieurs destinataires (entreprises en interface autour d'un ouvrage par exemple). Ils peuvent concerner un ou plusieurs ouvrages particuliers.

Dans notre prototype, nous écartons les autres composants du compte-rendu (généralités, effectifs des entreprises, intempéries, calendrier des prochaines réunions etc.) afin de concentrer nos efforts sur les parties dynamiques du compte-rendu.

La conception de l'outil s'appuie sur un modèle décrit dans un schéma de base de données relationnelle, qui nous permet notamment de gérer les points de vue des utilisateurs du compte-rendu. L'objectif est de faciliter l'accès à l'information par les acteurs du chantier. Le prototype propose donc des filtres sur l'information : par acteur et par ouvrage. Par défaut, lorsqu'un utilisateur se connecte, un filtre est appliqué afin de ne lui présenter que les points qui le concernent (relativement à son « contexte acteur »). Il peut étendre ensuite la visibilité à tous les points du document.

Enfin, de nombreux liens peuvent exister entre différents types d'information : par exemple un point particulier peut concerner un ou plusieurs points d'avancement¹⁰³. Nous avons donc implémenté certains de ces liens dans le prototype :

- Lien d'un point particulier dans un compte-rendu permettant d'afficher les points particuliers, dans les précédents comptes-rendus, émis sur un même ouvrage,
- Lien d'un point particulier concernant un ouvrage permettant d'afficher l'état d'avancement de cet ouvrage.

Enfin, nous avons proposé de tester l'apport de l'image dans la diffusion d'informations. L'objectif est de faciliter la communication entre les acteurs et notamment la compréhension des problèmes par le lecteur du compte-rendu.

L'image de chantier a pour particularité le fait qu'elle rend compte d'un objet en cours de fabrication. Plus précisément, la photographie numérique est très utilisée et des discussions avec des professionnels nous ont laissé entrevoir un vrai potentiel dans son utilisation en phase de chantier [Fodor et al. 2003]. Nous avons analysé son apport dans l'activité du chantier [Kubicki et al. 2004a] :

¹⁰³ Nous avons observé le cas où un point particulier traite d'un problème précis engendrant un retard dans l'exécution du planning (ex. le maçon n'avance plus le coulage de la dalle car il lui manque des plans de réservations). Dans ce cas, ce retard est visible dans un point d'avancement correspondant (ex. avancement de l'ouvrage dalle estimé à 35% au lieu de 75%).

- Elle est une *illustration de l'avancement général du chantier* ou de la *réalisation d'ouvrages particuliers* à un instant donné. En cela, elle est une trace de ce qui est fait. Dans cette optique, son intégration en tant qu'illustration de points du compte-rendu de chantier est de plus en plus fréquente,
- L'image possède une *fonction heuristique* puisqu'elle peut permettre la découverte ou l'anticipation de problèmes non détectés par d'autres moyens¹⁰⁴ (documents textuels, plannings ou même visites de chantier),
- Enfin, l'image permet de *capitaliser une connaissance de terrain* (savoir ou savoir-faire).

La photographie de chantier est d'abord une forme de visualisation particulière du contexte de coopération. Cette vue permet à l'acteur un certain nombre de raisonnements et lui permet de construire un contexte pour son action.

La Figure 81 propose un schéma simplifié du contexte de l'utilisation de l'outil *Image.Chantier*.

On retiendra :

- La personnalisation de la consultation du compte-rendu, à l'aide de filtres sur l'information. Ces filtres sont basés sur une connaissance du « contexte acteur » : métier de l'utilisateur. Son point de vue est ainsi pris en compte par l'application des filtres,
- La création de liens entre les parties du document actuellement indépendantes à l'aide d'un modèle relationnel des données basé sur le modèle du contexte de coopération, et comportant des éléments spécifiques à la description du compte-rendu (parties du document). Le modèle des données (M1) spécifique de l'outil *Image.Chantier* est conforme au métamodèle (M2) du contexte de coopération ce qui assure la cohérence de la représentation du contexte dans la vue spécifique qu'est le compte-rendu,
- Enfin la visualisation et donc la compréhension du contexte de coopération du chantier est favorisée par l'utilisation d'images illustrant les différents points du compte-rendu.

¹⁰⁴ Sur notre chantier expérimental, l'architecte a réalisé deux photographies d'un bow-window : avant et après la pose du bardage. Sur l'une des photos la trame du bois est horizontale (avant), sur l'autre elle est verticale (aspect du bardage). Il a questionné son projet à partir de ces deux photographies de chantier et a finalement modifié le choix du bardage.

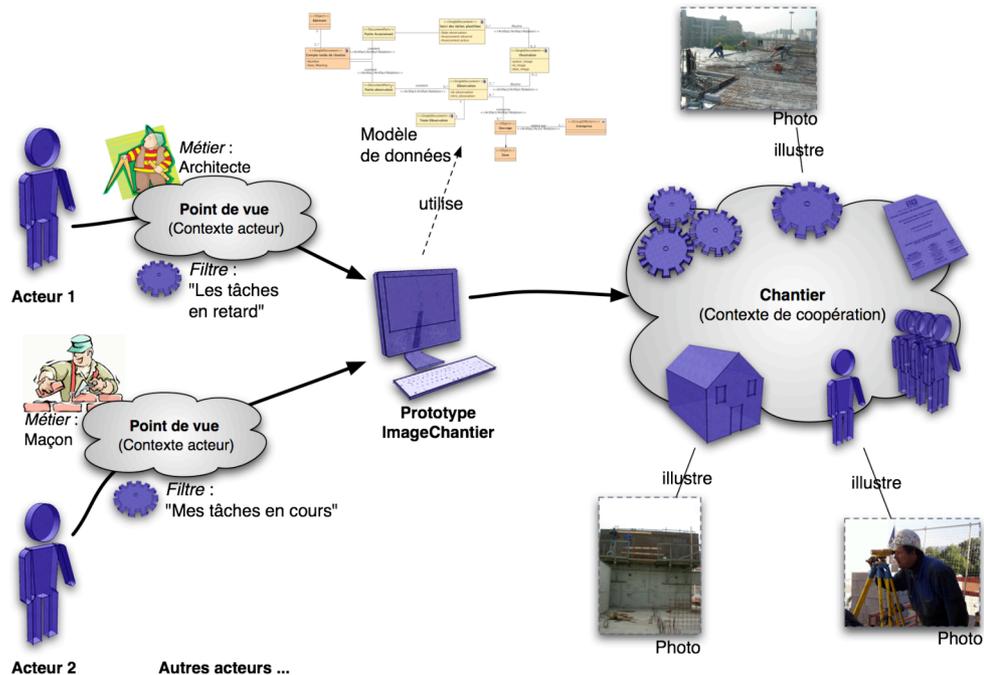


Figure 81 : Schéma du contexte d'utilisation du prototype Image.Chantier

7.1.1.2. Présentation des fonctionnalités

Nous ne présenterons pas dans le détail les interfaces de saisie qui sont de très simples formulaires permettant de saisir les différentes informations dans la base de données, et sur lesquels nous n'avons pas investi beaucoup de temps de conception.

L'originalité de cet outil porte plutôt sur les interfaces de diffusion du document. L'accès aux comptes-rendus du chantier se fait via un formulaire d'authentification.

La page principale affiche une liste de compte-rendu et permet d'accéder directement aux points particuliers ou points d'avancement de chacun d'entre eux.

Les points particuliers sont présentés sous forme d'une liste. Pour chacun d'eux, on retrouve l'ouvrage concerné, une photographie, le texte complet du point, l'acteur émetteur, le (ou les) acteur(s) destinataire(s) et différents liens permettant d'agir sur la visualisation à partir de ce point (Figure 82). Nous avons mis en évidence les différents liens qui permettent aux utilisateurs

de mieux comprendre les problèmes en naviguant dans le contexte de coopération. En terme de modèle, ces liens sont des relations entre les entités du contexte.

Le lien représenté en gras sur la figure est celui que nous avons réellement implémenté dans le prototype : agrandir l'image.

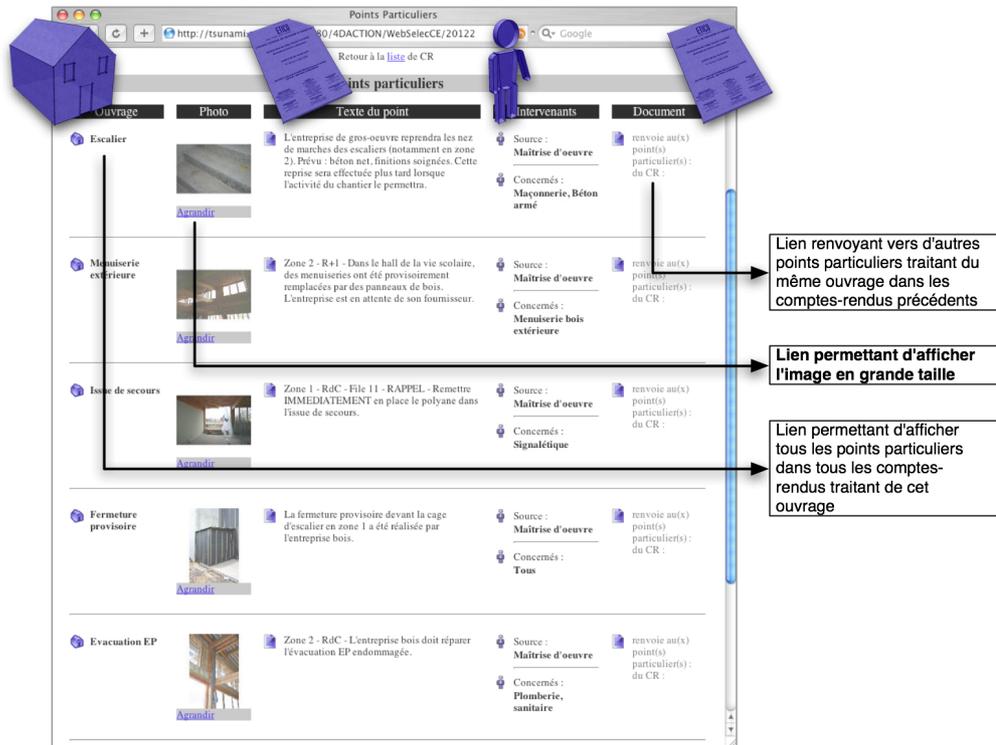


Figure 82 : Interface de visualisation de points particuliers du compte-rendu

Les points d'avancement sont présentés dans une interface similaire. On retrouve le (ou les) ouvrages (ce qui correspond à une tâche dans le planning), la zone dans laquelle il se situe, une photographie, l'avancement constaté (réalisé) et l'avancement prévisionnel (d'après le planning), l'intervenant réalisant le travail et un renvoi vers les points particuliers relatifs (Figure 83).

Sans les présenter, nous rappelons que d'autres interfaces présentent d'autres classifications de l'information : tous les points concernant des ouvrages « voisins » topologiquement ou les points

précédents concernant un ouvrage (chronologie illustrée). On peut y accéder grâce aux liens représentés sur la figure.

Les liens implémentés sur les points d'avancement sont représentés en gras :

- Dans la colonne avancement, on peut suivre le lien permettant d'afficher les états antérieurs de l'ouvrage,
- On peut afficher l'image en grande taille,
- Enfin, on peut afficher tous les points d'avancement concernant des ouvrages situés dans la même zone géographique, par exemple pour anticiper les problèmes d'interfaces entre tâches.

Ouvrage	Photo	Avancement	Intervenant	Document
Plinthes Zone: Zone 1 RdC (N° 226)		Réalisé: 10% Prévu: 100% Etats précédents de l'ouvrage Autres ouvrages en cours Ouvrages réalisés(même zone)	Réalisé par : Menuiserie bois intérieure	renvoie au(x) point(s) particulier(s) du CR :
Etagée Zone: Zone 1 R+1 (N° 299)		Réalisé: 40% Prévu: 100% Etats précédents de l'ouvrage Autres ouvrages en cours Ouvrages réalisés(même zone)	Réalisé par : Menuiserie bois intérieure	renvoie au(x) point(s) particulier(s) du CR :
Revêtement sol coulé Zone: Zone 2 Généralités (N° 422)		Réalisé: 95% Prévu: 100% Etats précédents de l'ouvrage Autres ouvrages en cours Ouvrages réalisés(même zone)	Réalisé par : Revêtements souples	renvoie au(x) point(s) particulier(s) du CR :
Revêtement sol coulé Zone: Zone 3 Généralités (N° 548)		Réalisé: 25% Prévu: 100% Etats précédents de l'ouvrage Autres ouvrages en cours Ouvrages réalisés(même zone)	Réalisé par : Revêtements souples	renvoie au(x) point(s) particulier(s) du CR :
Chaudière Zone: Zone 4 RdC (N° 612)		Réalisé: 95% Prévu: 100% Etats précédents de l'ouvrage Autres ouvrages en cours Ouvrages réalisés(même zone)	Réalisé par : Plomberie, sanitaire	renvoie au(x) point(s) particulier(s) du CR :

Lien renvoyant vers d'autres points particuliers traitant du même ouvrage dans les comptes-rendus précédents

Lien renvoyant vers les autres intervenants concernés par le point d'avancement

Lien renvoyant vers - les points d'avancement précédents concernant cet ouvrage (même tâche), - les autres ouvrages en cours dans la même zone

Lien permettant d'afficher l'image en grande taille

Lien permettant d'afficher tous les points d'avancement concernant des ouvrages voisins

Figure 83 : Interface de visualisation de points d'avancement

Dans le cadre de notre étude de cas sur le chantier du collège de Blénod-lès-Pont-À-Mousson, nous avons utilisé cet outil afin de saisir de l'information issue des comptes-rendus de chantier produit par le coordinateur ETICO.

Les fonctionnalités apportées par *Image.Chantier* ont été présentées à des professionnels du chantier dans le cadre de notre expérimentation. La validation de ce prototype d'un point de vue « métier », et les pistes qu'il a ouvertes pour les développements suivants font l'objet de la partie 8.2.1.

Notons qu'un développement très proche a été mené au Centre de Recherche Public Henri Tudor, dans le cadre du projet Build-IT. Le prototype développé présente en particulier des fonctions de recherche d'informations avancées : recherches dans un compte-rendu, dans tous les comptes-rendus d'un chantier ou dans tous les comptes-rendus d'une entreprise donnée.

7.1.1.3. Modèle de données

Le modèle de données réalisé pour le développement s'insère dans l'architecture de méta modélisation que nous avons présentée. Le compte-rendu lui-même représente un sous-ensemble du contexte de coopération du chantier. Les concepts spécifiques développés dans l'outil sont décrits dans le modèle de l'outil *Image.Chantier* (Figure 84).

Nous décrirons en détail la construction de ce modèle en rapport avec notre infrastructure de modèles dans le chapitre suivant (§8.1.1.1).

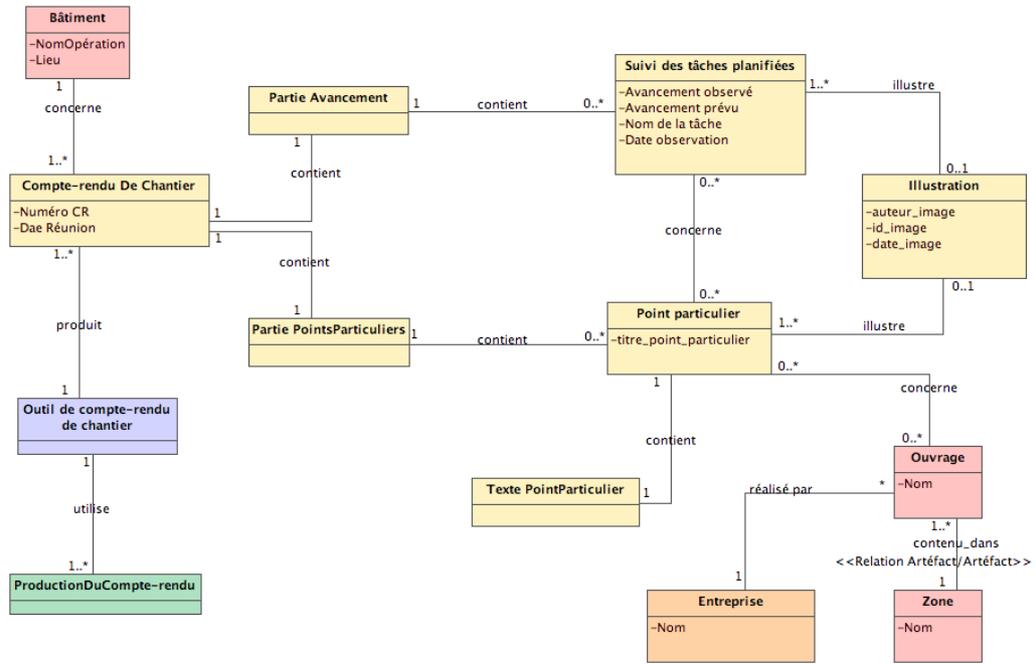


Figure 84 : Modèle de données du prototype Image.Chantier

7.1.2. Des outils pour assister le suivi et la coordination de chantier

Le travail de Master¹⁰⁵ de plusieurs stagiaires a été l'occasion d'explorer des voies parallèles à notre travail. Nous présenterons ici une recherche sur l'utilisation de la CAO 4D et une proposition d'un *tableau de bord* pour la gestion du chantier.

7.1.2.1. Visualisation 4D pour l'assistance à la coordination du chantier

La visualisation 4D¹⁰⁶ en phase chantier fournit un support pour la communication du planning de réalisation des tâches de construction. Du point de vue de la coordination, les techniques 4D permettent donc d'améliorer la compréhension des tâches par les différents intervenants grâce à

¹⁰⁵ Ces stages de recherche se sont déroulés dans le cadre du Master « Modélisation et Simulation des Espaces Bâti » cohabilité par l'Université Henri Poincaré et l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

¹⁰⁶ Rappel : la visualisation 4D est une technique permettant de représenter l'état de l'avancement du chantier en fonction d'un repère temporel (planning de chantier), à l'aide d'une maquette 3D.

la représentation tridimensionnelle des ouvrages à construire. Elles permettent aussi de rendre compte de l'avancement du chantier à travers des modes de représentation adaptés.

En se basant sur la problématique générale de perception du contexte, ce travail s'est intéressé à l'apport de la visualisation 4D pour la perception du contexte de l'activité [Fondeur 2005].

D'abord, il faut souligner que la navigation dans un modèle 3D d'un bâtiment est difficile pour un utilisateur non expérimenté. Se déplacer et naviguer dans l'objet demande en effet une certaine habitude. Ce problème est majeur lorsque le bâtiment modélisé contient beaucoup d'objets, ou qu'il faut se déplacer à l'intérieur des espaces.

Mais le problème sur lequel nous nous sommes focalisés est celui de la représentation même des ouvrages en fonction de leur état de réalisation : préparation de tâches, réalisation de ces tâches et tâches terminées.

En effet, pour un coordinateur, l'objectif est de rendre compte de l'état d'avancement des ouvrages, comme il le fait aujourd'hui en « coloriant » un diagramme Gantt. Or, les solutions commerciales de CAO 4D sont encore très limitées sur cette question. Il est possible d'attribuer des couleurs à des groupes d'ouvrages : une couleur permettant de représenter un état de cet ouvrage (par exemple, vert : construit, gris : en attente, rouge : pose problème).

La proposition formulée dans cette étude consiste en la définition de plusieurs « scénarios d'utilisation » d'une maquette 4D :

- Focaliser l'utilisateur *sur « ce qui est construit »* (Figure 85, gauche). Dans ce scénario, on présente en couleurs transparentes les ouvrages dont la construction va débuter, en couleurs pleines les ouvrages déjà réalisés et on ne représente pas les étapes futures de la construction. Ce scénario focalise sur l'état du chantier à un instant donné, et pourrait, par exemple, accompagner la visualisation du compte-rendu. Ce type d'information intéressera les intervenants « externes » du chantier comme un maître d'ouvrage peu présent durant la construction (supervision dans l'organisation hiérarchique). Un acteur impliqué dans plusieurs chantiers aura aussi besoin de connaître l'état d'avancement sans rentrer dans le détail (organisation transversale),
- Focaliser l'utilisateur *sur ce qui « va être construit »* (Figure 85, droite). Dans ce cas, l'attention est portée sur les ouvrages qui sont en cours de construction (en couleur

pleine), les ouvrages déjà construits étant présentés en couleur transparente. L'intérêt est d'attirer l'utilisateur sur la dynamique de l'activité, et de l'inciter à réfléchir à son action en fonction des activités en cours au même moment. Cette visualisation favorise donc la *conscience de l'activité des autres acteurs du groupe*,

- D'autres réflexions ont été menées. Par exemple, l'idée de filtrer l'affichage par lot, qui permet de suivre l'activité d'un lot particulier, ou encore de modifier la granularité des ouvrages affichés en fonction du besoin de l'utilisateur (observation globale du chantier ou compréhension d'un détail particulier de mise en oeuvre).

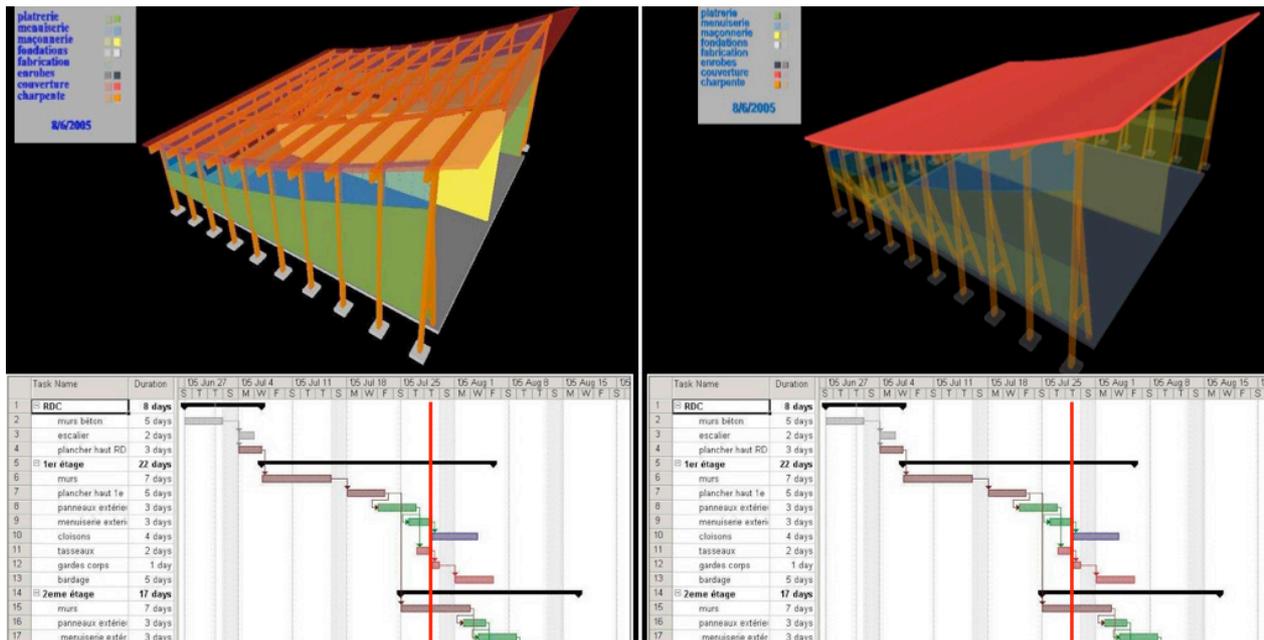


Figure 85 : Scénarios envisagés pour la visualisation 4D (gauche : scénario 1 et droite : scénario 2)

En conclusion, la maquette 4D est un mode de visualisation très adapté pour la diffusion de l'information liée à la planification des tâches. L'adaptation à l'utilisateur peut se faire en fonction de l'identification de son besoin particulier (suivre le chantier, comprendre un problème précis ou encore naviguer simplement sans but identifié). Cette vue favorise la conscience de l'activité du groupe et revêt une fonction heuristique.

7.1.2.2. *Tableau de bord pour la gestion de l'activité*

Un autre travail de recherche propose une assistance au coordinateur de chantier en lui fournissant un *tableau de bord* de gestion de l'activité. Ce travail s'inspire des techniques de management de projet et des outils de tableaux de bord pour le gestionnaire que nous avons évoqué dans la partie 5.1.4.2.

La problématique de recherche sur laquelle porte ce travail est donc celle du potentiel de tels outils dans l'activité particulière du chantier [Belmiziti 2006]. Les spécificités du domaine du bâtiment soulèvent un certain nombre de questionnements quant à la conception de tels outils :

- Dans une activité marquée par la coopération et l'ajustement mutuel, ces outils représentent-ils réellement l'état d'un processus ? Et ont-ils vraiment une utilité dans le support à la prise de décision, qui est généralement basée sur la confiance réciproque et l'expérience ?
- Est-il possible de construire des indicateurs mesurant la performance d'un processus peu planifié et fort aléatoire ?

La réponse à la première question est délicate. En réalité seule une expérimentation détaillée pourrait apporter des réponses. Cependant, nous faisons l'hypothèse qu'un outil de synthèse assiste le pilote dans sa compréhension de l'état et de la dynamique de l'activité. Des indicateurs sur les retards dans l'exécution des tâches, sur les échanges de documents ou encore sur l'activité des acteurs l'aideraient dans sa tâche de coordination et lui éviterait de fastidieuses analyses et synthèses dans des documents hétérogènes.

Mais le problème adressé par la deuxième question est lui aussi très vaste. Nous avons donc abordé dans un premier temps le problème de la construction d'indicateurs, et surtout de la « mesure de l'activité » en fonction des sources d'informations à notre disposition.

Nous avons vu que le processus est planifié, mais pas très finement. De plus il est soumis à de fréquents changements ou ajustement, souvent informels. Dans ce contexte, nous émettons l'hypothèse que le compte-rendu de chantier est la plateforme centrale par laquelle transite l'information de coordination, actualisée chaque semaine en général. À partir de l'information contenue dans ce document, nous pouvons envisager trois types d'indicateurs :

- Des *indicateurs « orientés activités »* synthétisent graphiquement la mesure de l'avancement global, du retard dans l'exécution des tâches et de la dynamique d'exécution,
- Des *indicateurs « orientés documents »* assistent la gestion des échanges de documents, notamment en traçant les circuits de validation des documents entre plusieurs acteurs,

- Des *indicateurs sur les acteurs et la situation de l'organisation* rendent compte de l'évolution du groupe, par exemple, et permettent de gérer les contrats de sous-traitance signés par les entreprises. Ces indicateurs permettraient aussi de mesurer l'assiduité des intervenants aux réunions de chantier, ou encore leur capacité de réaction face aux observations qui leur sont faites dans le compte-rendu (nombre de rappels).

L'indicateur de l'état de l'activité a fait l'objet d'un développement plus approfondi. Sur la base du compte-rendu de chantier (avancement des tâches) et du planning prévisionnel, il est possible d'effectuer un certain nombre de mesures pertinentes (Figure 86) :

- Indicateur d'avancement de l'activité globale du chantier et dynamique,
- Indicateur d'avancement par lots et dynamique,
- Indicateur d'avancement par tâche planifiée et dynamique.

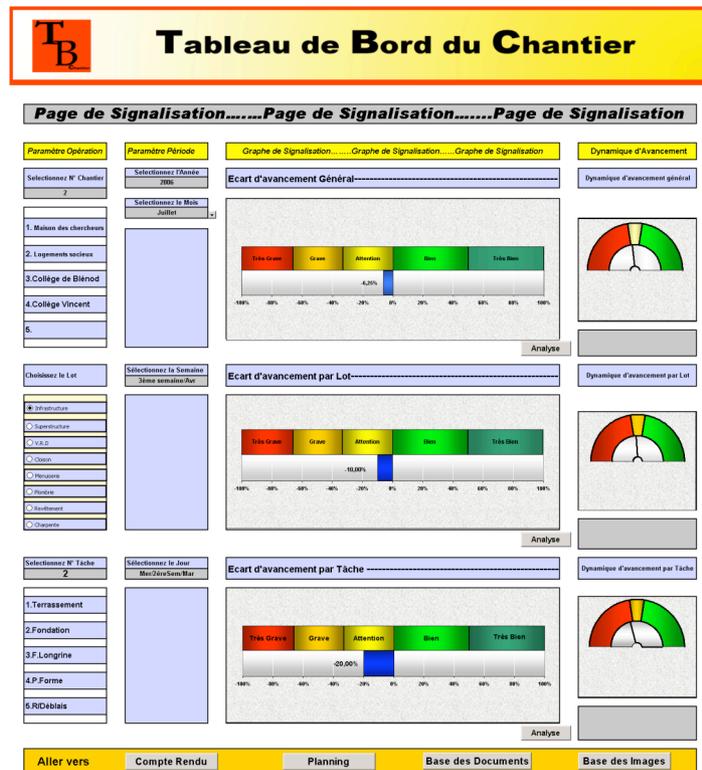


Figure 86 : Interface du tableau de bord de chantier

Ces propositions restent à valider. Cependant, elles paraissent intéressantes dans leur fonction de support à l'activité du coordinateur de chantier.

Nous noterons toutefois que de tels outils contribuent à surveiller et à gérer dans le détail une activité qui par nature est relativement peu explicite. Un outil de *tableau de bord* contribuerait donc par exemple à améliorer le respect des délais dans l'exécution des tâches, en fournissant au pilote des informations détaillées sur l'état des activités des acteurs. Ce genre d'outil assiste donc la « coordination hiérarchique » et mais ne se destine pas vraiment à améliorer la « coordination flexible ».

Notre conviction est qu'il est nécessaire de favoriser *l'esprit individuel d'initiative*, tout comme *l'esprit de groupe* autour du projet et sa dimension sociale, ce que ces outils de gestion de la performance ne permettent pas directement.

7.1.2.3. Perspectives pour d'autres travaux

Nous avons évoqué des travaux prospectifs menés en parallèle de notre recherche. Des perspectives s'ouvrent bien sûr autour de ces travaux particuliers.

Mais, revenons brièvement sur la proposition d'une « démarche pour le choix d'outils d'assistance à la coordination d'une activité de chantier », à destination du coordinateur (§5.2.2). L'étude proposée de différents outils, et leur mise en relation avec les types d'organisation existants sur le chantier pourrait conduire à proposer un outil assistant le coordinateur dans la phase de préparation du chantier. Un certain nombre de critères lui permettrait d'identifier l'organisation du chantier à venir et l'outil le guiderait dans la sélection d'outils, adaptés aux besoins de la future organisation.

7.1.3. Synthèse

Les différentes propositions que nous venons de détailler se focalisent sur le support de la dimension hiérarchique de l'activité de coordination. Dans ce mode de coordination, nous insistons sur le besoin *de diffuser aux intervenants des informations pertinentes pour eux, au moment où ils en ont vraiment besoin*.

Cet objectif conforte l'intérêt d'adapter l'information et sa représentation en fonction des utilisateurs. Il met aussi en avant le besoin de supporter les activités liées à la coordination, en fournissant des vues de synthèse au pilote (coordination de l'activité) ou au maître d'ouvrage

(coordination administrative, financière) et éventuellement, des guides pour le choix des outils adaptés à une organisation de chantier particulière.

Le Tableau 6 propose une adaptation des outils que nous avons présentés à des utilisateurs particuliers. Du point de vue hiérarchique sur l'organisation, nous isolons deux acteurs clefs, le coordinateur et le maître d'ouvrage, des autres intervenants du chantier.

	<i>Image.Chantier</i>	4D	<i>Tableau de bord</i>	Guide pour le choix des outils
Pilote, coordinateur de chantier	Assistance à la <i>rédaction</i> du compte-rendu. Recherche dans une base de comptes-rendus.	Assistance à la conception et à la <i>planification</i> des étapes de mise en œuvre.	Outil de synthèse et d'analyse « orienté activité, documents ou acteurs ». Mesure de la dynamique.	Utile pour la mise en place de la coopération (préparation de chantier) : choix des outils de coordination et de communication
Maître d'ouvrage	Assistance à la <i>consultation</i> du compte-rendu. Visualisation adaptée.	Compréhension des grandes étapes de la réalisation du chantier (vue macroscopique : phases, zones)	Outil de synthèse qui pourrait être adapté pour le suivi administratif ou financier.	Sans objet
Autres intervenants		Amélioration de la visualisation de l'état de l'activité. Compréhension topographique des tâches de chacun.	Synthèse de sa propre activité et gestion de chantiers multiples au sein d'une entreprise.	

Tableau 6 : Synthèse sur les propositions pour la coordination hiérarchique

7.2. Assister la coordination « flexible » dans la configuration adhocratique

Suite à ces développements, nous avons à nouveau questionné la place et le rôle des outils dans les différents types d'organisation du chantier. Il nous semble que si l'adaptation des outils aux utilisateurs (prise en compte du contexte acteur et utilisateur) est fondamentale, ces outils restent cependant attachés à des modes de coordination comme la supervision directe ou la standardisation. On peut reconnaître leur potentiel dans la gestion de l'activité notamment en améliorant les temps de réponses entre les acteurs, ou en favorisant la compréhension des problèmes de coordination.

Selon nous, il y a encore une étape à franchir pour proposer des outils *favorisant l'ajustement mutuel* entre les acteurs ou encore la *responsabilisation et l'implication* de chacun dans la conduite de l'activité collective.

En nous focalisant sur ce problème, nous avons développé un nouveau prototype d'outil dont l'objectif consiste à *améliorer la perception et la compréhension du contexte de coopération par tous les acteurs du chantier*.

7.2.1. Représentation multi-vues du contexte de coopération : prototype *Bat'iViews*

Le constat à l'origine du projet *Bat'iViews* est le suivant : le contexte de coopération dans une activité de chantier est aujourd'hui représenté par de nombreuses vues attachées à des documents, des outils de coordination ou des outils de communication (Figure 87). Pour favoriser la compréhension de ce contexte par les acteurs du chantier, il est nécessaire de trouver une représentation adaptée à l'utilisateur, fonctionnelle, et qui mettra en évidence les *relations entre les différents éléments de ce contexte*.

La proposition Bat'Map [Hanser 2003](§5.2.2.3) s'inscrit tout à fait dans cette problématique en s'appuyant sur une représentation du contexte par un hypergraphe qui trace explicitement les relations entre les entités représentées. Bat'Map est d'ailleurs aussi bien adapté à une activité de conception qu'à une activité de construction dans les projets de bâtiment.

La vue Bat'Map représente une abstraction du contexte de coopération. Elle se focalise sur les relations entre les entités : acteurs, documents, activités etc. Cependant, elle n'exploite pas

vraiment la sémantique contenue dans ces documents, et encore moins leurs modes de représentation du contexte.

Notre proposition consiste donc à *réutiliser des vues du contexte existantes* et manipulées quotidiennement par tous les intervenants du chantier. Leur intégration dans un outil de navigation spécifique nous permettra de *rendre explicites les relations entre les divers contenus de ces vues*, en proposant à l'utilisateur des interactions sur chacune des vues.

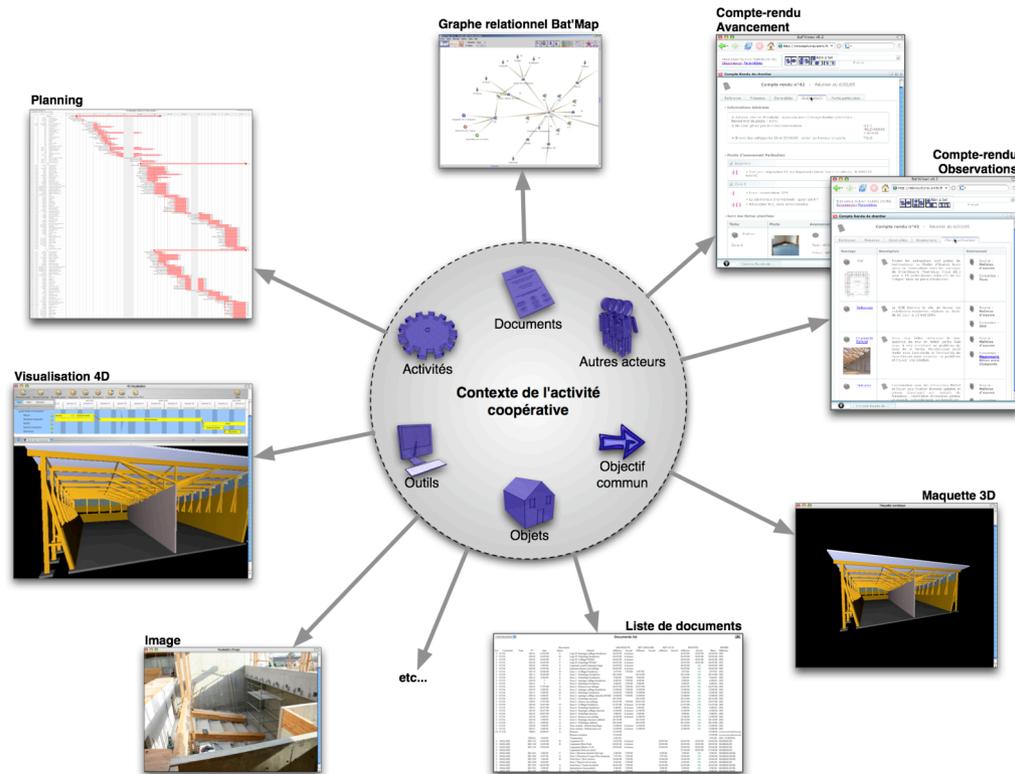


Figure 87 : Des vues multiples du contexte de coopération

Par exemple, nous avons vu dans le prototype *Image.Chantier* que des problèmes évoqués dans le compte-rendu de chantier peuvent avoir des répercussions sur l'avancement de certaines tâches. Il existe donc une relation directe entre l'observation dans le compte-rendu et une (ou

plusieurs) tâche(s) dans le planning de chantier. De plus, les ouvrages concernés peuvent être représentés dans une maquette numérique (Figure 88).

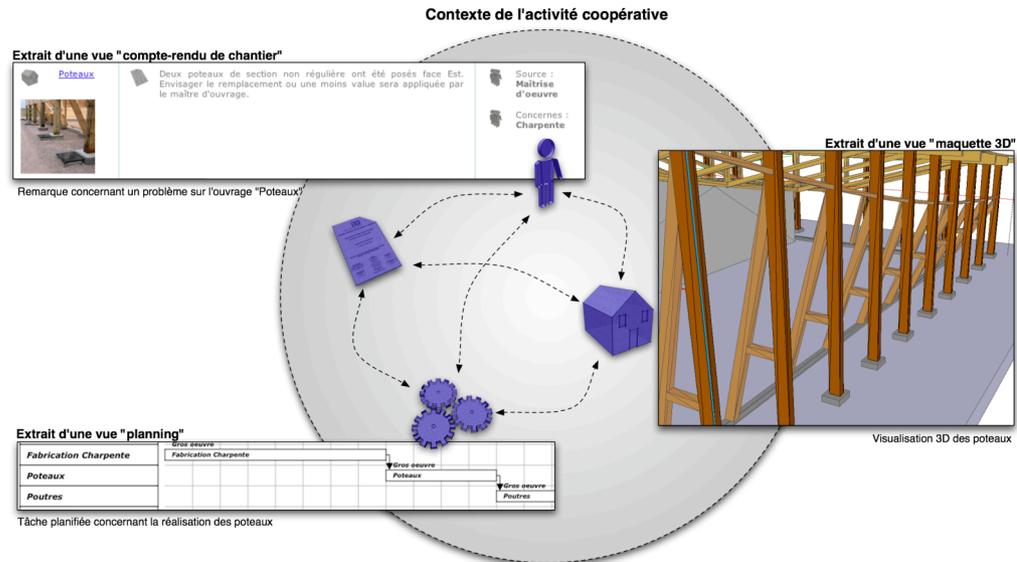


Figure 88 : Exemple de trois vues traitant du même sujet de coordination

7.2.2. Choix de vues pertinentes pour la coordination

Bien sûr, dans la réalité, de nombreuses autres vues sont utilisées par les professionnels pour traiter de tels problèmes de coordination : des documents de référence (détails techniques, dossiers techniques unifiés, le CCTP du projet), la liste des documents traitant de l'ouvrage, des bordereaux etc. Nous nous sommes cependant focalisés dans notre développement sur les vues dynamiques, celles qui sont régulièrement actualisées (ou qui pourraient l'être), représentant le contexte de coopération sous différents points de vue :

- Le compte-rendu de chantier traite des problèmes en cours (points particuliers) et de l'état d'avancement (informations générales, points d'avancement particuliers, suivi des tâches planifiées),
- Le planning de chantier décrit l'enchaînement des tâches, d'un point de vue temporelle,
- La maquette 3D, utile pour convoquer de l'information à propos d'un ouvrage, représente géométriquement ceux-ci,

- La vue « liste des documents », représentant les divers documents et leur statut (validé, en attente),
- Le graphe Bat’Map représente le contexte de coopération d’un point de vue relationnel,
- Enfin, une vue représentant les points particuliers de tous les comptes-rendus du chantier sous forme de liste qui permet de tracer les remarques.

L’hypothèse que nous formulons est qu’un problème particulier de coordination peut être décrit dans plusieurs vues. À l’heure actuelle, un intervenant du chantier doit convoquer ces vues « manuellement » en croisant des informations dans des documents et des outils hétérogènes. Dans la pratique, cela « coûte » du temps et demande une connaissance de l’ensemble des vues à disposition, donc les acteurs ne le font que très rarement.

Nous proposons donc de mettre en évidence les relations entre les concepts de chaque vue afin de décrire plus précisément un point de coordination particulier. Pour cela nous nous appuyons sur le principe de la multi-visualisation d’information : un arrangement de vues à l’écran permet à l’utilisateur d’avoir une vue globale et de naviguer dans le contexte de coopération en sélectionnant des éléments dans chacune des vues.

Lorsqu’un élément est sélectionné dans une des vues, les éléments correspondants dans les autres vues sont alors mis en surbrillance (Figure 89).

Cette proposition vise donc à renforcer deux caractéristiques majeures de la coordination du chantier :

- *Favoriser la compréhension de l’information* de coordination par les acteurs, et donc améliorer la qualité de la coordination dans la configuration hiérarchique de l’organisation (supervision directe),
- *Augmenter la conscience de groupe des acteurs*, en automatisant la mise en relation de concepts jusqu’ici souvent distincts, et en permettant une navigation dans le contexte de coopération à l’aide des vues habituelles. Cette connaissance contextuelle de l’activité collective permettra aux acteurs en situation d’ajustement mutuel (organisation adhocratique) de prendre position et d’agir de manière « plus sûre », en réduisant les risques liés à la méconnaissance de l’activité des autres.

Ouvrage	Description	Intervenant
Plan	Toutes les entreprises sont priées de communiquer au Maître d'Oeuvre leurs plans de réservations dans les ouvrages de Gros-Oeuvre (fourreaux, trous etc.) pour le 19 juillet dernier délai afin de les intégrer dans les plans d'exécution.	Source : Maîtrise d'oeuvre Concernés : Tous
Nettoyage	La DDE libérera le site de toutes les installations existantes relatives au dépôt de sel pour le 10 mai 2004.	Source : Maîtrise d'oeuvre Concernés : DDE
Charpente Refend	Vous nous faites remarquer le faux aplomb du mur en béton partie Sud (env. 6 cm) entraînant un problème de pose de la ferme. Rendez-vous jeudi matin avec l'architecte et l'entreprise de Gros-Oeuvre pour visualiser ce problème et trouver une solution.	Source : Maîtrise d'oeuvre Concernés : Maçonnerie Béton armé Charpente
Ferrures	Coordination avec les entreprises Michel et Houot pour fixation ferrures (platine et crose d'ancrage) sur massifs de fondation : vérification dimensions platine et massifs, préscellement, scellement etc.	Source : Maîtrise d'oeuvre Concernés : Gros-oeuvre Menuiserie
Plans	Vérification des plans transmis par	Source :

Figure 89 : Arrangement de deux vues (compte-rendu et planning) et mise en relation Observation(CR)-Tâche(PL)

Dans le prototype *Bat'iViews* [Thomas 2006], nous nous sommes penchés sur deux aspects précis de cette proposition : la gestion des arrangements de vues et la coordination des interactions entre les vues.

7.2.3. Les arrangements de vues et leur contenu

La réflexion sur la nature et l'utilisation du « contexte acteur » et du « contexte utilisateur » nous conduit à nous questionner sur l'adaptation de notre interface à l'utilisateur.

D'abord, le contenu de chaque vue peut être adapté à l'utilisateur en fonction de son métier ou ses habitudes (contexte acteur), en sélectionnant l'information à lui afficher (comme nous l'avons fait dans le prototype *Image.Chantier*, §7.1.1.1). De tels filtres pourraient être appliqués aux autres vues : filtre des tâches dans le planning, filtre des objets dans la maquette numérique etc. Il faudrait aussi envisager d'adapter la représentation au type de matériel utilisé : arrangement simple sur petits écrans, nombreuses vues sur grand écran (contexte utilisateur). Ces fonctions n'ont été que partiellement implémentées dans notre prototype.

Ensuite, nous avons travaillé sur la question de l'organisation des vues, et imaginé plusieurs arrangements et vues associées proposées par défaut à l'utilisateur. Dans son profil, celui-ci peut choisir parmi quatre arrangements.

- Deux fenêtres : compte-rendu et planning,
- Trois fenêtres : compte-rendu, planning et maquette numérique,
- Trois fenêtres : compte-rendu, planning et maquette numérique mais organisation différente,
- Quatre fenêtres : compte-rendu, planning, maquette numérique et liste des points particuliers de tous les comptes-rendus.

Par défaut, les arrangements lient une fenêtre à une vue (Figure 90). Cependant, il est possible de paramétrer l'affichage en choisissant une vue particulière dans chacune des fenêtres.

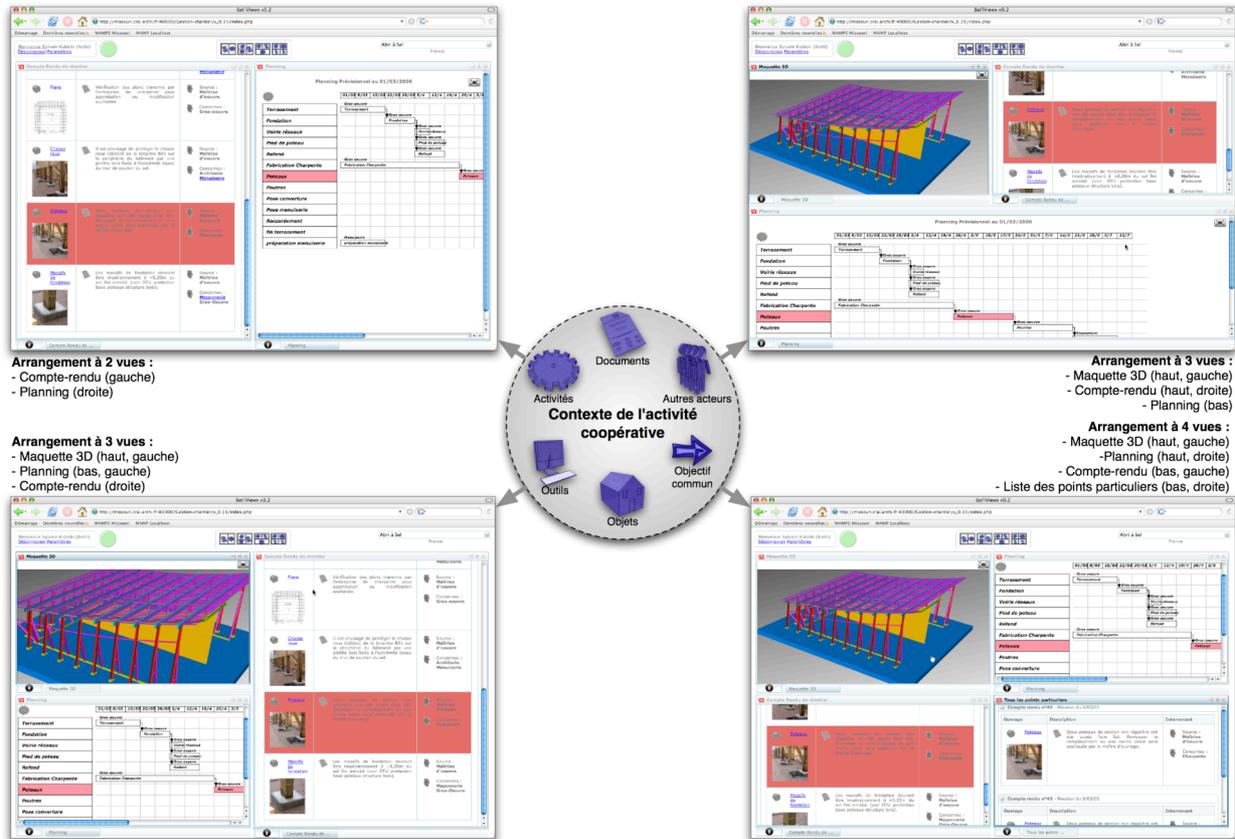


Figure 90 : Les quatre arrangements par défaut dans Bat'iViews

La juxtaposition de plusieurs vues permet donc de mettre en relation des éléments de chacune d'entre elles comme le montre la Figure 90.

7.2.4. Coordonner la navigation dans les différentes vues du contexte

Pour gérer ces relations entre les vues, nous soulevons deux questions importantes :

- Quels concepts de chaque vue mettre en relation avec les concepts des autres vues ?
Nous abordons ici la question de la sémantique de la relation,

- Comment coordonner la navigation entre les diverses vues, c'est-à-dire définir le comportement de toutes les vues lors d'une action de l'utilisateur.

Le choix des concepts à relier entre les vues est conditionné par le modèle de chaque vue :

- Le compte-rendu affiche des remarques concernant des *ouvrages* et des *acteurs*,
- Le planning affiche des *tâches*,
- La maquette 3D affiche des *ouvrages*.

L'interaction est générée par la sélection de l'un de ces éléments dans chacune des vues, et consiste à chercher les concepts correspondants dans les autres vues afin de les mettre en surbrillance. Nous verrons dans la partie suivante que la sémantique liant ces concepts est définie dans le modèle de l'activité coopérative du chantier.

Pour la navigation, plusieurs hypothèses se sont proposées à nous :

- Définir une fenêtre « maîtresse », à partir de laquelle l'utilisateur effectue des actions, et qui rafraîchit toutes les autres fenêtres (Figure 91),

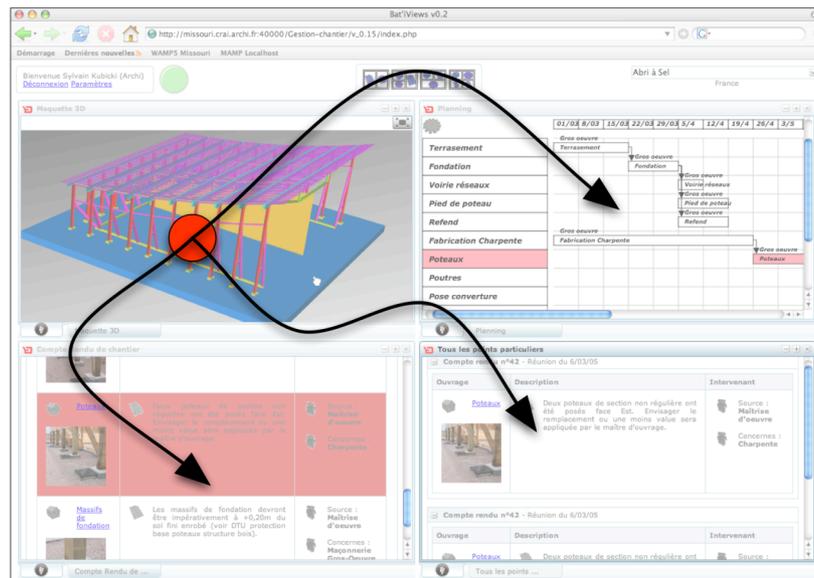


Figure 91 : Navigation à l'aide d'une fenêtre "maîtresse"

- Définir une logique de « navigation hiérarchique », qui permet de naviguer en parcourant les vues dans un ordre « conventionnel » (Figure 92), par exemple suivant le principe du Finder : de gauche à droite,

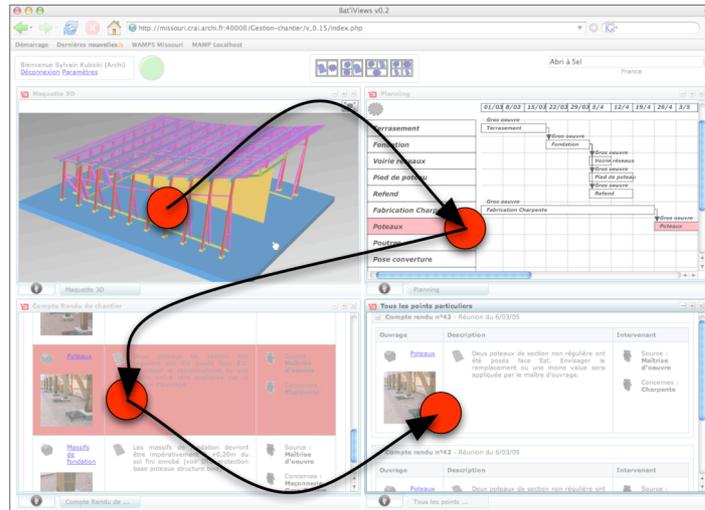


Figure 92 : Navigation hiérarchique

- Définir une navigation « libre », permettant à chaque vue de rafraîchir toutes les autres, sans logique particulière prédéfinie (Figure 93). Cette navigation nécessite de bien identifier les interactions générées par chaque vue et de les détailler à l'utilisateur.

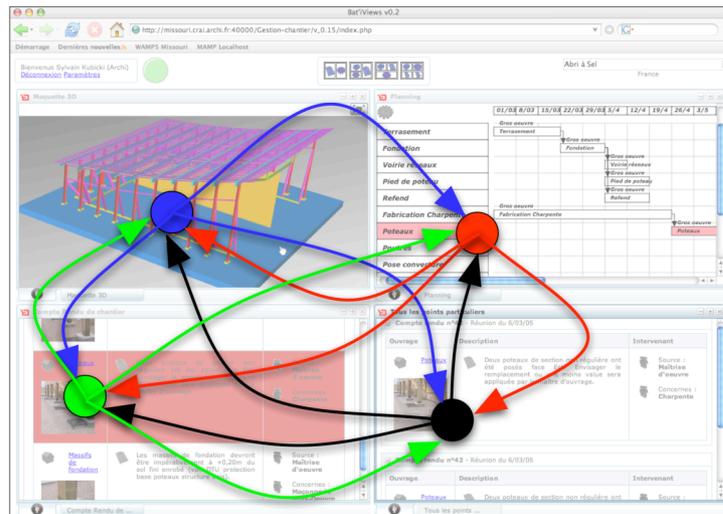


Figure 93 : Navigation « libre »

7.2.5. Interactions entre les vues

La navigation « libre » est celle que nous avons retenue dans le développement du prototype *Bat'iViews*.

Certains éléments de chaque vue permettent donc de générer des interactions, c'est-à-dire de rafraîchir l'ensemble des autres vues suivant une logique présentée dans le Tableau 7.

Des « étiquettes » avertissent l'utilisateur du comportement de l'interface.

Vue et élément sélectionné générant l'interaction		Comportement dans les autres vues
Maquette 3D	Ouvrage (ou groupe d'ouvrages)	<i>Planning</i> : Sélectionne la (ou les) tâche(s) correspondant à la réalisation de cet ouvrage.
		<i>CR</i> : Met en surbrillance le (ou les) point(s) particulier(s) concernant cet ouvrage.
		<i>Liste PP</i> : Filtre et affiche tous les points particuliers, dans tous les CR du chantier, concernant l'ouvrage sélectionné.
Planning d'exécution	Tâche	<i>Maquette 3D</i> : affiche en rouge le (ou les) ouvrage(s) du modèle réalisé dans la tâche sélectionnée.
		<i>CR</i> : affiche le (ou les) points particuliers faisant référence à la réalisation de la tâche sélectionnée.
		<i>Liste PP</i> : Filtre et affiche tous les points particuliers, dans tous les CR du chantier, faisant référence à la réalisation de la tâche sélectionnée.
Compte-rendu de chantier	Point particulier (Ouvrage)	<i>Maquette 3D</i> : affiche en rouge le (ou les) ouvrage(s) du modèle dont traite le point particulier.
		<i>Planning</i> : Sélectionne la (ou les) tâche(s) en relation avec l'ouvrage concerné par le point particulier.
		<i>Liste PP</i> : Filtre et affiche tous les points particuliers précédents, dans tous les CR du chantier, concernant le même ouvrage.

	Point particulier (Intervenant concerné)	<i>Maquette 3D</i> : affiche en rouge le (ou les) ouvrage(s) du modèle réalisé(s) par le même intervenant.
		<i>Planning</i> : Sélectionne toutes les tâches réalisées par le même intervenant.
		<i>Liste PP</i> : Filtre et affiche tous les points particuliers, dans tous les CR du chantier, concernant le même intervenant.
	Suivi de l'avancement d'une tâche planifiée (Tâche)	<i>Maquette 3D</i> : affiche en rouge le (ou les) ouvrage(s) du modèle concerné(s) par la tâche dont on mesure l'avancement.
		<i>Planning</i> : Sélectionne la tâche planifiée dont on mesure l'avancement.
		<i>Liste PP</i> : Filtre et affiche tous les points particuliers, dans tous les CR du chantier, faisant référence à la réalisation de la tâche dont on mesure l'avancement.
Liste des points particuliers dans tous les comptes-rendus de chantier	Point particulier (Ouvrage et Intervenant concerné)	<i>Maquette 3D</i> : Id. que pour le compte-rendu
		<i>Planning</i> : Id. que pour le compte-rendu
		<i>CR</i> : Id. que pour le compte-rendu

Tableau 7 : Comportements entre vues lors d'une interaction

7.2.6. Synthèse

Bat'iViews est donc une proposition visant à supporter la « coordination flexible » dans des configurations organisationnelles de type « adhocratique ». Il permet à l'utilisateur de naviguer librement dans le contexte de coopération du projet. Il s'adapte à l'utilisateur en prenant en compte son « contexte acteur » à travers des filtres possibles de l'information (comme pour *Image.Chantier*), et son « contexte utilisateur » en lui permettant de définir des arrangements et d'y introduire des vues particulières. La navigation, quant à elle, a pour objectif de lui permettre

de mieux « contextualiser » l'information provenant du contexte de coopération, en mettant en relation les concepts de chaque vue. Nous pensons que l'interface peut supporter directement ou indirectement les situations d'ajustement mutuel entre les acteurs.

Chapitre 8. Validation des propositions

Les propositions que nous avons décrites dans le chapitre précédent ont fait l'objet de développement de prototypes logiciels dont le niveau d'opérationnalité est variable. L'objectif « double » que nous nous sommes fixé dans cette thèse consiste d'une part, à proposer des outils pour l'assistance à la coordination de l'activité collective dans le secteur du bâtiment et d'autre part, à proposer une approche par les modèles facilitant leur développement et leur intégration.

Après avoir présenté notre démarche d'assistance à la coordination par des outils (Chapitre 5), notre approche par les modèles (Chapitre 6) et des propositions innovantes d'outils pour la phase chantier (Chapitre 7), nous en arrivons à apporter des éléments de validation de ces propositions.

Nous commencerons par la validation de l'approche par les modèles, à travers la démonstration de l'utilisation de notre infrastructure dans nos développements de prototypes. Puis nous présenterons des éléments de validation « métier » à travers nos expérimentations et des scénarios d'utilisation des outils.

8.1. Validation de l'architecture de modèles dans les développements

Le métamodèle de coopération nous a servi de guide dans les premiers développements de cette thèse. La réalisation de modèles conformes à ce métamodèle générique nous permet de décrire la structure d'outils de coopération, spécialisé dans le domaine de la construction (et spécifiquement du chantier).

Nous reviendrons aussi sur les modèles et métamodèles que nous avons mis en œuvre pour la réalisation du prototype *Bat'iViews*. Dans le cadre de l'infrastructure proposée dans la partie 6.3.2.2, nous avons associé divers modèles pour le développement de ce prototype.

8.1.1. Construire des vues du contexte : modèles de concepts

Les développements de l'outil *Image.Chantier* et du *tableau de bord* ont surtout consisté pour nous, en tant « qu'expert du domaine », à définir les modèles des concepts de chacune de ces nouvelles vues du contexte. Le développement proprement dit a été réalisé en étroite coopération avec des informaticiens.

Image.Chantier (§8.1.1.1) a pour particularité de rendre compte du contexte de coopération de manière très proche des concepts de celui-ci. De plus, il est spécifiquement dédié à l'activité de chantier (il est conçu pour produire uniquement des comptes-rendus de réunions de chantier). Les concepts de l'outil font donc référence en partie au modèle du contexte de coopération. Cependant, son modèle diffère d'un modèle du contexte de coopération car il a vocation à représenter spécifiquement la structure du document.

La *tableau de bord* (§8.1.1.2) est un développement plus générique. En effet, la notion « d'indicateur de suivi de tâches planifiées » n'est pas vraiment spécifique au domaine de la construction. Son modèle répond plutôt à des concepts issus du domaine du management. Il n'est pas en relation directe avec notre modèle, mais des transformations peuvent être définies pour en extraire les informations nécessaires.

Pour le développement de ces vues spécifiques à l'activité de chantier, nous nous sommes donc basés sur l'infrastructure pour l'exploitation de modèles présentée dans la partie 6.3.2.2.

Plus exactement, nous établissons les correspondances (transformations) entre modèle de concepts des vues et modèle du contexte de coopération.

8.1.1.1. Modèle des concepts de l'Outil *Image.Chantier v0.1*

La réalisation du prototype *Image.Chantier v0.1* nous a permis de tester la capacité de notre métamodèle à représenter une situation de construction¹⁰⁷. Nous avons vu que les concepts

¹⁰⁷ Une validation du point de vue de l'activité de conception architecturale a fait l'objet de la thèse de Damien Hanser.

représentés au niveau du métamodèle étaient pertinents pour décrire un contexte réel d'une activité de chantier à travers un modèle du contexte de coopération.

La Figure 94 représente le modèle des concepts de l'outil que nous avons développé. Ce modèle a servi de base pour le développement de la base de données structurant l'information.

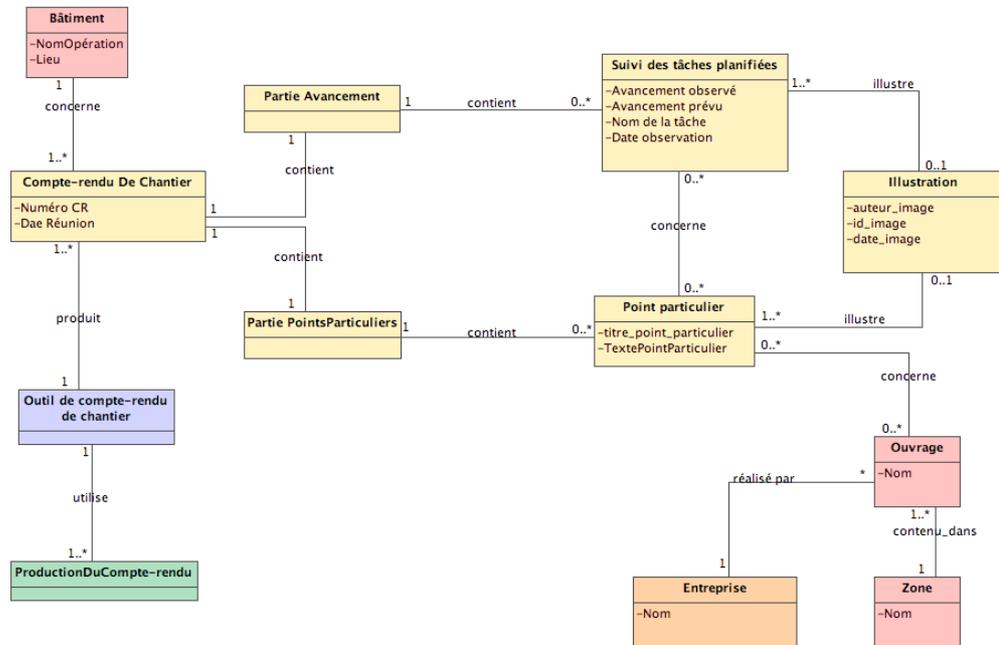


Figure 94 : Modèle des concepts du prototype Image.Chantier (v0.1)

Dans ce modèle, on distingue d'abord les différentes parties relatives au compte-rendu de chantier (*Partie Avancement*) et (*Partie Observation*) que nous avons présentées dans la description de l'application (§7.1.1.2). On voit aussi comment le compte-rendu en tant que document (toutes les classes en jaune) fait référence au contexte de coopération du chantier : les objets (en rose), les activités (en vert), les acteurs (en orange) ou encore les outils (en bleu).

Les liens que nous avons décrits dans le chapitre précédent, et qui permettent de naviguer dans le contexte (historique des points particuliers, liste de points d'avancement etc.) se concrétisent à travers des parcours dans ce modèle de concepts. Par exemple, le lien entre un point particulier et

un point d'avancement s'appuie sur la relation (*concerne*) entre (*Observation*) et (*Suivi des Tâches planifiées*).

On peut donc dire suite à ce développement que, pour partie, le modèle d'*Image.Chantier* est en relation directe avec le modèle du contexte de coopération d'une activité de chantier : (*Bâtiment*), (*Ouvrage*), (*Zone*), (*Entreprise*). Pour une autre partie, il est spécifique à la description du compte-rendu dans l'application *Image.Chantier* (*Partie Avancement*), (*Partie PointsParticuliers*), (*Suivi des tâches planifiées*) etc. Nous verrons d'ailleurs que nous avons fait évoluer cette partie spécifique lorsque nous avons inséré la vue *Image.Chantier* dans l'application *Bat'iViews* afin de rendre compte de l'intégralité du document original.

8.1.1.2. Modèle des concepts du tableau de bord du chantier

Le modèle du *tableau de bord* pour la gestion du chantier diffère de l'exemple précédent. Par nature, la vue *tableau de bord* (présenté dans la 7.1.2.2) n'a pas vocation à agir sur le processus qu'il représente. Sa particularité en tant qu'outil de visualisation du contexte de coopération est uniquement de mesurer le déroulement de l'activité et d'en rendre compte à travers différents indicateurs afin d'assister la prise de décision.

Ces concepts même d'indicateurs n'appartiennent pas directement à notre modèle du contexte qui représente l'activité sans pour autant la mesurer.

Le modèle du *tableau de bord* expérimental (que nous avons décrit dans la partie 7.1.2.2) est présenté dans la Figure 95. Il place donc l'outil « *Tableau de bord* » à l'intersection entre, d'un côté, les tâches de coordination (*Synthèse Avancement*), (*Synthèse Flux Documents*), (*Synthèse Organisation Acteurs*), et de l'autre côté, les indicateurs utilisés (*Ind. Avancement Général*), (*Ind. Avancement par lot*), (*Ind. Avancement Tâche*)¹⁰⁸. Ces trois indicateurs concernant l'état d'avancement de l'activité présentent plusieurs niveaux de granularité correspondant à plusieurs points de vue : le maître d'ouvrage a un point de vue général sur l'activité, alors que le coordinateur a besoin d'indicateurs détaillés : avancement d'un lot ou d'une tâche précise.

Nous noterons que la mesure de ces indicateurs s'effectue à partir d'informations provenant directement du contexte de coopération, et d'ailleurs représentées par les documents de compte-rendu et de planning.

¹⁰⁸ D'autres indicateurs sont en réflexion.

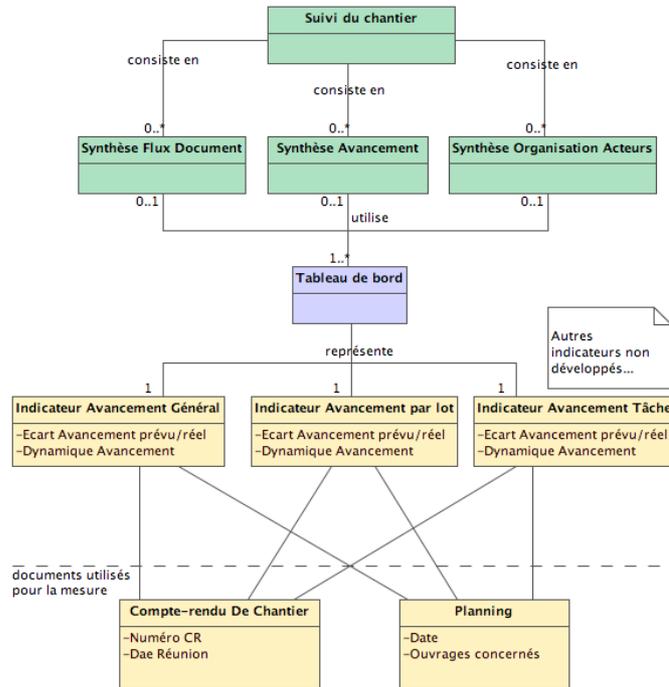


Figure 95 : Modèle des concepts d'un tableau de bord du chantier

Le modèle du *tableau de bord* renvoie donc à des concepts du contexte de coopération, sans pour autant y être « conforme ». Il constitue donc une « arête » de la pyramide de modèles présentée dans la partie 6.3.2.2. Les concepts du modèle du tableau de bord correspondent à des concepts du modèle du contexte de coopération du chantier. Pour y faire référence, il est nécessaire de définir des transformations entre ces deux modèles.

Par exemple, « *l'indicateur d'avancement général* » est obtenu à partir de *l'avancement prévu de la tâche* (identifié dans le planning), *l'avancement réel* (identifié dans le compte-rendu) et en effectuant une *mesure* (différence entre ces deux dates). Ceci correspond à une transformation de modèles au sens de l'IDM (Cf. §6.2.4.2).

8.1.2. *Bat'iViews* : mettre en relation des modèles de concepts

Nous avons vu, dans la présentation de l'application *Bat'iViews*, que quatre « vues » ont été retenues pour le développement du prototype :

- La vue « planning » représentant le planning de chantier sous la forme d'un digramme de Gantt,
- La vue « compte-rendu de chantier », qui est en réalité une extension d'*Image.Chantier*,
- La vue « *Liste des points particuliers* » que nous proposons d'introduire. Elle est en réalité construite sur la base de la vue « compte-rendu » mais se limite à la partie « points particuliers ». Son intérêt est de proposer une visualisation de ces points dans tous les comptes-rendus du chantier,
- Et la vue « maquette 3D » représentant le bâtiment en trois dimensions.

Chacune de ces vues représente donc un point de vue sur le contexte de coopération. Nous proposons, dans un premier temps, de modéliser les concepts manipulés par chacune de ces vues (comme nous l'avons fait précédemment pour *Image.Chantier v0.1* et pour le *tableau de bord*).

Pour nous replacer dans l'infrastructure de modèles que nous avons définie dans la partie 6.1.2.4, ces modèles de concepts se situent donc dans les « arêtes » de la pyramide (Figure 78). Plus exactement un « modèle de concepts d'une vue » est le deuxième niveau dans cette arête. Pour chacune des trois vues nous reviendrons sur la nature de son métamodèle.

Puis, nous présenterons les modèles nécessaires pour décrire les interactions entre les vues dans le prototype, et nous verrons sur un exemple concret la forme qu'ils peuvent prendre.

Nous faisons l'hypothèse que l'information du contexte de coopération est gérée dans un outil. Le prototype *Bat'Group* (Cf. §5.1.3.2) développé au MAP-CRAI pourrait, par exemple, permettre de saisir toutes les informations d'un contexte de coopération dans un projet de construction. Le modèle de sa base de données est en effet conforme au métamodèle du contexte de coopération.

8.1.2.1. Vue « planning »

La vue « planning » dans le prototype *Bat'iViews* est empruntée aux représentations traditionnelles de l'organisation des tâches (diagramme de Gantt, Figure 96).

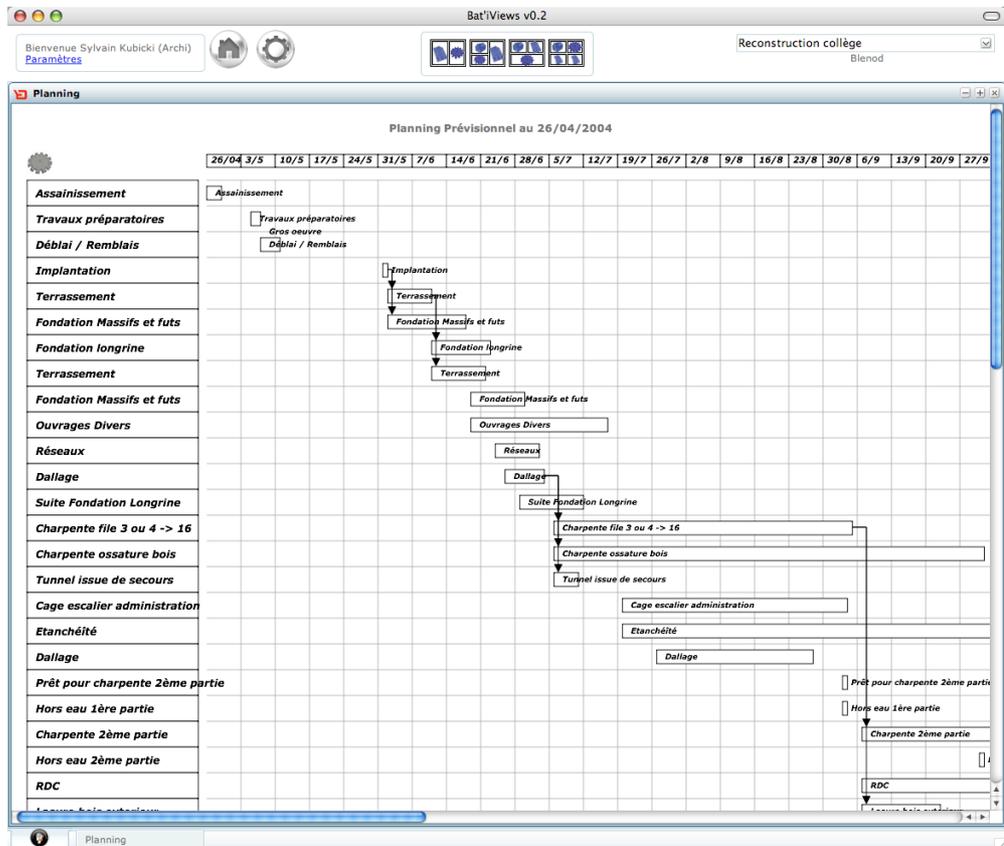


Figure 96 : La vue "Planning" dans Bat'Views

Pour réaliser le prototype *Bat'Views*, nous avons développé un modèle simplifié de représentation d'un diagramme de Gantt, adapté aux spécificités d'une planification de chantier. Ce modèle (Figure 97) représente des tâches de construction (*Tâche de construction*) consistant à réaliser des ouvrages (*Ouvrage*) situés dans des zones du chantier (*Zone*). Il représente bien sûr leurs caractéristiques temporelles et leurs enchaînements, ainsi que le lot (*Lot*) et l'intervenant (*Entreprise*) qui les réalise.

Son métamodèle serait plus générique. Comme beaucoup de modèles de planification, il contiendrait les *tâches* (concept général) et les *ressources attribuées à ces tâches*.

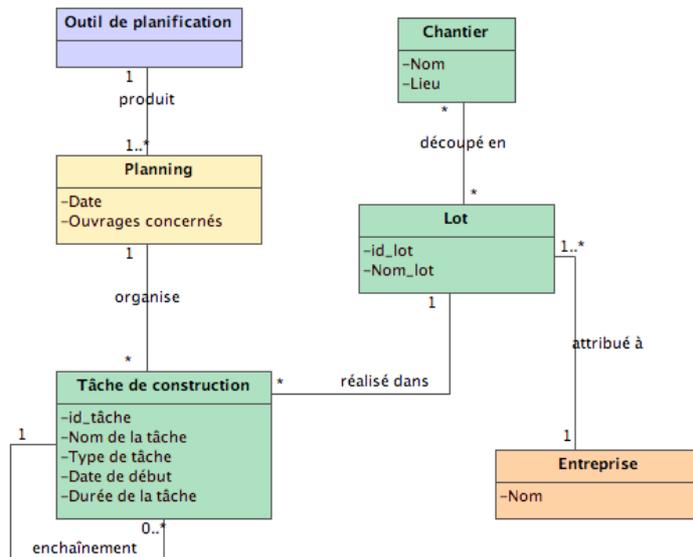


Figure 97 : Modèle des concepts d'une vue "planning"

Dans le prototype *Bat'iViews*, ces informations sont décrites dans un fichier XML, qui pourrait être généré à partir des informations contenues dans le contexte de coopération. Le modèle présenté graphiquement ci-dessus pour plus de lisibilité, est, en réalité, représenté par un schéma XML dans notre prototype. Cela montre bien que les concepts de la vue planning sont *en relation* avec le contexte de coopération, sans y être pour autant « conformes ». Les couleurs sur le modèle rappellent nos entités principales du métamodèle, et montrent cette proximité sémantique.

Le principe de construction d'une vue « planning » a été décrit dans la partie de description de notre infrastructure de modèles (§6.3.2.2). La Figure 81 reprend notre principe général de construction d'une vue (planning) et montre les modèles spécifiques à chaque niveau de la pyramide.

Pour la construction d'une vue « planning », nous avons besoin d'un fichier de données XML. Ce fichier est représenté par un modèle, qui est le schéma XML, lui-même conforme au langage de description de schémas XML (nommé aussi « XML Schema » d'ailleurs).

Le modèle du mode de visualisation (un des modèles pour la construction d'une vue « planning », évoqué dans la partie 6.1.2.3) est ici intimement lié au modèle des concepts de la vue planning. En effet, nous avons retenu le format SVG¹⁰⁹ pour l'affichage du planning. En définissant la vue, nous avons donc lié ces deux modèles par une transformation : par exemple, une tâche correspond à un rectangle horizontal, une durée se représente dans la dimension de la longueur. Une unification de ces deux modèles a été réalisée durant le développement, de manière manuelle (ex. une balise XML correspond à tel objet SVG).

8.1.2.2. Vue « Image.Chantier »

La deuxième vue implémentée dans le prototype, « *Image.Chantier* », est celle du compte-rendu de chantier. Pour construire cette vue, nous nous sommes appuyés sur l'expérience du développement d'*Image.Chantier v0.1*.

La Figure 98 présente l'interface d'*Image.Chantier v0.2* que l'on retrouve dans *Bat'iViews*. À gauche on voit l'onglet « Avancement » et à droite, les « points particuliers ».

¹⁰⁹ SVG (Scalable Vector Graphics) est un format de fichier permettant de décrire des ensembles de graphiques vectoriels.

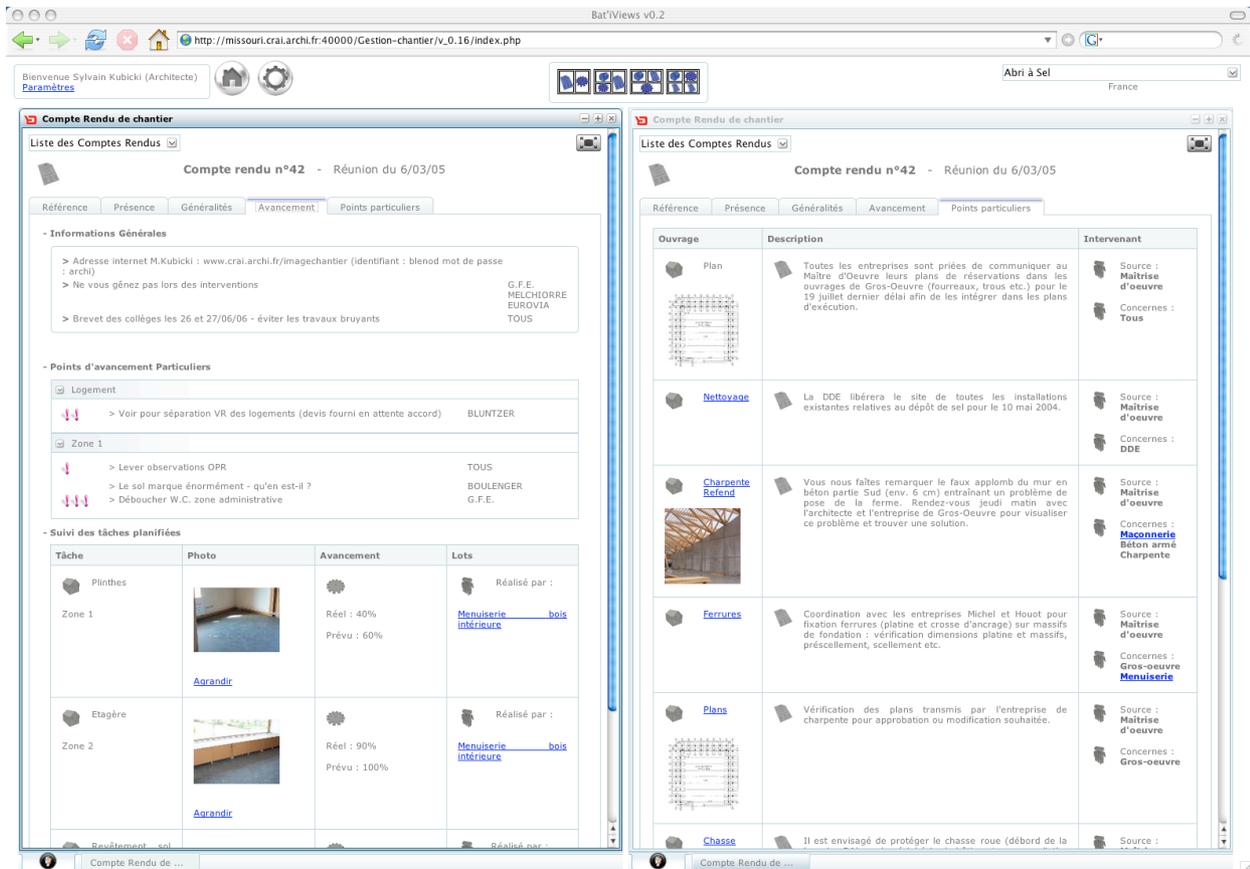


Figure 98 : La vue "Image.Chantier" dans Bat'iViews (à gauche l'avancement et à droite les points particuliers)

Nous avons étendu le modèle des concepts d'Image.Chantier v0.1 (Figure 94) afin de représenter l'intégralité de l'information de coordination contenue dans le compte-rendu de chantier d'Image.Chantier v0.2 (Figure 99, classes en jaune).

On retrouve les parties « d'avancement » (gauche) et « de points particuliers » (droite), que nous avons décrites précédemment. Nous avons rajouté les informations générales qui concernent le chantier : référence du compte-rendu, liste des présences à la réunion, généralités sur le chantier, et calendrier des réunions.

Nous avons plus précisément revu la partie avancement en distinguant les « informations générales sur l'avancement », les « points d'avancement particuliers » (liés à des tâches

particulières, ou à l'avancement dans une zone plus générale), et enfin le « suivi des tâches planifiées », correspondant à la saisie hebdomadaire de l'avancement réel d'une tâche du planning. La partie « points particuliers» est identique à celle d'*Image.Chantier*, notamment dans les relations entre points particuliers, images (*Illustration*) et intervenants concernés (relations *émetteur* et *destinataire*).

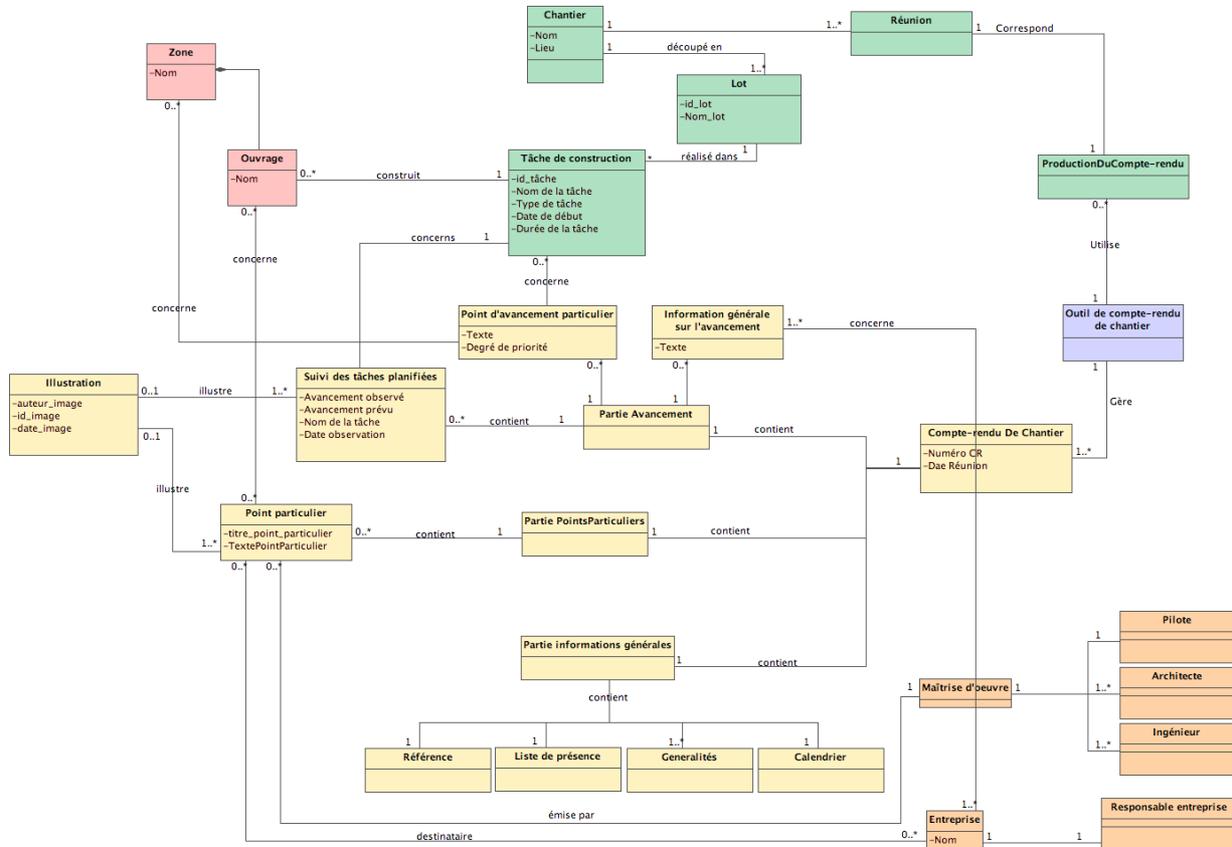


Figure 99 : Modèles des concepts de la vue *Image.Chantier* (v0.2)

Un compte-rendu particulier est lui aussi décrit dans un fichier XML spécifique, représenté par un schéma XML (dérivé du modèle ci-dessus).

8.1.2.3. Vue « Liste des points particuliers »

La vue « Liste des points particuliers » possède une interface très proche de celle de l'onglet « points particuliers » de la vue « *Image.Chantier* ». La différence est qu'elle se structure à travers les différents comptes-rendus du chantier, dont le contenu peut être masqué. Elle permet donc de naviguer plus facilement dans la liste des points particuliers du chantier, sans avoir à passer d'un compte-rendu à l'autre.

En situation d'interaction, elle est particulièrement pertinente puisqu'elle permet d'obtenir toutes les remarques qui ont été formulées au sujet d'un ouvrage ou d'une tâche.

Le modèle de cette vue est un « sous-ensemble » du modèle de la vue *Image.Chantier*, limité aux points particuliers.

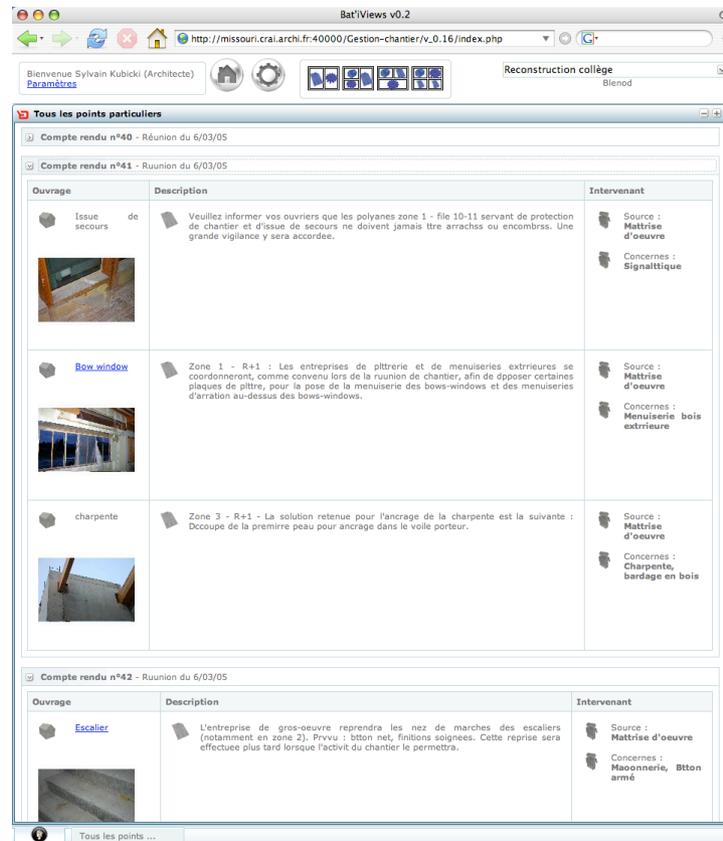


Figure 100 : Vue "Liste des points particuliers"

8.1.2.4. Vue « maquette 3D »

La vue « maquette 3D » propose une visualisation tridimensionnelle de la maquette numérique du bâtiment en cours de construction. La Figure 101 représente la vue « maquette 3D » dans le prototype *Bat'iViews*. Il s'agit d'une maquette du projet du collège de Blénod-lès-Pont-À-Mousson, dont nous avons décrit le chantier dans le deuxième chapitre de ce mémoire.



Figure 101 : La vue "Maquette 3D" dans *Bat'iViews*

Le métamodèle d'une vue 3D est générique dans tous les domaines utilisant une maquette numérique (automobile, aéronautique etc.). Il représente essentiellement des objets 3D, caractérisés par leurs propriétés géométriques, leurs attributs de couleurs, matériaux ou textures. On retrouve aussi le concept de scène, permettant la visualisation de ces objets, auxquels sont associés les concepts de « caméra », « éclairage ambiant » et « source lumineuse » etc.

Le modèle de notre maquette 3D possède une sémantique propre au domaine du bâtiment. Les objets spécifiques que nous décrivons (les ouvrages) sont des murs, des poteaux, la charpente, une dalle etc. Nous aurions pu utiliser pour ce développement le modèle IFC, probablement le plus apte à représenter les objets du domaine AEC.

Cette vue a été plus délicate à implémenter dans le prototype. En effet, notre besoin d'interaction nous a beaucoup limité dans le choix des technologies. Les « visualiseurs » IFC pour le Web sont encore peu répandus. De plus ces modèles sont relativement « lourds ». De même, les langages de description d'objets 3D, utilisables dans des applications Web, tels que VRML et X3D se sont révélés peu optimisés pour des maquettes 3D complexes comme des bâtiments.

Nous avons donc opté pour une technologie propriétaire de description de scènes 3D interactives (Cult3D¹¹⁰). Outre sa capacité à décrire des objets 3D et à gérer des interactions sur ces objets, « Cult3D » présente l'avantage de gérer la maquette dans des fichiers très légers, et donc adaptés à une architecture client/serveur.

D'autres vues ont été envisagées, mais faute de temps nous n'avons pu les intégrer dans le prototype *Bat'iViews* :

- La vue « *Bat'Map* » qui représente le contexte de coopération à l'aide d'un hypergraphe (Cf. §5.2.2.3),
- La vue « *Liste des documents* » qui représenterait l'ensemble des documents en cours de production ou de validation dans le contexte de coopération d'un chantier. Cette vue existe souvent déjà, attachée au compte-rendu de chantier,
- La vue « *Tableau de Bord* » qui propose des indicateurs synthétiques sur l'activité du chantier (§8.1.1.2). Ces indicateurs permettraient de générer des interactions vers les autres vues afin de comprendre l'état de l'activité.
- Etc.

8.1.2.5. Modèles de transformation pour les interactions

Après avoir décrit la construction des vues, grâce à la mise en correspondance des modèles des concepts de chaque vue et du modèle du contexte, intéressons-nous maintenant à la navigation dans le contexte de coopération. Nous avons expliqué que *Bat'iViews* permettait à l'utilisateur de

¹¹⁰ <http://www.cult3d.com/>

naviguer en sélectionnant un élément dans une vue, qui rafraîchit les autres vues en relation (Cf. §7.2.4).

Pour cela, nous avons défini des principes d'interaction à partir de chaque concept sélectionnable de chaque vue (§7.2.5). Le problème que nous avons à résoudre est celui d'informer l'application du principe à appliquer et de l'information à afficher en fonction d'une interaction de l'utilisateur.

Il nous faut rappeler que chacune des vues ne représente que partiellement le contexte de coopération. Par exemple, un point particulier d'un compte-rendu concerne un ouvrage, mais ne fait pas référence à la tâche de construction qui y est associée. De même, un planning décrit des tâches, mais pas les ouvrages concernés. Seul notre modèle du contexte de coopération permet de décrire ces relations sémantiques.

Le principe que nous avons appliqué pour définir des interactions entre les vues est le suivant (Figure 102) :

- L'utilisateur sélectionne un élément dans une vue (1),
- La vue renvoie, par son contrôleur, le « concept » relatif vers le contrôleur du contexte de coopération, ainsi qu'une requête d'interaction vers les autres vues (2),
- Le contrôleur de contexte effectue la relation et génère un fichier de relations (3) qui décrit les concepts de la vue n°2 en relation avec le concept sélectionné dans la vue n°1, par l'intermédiaire du modèle du contexte de coopération. Un gestionnaire de contexte met en œuvre les transformations nécessaires,
- Il renvoie enfin l'information de correspondance aux contrôleurs des vues (4) qui affichent les éléments correspondants.

La Figure 102 représente ce principe d'interaction entre une vue « compte-rendu » (concept d'ouvrage lié à un point particulier) et la vue « planning » (concept de tâche). La relation entre « ouvrage » (de la vue compte-rendu) et « tâche » (de la vue planning) est décrite dans le modèle du contexte de coopération¹¹¹.

On peut faire le rapprochement avec une architecture de type MVC¹¹² (Modèle-Vue-Contrôleur), dans laquelle le contrôleur de la vue n°1 récupère les informations sélectionnées par l'utilisateur, interroge le modèle dans le contexte de celles-ci, et répercute les informations adéquates sur les vues associées à cet événement.

¹¹¹ Un ouvrage est réalisé par une ou plusieurs tâche(s).

¹¹² L'architecture Modèle Vue Contrôleur (MVC) est un motif de conception pour le développement d'applications logicielles qui sépare le modèle de données, l'interface utilisateur et la logique de contrôle.

8.1.3. Limites

Ces propositions sont rendues fonctionnelles dans le développement de notre prototype par une intégration très fine des différentes vues avec le modèle du contexte de coopération. Ces vues sont basiques dans le domaine de la construction et les concepts qu'elles manipulent sont représentés dans notre modèle.

Une première limite que nous devons soulever pose la question de l'étendue de notre modèle de contexte. En effet, de nouvelles vues à intégrer dans l'infrastructure pourraient renvoyer à des concepts ni présents, ni proches des concepts du contexte. Notre développement porte sur les besoins directs que nous avons. Nous ne prétendons pas couvrir la sémantique complète du domaine de la construction. Pour palier à cette limite, il serait nécessaire d'étendre la réflexion sur le modèle pour s'orienter vers une ontologie générique et partagée, comme semble le proposer progressivement le modèle IFC.

Une autre remarque est le peu d'automatisation actuelle des transformations de modèles. Pour l'instant, nous les avons définies manuellement dans le prototype. Nous avons commencé à tester des programmes pour générer ces transformations, comme ATL¹¹³ [Bézivin et al. 2003], mais il ne s'agit pas d'outils que l'on pourrait mettre en œuvre facilement.

La perspective qui semble se dégager du point de vue de la création des vues serait une architecture de service, de préférence intégrée à une plate-forme de gestion du contexte, qui prendrait en charge les requêtes de construction des vues et d'interactions entre les vues.

Cependant, à l'échelle de cette thèse, la contribution porte plus sur la démarche générale de construction et d'intégration de vues dans une interface de multi-visualisation, plutôt que sur une infrastructure technologique validée.

8.2. Validation « métier »

Le champ de recherche dans lequel nous nous inscrivons tente d'appréhender le contexte complexe de conception/réalisation du bâtiment. En mettant en évidence les points faibles dans la

¹¹³ ATLAS Transformation Language (ATL) est un langage de transformation de modèles implémentant le standard QVT de l'OMG.

conduite des processus collectifs, nous envisageons des méthodes et des outils aptes à dépasser ces problèmes et à faire face aux aléas de l'activité. De plus, dans notre thèse, nous nous focalisons sur la dimension informelle des processus qui, par nature, est difficile à identifier, à quantifier, à estimer et même parfois à comprendre.

La question de la validation « métier » de nos propositions est bien sûr importante dans notre démarche de recherche. Elle doit faire face à plusieurs difficultés :

- L'activité des professionnels de l'architecture, la taille réduite des entreprises et les plannings très « serrés » leur permettent peu de s'impliquer dans l'expérimentation de nouveaux outils¹¹⁴,
- L'état des développements de prototypes auquel nous aboutissons n'est pas suffisant pour envisager de laisser un professionnel utiliser l'un d'entre eux en le substituant à un outil de travail fonctionnel,
- Le temps nécessaire à une telle expérimentation est long, et se place nécessairement en fin de thèse. La nature très prospective de la recherche en Sciences de l'Architecture nous conduit à porter notre effort sur l'analyse préliminaire du domaine, la formalisation du problème et la proposition, laissant peu de temps pour le prototypage informatique (domaine dans lequel nous ne sommes pas spécialistes) et l'expérimentation.

À l'échelle de ce travail de thèse, nous avons d'abord mis en œuvre une approche expérimentale (Chapitre 2) qui nous a aidé dans la définition même des propositions. Nos expériences ont porté d'une part, sur la coordination du chantier et d'autre part, sur la mise en œuvre de la coopération, à travers le choix des outils supportant l'activité collective.

Nous allons maintenant décrire, dans cette partie, les éléments de validation que nous avons rassemblés, et qui permettent de justifier les propositions et l'évolution des réflexions d'un prototype à l'autre.

Dans un premier temps, nous discuterons des résultats et perspectives dans l'assistance à la consultation du compte-rendu avec l'outil *Image.Chantier*. Puis, nous reviendrons sur les retours d'expérimentation qui ont conduit à la proposition *Bat'iViews* et présenterons un scénario d'utilisation de cette interface.

¹¹⁴ Rappelons toutefois les procédures de type « REX », permettant à un maître d'ouvrage d'obtenir un financement pour une démarche expérimentale au sein d'une opération de construction. Ces procédures ont déjà permis notamment l'expérimentation de méthodes innovantes et pourraient être logiquement étendues à l'utilisation d'outils pour la coordination.

8.2.1. Assistance à la consultation du compte-rendu de chantier avec *Image.Chantier*

8.2.1.1. Expérimentation sur chantier

Le prototype *Image.Chantier* a été développé en parallèle de notre activité de suivi du chantier. Il a été présenté très tôt dans sa conception aux acteurs de la maîtrise d'œuvre qui ont contribué par leurs remarques à son développement. Puis en « exploitation » nous avons saisi les points particuliers et points d'avancement d'une trentaine de comptes-rendus produits par le coordinateur du chantier du collège.

Sur la base de ces comptes-rendus saisis dans notre prototype, nous avons ensuite enquêté auprès de différents professionnels du domaine de la construction afin de confronter cette proposition à de potentiels utilisateurs : plusieurs architectes, un maître d'ouvrage public, un coordinateur de chantier, et un PDG d'une entreprise générale de construction.

8.2.1.2. Résultats

Il se dégage de notre enquête sur l'outil *Image.Chantier* un certain nombre de résultats et de questionnements :

- Tout d'abord, la *tendance à l'utilisation de nouveaux outils basés sur les TIC semble aujourd'hui largement acceptée* par les différents acteurs. Cependant, ils soulignent les problèmes récurrents auxquels ils sont confrontés, comme le fait que de nombreuses petites entreprises ne soient toujours pas connectées à Internet, ou que les sites de chantier ne le soient pas non plus. La consultation « Web » du compte-rendu peut alors poser problème. Mais, nous pouvons pondérer cette remarque en signalant que sur notre chantier d'expérimentation le compte-rendu est déjà diffusé par voie électronique,
- Nous avons noté un intérêt tout particulier de notre outil de la part des *intervenants extérieurs au chantier*, ceux qui ne s'y rendent pas chaque semaine mais qui doivent se tenir informés de l'avancement et des problèmes : maître d'ouvrage, contrôleur technique. Ces acteurs apprécient l'outil notamment pour l'accès facilité à l'information de type « rappel » ou « retard ». Ils pensent pouvoir dégager plus rapidement une synthèse de l'état d'avancement du chantier qu'avec le compte-rendu traditionnel. L'image leur permet de plus de comprendre plus vite l'objet d'un point,
- Les *filtrages d'information que nous avons implémentés semblent bien adaptés* aux pratiques des acteurs. Certains nous ont avoué qu'ils surlignaient tous les points les concernant dans les comptes-rendus « papier » pour les repérer avant de les lire,

- Enfin, la *traçabilité et la facilité de recherche d'information* entre les comptes-rendus a été largement appréciée, par tous les acteurs confondus. En effet, ce besoin est réel et l'outil leur permet de gagner du temps de recherche fastidieuse dans des documents « papiers ». Cette fonctionnalité est permise par la structuration rigoureuse des données du compte-rendu, sur la base du métamodèle de coopération, qui assure une pertinence du point de vue de l'adaptation à la connaissance du domaine.

Les remarques suivantes traitent plus spécifiquement de l'apport de l'image de chantier dans la coordination :

- *L'utilisation de l'image est plus ou moins bien acceptée.* « L'effet de preuve » que nous anticipions est en tout cas conforté par les commentaires des utilisateurs. Une malfaçon photographiée semble avoir plus d'effet que si elle est relatée textuellement. Les acteurs de la maîtrise d'œuvre y voit un potentiel de communication clair et rapide. Les entreprises n'apprécient pas toujours de montrer ainsi les défauts. Dans certains cas, la hiérarchie interne de l'entreprise pourrait avoir connaissance d'informations qu'elle n'aurait pas eues habituellement et sanctionner les ouvriers. La transparence de l'information pose donc réellement question en regard des phénomènes de stratégies internes que nous avons décrits plus haut,
- Il semble se confirmer de plus que *l'image porte aussi une fonction d'identification et d'anticipation de problèmes.* D'abord, les utilisateurs distants et peu présents sur le chantier (comme le maître d'ouvrage) apprécie de pouvoir suivre son évolution à travers un outil accessible, dynamique et illustrant l'information. D'autres utilisateurs apprécient l'apport de l'image pour reconsidérer l'état de l'activité en dehors des visites de chantier¹¹⁵,
- Nous noterons enfin un certain *potentiel dans le milieu pédagogique.* La constitution d'une base de références imagées liée à la construction du bâtiment pourrait en effet alimenter des dispositifs pédagogiques (cours de construction, atelier de projets etc.).

¹¹⁵ Concrètement, nous avons observé un tel exemple lorsque l'architecte, en observant deux photographies du chantier dans le compte-rendu (avant et après la pose d'un bardage) a remis en question son choix de bardage : vertical ou horizontal.

8.2.1.3. Synthèse

Les résultats de l'expérimentation du prototype *Image.Chantier*, présentés ici, sont encourageants. Nous retiendrons essentiellement l'apport d'un tel outil dans la qualité du transfert de l'information de coordination aux acteurs. Le compte-rendu de chantier est un document essentiel, dont la lecture « papier » est difficile vu sa densité et son organisation pas toujours optimale.

L'apport de l'outil se situe donc surtout dans la consultation et dans la recherche d'informations « inter comptes-rendus ».

Cependant, nous notons que le transfert d'un nouvel outil comme *Image.Chantier* de la recherche vers les pratiques professionnelles pose certaines difficultés.

D'abord, d'une manière générale, le changement dans les habitudes de travail est problématique. L'apprentissage de nouveaux outils est coûteux. De plus, lorsqu'ils sont issus de la recherche expérimentale, leur utilité n'est pas rigoureusement « prouvée ». Le professionnel sera-t-il gagnant dans le ratio investissement/retour en qualité ? Seules des expériences isolées peuvent apporter des éléments de réponses. En tout cas, ce n'est pas la spécialité de notre discipline que d'estimer le retour sur investissement possible par l'adoption de tels nouveaux outils.

Ensuite, il commence à y avoir de la concurrence dans ce secteur d'applications logicielles. Des solutions intégrées (regroupant plusieurs fonctionnalités « métier » comme la planification, la constitution des DQE, la rédaction du compte-rendu) existent et sont probablement plus attirantes pour les professionnels.

8.2.1.4. Perspectives

Des perspectives se sont évidemment aussi dégagées de notre expérimentation d'*Image.Chantier*. D'abord, autour de la question de la traçabilité des décisions grâce au compte-rendu, plusieurs professionnels s'intéressent à la possibilité de rechercher des informations dans des bases de comptes-rendus. Un vrai besoin semble émerger pour retrouver des remarques dans des comptes-rendus précédents d'un même chantier, mais aussi pour faire des recherches dans plusieurs

chantiers¹¹⁶ (par exemple au sujet d'un même ouvrage, pour ne pas reproduire des erreurs de mise en oeuvre).

Ensuite, l'intérêt des filtres a été soulevé. Nous avons beaucoup détaillé dans ce mémoire l'importance du point de vue des acteurs impliqués dans le projet. Les fonctionnalités de filtrage d'information dans les outils y font directement référence.

Les filtres par « rôle » et par « ouvrage » ont été appréciés. Il serait possible d'aller plus loin et de définir des nouveaux modes de visualisation du compte-rendu par filtrage de données (à l'image de la vue « Liste des points particuliers » qui propose une interface orientée vers le suivi des remarques, et qui sert surtout les tâches de suivi de chantier du point de vue du coordinateur).

Enfin, les liens entre les parties du compte-rendu ont retenu l'attention des professionnels. Cette proposition semble pertinente en rapport avec l'usage qu'ils font du compte-rendu :

- Le pilote ou l'architecte peut, à partir d'un retard détecté dans l'avancement, se référer aux points particuliers décrivant le problème,
- L'entreprise peut estimer le « délai possible » pour résoudre un problème soulevé sur l'une de ces tâches.

Ces deux dernières perspectives sont déterminantes. Elles nous ont conduit à concevoir le prototype *Bat'iViews* qui les prend en compte :

- En *proposant « d'autres vues » innovantes* sur le contexte de coopération,
- En *mettant en relation ces vues* dans une interface multi-vues.

8.2.2. Multi-visualisation du contexte de coopération

Bat'iViews est donc issu du croisement de deux constatations :

- D'abord, un outil de compte-rendu comme *Image.Chantier* ne supporte pas toutes les pratiques liées à la coordination autour du compte-rendu de chantier. Nous notons surtout que les acteurs manipulent de nombreux outils et documents pour mieux comprendre l'information qu'ils lisent dans le compte-rendu,
- Ensuite, le compte-rendu s'inscrit dans une assistance à la coordination basée sur la supervision directe dans la configuration hiérarchique de l'organisation. Selon nous, il

¹¹⁶ De telles fonctionnalités sont proposées dans le prototype Build-IT développé par une équipe du CRP Henri Tudor. L'outil propose des fonctionnalités de recherche de remarques « inter » et « intra » comptes-rendus.

n'a que peu d'intérêt dans les situations d'ajustement mutuel dans la configuration ad hocratique. Nous verrons comment *Bat'iViews* fournit de l'information contextuelle aux utilisateurs sans pour autant leur imposer un mode d'action.

8.2.2.1. Des liens explicites entre les vues, supportant la coordination « de type hiérarchique »

Le premier constat issu des expérimentations avec *Image.Chantier* est donc pris en compte dans la proposition *Bat'iViews*. Nous pensons que la multi-visualisation peut aider les acteurs à mieux comprendre une information en la replaçant dans un contexte plus large (représenté par d'autres vues).

Pour montrer cela, le scénario de coordination présenté ci-dessous montre comment une entreprise réagit à un point particulier concernant un problème de temporalité. Nous présentons d'abord le « scénario classique »¹¹⁷, dans lequel un acteur consulte le compte-rendu, puis se tourne vers d'autres documents pour comprendre ou vérifier le point particulier dont il fait l'objet (Figure 103).

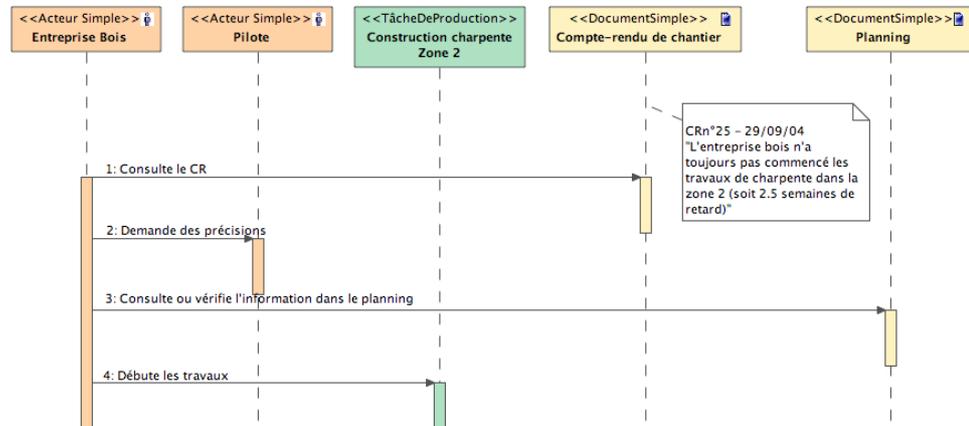


Figure 103 : Scénario de coordination « classique », à partir du compte-rendu

L'apport de *Bat'iViews* dans ce type de scénario se situe surtout dans la facilité à convoquer les autres vues, et à mettre en relation les concepts importants.

¹¹⁷ Ce scénario très simple est issu d'un compte-rendu du chantier du collège de Blénod-lès-Pont-À-Mousson.

Dans ce cas précis, le responsable de l'entreprise Bois est informé d'un retard sur le début d'une de ses tâches. Son besoin est de vérifier si cette information issue du compte-rendu de chantier est bien en conformité avec le planning, et de recalculer éventuellement son intervention en fonction des autres tâches en cours, de la suite du chantier etc.

Pour cela, *Bat'iViews* guide cet acteur dans le planning en mettant en évidence la tâche concernée (Figure 104). En affichant aussi les ouvrages concernés dans la maquette 3D, l'intervenant peut vérifier des aspects de son intervention auxquels il n'aurait pas pensé.

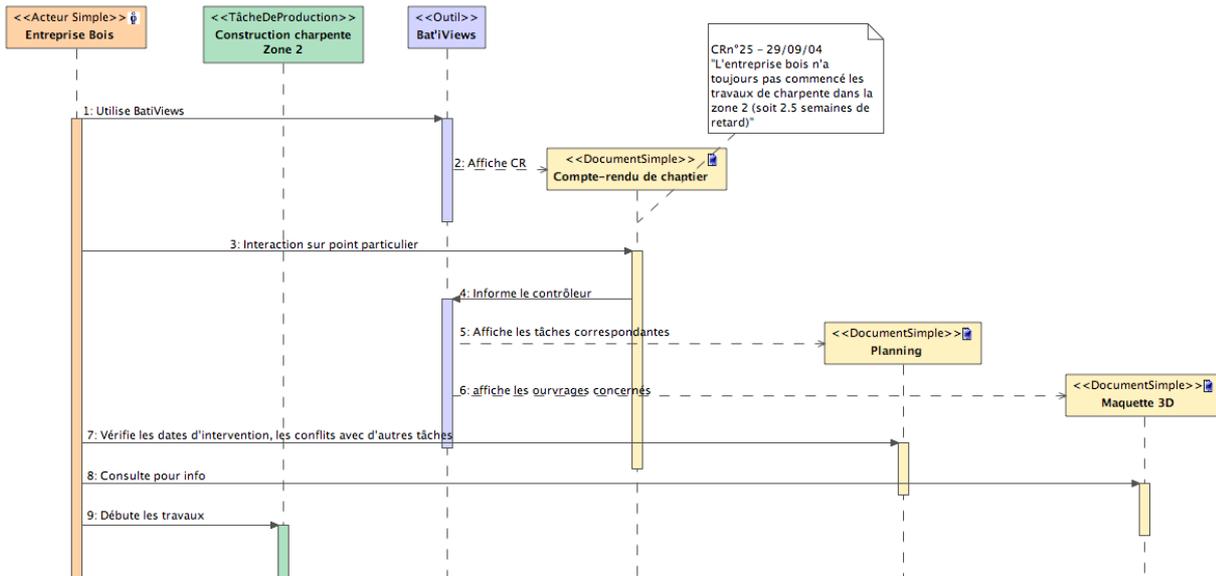


Figure 104 : Scénario de coordination montrant l'apport de *Bat'iViews* pour la navigation

Le fait de centraliser ces vues dans une même interface apporte donc d'abord de la facilité dans la navigation. On peut même imaginer que les acteurs découvrent des problèmes auxquels ils n'auraient pas songé en consultant les documents traditionnels.

Ces hypothèses se placent donc nettement dans l'assistance à la coordination dans sa dimension très explicite. Le but est ici d'aider le coordinateur à mieux diffuser l'information de coordination et d'améliorer sa compréhension par les intervenants concernés.

8.2.2.2. Un support de la coopération flexible et de l'ajustement mutuel

Il est plus difficile de décrire l'apport de *Bat'iViews* du point de vue de la coordination adhocratique. En effet, comment démontrer le fait qu'un acteur « ait une meilleure perception du contexte de coopération » ?

D'un point de vue expérimental même, nous nous posons des questions quant à la nature d'une enquête montrant qu'un acteur a une meilleure connaissance du contexte avec l'utilisation de l'outil, que s'il travaillait sans l'outil.

La Figure 105 propose tout de même un scénario montrant comment l'outil permet à un acteur d'obtenir l'information dont il a besoin dans une situation donnée (ici situer sa tâche dans le planning général) mais aussi, de convoquer de l'information tierce dans les autres vues afin d'élargir implicitement sa perception du contexte de coopération.

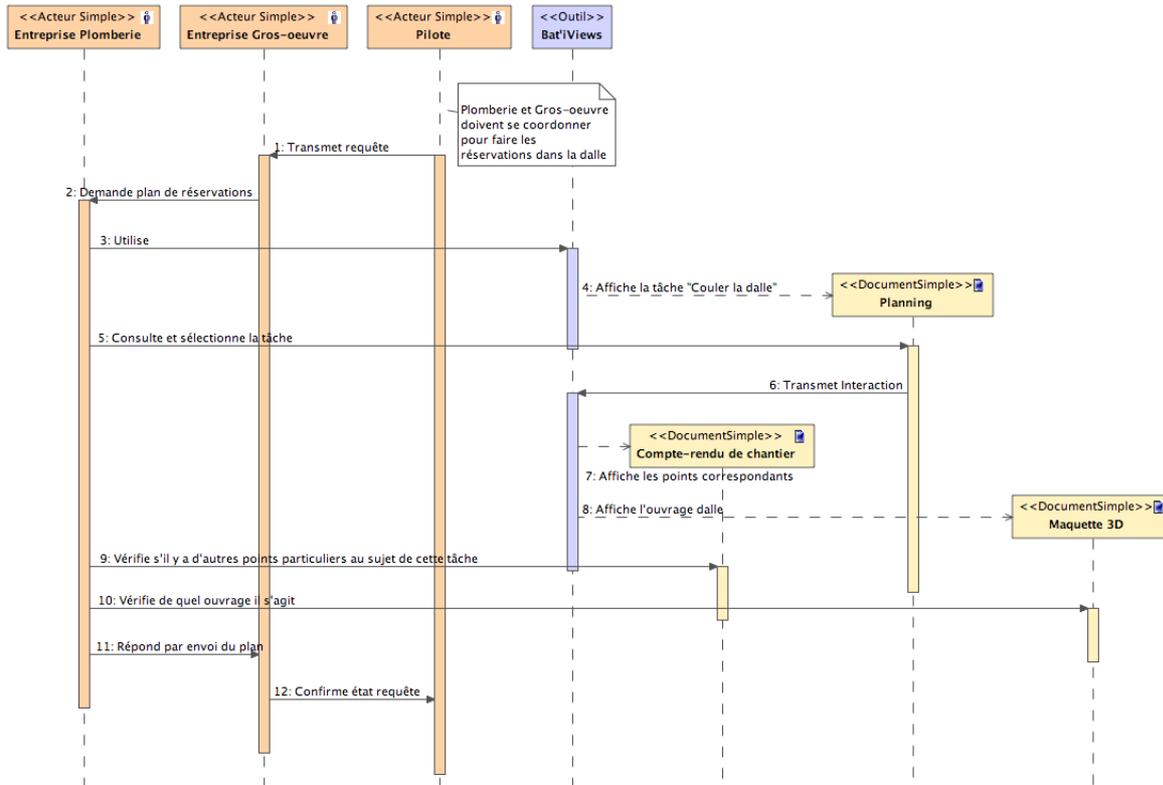


Figure 105 : Scénario de coordination centré sur la conscience du contexte

Pour résumer, il n'est pas question de démontrer comment *Bat'iViews* guide les tâches des acteurs. Nous souhaitons plutôt insister sur le fait que dans une situation de coordination dont les termes ne sont pas toujours clairement définis (ajustement mutuel), un acteur a besoin d'information contextuelle à propos de l'activité en cours afin de prendre position et de construire sa procédure d'action (Cf. connaissance et action contextualisée dans la partie 4.3.4 de ce mémoire).

Bat'iViews propose à un utilisateur de naviguer dans le contexte de coopération à partir d'un point, correspondant à son besoin exprimé. En effet, lorsque l'utilisateur sélectionne un point le concernant dans le compte-rendu, il exprime par là son besoin d'obtenir plus d'information au sujet de ce point.

On retrouve dans cette approche une forme de support de la coordination dans l'organisation adhocratique. La « coordination flexible » (Cf. §3.5.2), qui est d'abord une réponse à la complexité organisationnelle du chantier, a besoin de ce genre d'outils, favorisant la connaissance et la compréhension du contexte de coopération par les acteurs, sans pour autant contraindre leurs actions.

Conclusion générale

Cette thèse s'inscrit dans la discipline des « Sciences de l'Architecture ». Nous avons pu voir qu'elle s'insère en particulier dans un courant de recherche sur l'assistance à la coordination des activités coopératives d'ingénierie dans le domaine de la construction.

Nous reviendrons d'abord dans cette conclusion sur le contenu de la thèse : la méthode suivie pour l'analyse du domaine et les propositions originales développées. Puis nous aborderons un certain nombre de limites qu'il convient de formuler, d'une part au sujet de la démarche elle-même, et d'autre part à propos des résultats obtenus. Enfin nous dresserons les perspectives envisagées pour les travaux futurs dans le thème de recherche de la coordination en phase chantier.

Contenu de la thèse

Méthodologie

Pour revenir sur la méthodologie que nous avons suivie dans le développement de ce travail, nous distinguerons deux points de vue : celui de l'analyse « métier » et celui de la conception et du développement d'outils logiciels pour l'assistance à la coordination.

8.2.2.3. Du point de vue de l'analyse de l'activité de chantier

Nous avons tenté de mettre en exergue, dans la première partie de ce mémoire, les spécificités du domaine AEC au regard d'autres secteurs d'activités. Nous avons pu noter que des différences existent avec le secteur manufacturier mais que l'informatique, et plus précisément le

développement de logiciels libres, présentait des similitudes intéressantes. Nous avons fait alors émerger le concept *d'ingénierie coopérative*, qui se traduit par une *volonté de responsabilisation* de tous les acteurs du projet, et qui prône la *flexibilité dans les méthodes et les outils de coordination*.

Nous avons ensuite caractérisé la complexité du domaine à travers une étude de cas, en insistant sur le caractère informel qui caractérise nombre d'activités.

Suite à ces constats, des théories issues de la science des organisations et du management nous ont permis d'identifier une *typologie d'organisations caractéristiques d'un chantier de construction* : organisation « hiérarchique », « transversale » et « adhocratique ». Nous avons aussi mis en relation ces configurations organisationnelles avec des *mécanismes de coordination*, pour définir les concepts de coordination « hiérarchique », « transversale » et « flexible ».

Enfin, nous nous sommes appuyés sur cette analyse approfondie de la coordination en phase chantier pour *proposer des outils d'assistance à la coopération* dédiés à la coordination « hiérarchique » (*Image.Chantier*) et « flexible » (*Bat'iViews*).

8.2.2.4. Du point de vue du développement de nouveaux outils

Dans l'objectif du développement de nouveaux outils pour assister la coordination, nous avons fait émerger un certain nombre de facteurs qui nous semblent déterminants.

L'importance de la *prise en compte de l'utilisateur et de son contexte* nous a conduit à réaliser un état de l'art dans lequel nous avons défini trois types de contextes :

- Le « contexte de l'activité collective » (ou contexte de coopération), qui représente l'organisation, les activités en jeu, les interactions entre les acteurs, les artefacts produits ou encore les outils utilisés,
- Le « contexte d'un acteur » impliqué dans l'activité décrit les mécanismes cognitifs en jeu dans l'action, et met en exergue l'importance du point de vue individuel sur l'activité,
- Enfin, le « contexte de l'utilisateur d'un outil » correspond à la prise en compte du profil de l'utilisateur dans l'interface homme-machine.

Nous avons ensuite abordé un certain nombre de *modèles pour la coopération utilisés dans différents domaines* : modèles de processus, d'objet ou de produit, d'organisation et modèles pour le développement d'outils informatiques. Cette approche par les modèles nous a permis de représenter différentes dimensions de l'interaction homme-machine utiles dans la conception d'outils : concepts représentés, mode de visualisation ou encore interaction utilisateur.

Enfin, le développement des outils d'assistance à la coordination du chantier que nous avons présenté s'appuie sur cette approche par les modèles.

Propositions originales formulées

Nous retiendrons des propositions ou des prises de position formulées à différentes étapes de l'avancement de notre démonstration.

8.2.2.5. Une démarche pour l'assistance à la coordination

La présentation d'outils d'assistance à la coopération utilisés, émergents ou issus d'autres secteurs d'activités, nous a conduit à proposer une démarche pour le choix d'outils adaptés à des situations particulières de chantier.

Cette démarche s'appuie sur la *mise en relation des différents types d'outils avec les modes de coordination identifiés* précédemment, et pourrait s'appliquer *lors de la mise en œuvre d'une activité particulière de coopération* dans le secteur de la construction. Elle donne des pistes aux coordinateurs de chantier, pilotes indépendants ou architectes, pour définir quels outils utiliser dans une organisation de chantier spécifique.

8.2.2.6. Une infrastructure de modèles

L'approche par les modèles que nous proposons d'adopter est à distinguer d'autres travaux sur la modélisation du processus de construction. Nous ne proposons pas ici un modèle du processus de chantier rigide et déterministe. D'ailleurs, de tels travaux ne portent que sur des parties limitées du processus, comme la gestion des approvisionnements, ou les ressources internes à une entreprise.

Notre métamodèle a pour objectif de représenter le contexte de coopération dans une activité collective. La particularité de ce *métamodèle est d'être en mesure de fédérer d'autres*

métamodèles spécifiques à différents aspects d'une coopération (organisation, outils ou encore processus). Pour cela il se focalise sur les relations entre les entités du contexte, et non sur leur description fine et détaillée. Cette description peut se faire en utilisant des modèles de processus adéquat à des situations particulières. Par exemple, on utilisera E-SADT si l'activité est très déterminée, et un modèle de workflow flexible s'il subsiste beaucoup d'incertitudes.

Dans une approche IDM, nous avons pu voir que ce métamodèle permet de définir des modèles « conformes », *représentant spécifiquement le contexte d'une activité de construction*.

Dans la perspective du développement d'applications informatiques nouvelles, nous avons souligné la complexité et l'hétérogénéité des modèles nécessaires : modèle de concepts, de visualisation, de programmation, de tâches etc.

En nous limitant à une modélisation sémantique de chacune des vues du contexte (modèle des concepts), nous avons alors suggéré une *infrastructure de construction et d'intégration de vues utilisées dans des outils*. Cette infrastructure met en relation le modèle du contexte de coopération et les modèles de concepts des vues. Elle permet la construction des vues (par transformation) et la gestion d'interactions entre ces vues (par mise en relation de concepts).

8.2.2.7. Des outils d'assistance à la coordination

Enfin, nous avons relaté différentes propositions d'outils d'assistance à la coordination du chantier, visant le support de la coordination hiérarchique et flexible. Nous reviendrons sur deux de ces propositions directement émises dans le cadre de nos travaux : *Image.Chantier* et *Bat'iViews*.

Image.Chantier est un outil d'assistance à la rédaction et à la diffusion du compte-rendu de chantier. Il se positionne comme un outil d'assistance à la coordination hiérarchique. Il permet aux intervenants de consulter le compte-rendu en ligne. L'interface propose une visualisation de l'information, adaptée au contexte de l'acteur utilisant l'outil (son rôle), à travers des possibilités de filtrer l'information. Il dispose aussi de fonctionnalités permettant de mettre en relation des concepts du compte-rendu (liens).

Suite à l'expérimentation de cet outil, nous avons pu noter que la coordination faisait appel à bien d'autres vues du contexte de coopération que celle du compte-rendu : plans, documents textuels, plannings etc.

Nous avons alors développé *Bat'iViews*, une interface multi-vues pour la coordination du chantier. Cette interface est conçue comme un support à la coordination flexible de l'activité. En effet, nous émettons l'hypothèse que la multi-visualisation et la navigation dans l'information permettront à l'utilisateur d'obtenir une meilleure connaissance contextuelle de l'activité collective, et donc d'adapter ses actions en fonction du contexte.

Bat'iViews propose plusieurs arrangements de vues du contexte (compte-rendu, planning et maquette 3D), et gère des interactions entre ces vues, permettant la mise en relation de leur concepts.

Limites de cette recherche

Le travail de recherche relaté dans ce mémoire présente un certain nombre de limites.

8.2.2.8. Liées à l'interdisciplinarité de l'approche

D'abord l'interdisciplinarité qui caractérise notre travail soulève un certain nombre de problèmes. Dans la durée limitée d'une thèse, le nombre de concepts et de théories abordées est important, dans les domaines de l'organisation, des sciences humaines ou de l'informatique. Il est donc difficile d'approfondir chacun des concepts même s'ils paraissent intéressants.

8.2.2.9. Liées à l'analyse du chantier

L'analyse de l'activité du chantier que nous proposons est caractéristique d'une posture de recherche particulière que nous tenons à rappeler. D'abord nous endossons par notre formation académique un « point de vue d'architecte » sur l'activité, sensibilisé aux techniques de mise en œuvre et à la qualité de la « démarche de projet architectural ». Cependant, notre expérience de la pratique professionnelle est limitée, d'où la nécessité que nous avons eu d'aborder le sujet par une approche expérimentale de suivi de chantier, évidemment limitée dans le temps.

Enfin, la littérature sur le sujet n'est pas objective. Elle est soit orientée « architecture » (et donc fortement focalisée sur le « projet architectural »), soit orientée « technique de mise en œuvre » (ce qui n'est pas vraiment notre objet), soit « socio-économique » comme nous avons pu le voir dans notre premier chapitre.

8.2.2.10. Liées à l'expérimentation des outils proposés

Des limites sont à soulever aussi en ce qui concerne les outils que nous proposons. Les expérimentations décrites ne sont menées qu'à petite échelle. Le niveau d'opérationnalité de nos prototypes et le peu de disponibilité des professionnels rendent l'expérimentation, bien que fondamentale dans une activité de recherche, particulièrement ardue.

8.2.2.11. Liées à la mise en œuvre des modèles

Enfin, nous rappelons que l'infrastructure de modèles que nous proposons n'est pas techniquement opérationnelle en tant que telle. Il s'agit plutôt d'une « approche », d'un « guide de conception » facilitant la conception et l'intégration de nouvelles vues sur le contexte de coopération.

Perspectives ouvertes

Nous distinguerons trois types de perspectives ouvertes par ce travail.

8.2.2.12. Du point de vue de l'évolution des prototypes

Les prototypes proposés demandent encore à être testés et consolidés dans leurs développements. *Image.Chantier* pourrait être amélioré en y implémentant d'autres filtres et d'autres liens entre les informations. On pourrait aussi développer une interface de saisie des comptes-rendus afin de le rendre opérationnel¹¹⁸.

Bat'iViews fait l'objet de plusieurs perspectives. D'abord d'autres vues pourraient être insérées dans l'outil : graphe *Bat'Map*, documents divers etc. De nouvelles vues peuvent être imaginées (comme ce fût le cas de la vue « liste des points particuliers ») à condition d'en définir un modèle. Nous pensons aussi que le choix du mode de la « navigation libre » entre les vues serait à tester avec des utilisateurs et éventuellement à redéfinir.

En termes de développement, il serait nécessaire de gérer le modèle du contexte de coopération dans un outil pour générer les fichiers XML présents derrière chaque vue. La plateforme *Bat'Group* du MAP-CRAI serait apte pour cela (les concepts de son modèle sont très proches de ceux du modèle du contexte). Cette plateforme pourrait aussi héberger un certain nombre de

¹¹⁸ Notons que le prototype d'outil de compte-rendu de chantier développé dans le cadre du projet Build-IT du CRP Henri Tudor intègre plusieurs de ces perspectives.

services que les vues pourraient appeler soit pour leur construction, soit pour gérer des interactions. Enfin les technologies utilisées pour les vues sont certainement à affiner. La vue « maquette 3D » est la plus problématique, puisque nous ne sommes pas en mesure d’agir sur son modèle (Cult3D est un format propriétaire). Il faudrait logiquement s’orienter vers le « modèle objet » IFC pour décrire cette vue.

8.2.2.13. Du point de vue « modèle »

L’approche par les modèles que nous avons décrite n’a été que partiellement validée, uniquement « dans son principe ». Au-delà des limites technologiques évoquées, des perspectives consistent à retravailler sur le métamodèle du contexte de coopération, en l’utilisant pour décrire complètement un modèle du chantier. Pour cela, il faudrait utiliser un outil permettant de gérer les différents niveaux de modèles, et de les valider.

8.2.2.14. Du point de vue « métier »

Enfin, du point de vue « métier » qui nous intéresse particulièrement, la *démarche pour le choix d’outils dans la phase de mise en œuvre d’une coopération* n’est ici qu’embryonnaire. On pourrait imaginer de développer un guide assistant le coordinateur dans la phase de préparation du chantier, à l’image de l’outil RUP qui permet de définir les outils utiles dans le déroulement d’un projet de production de logiciel.

Nous avons surtout souligné l’importance de la coordination flexible dans la coordination du chantier. Nous pensons qu’il est *nécessaire de sensibiliser les acteurs du chantier (notamment les décisionnaires) à cette forme de coordination* laissant une large place à la responsabilisation des acteurs et à leur formation. En effet, il est important de privilégier la formation des ouvriers plutôt que de resserrer toujours plus le cadre normatif. La relation de confiance qui s’instaure entre les acteurs du chantier est un paramètre essentiel de la coordination flexible. Parmi les perspectives « métier », il semble important de réfléchir aux vecteurs favorisant cette confiance interpersonnelle.

Références bibliographiques

- [Abeid et al. 2003] Abeid J., Allouche E., Arditi D., et al. *Photo-Net II : A computer-based monitoring system applied to project management*. Automation in Construction, vol.12, 2003, p.603-616.
- [Alexander 1971] Alexander C. *De la synthèse à la forme*. Dunod Editions. Paris: 1971
- [Alluin 1998] Alluin P. *Ingénieries de conception et ingénieries de production. L'ingénierie dans les entreprises et industries du bâtiment et ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre*. Plan Urbanisme Construction Architecture. Programme Concevoir. Pratiques de projet et ingénieries. Paris: 1998
- [Amblard et al. 2005] Amblard H., Bernoux P., Herreros G., et al. *Les nouvelles approches sociologiques des organisations*. Editions du Seuil. Paris: 2005, 291p.
- [Andersen et al. 2000] Andersen P. B., Cartensen P. H., et Nielsen M. *Dimensions of coordination*. LAP 2000. The fifth international workshop on the language-action perspective on communication modelling. 14-16 september, 2000. Aachen, Germany.
- [Bana e Costa 1992] Bana e Costa C. *Structuration, construction et exploitation d'un modèle multi-critères d'aide à la décision*. Thèse de doctorat, Universidade tecnica de lisboa, 1992, Lisboa.
- [Bardram 1997] Bardram J. E. *Plans as situated action: An activity theory approach to workflow systems*. ECSCW 97 Conference. 7-11 september, 1997. Lancaster, UK.

- [Baron et al. 2006] Baron M., Lucquiaud V., Autard D., et al. *K-MADe : un environnement pour le noyau du modèle de description de l'activité*. IHM 2006, 18e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. 18-21 avril, 2006. Montreal, Canada.
- [Bastide et al. 2006] Bastide R., Demeure A., et Favre J. M. *Atelier IDM & IHM : Ingénierie Dirigée par les Modèles et Interaction Homme-Machine. Introduction de l'atelier*. IHM 2006, 18e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. 18-21 avril, 2006. Montreal, Canada.
- [Bazire et Brézillon 2005] Bazire M., et Brézillon P. *Understanding Context Before Using It*. Context 05 Conference. 5-8 juillet, 2005. Paris, France.
- [Beairsto 1997] Beairsto J. A. B. *Leadership in the quest for adhocracy : new directions for a postmodern world*. PhD Thesis, University of Tampere, 1997, Tampere, 190p.
- [Beck 2000] Beck K. *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. Addison-Wesley Professional. 2000, 224p.
- [Belmiziti 2006] Belmiziti A. *Un tableau de bord dédié à l'activité de chantier*. Mémoire de Recherche. DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâties, CRAI - Université Henri Poincaré, 2006, Nancy.
- [Benali et al. 2002] Benali K., Bourguin G., David B., et al. *Collaboration/Coopération*. Deuxièmes assises du GDR I3. 4-6 Décembre, 2002. Nancy.
- [Bernoux 1985] Bernoux P. *La sociologie des organisations*. Editions du Seuil. Paris: 1985
- [Bertelsen 1998] Bertelsen O. W. *Elements of a Theory of Design Artefacts. A contribution to critical systems development research*. Thèse de doctorat, Aarhus University, Department of Information and Media Science, 1998, Aarhus, 199p.
- [Bézivin 2003] Bézivin J. *MDA: From Hype to Hope and Reality*. UML 2003 Conference, San Francisco, 2003.
- [Bézivin 2004] Bézivin J. *In search of a Basic Principle for Model Driven Engineering*. Novatica/Upgrade, vol.V, n°2, 2004, p.21-24.
- [Bézivin 2005] Bézivin J. *On the Unification Power of Models*. Software and Systems Modelling (SoSym), vol.4, n°2, 2005, p.171-188.

- [Bézivin et al. 2003] Bézivin J., Dupé G., Jouault F., et al. *First experiments with the ATL model transformation language: Transforming XSLT into XQuery*. OOPSLA Workshop - 18th annual ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications. October 26-30, 2003. Anaheim, California, USA.
- [Bignon 2002] Bignon J. C. *Modélisation, simulation et assistance à la conception-construction en architecture*. Habilitation à Diriger les Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Doctorale IAEM. CRAI, 2002, Nancy.
- [Bignon 2004] Bignon J. C. *Vers une coopération ouverte*. 2nd Atelier de Réflexion sur le Coopération en Architecture. Coordination et Maquette Numérique. 16 décembre, 2004. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, France.
- [Bignon et Coley 1992] Bignon J. C., et Coley C. *Jean Prouvé : entre artisanat et industrie : 1939-1949*. Ecole d'Architecture de Nancy. Nancy: 1992, 157p.
- [Bignon et al. 2001] Bignon J. C., Halin G., Malcurat O., et al. *COCAO : Modélisation d'un environnement logiciel coopératif pour les acteurs de l'architecture et du B.T.P.*, Laboratoire MAP-CRAI, Ecole d'Architecture de Nancy, 2001, Nancy.
- [Birou 1966] Birou A. *Vocabulaire pratique des sciences sociales*. Éditions Économie et humanisme. Paris: 1966, 314p.
- [Bobroff 1993] Bobroff J. Les formes de la gestion de projet dans la construction. *La gestion de projet dans la construction* / Jacotte Bobroff ed., Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris: 1993, p.11-23.
- [Bouattour 2005] Bouattour M. *Assistance à la conception coopérative fondée sur la sémantique des ouvrages. Application au domaine du bois*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2005, Nancy.
- [Boudon et al. 1994] Boudon P., Deshayes P., Pousin F., et al. *Enseigner la conception architecturale. Cours d'architecturologie*. Editions de la Villette. Paris: 1994, 316p.
- [Bougrain et Carassus 2003a] Bougrain F., et Carassus J. *Bâtiment: De l'innovation de produit à l'innovation de service*. Plan Urbanisme Construction Architecture, Innover Ensemble, 2003a, Paris La Défense, 71p.

- [Bougrain et Carassus 2003b] Bougrain F., et Carassus J. *Système sectoriel de la construction et innovation : une approche renouvelée de l'innovation dans le bâtiment*. Cahiers du CSTB, 2003b, p.88-91.
- [Bourguin 2000] Bourguin G. *Un support informatique à l'activité coopérative fondé sur la Théorie de l'Activité : Le projet DARE*. Thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, Laboratoire Trigone, 2000, Villeneuve d'Ascq, 217p.
- [Bourguin et Derycke 2005] Bourguin G., et Derycke A. *Systèmes interactifs en co-évolution. Réflexions sur les apports de la théorie de l'activité au support des pratiques collectives distribuées*. Revue d'interaction homme-machine, vol.6, n°1, 2005, p.1-31.
- [Bouthier 2004] Bouthier C. *Mise en Contexte de la Conscience de Groupe : Adaptation et Visualisation*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Département de Formation Doctorale en informatique, 2004, Nancy, 154p.
- [Boutinet 1990] Boutinet J.-P. *Anthropologie du projet*. Presses Universitaires de France. Collection Psychologie d'Aujourd'hui. Paris: 1990
- [Brézillon 2002] Brézillon P. *Hors du contexte, point de salut*. Séminaire "Objets Communicants". 31 janvier - 01 février, 2002. Autrans, France.
- [Brézillon 2003] Brézillon P. *Représentation de pratiques dans le formalisme des graphes contextuels*. Deuxièmes Journées d'Etude en Psychologie Ergonomique – EPIQUE'2003, JMC Bastien ed., INRIA Rocquencourt, France.
- [Brézillon 2005] Brézillon P. *Role of context in social networks*. 18th Florida Artificial Intelligence Research Society (FLAIRS2005). 2005. Clearwater Beach, Florida.
- [Brézillon et Marquois-Ogez 2003] Brézillon P., et Marquois-Ogez E. *Une approche centrée contexte de l'activité*. Deuxièmes Journées d'Etude en Psychologie Ergonomique – EPIQUE'2003, JMC Bastien ed., INRIA Rocquencourt, France.
- [Brousseau et Rallet 1995] Brousseau E., et Rallet A. *Efficacité et inefficacité de l'organisation du bâtiment : une interprétation en termes de trajectoire organisationnelle*. Revue d'économie industrielle, vol.74, n°4ème trimestre 1995, 1995.

- [Brunnermeier et Martin 1999] Brunnermeier S., et Martin S. *Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain*. National Institute of Standards and Technology, Research Triangle Institute, 1999, North Carolina, USA.
- [Bull et Favre 2005] Bull I. R., et Favre J. M. *Visualization in the Context of Model Driven Engineering*. International Workshop on Model Driven Development of Advanced User Interfaces, MDDAUI 2005 @ MODELS. October 2, 2005. Montego Bay, Jamaica.
- [Cabin 2005] Cabin P. Les sciences de l'organisation : entre théorie et pratique. *Les organisations. Etat des savoirs* / Philippe Cabin et Bruno Choc eds., Presses universitaires de France, Sciences Humaines Editions, Auxerre: 2005, p.1-15.
- [Campagne et Sénéchal 2002] Campagne J.-P., et Sénéchal O. Les nouvelles exigences de coopération. *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels* / René Soënen et Jacques Perrin eds., Hermes Sciences Publications, Paris: 2002, p.51-67.
- [Cerovsek et Katranuschkov 2006] Cerovsek T., et Katranuschkov P. *Active Process-Reuse Model for Collaboration*. ITcon Electronic Journal of Information Technology in Construction, vol.11, n°Special Issue "Process Modelling, Process Management and Collaboration" edited by P. Katranuschkov, 2006, p.467-488.
- [Chaari et al. 2005] Chaari T., Laforest F., et Flory A. *Adaptation des applications au contexte en utilisant les services Web*. UBIMOB, Deuxièmes journées francophones sur la mobilité et l'ubiquité. 31 mai - 3 juin, 2005. Grenoble, France.
- [Chau et al. 2005] Chau K., Anson M., et Zhang J. *4D dynamic construction management and visualization software*. Automation in Construction, vol.14, 2005, p.512-524.
- [CNDB 2006] CNDB. *Collège à Blénod-lès-pont-à-mousson (54)*. Revue Séquences Bois, n°61, 2006.
- [Conan 1990] Conan M. *Concevoir un projet d'architecture*. Editions L'Harmattan. Paris: 1990
- [Cruchant 2000] Cruchant L. *La qualité*. Presses Universitaires de France. Collection Que sais-je ? Paris: 2000

- [CSTC 2005] CSTC. *Plate-forme belge de la construction "Construction et innovation" - Batir à l'avenir*. CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2005, Bruxelles, 130p.
- [Damm et Schindler 2002] Damm D., et Schindler M. *Security issues of a knowledge medium for distributed project work*. International Journal of Project Management, vol.20, n°1, 2002, p.37-47.
- [Dauguet 1999] Dauguet B. *Architecture, pratique de projet et nouvelles technologies de l'information et de la communication*. Ministère de l'Équipement Plan Urbanisme Construction Architecture. Paris: 1999, 156p.
- [David 2001] David B. IHM pour les collecticiels. *Réseaux et systèmes répartis* / Hermès ed., Hervé Guyennet, Paris: 2001, p.169-206.
- [Davydov et al. 1983] Davydov V. V., Zinchenko V. P., et Talyzina N. F. *The problem of activity in the works of A. N. Leont'ev*. Soviet Psychology, vol.4, n°21, 1983, p.31-42.
- [De Vigan 1992] De Vigan J. *Dicobat, Dictionnaire Général du Bâtiment*. Editions Arcature. Ris-Orangis: 1992
- [Dehan 1999] Dehan P. *Qualité architecturale et innovation. I. Méthode d'évaluation*. Plan Urbanisme Construction Architecture. Programmer Concevoir. Paris: 1999
- [Deneux et al. 2002] Deneux D., Lerch C., Euzenat J., et al. Pluralité des connaissances dans les systèmes industriels. *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels* / René Soënen et Jacques Perrin eds., Editions Hermès Lavoisier, Mayenne: 2002.
- [Dey et Abowd 1999] Dey A. K., et Abowd G. D. *Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness*. 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing. 1999. Karlsruhe, Germany.
- [Dey et al. 2001] Dey A. K., Abowd G. D., et Salber D. *A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications*. Human-Computer Interaction, vol.16, 2001, p.97-166.
- [Dockhorn Costa 2003] Dockhorn Costa P. *Towards a services platform for context-aware applications*. PhD Thesis, University of Twente, Master of Science Degree in Telematics, 2003, Enschede, The Netherlands.

- [Dossier 2006] Dossier J.-M. *Les enjeux du travail collaboratif pour le secteur de la construction et l'obligation de faire évoluer l'enseignement*. Conférence Rencontre Médiacstruct. 9 novembre, 2006. Lors du Salon Batimat, Paris.
- [Dourish et Bellotti 1992] Dourish P., et Bellotti V. *Awareness and Coordination in Shared Workspaces*. CSCW 92 - Conference on Computer Supported Cooperative Work. 1992. Toronto, Canada.
- [Ellis et Wainer 1994] Ellis C., et Wainer J. *A conceptual model of groupware*. CSCW'94. 1994. Chapel Hill, NC.
- [Endsley 1995] Endsley M. R. *Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems*. Human Factors, vol.37, n°1, 1995, p.32-64.
- [Engeström 1987] Engeström Y. *Learning by expanding: an activity-theoretical approach to developmental research*. Orienta-Konsultit Oy. Helsinki: 1987
- [Evette et Thibault 2000] Evette T., et Thibault E. *Interprofessionnalité et action collective dans les métiers de la conception urbaine et architecturale*. Cahiers Ramau numéro 2. Rencontres RAMAU des 28 et 29 septembre 2000. Paris: 2000
- [Fagin et al. 1995] Fagin R., Halpern J., Moses Y., et al. *Reasoning about knowledge*. MIT Press. Cambridge, Etats-Unis: 1995
- [Fassin et Pirlot 2005] Fassin J., et Pirlot D. *Les portails de projet. La gestion collaborative électronique de documents dans les projet de construction*. Rapport CSTC n°8, Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2005, 91p.
- [Favre 2004] Favre J. M. *Towards a Basic Theory to Model Driven Engineering*. Workshop on Software Model Engineering, WISME 2004, joint event with UML2004. October 11, 2004. Lisboa, Portugal.
- [Favre et al. 2006] Favre J. M., Estublier J., et Blay-Fornarino M. *L'ingénierie dirigée par les modèles, au-delà du MDA*. Lavoisier. Hermes Sciences Publications. Paris: 2006
- [Fayol 1918] Fayol H. *Administration industrielle et générale*. Dunod Editions. Paris: 1918

- [Fernandez 2005] Fernandez A. *Les nouveaux tableaux de bord des managers. Le projet décisionnel dans sa totalité*. Eyrolles. Editions d'Organisation. Paris: 2005, 490p.
- [Ferraris et Martel 2000] Ferraris C., et Martel C. *Regulation in Groupware: The Example of a Collaborative Drawing Tool for Young Children*. CRIWG 2000 - 6th International Workshop on Groupware. October 18-20, 2000. Madeira, Portugal.
- [Fodor et al. 2003] Fodor X., Parinaud T., Kada J., et al. *La photographie numérique s'impose sur les chantiers*. Le Moniteur, 2003, p.100-101.
- [Fondeur 2005] Fondeur A. *Information temporelle numérique en phase chantier. Visualisation et point de vue*. Mémoire de Recherche. DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis, CRAI - Université Henri Poincaré, 2005, Nancy.
- [Gachet et Brézillon 2005a] Gachet A., et Brézillon P. *A context-based representation of Organizational structures*. 18th Florida Artificial Intelligence Research Society (FLAIRS2005). 2005a. Clearwater Beach, Florida.
- [Gachet et Brézillon 2005b] Gachet A., et Brézillon P. *Organizational Structures and Decision Making Processes*. JDS, Journal of Decision Systems, vol.14, n°PT 1-2, 2005b, p.9-37.
- [Gao et al. 2005] Gao J., Fischer M., Tollefsen T., et al. *Experiences with 3D and 4D CAD on Building Construction Projects: Benefits for Project Success and Controllable Implementation Factors*. CIB W78 Conference. July, 19-21, 2005. Dresden, Germany.
- [Gasevic et al. 2006] Gasevic D., Djuric D., et Devedzic V. *MDA Standards for Ontology Development*. CAISE 06 - The 18th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, June 5, 2006, Luxembourg, 2006.
- [Gero et Maher 1999] Gero J. S., et Maher M. L. *Computational Models of Creative Design IV*. Key Centre of Design Computing and Cognition. University of Sydney. Sydney, Australia: 1999, 365p.
- [Giedion 1992] Giedion S. *Walter Gropius*. Inc Dover Publications. New York: 1992

- [Godart et al. 2001] Godart C., Halin G., Bignon J. C., et al. *Implicit or explicit coordination of virtual teams in building design*. CAADRIA 2001. April 19-21, 2001. University of Sydney, Key Centre of Design Computing and Cognition, Australia.
- [Google] Google. *Google AdSense*. <https://google.com/adsense/> Accédé le 01 septembre 2006.
- [Greenberg 2001] Greenberg S. *Context as a dynamic construct*. Human-Computer Interaction, vol.16, 2001, p.257-268.
- [Grezes et al. 1994] Grezes D., Henry E., Micquiaux D., et al. *Le compte-rendu de chantier. Rapport final de recherche*. Plan Construction et Architecture, 1994, Grenoble.
- [Gutwin 1997] Gutwin C. *Workspace Awareness in Real-Time Distributed Groupware*. PhD Thesis, University of Calgary, Department of Computer Science, 1997, Calgary, Alberta, 292p.
- [Gutwin et al. 1996] Gutwin C., Greenberg S., et Roseman M. *Workspace Awareness in Real-Time Distributed Groupware: Framework, Widgets, and Evaluation*. CHI - Conference on Human Factors in Computing Systems. April 13-18, 1996. Vancouver, British Columbia, Canada.
- [Halin 2004] Halin G. *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale*. Habilitation à Diriger les Recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole Doctorale IAEM. CRAI, 2004, Nancy, 161p.
- [Hanrot 2003] Hanrot S. *Enjeux pour l'ingénierie de maîtrise d'oeuvre*. Ministère de l'Équipement Plan Urbanisme Construction Architecture. Pratiques de projet et ingénieries. Paris: 2003
- [Hanser 2003] Hanser D. *Proposition d'un modèle d'auto coordination en situation de conception, application au domaine du bâtiment*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2003, Nancy, 211p.
- [Hernandez 2000] Hernandez T. *Project photos go digital*. Building design and construction, 2000.
- [Jacobson et al. 1999] Jacobson I., Booch G., et Rumbaugh J. *The Unified Software Development Process*. Addison-Wesley Professional. 1999, 463p.

- [Jin 2005] Jin Y. *Prise en compte de l'information temporelle dans la maquette numérique en phase chantier. Modélisation 4D et format IFC*. Mémoire de Recherche. DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâti, CRAI - Université Henri Poincaré, 2005, Nancy.
- [Johanson et Törlind 2004] Johanson M., et Törlind P. *Mobility support for distributed collaborative teamwork*. ITcon Electronic Journal of Information Technology in Construction, vol.9, n°Special Issue "Mobile Computing in Construction", 2004, p.355-366.
- [Kacher 2005] Kacher S. *Proposition d'une méthode de référencement d'images pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2005, Nancy, 233p.
- [Karsten 1997] Karsten L. *La naissance de la théorie de l'organisation et du management*. University of Groningen, 1997, Groningen.
- [Kruchten 1999] Kruchten P. *Unified Process Model (UPM) - A model of the Rational Unified Process*. IPTW'99. October 05, 1999. Villard-de-Lans, France.
- [Kruchten 2003] Kruchten P. *A process engineering model. Software processes with the Unified Process for Education (UP/EDU)* / Addison Wesley Longman ed.: 2003.
- [Kubicki et al. 2005a] Kubicki S., Bignon J. C., et Halin G. *Assistance to cooperation during building construction stage. Proposition of a model and a tool*. IESM 05, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management. May 16-19, 2005a. Marrakech, Morocco.
- [Kubicki et al. 2005b] Kubicki S., Bignon J. C., et Halin G. *Qualité et processus de mise en oeuvre du bâtiment*. Rencontres RAMAU, Plan Urbanisme Construction Architecture ed., Grande Arche de la Défense, Paris.
- [Kubicki et al. 2004a] Kubicki S., Halin G., et Bignon J. C. *Assistance to Building Construction Coordination by Image*. ECPPM Conference, Attila Dikbas et Raimar Scherer eds., Istanbul.
- [Kubicki et al. 2004b] Kubicki S., Halin G., Bignon J. C., et al. *Collaborative design : A french / thai experiment of co-design*. SiGraDi Unisinos 2004, Porto Alegre, Brésil.

- [Kuutti 1996] Kuutti K. Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research. *Context and Consciousness : Activity Theory and Human-Computer Interaction* / MIT Press ed., Nardi, Bonnie, Cambridge: 1996, p.17-45.
- [Kvan 1997] Kvan T. *But is-it collaboration?* 15th eCAADe Conference. September 17-20, 1997. Vienna, Austria.
- [Kvan 2000] Kvan T. *Collaborative design: what is it?* Automation in Construction, vol.9, n°4, 2000, p.409-415.
- [Ladrière 1991] Ladrière J. *Herméneutique et épistémologie*. Métamorphoses de la raison herméneutique, Hommage à Paul Ricoeur. Actes du colloque de Cerisy-la-Salle. 1er-11 aout, 1991. Paris.
- [Le Sommer et Roussain 2005] Le Sommer N., et Roussain H. *Une approche pour la continuité des services pour les utilisateurs de terminaux mobiles*. UBIMOB, Deuxièmes journées francophones sur la mobilité et l'ubiquité. 31 mai - 3 juin, 2005. Grenoble, France.
- [Lecolinet et al. 2005] Lecolinet E., Faure C., Demeure I., et al. *Augmentation de cours et de réunions dans un campus*. UBIMOB, Deuxièmes journées francophones sur la mobilité et l'ubiquité. 31 mai - 3 juin, 2005. Grenoble, France.
- [Legay 1997] Legay J.-M. *L'expérience et son modèle, un discours sur la méthode*. INRIA Editions. Sciences en question. Paris: 1997, 111p.
- [Lemesle 2000] Lemesle R. *Techniques de Modélisation et de Méta-modélisation*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Spécialité Automatique et Informatique Appliquée, 2000, Nantes.
- [Leontiev 1978] Leontiev A. N. *Activity, Consciousness and Personality*. 1978
- [Leontiev 1981] Leontiev A. N. The problem of activity in psychology. *The concept of activity in Soviet psychology* / J. V. Wertsch ed., Sharpe, New York: 1981.
- [Leplat 1985] Leplat J. *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Armand Colin. Collection Universitaire. Paris, France: 1985
- [Les Compagnons du Devoir 2005] Les Compagnons du Devoir. 2005. <http://www.compagnons-du-devoir.com> Accédé le 09 septembre 2006.

- [Lewandowski et Bourguin 2005] Lewandowski A., et Bourguin G. *Gestion de l'inter-activités pour le support au développement logiciel coopératif*. IHM 2005 - 17ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. 27-30 septembre, 2005. Toulouse, France.
- [Linard 1993] Linard M. *From learner's styles to learner's activity : lessons from various learner-centered research*. IFIP Working Group 3.3, Working Conference "Lessons from learning". 6 septembre, 1993. Archamps, France.
- [Lonchamp 2003] Lonchamp J. *Le travail coopératif et ses technologies*. Lavoisier. Hermes Sciences Publications. Paris: 2003, 319p.
- [Lucquiaud 2005] Lucquiaud V. *Proposition d'un noyau et d'une structure pour les modèles de tâches orientés utilisateurs*. IHM 2005 - 17ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. 27-30 septembre, 2005. Toulouse, France.
- [Malcurat 2002] Malcurat O. *Spécification d'un environnement logiciel d'assistance au travail collaboratif dans le secteur de l'architecture et du B.T.P.* Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2002, Nancy.
- [Malone et Crowstone 1994] Malone T., et Crowstone K. *The interdisciplinary study of coordination*. ACM Computing Surveys, vol.26, n°1, 1994, p.87-120.
- [Malone et al. 1999] Malone T., Crowstone K., Lee J., et al. *Tools for Inventing Organizations: Toward a Handbook of Organizational Processes*. Management Science, vol.45, n°3, 1999, p.425-433.
- [McLuhan 1968] McLuhan M. *Understanding Media: The Extensions of Man*. McGraw-Hill. 1968, 392p.
- [Midler 1993] Midler C. *L'auto qui n'existait pas*. Dunod Editions. Paris: 1993
- [Miller et Mukerji 2001] Miller J., et Mukerji J. *Model Driven Architecture (MDA)*. OMG, 2001.
- [Mintzberg 1978] Mintzberg H. *The structuring of organizations: A synthesis of the research*. Englewood Cliffs, NJ: 1978, 512p.
- [Mitchell 1979] Mitchell W. *Digital Design Media : a Handbook for Architects and Design Professionals*. Van Nostrand Reinhold. New York: 1979, 573p.

- [Molli 2005] Molli P. *LibreSource : une forge de nouvelle génération*. La lettre du Loria, vol.17, 2005, p.5.
- [Nakapan 2003] Nakapan W. *Recherche d'informations par l'image. Application à la recherche interactive de produits du bâtiment*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2003, Nancy.
- [Nardi 1996] Nardi B. *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-Computer Interaction*. MIT Press. 1996
- [Nonaka 1985] Nonaka I. *The knowledge-creating company*. Oxford University Press. New York: 1985
- [Nonaka et al. 2000] Nonaka I., Toyama R., et Konno N. *SECI, Ba and Leadership: A Unified Model of Dynamic Knowledge Creation*. Long Range Planning, Elsevier Science, vol.33, n°1, 2000, p.5-34.
- [Noté 1999] Noté V. *Une approche de la notion de point de vue et son application à un référentiel documentaire d'aide à la conception d'IHM*. Comptendu des Journées de travail du PRC-I3. Ingénierie des Systèmes d'Information et Ingénierie des Connaissances. Journée Jeunes chercheurs. 2 décembre, 1999.
- [Nouvel 2002] Nouvel P. Modèles et métaphores. *Enquête sur le concept de modèle* / Pascal Nouvel ed., Presses Universitaires de France, Paris: 2002, p.189-202.
- [Olle et al. 1992] Olle T., Hagelstein J., MacDonald I., et al. *Information Systems Methodology: a Framework for Understanding*. Addison Wesley Publishing Company. 1992
- [OMG 2000] OMG. *Meta Object Facility (MOF) Specification*. OMG Document formal, Object Management Group, <http://www.omg.org/technology/documents/formal/mof.htm>, 2000.
- [OMG 2002] OMG. *XML Metadata Interchange (XMI) v 1.2*. 2002. <http://www.omg.org/technology/documents/formal/xmi.htm> Accédé le 15 aout 2006.

- [Otjacques 2004] Otjacques B. *Représentation graphique des interactions se produisant au cours d'un projet collaboratif dans le domaine de l'architecture*. Mémoire de Recherche. DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis, CRAI - Université Henri Poincaré, 2004, Nancy.
- [Otjacques et al. 2005] Otjacques B., Feltz F., Halin G., et al. *Mat'Graph : Transformation matricielle de graphe pour visualiser des échanges électroniques*. IHM 2005 - 17ème Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. 27-30 septembre, 2005. Toulouse, France.
- [Pélegrin 2004] Pélegrin F. *Le partenariat public-privé doit rester l'exception*. Le Moniteur, vol.n° 5262, 2004.
- [Pomerol et Brézillon 2003] Pomerol J. C., et Brézillon P. *Context proceduralization in Decision Making*. Context 2003 - Fourth International and Interdisciplinary Conference on Modeling and Using Context, P Blackburn ed., Stanford, California (USA).
- [Prost 1992] Prost R. *La conception architecturale*. Editions L'Harmattan. Paris: 1992
- [Quinlan 2005] Quinlan P. Groupware et Knowledge Management. *Impact des décisions informatiques. Introduction à l'informatique pour le décideur non-informaticien / Presses Polytechniques et Universitaires Romandes ed.*, Lausanne, Suisse: 2005.
- [Rational 2001] Rational. *Rational Unified Process. Best practices for software development teams*. 2001.
- [Rational Software Corporation 2002] Rational Software Corporation. *RUP® - Rational Unified Process®*. 2002. <http://www-306.ibm.com/software/rational/> Accédé le 06 août 2006.
- [Rey 2005] Rey G. *Contexte en Interaction Homme-Machine : le contexteur*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Communication Langagière et Interaction Personne-Système - Fédération IMAG, 2005, Grenoble, 186p.
- [Rolland 2005] Rolland C. *L'ingénierie des méthodes : une visite guidée*. e-TI, e-revue en Technologies de l'Information, vol.1, 2005.
- [Rothenberg 1989] Rothenberg J. The Nature of Modeling in Artificial Intelligence, Simulation and Modeling. L.E William, K.A Loparo et al. eds., John Wiley and Sons, Inc, New York: 1989, p.75-92.

- [Rousseau 2003] Rousseau L. *Comparaison de points de vue pour la formulation de problèmes*. PhD Thesis, Université Paris Dauphine, Cemagref Lisc, 2003, Paris, 235p.
- [Sadeghpour et al. 2004] Sadeghpour F., Moselhi O., et Alkass S. *A CAD-based model for site planning*. Automation in Construction, vol.13, 2004, p.701-715.
- [Sahnouni 1999] Sahnouni Y. *Modèles et échanges de données informatiques appliquées à la conception technique dans le bâtiment*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 1999, Nancy.
- [Salber et al. 1995] Salber D., Coutaz J., Découchant D., et al. *De l'observabilité et de l'honnêteté : le cas du contrôle d'accès dans la communication Homme-Homme médiatisée*. Conférence IHM'95. 1995. Toulouse.
- [Salembier et al. 2001] Salembier P., Theureau J., Zouinar M., et al. *Action/Cognition située et assistance à la coopération*. Ingénierie des connaissances 2001. 2001. Grenoble.
- [Sardas et al. 2002] Sardas J. C., Erschler J., et De Terssac G. *Coopération et organisation de l'action collective. Coopération et connaissance dans les systèmes industriels / René Soënen et Jacques Perrin eds., vol. 1, Hermes Sciences Publications, Paris: 2002, p.69-90.*
- [Scaletsky 2003] Scaletsky C. *Rôles des références dans la conception initiale en architecture : contribution au développement d'un Système Ouvert de Références au Projet d'Architecture - le système "Kaleidoscope"*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, CRAI - Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie, 2003, Nancy.
- [Schael 1997] Schael T. *Théorie et pratique du workflow. Des processus métier renouvelés*. Springer Editions. Berlin: 1997
- [Schenck et Wilson 1994] Schenck D. A., et Wilson P. R. *Information Modeling the EXPRESS Way*. Oxford University Press. Oxford: 1994, 416p.
- [Schilit et al. 1994] Schilit B., Adams N., et Want R. *Context-Aware Computing Applications*. IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications.

- [Schmidt 1997] Schmidt K. *Of maps and scripts, The status of formal constructs in cooperative work*. GROUP'97, ACM International Conference on Supporting Group Work. November 16-19, 1997. Phoenix, Arizona.
- [Schmidt et Simone 1996] Schmidt K., et Simone C. *Coordination mechanisms: Towards a conceptual foundation of CSCW systems design*. Computer Supported Cooperative Work: The journal of collaborative computing. Kluwer Academic Publishers, vol.5, 1996, p.155-200.
- [Seidewitz 2003] Seidewitz E. *What Models Mean*. IEEE Software. September, 2003.
- [Soley et OMG 2000] Soley R., et OMG. *Model Driven Architecture*. Object Management Group, 2000.
- [Sottet et al. 2005] Sottet J.-S., Calvary G., et Favre J. M. *Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine Dirigée par les Modèles*. IDM'05 Premières Journées sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles. 30 juin - 1er juillet, 2005. Paris.
- [Sottet et al. 2006] Sottet J.-S., Calvary G., et Favre J. M. *Towards Mapping and Model Transformation for Consistency of Plastic User Interfaces*. Workshop on The Many Faces of Consistency in Cross-platform Design. ACM conf. on Computer Human Interaction, CHI 2006. April 22-27, 2006. Montréal, Canada.
- [Suchman 1987] Suchman L. A. *Plans and situated action: the problem of human-machine interaction*. R Pea et J S Brown. 1987
- [Tahon 1997] Tahon C. *Le pilotage simultané d'un projet de construction*. Plan Construction et Architecture. Collection Recherche n°87. Paris: 1997, 124p.
- [Tarby et Barthet 2001] Tarby J., et Barthet M. Analyse et modélisation des tâches dans la conception des systèmes d'information : la méthode DIANE+. *Analyse et Conception de l'IHM, Interaction Homme-Machine pour les SII /* Christophe Kolsky ed. vol. 4, Hermes Sciences Publications, Paris: 2001, p.117-144.
- [Thevenin 2001] Thevenin D. *Adaptation in Human Computer Interaction: the case of Plasticity*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier University, Grenoble, Laboratoire CLIPS-IMAG, Equipe IHM, 2001, Grenoble.

- [Thibault 2004] Thibault J. *Un outil d'aide à la coopération pour la conception d'ouvrages en bois. Construction de points de vue à partir de filtres de données à caractère sémantique*. Mémoire de Recherche. DEA Modélisation et Simulation des Espaces Bâti., CRAI - Université Henri Poincaré, 2004, Nancy.
- [Thomas 2006] Thomas C. *Réalisation d'une interface multi-vues pour la coordination et la gestion de chantier*. Rapport de stage, ESIAL - Ecole Supérieure d'Informatique et Applications de Lorraine, 2006, Nancy.
- [Thompson 1967] Thompson J. *Organizations in Action: Social Science Bases of Administrative Theory* McGraw-Hill. 1967, 192p.
- [Toffler 1970] Toffler A. *Future Shock*. Random House. New York: 1970
- [Ungerer et Buchanan 2002] Ungerer M., et Buchanan K. *Usage Guide for the STEP PDM Schema VI.2*. Steptools Inc., 2002, 271p.
- [Van Leeuwen et al. 2005] Van Leeuwen J., Van Gassel F., et Den Otter A. *Collaborative Design in Education. Evaluation of three approaches*. Ecaade 2005 Conference. September 21-24, 2005. Lisbon, Portugal.
- [Vanderdonckt 2005] Vanderdonckt J. *A MDA-Compliant Environment for Developing User Interfaces of Information Systems*. CAISE 2005 - 17th Conference on Advanced Information Systems Engineering. 2005. Porto, Portugal.
- [Visetti 1989] Visetti Y. M. *Compte-rendu de Plans and situated actions de Lucy A. Suchman - The problem of Human/Machine Communication*. Intellectica, n°7, 1989, p.67-96.
- [Wang-Baldonado et al. 2000] Wang-Baldonado M. W., Woodruff A., et Kuchinsky A. *Guidelines for Using Multiple Views in Information Visualization*. AVI - Advanced Visual Interfaces. May 23-26, 2000. Palerme, Italy.
- [Ward et al. 2004] Ward M., Thorpe T., Price A., et al. *Implementation and control of wireless data collection on construction sites*. ITcon Electronic Journal of Information Technology in Construction, vol.9, n°Special Issue "Mobile Computing in Construction", 2004, p.297-311.
- [Weathley 1993] Weathley G. *Le management de projet à l'anglaise et ses conditions de pratique en France. La gestion de projet dans la construction* / Jacotte Bobroff ed., Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris: 1993, p.83-93.

- [Weber 1921] Weber M. *Economie et société*. Plon. Recherche en Sciences Humaines. Paris: 1921
- [Weinand 2004] Weinand Y. *New_modeling. Projeter ensemble*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne: 2004
- [WfMC 1999] WfMC. *The Workflow Management Coalition Specification, Interface 1: Process Definition Interchange Process Model*. Workflow Management Coalition, 1999, Winchester, United Kingdom.
- [Wilson 1998] Wilson P. R. *STEP and EXPRESS*. Workshop on Distributed Information, Computation and Process Management for Scientific and Engineering Environments. May 15-16, 1998. Hyatt Dulles, Herndon, Virginia.
- [Yamauchi et al. 2000] Yamauchi Y., Yokozawa M., Shinohara T., et al. *Collaboration with lean media: how open-source software succeeds*. ACM Computer-Supported Collaborative Work (CSCW). 2000. Philadelphie.
- [Zolin et al. 2000] Zolin R., Levitt R. E., Fructer R., et al. *Modeling & Monitoring Trust in Virtual A/E/C Teams. A research proposal*. Center For Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2000, Stanford, Great Britain, 75p.

Table des matières détaillée

<i>Sommaire</i>	3
<i>Introduction</i>	13
Une thèse dans le domaine de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction.....	13
Problématique générale.....	14
Plan de la thèse	17
 Première partie : Une approche théorique et expérimentale du secteur du bâtiment et de la construction. Définition d'une problématique. 	
<i>Chapitre 1. Le secteur de l'Architecture, de l'Ingénierie et de la Construction</i>	23
1.1. Le secteur du bâtiment : ses caractéristiques et son potentiel d'innovation.....	25
1.1.1. Des caractéristiques propres à l'organisation du secteur et à son évolution historique.....	25
1.1.2. Des limites qualitatives de ce système de pratiques.....	32
1.1.3. L'innovation	38
1.2. Les enjeux pour le développement futur du secteur.....	45
1.2.1. Situer le secteur AEC parmi d'autres secteurs d'activités.....	45
1.2.2. Un enjeu majeur : la coopération dans le bâtiment.....	52
1.2.3. Un transfert délicat des technologies de l'information vers le monde professionnel	55
1.2.4. Bilan	57
<i>Chapitre 2. Une problématique de recherche centrée sur l'amélioration des processus coopératifs en phase chantier</i>	61
2.1. Des thématiques de recherche portant sur l'assistance aux activités d'ingénierie	62
2.1.1. Conception architecturale	62
2.1.2. Assistance à la coopération.....	62
2.1.3. Des initiatives dans le champ de la construction.....	63
2.1.4. Notre positionnement.....	64
2.2. Une approche expérimentale de la construction	65
2.2.1. Une expérience de chantier.....	66
2.2.2. Dispositifs de coordination	68
2.3. Une approche pédagogique de la coopération médiatisée	72
2.3.1. Description des outils.....	73
2.3.2. Synthèse	74
2.4. Formulation de notre problématique de recherche	75
2.4.1. Synthèse	75
2.4.2. Problématique.....	76
2.4.3. Plan.....	77

Deuxième partie : Un recul théorique sur la coordination de l'activité collective. « Contextes » de l'action individuelle.

Chapitre 3. Les structures d'organisations collectives et les mécanismes de coordination dans le bâtiment.....	83
3.1. L'organisation.....	84
3.1.1. Définition.....	84
3.1.2. Approches scientifiques et sociologiques des révolutions industrielles.....	85
3.1.3. L'approche industrielle dans l'histoire de l'architecture.....	87
3.1.4. L'organisation en phase chantier.....	88
3.2. La structure des organisations.....	89
3.2.1. Rationnel vs. naturel.....	90
3.2.2. « L'adhocracie ».....	91
3.2.3. Une typologie des structures organisationnelles.....	93
3.2.4. La dynamique de l'organisation.....	101
3.3. La coopération entre acteurs.....	105
3.3.1. Distinguer les formes de l'activité collective.....	105
3.3.2. Inter-organisationnel et intra-organisationnel.....	108
3.3.3. Une synthèse à travers le concept de « projet ».....	109
3.4. La coordination de l'activité collective.....	111
3.4.1. La coordination, ou la gestion des interdépendances.....	111
3.4.2. Une typologie des mécanismes de coordination et des conditions de leur utilisation.....	115
3.5. Structures de l'organisation et coordination en phase chantier.....	120
3.5.1. Synthèse.....	120
3.5.2. Proposition d'une typologie adaptée à l'activité de construction.....	121
Chapitre 4. Le contexte dans l'action individuelle médiatisée.....	127
4.1. Les trois « contextes » de l'action.....	128
4.1.1. Différents domaines de référence pour la définition et l'utilisation du contexte.....	128
4.1.2. Notre acception de ce concept.....	131
4.2. Le « contexte de l'activité collective».....	133
4.2.1. L'acteur.....	133
4.2.2. L'activité.....	134
4.2.3. Les documents.....	134
4.2.4. Les objets.....	135
4.2.5. Les outils.....	135
4.3. Le « contexte de l'acteur » impliqué dans l'activité.....	136
4.3.1. La théorie de l'action située.....	137
4.3.2. Le contexte de l'action sous l'angle de la théorie de l'activité.....	138
4.3.3. Les formes de la connaissance dans l'activité.....	142
4.3.4. La connaissance dans l'action individuelle contextualisée.....	147

4.3.5.	La question du point de vue sur le contexte de l'activité collective	150
4.3.6.	Synthèse	151
4.4.	Le « contexte de l'utilisateur »	152
4.4.1.	Favoriser la perception du contexte : la conscience de groupe	153
4.4.2.	Le contexte de l'utilisateur d'un outil	155
4.5.	Synthèse	158

Troisième partie : Propositions d'outils et de modèles. Médiatiser la perception du contexte de l'activité collective.

Chapitre 5.	Un guide pour le choix d'outils de coopération en phase chantier.....	163
5.1.	État des lieux des outils pour le travail collectif dans le secteur de la construction	164
5.1.1.	Le concept d'outil.....	164
5.1.2.	Les outils « classiques » utilisés dans le secteur de la construction.....	168
5.1.3.	Des outils émergents pour favoriser la coordination.....	171
5.1.4.	Outils de coordination dans d'autres secteurs de production	185
5.2.	Un guide pour l'assistance à la coordination en phase de construction de bâtiments	198
5.2.1.	Constat général	198
5.2.2.	Une démarche rationnelle pour l'assistance à la coordination du chantier.....	201
5.2.3.	Des fonctionnalités communes de support à la communication et à la conversation	209
5.3.	Synthèse	210
Chapitre 6.	Une approche dirigée par les modèles	219
6.1.	Le concept de modèle.....	221
6.1.1.	Un concept aux définitions multiples.....	221
6.1.2.	L'Ingénierie Dirigée par les Modèles dans le domaine de l'informatique	223
6.2.	Des modèles pour le développement d'outils dans le secteur de la construction	234
6.2.1.	Modèles de « processus métier ».....	234
6.2.2.	Modèles « produit »	244
6.2.3.	Modèles d'organisation.....	250
6.2.4.	Modèles pour la construction d'interfaces de visualisation.....	251
6.2.5.	Synthèse des modèles pour les outils d'assistance à la coordination	254
6.3.	Propositions	258
6.3.1.	Contribution au développement d'un méta-modèle de coopération « orienté relation ».....	259
6.3.2.	Proposition d'une infrastructure de modèles pour le développement unifié d'outils d'assistance à la coopération.....	275
Chapitre 7.	Propositions d'outils pour l'assistance à la coopération en phase chantier	283
7.1.	Assister la coordination « traditionnelle » dans les configurations hiérarchiques et transversales.....	284
7.1.1.	Développement d'un outil pour assister la production et la rédaction du compte-rendu de chantier : prototype <i>Image.Chantier</i>	284
7.1.2.	Des outils pour assister le suivi et la coordination de chantier.....	292
7.1.3.	Synthèse	297

7.2. Assister la coordination « flexible » dans la configuration adhocratique	299
7.2.1. Représentation multi-vues du contexte de coopération : prototype <i>Bat'iViews</i>	299
7.2.2. Choix de vues pertinentes pour la coordination	301
7.2.3. Les arrangements de vues et leur contenu	303
7.2.4. Coordonner la navigation dans les différentes vues du contexte	305
7.2.5. Interactions entre les vues	308
7.2.6. Synthèse	309
Chapitre 8. Validation des propositions	313
8.1. Validation de l'architecture de modèles dans les développements.....	313
8.1.1. Construire des vues du contexte : modèles de concepts	314
8.1.2. <i>Bat'iViews</i> : mettre en relation des modèles de concepts	318
8.1.3. Limites	329
8.2. Validation « métier »	329
8.2.1. Assistance à la consultation du compte-rendu de chantier avec <i>Image.Chantier</i>	331
8.2.2. Multi-visualisation du contexte de coopération	334
Conclusion générale	341
Contenu de la thèse	341
Méthodologie	341
Propositions originales formulées	343
Limites de cette recherche	345
Perspectives ouvertes.....	346
Références bibliographiques.....	351
Table des matières détaillée	371
Liste des illustrations	375
Liste des tableaux.....	379
Résumé.....	382

Liste des illustrations

Figure 1 : La dynamique du secteur sur une trajectoire organisationnelle, inspiré de [Brousseau et Rallet 1995].....	31
Figure 2 : Modèle du processus de développement de logiciel libre, tiré de [Lonchamp 2003]	50
Figure 3 : Processus de développement coopératif à large échelle, tiré de [Lonchamp 2003]	51
Figure 4 : Chantier du collège de Blénod-Lès-Pont-À-Mousson	67
Figure 5 : « Contexte coopératif » du chantier du collège de Blénod-lès-pont-à-mousson	68
Figure 6 : Un espace de projet d'étudiants sur PhpCollab	74
Figure 7 : Maison « des jours meilleurs ». Architecte : Jean Prouvé	87
Figure 8 : Les cinq parties de bases de l'organisation selon Mintzberg	94
Figure 9 : La structure de l'organisation de projet dans le domaine de la construction	96
Figure 10 : La structure simple	97
Figure 11 : La bureaucratie mécaniste	97
Figure 12 : La bureaucratie professionnelle	98
Figure 13 : La structure divisionnalisée	99
Figure 14 : L'adhocracie	100
Figure 15 : Modèle organisationnel à 4 niveaux de Gachet et Brézillon	103
Figure 16 : Interdépendances entre membres, inspiré de [Zolin et al. 2000].....	113
Figure 17 : Interdépendances selon Malone et Crowstone	114
Figure 21 : Les mécanismes de coordination et leurs liens avec les typologies organisationnelles	124
Figure 22 : Les « trois contextes » considérés	132
Figure 23 : Une représentation du contexte de l'activité collective	136
Figure 24 : Structure basique d'une activité (vue simplifiée).....	141
Figure 25 : Données, information et connaissance	144
Figure 26 : Relations entre connaissances explicites et implicites. Selon [Nonaka et al. 2000], inspiré de [Brézillon 2003].	146
Figure 27 : Connaissances et procéduralisation	149
Figure 28 : Contexte de l'acteur, une synthèse.....	151
Figure 29 : Le contexte de l'utilisateur, synthèse.....	157
Figure 30 : Les quatres espaces fonctionnels pour l'analyse des outils de TCAO	167
Figure 31 : Fonctionnalités des portails de projet, tiré de [Fassin et Pirlot 2005].....	174

Figure 32 : Batibox, une "boîte projet" et l'ensemble des documents qu'elle contient	175
Figure 33 : Etat des projets dans l'interface de Bat'Group	177
Figure 34 : Tablette tactile utilisée sur un chantier	178
Figure 35 : Une vue 4D associant planning et modèle 3D.....	180
Figure 36 : Vue de l'outil Active 3D, édition de maquette numérique.....	184
Figure 37 : Exemple de diagramme de Gantt, chantier du collège de Blénod	186
Figure 38 : Eléments de base d'un graphe PERT.....	187
Figure 39 : Un exemple de graphe PERT	188
Figure 40 : Un exemple de workflow.....	189
Figure 41 : Tableau de bord XiTi pour la gestion d'un site Web	191
Figure 42 : Vue synthétique d'un projet sur SourceForge.....	194
Figure 43 : Liste de bugs sur objectweb.....	195
Figure 44 : Discussion à propos d'un problème sur Google Code	196
Figure 45 : Hypergraphe relationnel de l'interface de Bat'Map	205
Figure 46 : L'interface de Mat'Graph	206
Figure 47 : Les différentes vues du bâtiment dans un logiciel de CAO	207
Figure 48 : La navigation par vues multiples en relation dans le Finder (Mac OS X).....	208
Figure 49 : Technologies de la « Model Driven Architecture » proposée par l'OMG	224
Figure 50 : Architecture de modèles du MOF	225
Figure 51 : Métamodèle de MDA [Miller et Mukerji 2001]	226
Figure 52 : "Platform Description Model" pour décrire la plateforme « cible » utilisée pour la transformation, tiré de [Bézivin 2005].....	227
Figure 53 : Un modèle représente un système, tiré de [Favre et al. 2006]	228
Figure 54 : Un modèle est conforme à un métamodèle, tiré de [Favre et al. 2006]	229
Figure 55 : Relations entre système modélisé, modèle, langage et métamodèle, tiré de [Favre et al. 2006]	229
Figure 56 : L'IDM et l'unification des espaces techniques, tiré de [Favre et al. 2006]	231
Figure 57 : Modèles UML exprimés avec la spécification XMI	232
Figure 58 : Modèles de transformation	233
Figure 59 : Métamodèle d'un processus de workflow, par la WfMC.....	236
Figure 60 : Le métamodèle d'un diagramme SADT.....	237
Figure 61 : Le métamodèle de E-SADT (Extended SADT)	238
Figure 62 : Un diagramme E-SADT pour l'activité de construction, tiré de [Tahon 1997].....	239
Figure 63 : Métamodèle du Support d'Activité dans le projet DARE.....	240
Figure 64 : Les concepts de bases d'USPM.....	242
Figure 65 : Le métamodèle du Rational Unified Process	243
Figure 66 : Extrait du métamodèle du format STEP	246
Figure 67 : L'architecture globale du format IFC 2x3	248
Figure 68 : Les objets de la construction dans le modèle IFC	249
Figure 69 : Modèle de l'organisation dans le RUP	251
Figure 70 : Métamodèle des diagrammes UML	252
Figure 71 : Extrait du métamodèle de coopération dans sa forme originale.....	261
Figure 72 : Le concept "d'objet" dans le métamodèle	264

Figure 73 : L'artéfact dans le métamodèle	266
Figure 74 : Les formes de la "guidance" dans le métamodèle du RUP	268
Figure 75 : Le méta-modèle du contexte d'une activité coopérative	271
Figure 76 : Un modèle du contexte de coopération en phase chantier	273
Figure 77 : Modèles pour la réalisation d'une vue "planning"	276
Figure 78 : Une infrastructure pour l'exploitation des modèles	277
Figure 79 : Principe de construction de la vue "planning"	279
Figure 80 : Mise en œuvre de l'infrastructure pour l'interaction entre les vues	280
Figure 81 : Schéma du contexte d'utilisation du prototype Image.Chantier	288
Figure 82 : Interface de visualisation de points particuliers du compte-rendu	289
Figure 83 : Interface de visualisation de points d'avancement	290
Figure 84 : Modèle de données du prototype Image.Chantier	292
Figure 85 : Scénarios envisagés pour la visualisation 4D (gauche : scénario 1 et droite : scénario 2)	294
Figure 86 : Interface du tableau de bord de chantier	296
Figure 87 : Des vues multiples du contexte de coopération	300
Figure 88 : Exemple de trois vues traitant du même sujet de coordination	301
Figure 89 : Arrangement de deux vues (compte-rendu et planning) et mise en relation Observation(CR)-Tâche(PL)	303
Figure 90 : Les quatre arrangements par défaut dans Bat'iViews	305
Figure 91 : Navigation à l'aide d'une fenêtre "maîtresse"	306
Figure 92 : Navigation hiérarchique	307
Figure 93 : Navigation « libre »	307
Figure 94 : Modèle des concepts du prototype Image.Chantier (v0.1)	315
Figure 95 : Modèle des concepts d'un tableau de bord du chantier	317
Figure 96 : La vue "Planning" dans Bat'iViews	319
Figure 97 : Modèle des concepts d'une vue "planning"	320
Figure 98 : La vue "Image.Chantier" dans Bat'iViews (à gauche l'avancement et à droite les points particuliers)	322
Figure 99 : Modèles des concepts de la vue Image.Chantier (v0.2)	323
Figure 100 : Vue "Liste des points particuliers"	324
Figure 101 : La vue "Maquette 3D" dans Bat'iViews	325
Figure 102 : Schéma représentant la mise en œuvre des modèles pour gérer une interaction	328
Figure 103 : Scénario de coordination « classique », à partir du compte-rendu	335
Figure 104 : Scénario de coordination montrant l'apport de Bat'iViews pour la navigation	336
Figure 105 : Scénario de coordination centré sur la conscience du contexte	337

Liste des tableaux

Tableau 1 : Niveaux hiérarchiques de l'activité	139
Tableau 2 : Outils pour la coordination dans l'organisation de type hiérarchique.....	203
Tableau 3 : Outils pour la coordination dans l'organisation de type adhocratique.....	209
Tableau 4 : Fonctionnalités d'outils d'assistance à la coordination pour chaque configuration de l'organisation	214
Tableau 5 : Modèles pour le développement d'outil d'assistance à la coordination	258
Tableau 6 : Synthèse sur les propositions pour la coordination hiérarchique.....	298
Tableau 7 : Comportements entre vues lors d'une interaction	309

Résumé - Abstract

La coopération dans les activités de conception et de construction en Architecture, Ingénierie et Construction est un enjeu essentiel dans les mutations organisationnelles et économiques que connaît le secteur. La complexité de l'organisation des acteurs en phase chantier nous conduit à l'appréhender à travers trois configurations structurelles identifiables : hiérarchique, transversale et adhocratique, ainsi qu'à mettre en évidence les mécanismes de coordination associés. Nous concluons cette analyse sur la nécessaire flexibilité de la coordination en vue d'améliorer la qualité de la conduite des projets. Cette dimension flexible nous amène à placer l'individu au cœur de la coopération, en envisageant des outils favorisant sa perception du contexte.

Après une description de ce domaine de production, l'étude établit un état de l'art des outils supportant les activités coopératives en phase chantier, et suggère un guide pour le choix d'outils adaptés à chaque situation particulière de construction. Par la suite, notre approche, basée sur les modèles, a pour objectif de fédérer les différentes dimensions présentes dans toute coopération. Nous décrivons ainsi le contexte d'une activité collective dans le domaine de la construction (métamodèle du contexte de coopération) et nous caractérisons les différentes « vues » que mettent en œuvre les outils d'assistance (modèles des concepts représentés).

Nous présentons enfin deux propositions de nouveaux outils. *Image.Chantier* est destiné à la diffusion du compte-rendu de chantier, et supporte la coordination hiérarchique. *Bat'iViews* est une interface multi-vues de navigation dans le contexte de coopération. Cet outil a pour objectif de favoriser la perception et la compréhension du contexte, et vise à supporter l'ajustement mutuel entre acteurs dans les configurations adhocratiques.

La validation de ce travail de recherche est double. D'abord, l'approche par les modèles se concrétise dans le développement des prototypes d'outils, reposant sur l'infrastructure pour la transformation de modèles proposée. Ensuite, une validation « métier », par enquête et scénarios, justifie l'intérêt des outils pour supporter les activités de construction et favoriser la flexibilité de la coordination.

Mots-Clefs : *Construction, Chantier, Coopération, Coordination, Organisation, Contexte, Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), Interface Homme-Machine (IHM)*

Cooperation between actors in design and construction activities in Architecture, Engineering and Construction is an essential stake nowadays. Complexity of actors organization during building construction lets us consider three organizational configurations: hierarchical, transversal and adhocratique, and also their associated coordination mechanisms. In our analysis we underline that the flexibility in coordination is necessary to achieve quality in building projects. Flexibility of each ones activities lets us also re-consider the place of the individual within the cooperation context.

After having described this production context, the study establishes a state of the art of cooperation assistance tools used during building construction. We suggest a “guide” intended to choice well-adapted tools for each particular construction situation.

Then our approach based on models tries to federate the different dimensions existing in any cooperation. We describe the context of collective activities in the AEC field (cooperation context metamodel) and we characterize the different “views” that cooperation tools set up (concepts models).

We describe finally two propositions for new tools. *Image.Chantier* focuses on meeting report diffusion and supports “hierarchical coordination”. *Bat'iViews* is a multi-views interface allowing the user to navigate in information about the project. Its objective is to favour perception and understanding of the cooperation context by the actors. It supports “mutual adjustment” between actors in “adhocratic configurations”.

The validation of this research work is double. First the model approach is materialized with the development of the prototype tools, based on the infrastructure for models transformation that we suggest. Then a professional validation, through enquiries and scenarios, justifies the interest of tools to support construction activities and allows us to appreciate the benefits of coordination flexibility.

Keywords : *Building construction, Cooperation, Coordination, Organization, Context, Model-Driven Engineering (MDE), Human-Computer Interface (HCI)*