

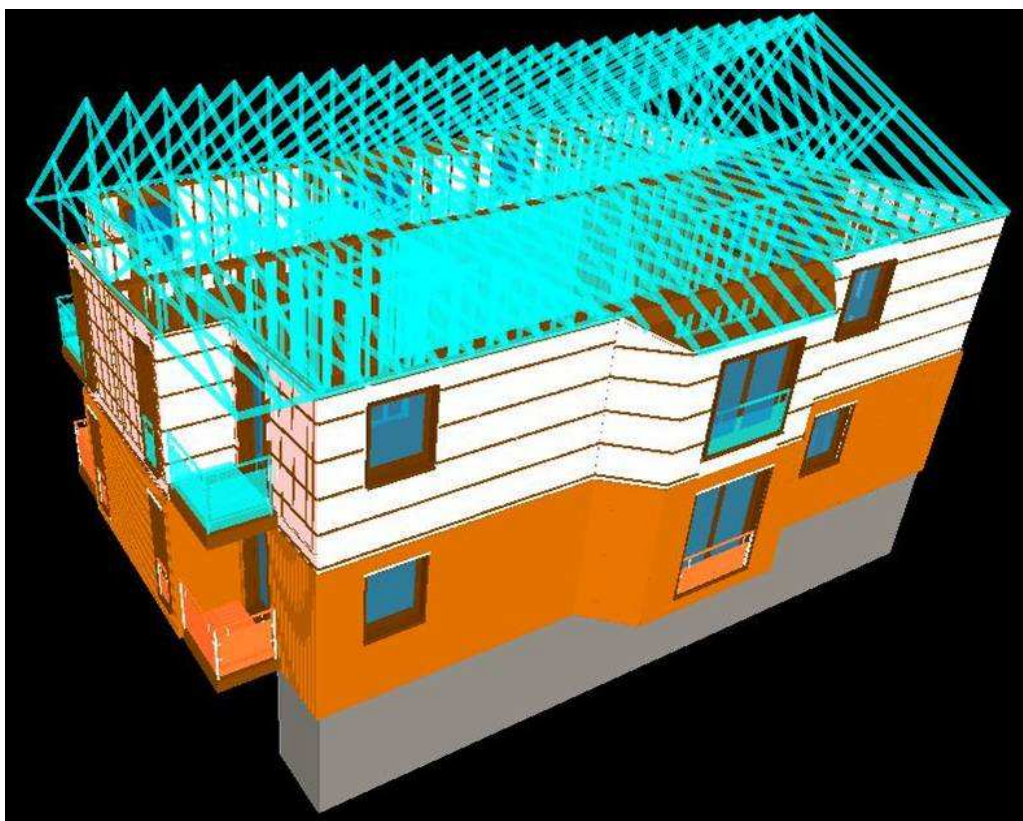
- Université Henri-Poincaré
- Ecole d'Architecture de Nancy
- Ecole d'Architecture de Strasbourg
- Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg
- Institut National Polytechnique de Lorraine



INFORMATION TEMPORELLE ET MAQUETTE

NUMERIQUE EN PHASE CHANTIER

Visualisation et point de vue



Sous la direction de : J.C. BIGNON, Professeur des Écoles d'Architecture
G. HALIN, Maître de conférence en Informatique

Laboratoire d'accueil : CRAI (Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie)

CRAI

FONDEUR Alexandre

Avril – Octobre 2005

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier M. Jean-Claude BIGNON, responsable de l'axe de recherche "Simulation de la construction de bâtiments", qui m'a fait l'honneur de m'accueillir au sein du CRAI afin d'effectuer mon stage de DEA. Son suivi et sa disponibilité m'ont permis de me familiariser assez rapidement aux méthodes de recherches et me guider dans l'orientation de mes travaux.

Je remercie également M. Gilles HALIN, enseignant-chercheur, pour sa participation et ses conseils tout au long de l'avancement de mon stage.

Je remercie tout particulièrement M. Sylvain KUBICKI pour sa participation active à mes travaux. Il a toujours été présent pour me faire part de ses réactions et conseils. Il a su me guider et m'a aidé à prendre des choix importants dans l'axe de recherche que l'on s'était fixé.

Je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire de recherche CRAI pour son accueil chaleureux et sa gentillesse. Ils m'ont permis de bien m'intégrer et de me sentir à l'aise durant mon stage.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
PROBLEMATIQUE	6
1 LA GESTION DU TEMPS APPLIQUEE AU DOMAINE DU BATIMENT	7
1.1 Le contexte de planification de chantier	7
1.1.1 Domaine d'application	7
1.1.2 Principe d'élaboration	8
1.1.3 Tâches de chantier	9
1.1.4 Les documents nécessaires à l'établissement du planning	10
1.1.5 Renseignements à obtenir des entreprises	11
1.2 Les méthodes de planification de travaux.....	12
1.2.1 Le diagramme de Gantt	13
1.2.2 Le PERT :	14
1.2.3 Le planning chemin de fer	17
1.2.4 Quelle méthode choisir ?	18
1.3 La mission d'OPC	19
1.3.1 Nécessité d'avoir une méthode d'ordonnancement	19
1.3.2 L'OPC-AO (OPC assisté par ordinateur)	21
1.3.3 Qui effectue cette mission	23

2	PLANIFICATION ET MAQUETTE NUMERIQUE, LA 4D	24
2.1	Les travaux de recherche	24
2.1.1	État actuel	24
2.1.2	Les horizons	25
2.2	Logiciel d'étude, 4D Suite	26
2.2.1	Builder 4D	26
2.2.2	Viewer 4D	29
2.2.3	Analyse	30
3	PROPOSITIONS	32
3.1	Potentiel de la visualisation 4D (temporalité + 3D)	32
3.2	Besoins des acteurs du bâtiment	33
3.2.1	Identité des acteurs	33
3.2.2	Identification des besoins	33
3.3	Identification des points de vue	34
3.3.1	La notion de point de vue	34
3.3.2	Points de vue des acteurs	35
3.4	Expérimentations	36
3.4.1	Abri à sel	36
3.4.2	Bâtiment en bois	42
3.5	Bilan	47
	CONCLUSION	49
	BIBLIOGRAPHIE	50

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

INTRODUCTION

Le secteur du bâtiment est un secteur très complexe. Il compte une multitude d'acteurs qui ont des rôles très divers dans l'activité de construction. Ils sont amenés à communiquer, échanger, coopérer... afin de réaliser au mieux les projets architecturaux.

La coordination de ces activités passe inévitablement par la planification de chantier. Elle permet de représenter, gérer et anticiper les tâches d'un chantier. Il est aujourd'hui difficile de communiquer toutes les informations nécessaires à travers les modes de représentation actuels (le diagramme de Gantt est le plus couramment utilisé) et beaucoup de temps est passé à expliquer chaque élément au lieu de décrire réellement les travaux à exécuter.

De nouveaux outils informatiques sont apparus ces dernières années afin de représenter plus clairement les bâtiments et les données qui s'y rattachent (logiciels de CAO, DAO...). Ils doivent permettre une meilleure compréhension et visualisation du contexte des différents projets.

L'étude présentée ici tente de mettre en relation la planification de chantier et les techniques de représentation actuelles dans le but de proposer des possibilités de représentations et de prise en compte des différents points de vue et besoins des acteurs de la construction.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

PROBLEMATIQUE

Le sujet qui nous intéresse est la coordination des activités et plus précisément la gestion du temps en phase chantier. La planification de projet peut se présenter sous plusieurs formes :

- le planning général qui représente les grandes phases du chantier;
- le planning détaillé qui renseigne chaque tâche ou activité;
- le planning d'exécution qui est spécifique à chaque entreprise. Ce n'est pas celui qui nous intéresse car il ne touche pas tous les acteurs.

Dans une première partie, notre étude s'intéressera à la gestion du temps donc à la planification de chantier.

Les modes de représentation actuels sont en général impersonnels et complexes quant au nombre de tâches et au peu de renseignements transmis. L'émergence des nouvelles technologies et en particulier de la maquette numérique nous amène à penser que ce mode de visualisation est un bon moyen de situer, représenter et anticiper les tâches de chantier.

La deuxième partie va s'intéresser au sujet des plannings dits "4D", c'est-à-dire qui présentent une visualisation 3D du bâtiment accompagnée des données temporelles du planning.

La dernière partie sera centrée sur les perspectives envisagées quant aux possibilités visuelles de la 4D et à la notion de point de vue. En effet, une représentation unique n'est pas envisageable car elle n'apporterait aucune amélioration des techniques actuelles et aucune information suffisante.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

1 LA GESTION DU TEMPS APPLIQUEE AU DOMAINE DU BATIMENT

1.1 Le contexte de planification de chantier

1.1.1 Domaine d'application

La **gestion de projet** est une démarche visant à structurer, assurer et optimiser le bon déroulement d'un projet suffisamment complexe pour devoir :

- être planifié dans le temps : c'est l'objet de la **planification**
- faire intervenir de nombreuses parties participants : c'est l'objet des organisations qui identifient maîtrise d'oeuvre et maîtrise d'ouvrage
- responsabiliser le chef de projet ou le directeur de projet, mettre en place un comité de pilotage
- suivre des enjeux opérationnels et financiers importants.

L'objectif est d'obtenir un résultat conforme à des normes de qualité et de performances prédéfinies, pour le moindre coût et dans le meilleur délai possible.

La planification d'un projet est donc une activité incontournable pour la gestion de projet. Elle permet de :

- définir les activités à réaliser;
- fixer des objectifs;
- coordonner les actions;
- maîtriser les moyens;
- diminuer les risques;
- suivre les actions en cours;
- rendre compte de l'état d'avancement du projet.

La planification est un outil de prise de décisions pour le chef de projet mais aussi de communication entre les différents acteurs d'un projet. Planifier optimise ainsi les

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

chances de réussite d'un projet en améliorant la productivité grâce à une meilleure maîtrise de la qualité.

1.1.2 Principe d'élaboration

La planification du projet est initialisée au début d'un projet et mise à jour pendant toute sa durée de vie. Un projet comporte toujours un nombre de tâches plus ou moins grand à réaliser dans des délais impartis et selon un ordonnancement bien déterminé. La réalisation d'un tel planning nécessite la mise en œuvre de techniques de planification :

- les tâches doivent être identifiées;
- les tâches doivent être quantifiées en terme de délais, de charges ou de ressources;
- la logique de l'ensemble des tâches doit être analysée.

Ces éléments sont issus de l'analyse du projet, qui se situe en amont de la planification. Afin de mener à bien la réalisation de cet outil, il faut donc procéder comme suit :

- **Déterminer et structurer la liste des tâches à réaliser pour mener à bien le projet :** cette identification peut se faire par des techniques comme le Brainstorming ou les groupes de travail. La liste obtenue doit être ensuite structurée : on tente de regrouper les tâches, de les hiérarchiser par lots de travail.
- **Estimer les durées et les ressources :** il faut ensuite remplir un tableau présentant, pour chaque tâche, la durée de celle-ci et les ressources affectées. L'unité de temps pour exprimer la durée est fonction du type de projet réalisé. La durée choisie doit être réaliste et raisonnable. Quant aux ressources, elles peuvent être humaines ou matérielles. Il est important d'avoir à l'esprit que la planification d'un projet s'effectue à partir de la date connue ou estimée de début

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

du projet. L'estimation de la durée des tâches permet ensuite de calculer la durée totale du projet et de parvenir à une date de fin de projet parfois bien différente de celle voulue. Dans ce cas, le responsable de la planification doit estimer à nouveau les données concernant le projet de façon à fixer une date de fin de projet la plus conforme aux impératifs.

- **Réaliser le réseau logique** : il doit reprendre les hypothèses de priorités des tâches. Il se présente souvent sous la forme de tâches reliées entre elles par des liens logiques. Pour chaque tâche, il est primordial de trouver les relations d'antécédence et de succession. Une fois le réseau tracé, on retrouvera la chronologie du projet.

- **Réaliser la représentation graphique** : il existe différents modes de représentation de planning. Elle peut se présenter sous la forme d'un diagramme de Gantt, d'un PERT (Program Evaluation and Review Technique – technique d'ordonnancement et de contrôle des programmes) ou d'un calendrier.

1.1.3 Tâches de chantier

Une tâche est une entité élémentaire localisée dans le temps par une date de début et/ou de fin, dont la réalisation nécessite une durée, et qui consomme un moyen selon une certaine intensité.

Selon les problèmes, les tâches peuvent être exécutées par morceaux, ou doivent être exécutées sans interruption ; on parle alors respectivement de problèmes préemptifs et non préemptifs. Lorsque les tâches ne sont soumises à aucune contrainte de cohérence, elles sont dites indépendantes.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Nous avons identifié deux principaux types de tâches à partir des différents plannings étudiés :

- **les tâches réelles** : elles nécessitent l'activité des hommes et du temps. Elles sont couramment représentées sur les plannings de chantier (construction de la charpente, pose du réseau électrique...);
- **les tâches d'attente** : elles ne nécessitent aucune intervention humaine mais utilisent du temps et du matériel. Le séchage d'une dalle, nécessitera du matériel pour supporter l'ouvrage et du temps avant de pouvoir exécuter une tâche réelle.

1.1.4 Les documents nécessaires à l'établissement du planning

Pour l'établissement du planning, doivent être réunis :

- l'ensemble des plans d'exécution ;
- le devis descriptif et le Cahier des clauses techniques particulières (CCTP), par lots, décomposé en articles et indiquant avec précision les limites de prestation de chaque marché ;
- le devis quantitatif estimatif ou la décomposition du prix forfaitaire ;
- le cahier des clauses administratives particulières (CCAP).

Ces documents doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

- quelle est la durée totale du chantier ?
- Cette durée totale tient compte ou non des jours chômés, fériés ? les intempéries sont-elles ou non incluses dans le planning ? Les congés payés sont-ils ou non compris dans le planning ?
- Quelles sont les entreprises attributaires des différents lots ?
- Quelles sont les contraintes liées aux interfaces ?

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

1.1.5 Renseignements à obtenir des entreprises

- Renseignements sur le matériel et les moyens qu'elles doivent mettre en œuvre :
 - Nombre de grues et capacité (tonnes par mètres...);
 - rotation de grues dans le temps ;
 - position des chemins de grues, largeur et rayon de courbure ;
 - détermination des zones de balayage des grues ;
 - position de la centrale à béton ;
 - circulation des engins ;
 - surfaces nécessaires au stockage des pièces préfabriquées et des matériaux.
- Tracé, même succinct, des installations de chantier.
- Propositions quant à l'enchaînement des opérations.
- Pour chaque tâche, indication du temps et du potentiel des équipes (en hommes-jour).
- Précisions concernant la répartition du travail dans la semaine.

Il conviendra de faire approuver par les entreprises, pour chaque tâche élémentaire :

- La décomposition : s'assurer que les tâches déterminées à l'étude correspondent à une action concrète sur le chantier ; au besoin regrouper ou décomposer des tâches si cela s'avère nécessaire ;
- L'enchaînement logique : attirer l'attention de l'entreprise sur les difficultés d'enchaînement des tâches ; établir cet enchaînement de manière à assurer une intervention continue par corps d'état ;
- Le temps estimé : un temps ne veut rien dire sans l'indication du nombre d'hommes composant l'équipe et des moyens matériels mis à disposition de cette équipe.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

1.2 Les méthodes de planification de travaux

Diverses techniques peuvent être envisagées pour l'élaboration du planning. De la qualité de l'établissement de planning et surtout du choix réaliste de sa représentation – clarté, lisibilité, facilité d'exploitation – dépendront en partie la qualité du suivi des travaux et la facilité à décider rapidement d'actions correctives durant le déroulement du chantier.

Le principal objectif du planning n'est pas d'évaluer le retard dans la réalisation des travaux mais de permettre au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre et aux entreprises l'exercice des cinq fonctions (Armand, 2003) qui caractérisent l'accomplissement de toute action :

- **prévoir** : établir les programmes d'action et les situer dans le temps ;
- **organiser** : mettre en place les moyens propres à la réalisation des prévisions ;
- **commander** : déclencher l'exécution des différentes phases de réalisation des travaux et évaluer toutes les répercussions que peut entraîner leur enchaînement ;
- **coordonner** : relier entre elles les différentes phases de réalisation des travaux et évaluer toutes les répercussions que peut entraîner leur enchaînement ;
- **contrôler** : vérifier que la réalisation des travaux est conforme aux prévisions et prendre toutes les mesures nécessaires pour corriger tout écart.

Un planning correctement établi doit :

- permettre l'exercice de ces fonctions ;
- être facile à lire pour les exécutants : se méfier des plannings complexes ou de représentation abstraite, qui compliquent la tâche plus qu'ils ne la simplifient ;
- permettre à chacun de situer aisément son intervention ;
- faciliter la mise à jour, lors des pointages périodiques ;
- prévoir les éventuels incidents de parcours.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

1.2.1 Le diagramme de Gantt

La planification et la coordination des chantiers de bâtiment sont en général assurées à l'aide d'un planning à barres, dit aussi "planning de Gantt". Il permet de planifier le projet et de rendre plus simple le suivi de son avancement. Le diagramme doit servir à atteindre les objectifs initialement fixés.

Avec en abscisse l'échelle de temps et en ordonnée la liste des tâches, il y est tracé un rectangle d'une longueur proportionnelle à sa durée, le tout suivant la logique d'ordre d'exécution du réseau. Il permet de visualiser facilement le déroulement du projet, ainsi que de prévoir suffisamment à l'avance les actions à penser. On pourra aussi gérer plus facilement les conflits de ressources et les éventuels retards en visualisant l'impact de ceux-ci sur le déroulement du projet.

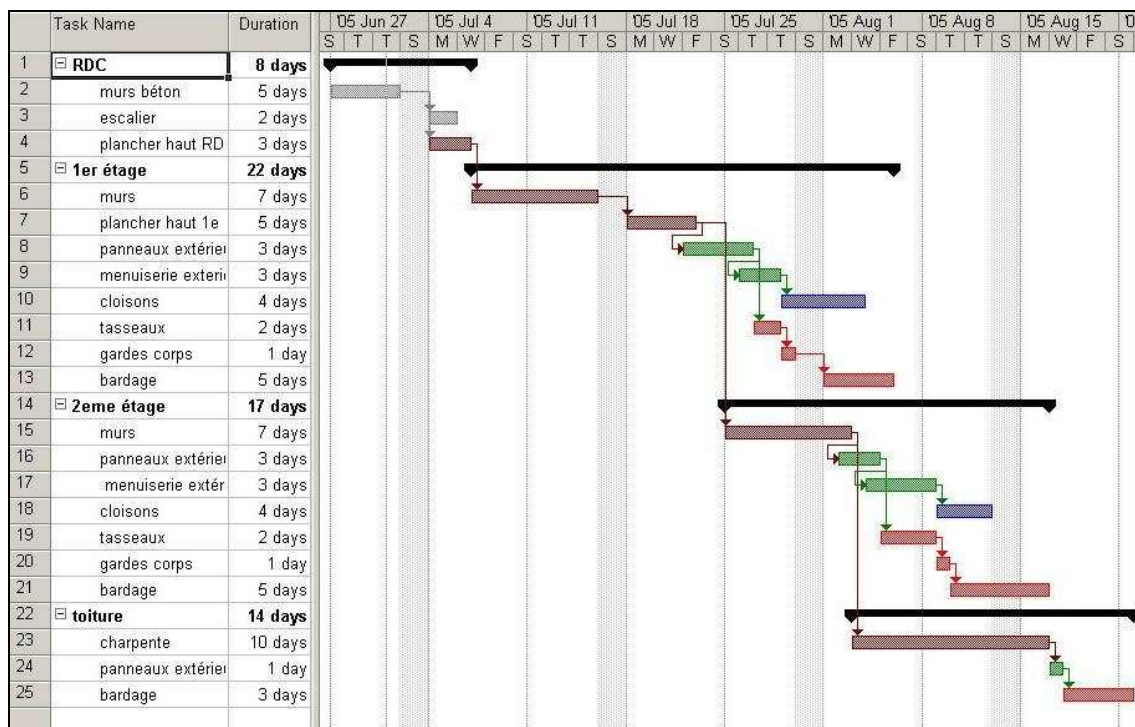


Figure 1 : Diagramme de Gantt

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

En outre, le diagramme de GANTT est un bon outil de communication avec les différents acteurs du projet. Par contre, il présente un certain nombre de lacunes :

- Il est en général insuffisamment détaillé (environ cinquante tâches élémentaires dont l'unité de temps, la semaine, est un peu longue) et ne reflète pas l'imbrication complexe des interventions de différents corps d'états;
- Il n'est pas possible, lorsqu'une tâche est en retard ou en avance par rapport au planning, d'en apprécier les répercussions sur les autres tâches en aval et en particulier d'estimer si la date finale des travaux est compromise ;
- Les tâches importantes, c'est à dire celles où il faut se montrer très vigilant quant au respect de leur délai d'exécution, sous peine en cas de dépassement de repousser la date finale des travaux, sont difficilement repérables.

Le planning de Gantt est d'une utilité contestable pour les entreprises et d'un faible secours pour la direction du chantier (Vallet, 2001). L'avancement des travaux ne doit presque plus rien au planning, remplacé par la bonne volonté de tous et souvent par l'improvisation résultant des dernières données du moment.

Ce planning permet d'effectuer un pointage à un moment donné, mais n'autorise pas à envisager des modifications en appréciant toutes les conséquences sur les différents corps d'état. Il se révèle de ce fait peu opérationnel.

1.2.2 Le PERT :

La méthode PERT (Program Evaluation and Review Technique), élaborée par la marine américaine et expérimentée en 1957 au cours du projet de missile polaris, permet la coordination et la visualisation des tâches dans le temps.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

L'apport de cette méthode est la possibilité de diagnostiquer les blocages potentiels par le tracé d'un chemin critique (chaîne de tâches influant directement sur la durée globale du projet). La mise en place d'un diagramme PERT nécessite:

- D'avoir opéré un découpage du projet en activités élémentaires ;
- D'avoir déterminé un ordonnancement des tâches dans le temps ;
- D'avoir estimé la durée de chacune de ces tâches.

Un diagramme PERT se construit sous la forme d'un réseau de noeuds et d'arcs orientés. Il existe deux méthodes de représentation du diagramme : soit ce sont les arcs qui représentent les tâches, soit ce sont les noeuds. La longueur des arcs n'a pas de signification; il n'y a pas de proportionnalité dans le temps.

Le diagramme est réalisé en exprimant les tâches et les contraintes logiques identifiées pour la réalisation d'un processus de travail. Il est donc indispensable d'établir une liste des tâches avec leurs contraintes associées.

Désignation de la tâche	Durée (jours)	Contraintes : tâche précédente
Signature du contrat (a)	0	Précède toutes les autres tâches
Elaboration des plans d'exécution (b)	15	
Installations de chantier (c)	5	Après tâche b
VRD (d)	10	Après tâche b
Dalle RDC (e)	20	Après tâche c
Entrée garage (f)	15	Après tâche d et après tâche e
Approvisionnement briques étage 1 (g)	1	Après tâche c et après tâche e
inspection (h)	3	Toutes tâches terminées

Tableau 1 : Liste des tâches et contraintes

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

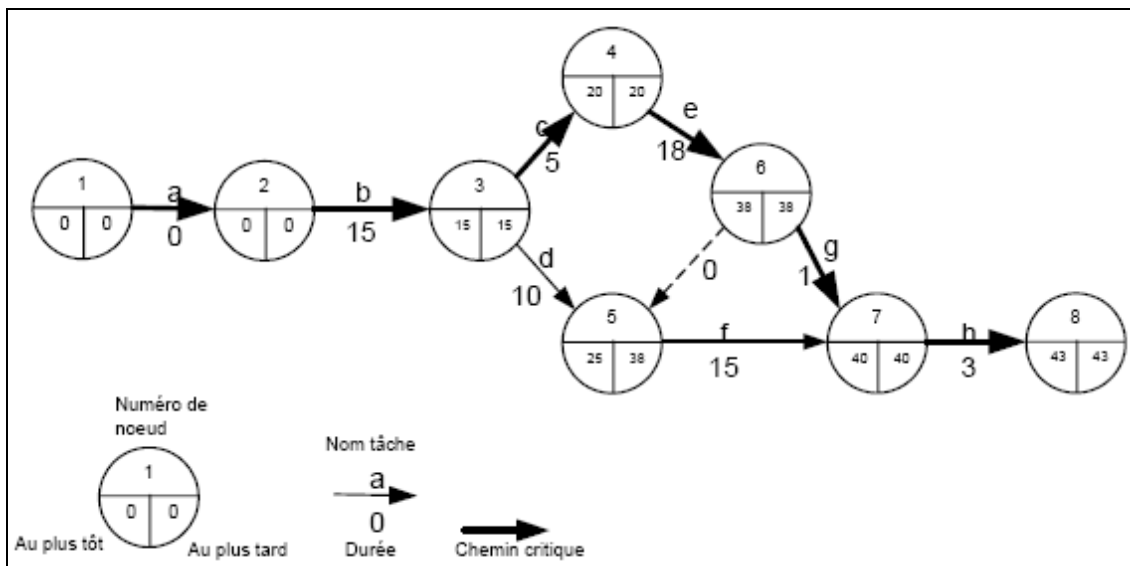


Figure 2 : Le réseau PERT

Pour être efficace, il est nécessaire de bien connaître l'enchaînement des tâches décrites dans le réseau PERT, ce qui réserve cette méthode aux projets de type opérationnel (ex: dans un processus de fabrication en usine...) ou aux processus d'entreprise.

La méthode PERT est un outil de diagnostic, permettant de faire ressortir les dépendances entre tâches. Ce mode de représentation est très intéressant, car lorsque la durée des tâches élémentaires varie, la morphologie du graphe reste la même. Elle reste cependant peu lisible par les collaborateurs d'un projet.

Une fois établi, un réseau PERT peut être traduit en diagramme Gantt afin de le diffuser plus aisément. Il permet de :

- repérer le chemin critique, donc les étapes et les tâches critiques ;
- visualiser les dates au plus tôt et au plus tard de début et de fin de réalisation de chaque tâche.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

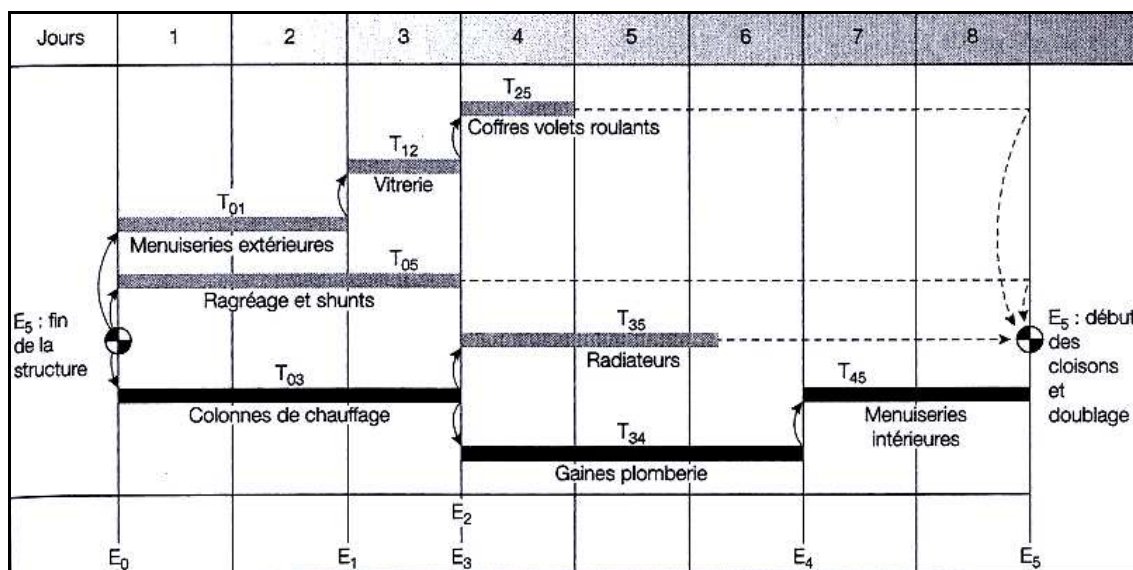


Figure 3 : PERT sous forme de diagramme

1.2.3 Le planning chemin de fer

On peut aussi représenter le planning sous la forme, dite "planning chemin de fer" (ce type de planning était utilisé par la SNCF pour représenter la marche des trains : le temps est porté horizontalement et les distances verticalement sur le diagramme). Cette représentation met en évidence la continuité des équipes et la rapidité d'exécution des tâches de chaque corps d'état.

Ce type de représentation prend toute sa signification pour l'élaboration de planning de bâtiments élevés, de terrassement où les travaux sont répétitifs par étages ou zones. L'évolution des tâches est rapportée à deux axes rectangulaires :

- l'axe des abscisses est l'axe du temps, l'unité étant en général la journée ;
- l'axe des ordonnées est représentatif du cheminement des équipes à travers les différentes unités répétitives de l'ouvrage (très souvent, ces unités sont les étages du bâtiment ou les zones de déblais/remblais).

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

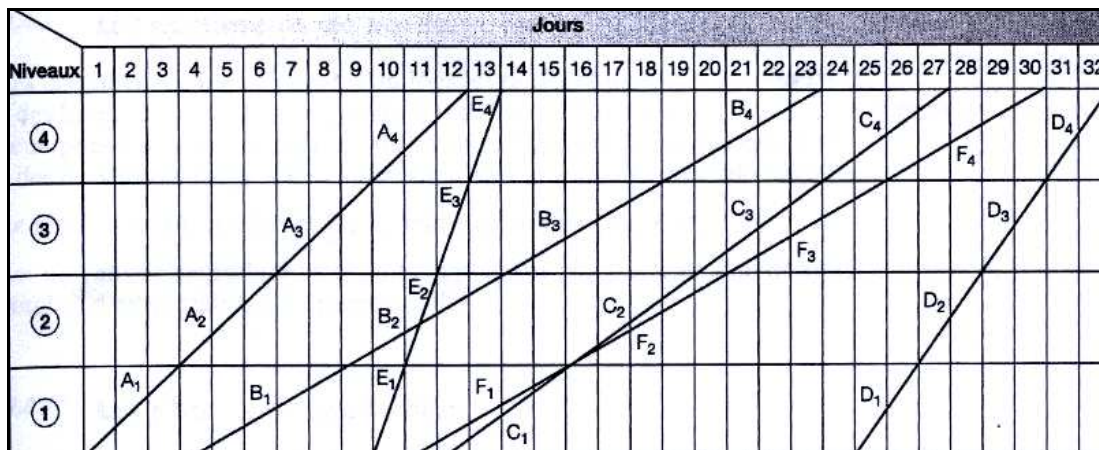


Figure 4 : Planning de chemin de fer

La vitesse d'exécution d'une tâche est supposée constante à l'intérieur d'une unité répétitive. L'image de cette progression est donc une droite. Plus la droite fait un angle important avec l'axe du temps, plus la progression (vitesse de la tâche) est rapide, et inversement.

1.2.4 Quelle méthode choisir ?

Toutes les méthodes présentent un intérêt, mais ont néanmoins des domaines d'application préférentiels :

- le diagramme de Gantt s'adapte peut-être mieux à des opérations concernant l'exécution des travaux où le nombre de tâches est souvent plus restreint ;
- la méthode PERT permet de gérer un nombre important de tâches à caractère très divers (administratif, financier, décisionnel, etc.), reliées par des contraintes multiples ;
- la méthode "planning chemin de fer" trouve particulièrement son application dans l'enchaînement continu de tâches répétitives, donc de chantiers décomposés en niveaux ou zones similaires.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

1.3 La mission d'OPC

La mission d'OPC (Ordonnancement, Pilotage, Coordination), telle que définie dans la loi MOP (Maîtrise d'Ouvrages Publics), se présente comme un instrument de stratégie et de tactique de chantier, c'est un élément essentiel du prix de revient, et une nécessité économique (Caradant, 2005). Les délais non maîtrisés coûtent chers au maître d'ouvrage, aux entreprises et à l'architecte.

Mais, au-delà de l'aspect économique n'oublions pas le facteur humain, un chantier c'est un grand nombre de personnes qui doivent travailler ensemble, avec des conditions de travail souvent difficiles. Il ne suffit pas d'**organiser** mais aussi de **maîtriser** le déroulement d'une opération. Le planning est alors un instrument de travail permanent qui permet la régulation et le contrôle constant du chantier. Le rôle du coordonnateur ne consiste pas à ordonnancer dans l'idéal, mais en fonction des contraintes. Pour cela la coordination doit être pensée, étudiée, prévue et organisée à la fois au stade de la préparation de chantier et au niveau de l'exécution de la commande.

1.3.1 Nécessité d'avoir une méthode d'ordonnancement

Par définition, nous proposons d'appeler "problème d'ordonnancement" un problème dans lequel les trois conditions suivantes sont réunies :

- il s'agit d'étudier comment on doit réaliser quelque chose : immeuble, logements, entrepôt, usine, etc. ;
- ce "quelque chose" est décomposable en tâches, c'est à dire en travaux élémentaires ayant une signification concrète, une durée qui peut être estimée, un coût défini ;
- ce "quelque chose" est soumis à un ensemble de contraintes relatives à la technologie, au matériel, à la main d'œuvre, au fournisseur, au climat, etc.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

Un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement) et de contraintes portant sur la disponibilité des ressources requises.

Un ordonnancement constitue une solution au problème d'ordonnancement. Il est défini par le planning d'exécution des tâches (« ordre » et « calendrier ») et d'allocation des ressources et vise à satisfaire un ou plusieurs objectifs.

Avoir une méthode d'ordonnancement, c'est :

- définir le "quelque chose" à ordonnancer, c'est à dire préciser l'ouvrage faisant l'objet de l'ordonnancement et délimiter exactement les frontières avec l'environnement ;
- décomposer l'ouvrage ainsi défini en un certain nombre de tâches ou travaux élémentaires, par exemple les tâches "a", "b", "c", "d", "e" ;
- étudier les contraintes interférant sur chacune des tâches – c'est à dire examiner pour chaque tâche celles immédiatement en aval et celles immédiatement en amont, et connaître la durée de chacune d'elles – et les introduire sous forme graphique.

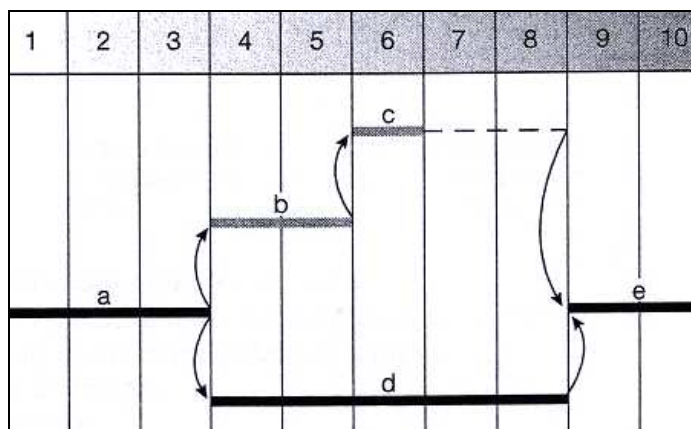


Figure 5 : Graphique de tâches et contraintes

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Un tel schéma ou graph-planning est riche d'enseignements, car il permet de :

- visualiser la durée globale du déroulement de l'opération
- repérer deux types de tâches :
 - les tâches critiques, celles où aucun retard n'est possible sous peine de retarder la date finale des travaux (tâches "a", "d", "e"),
 - les tâches non critiques, celles où un certain retard reste possible sans compromettre la date finale des travaux (tâches "b", "c") ;
- visualiser la durée de chaque tâche ;
- visualiser pour chaque tâche critique :
 - sa date de fin,
 - sa date de début ;
- visualiser pour chaque tâche non critique :
 - ses dates au plus tôt (début et fin),
 - ses dates au plus tard (début et fin),
 - la tolérance quant au démarrage de ces tâches, c'est à dire le retard possible du démarrage d'une tâche sans reculer pour autant la date finale des travaux ;
- repérer le ou les "chemins critiques", c'est à dire le ou les chemins qui passent par l'ensemble des tâches critiques.

1.3.2 L'OPC-AO (OPC assisté par ordinateur)

Il est nécessaire de préciser que la mission d'OPC est différente quand on utilise l'outil informatique, aussi préférons nous parler d'OPC-AO. Ce concept nouveau en devenir, est articulé autour de l'outil informatique. Le planning devient un outil de gestion au

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

jour le jour des différentes tâches élaborées avec les entreprises. Le coordonnateur OPC sera amené à :

- Réaliser le planning initial d'une façon nouvelle, en concertation avec les entreprises retenues, en fonction de leur taille et de leurs moyens.
- Définir un chemin critique par une méthode d'ordonnement (méthode des potentiels), permettant, en phase travaux, de déterminer des pénalités de retard provisoires sans aucune contestation possible.
- Modifier le planning plusieurs fois en cours de chantier, en fonction des aléas ou pour remédier aux difficultés qui se présentent.

C'est cette évolution de la mission OPC qui va permettre aux entreprises :

- de mieux respecter le planning. Les délais coûtent chers au maître d'œuvre, au maître d'ouvrage, aux entreprises et à l'architecte;
- de prévoir les dates de leurs interventions longtemps à l'avance;
- d'avoir une bonne coordination en passant par une meilleure communication entre les acteurs d'un chantier;
- d'optimiser leur temps de travail et réduire les délais;
- de réduire les risques d'erreurs;
- de faciliter leur gestion de main d'oeuvre.

Mais l'OPC-AO permettra aussi au maître d'ouvrage de :

- Passer des marchés en lots séparés sans craindre des dépassements de délais;
- Diminuer la sous-traitance des "majors";
- Protéger le tissu régional des PME-PMI;
- Obtenir de meilleurs prix.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

1.3.3 Qui effectue cette mission

Il s'agit d'une tâche qui doit être assurée lorsque les travaux comportent plusieurs lots, exécutés par plusieurs entreprises. Leurs interventions doivent donc être organisées de façon à ne pas se gêner ou se retarder mutuellement.

C'est une vraie mission de maîtrise d'œuvre, qui n'est pas incluse dans la mission de base. Cette tâche peut être assurée, en complément (à décider en même temps que la signature de la mission de base ou par avenant ou par marché séparé, mais sans appel à concours) par le maître d'œuvre responsable du suivi de chantier (architecte ou maître d'œuvre privé ou public) ou par un intervenant extérieur, spécialiste de la coordination.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

2 PLANIFICATION ET MAQUETTE NUMERIQUE, LA 4D

2.1 Les travaux de recherche

2.1.1 État actuel

Les planificateurs ont de plus en plus besoin de considérer les informations géométriques dans leurs décisions (Fischer, 2001). Habituellement, les dessins 2D sont les plus utilisés néanmoins les modèles 3D commencent à se développer.

La définition des activités ne représente pas les informations spatiales comme le sens d'exécution ou l'espace sur le chantier entre deux activités. Des travaux de recherches se sont donc récemment portés sur des techniques de planification 4D afin de répondre à ses besoins (Liston, 2000). L'étude de la 4D a démontré comment:

- l'interactivité aide les équipes à naviguer plus efficacement à travers les informations;
- partager les visualisations améliore la mise en valeur des éléments;
- les visualisations peuvent communiquer les relations entre les informations du projet;
- les vues à grande échelle sont plus appropriées pour les tâches des équipes.

Ces améliorations montrent les avantages de continuer la recherche pour améliorer la visualisation des informations par les groupes de travail. Cela démontre les besoins de plus de fonctionnalités pour permettre aux équipes de :

- naviguer et interagir dans la masse d'informations. L'espace 4D permet de se déplacer dans le temps et l'espace. L'équipe pourrait ainsi préférer naviguer dans une hiérarchie d'éléments ou bien par type de travaux ou encore par localisation des travaux;
- mettre en valeur des informations spécifiques, à travers les visualisations 4D;
- visualiser des informations supplémentaires comme le coût, l'attribution du travail...

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

2.1.2 Les horizons

Certains travaux de recherches ont un but commun en ce qui concerne la planification de projet (Liston, 2003 – Donath, 2003). En effet, celle-ci doit répondre à toutes les questions pouvant intervenir pendant un chantier : "qui", "quoi", "où", "quand" et "comment".

Un planning typique en barres renseigne sur "où" et "quoi", certains "qui" et partiellement "comment". La visualisation 4D quant à elle réfère à l'aspect spatial et temporel, "où" et "quand". Il reste donc des aspects qui ne sont pas encore définis et les recherches vont se diriger de plus en plus dans ce sens.

Les observations pendant les réunions de projet montrent que les équipes passent la plupart de leur temps à décrire, expliquer et évaluer les tâches. Les travaux de Liston envisagent donc qu'il sera nécessaire d'améliorer les espaces de travail pour permettre aux équipes de prévoir les impacts des changements ou décisions spécifiques sur les objectifs du projet (Que se passerait-il si...?).

L'apport de l'interactivité aux groupes de travail pourrait donc permettre de :

- améliorer l'habileté des équipes à prendre des décisions importantes avec des vues interactives et pratiques pour améliorer la capacité à décrire, expliquer et comparer les informations du projet;
- améliorer l'utilité des informations en sélectionnant les plus pertinentes et nécessaires pour favoriser la prise de décisions.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

2.2 Logiciel d'étude, 4D Suite

Le logiciel sur lequel nous avons développé cette expérimentation est 4D Suite développé par D-Studio situé à Mechelen en Belgique. Il se présente sous deux interfaces : Builder 4D et Viewer 4D.

2.2.1 Builder 4D

Il permet de construire la maquette 4D. Il se présente uniquement sous la forme d'une barre de menus avec laquelle on peut créer son projet et les différents scénarios de ce projet. Un projet met en relation une maquette numérique (AutoCAD, Architectural Desktop, DesignCAD) et un planning (Ms Project, Primavera). Les deux fichiers sont ouverts par le Builder 4D afin que celui-ci puisse les donner à chacun. L'interface comporte alors 3 fenêtres : les menus de Builder 4D, le logiciel de CAO et le logiciel de planification.

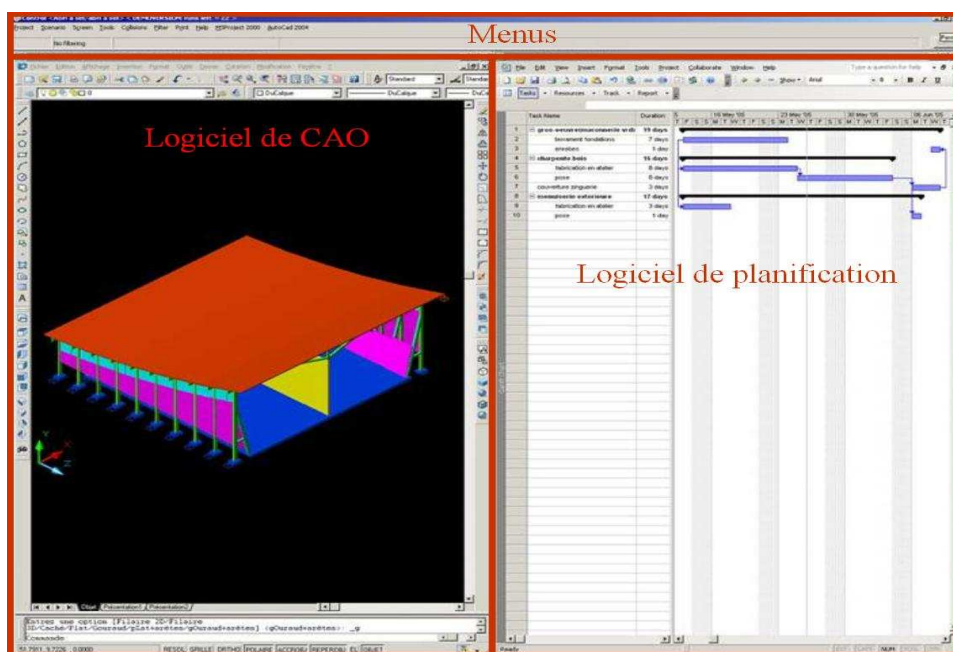


Figure 6 : Builder 4D

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

- **4D Types** : cette fenêtre permet de prédéfinir le type de visualisation des différents objets 4D que l'on veut créer. En fonction de la méthode, on peut mettre en place des :
 - **"Types"** : lots (maçonnerie, menuiserie...), types d'ouvrages (fondations, cloisons...) ou statuts des objets (fabrication, démolition, construction...) concernés par le projet ...
 - **"Profiles"** : couleur, type d'affichage (solide, transparent, invisible) et facteur d'affichage (70% de transparence...) de chaque "Type" et de sa phase (pré-active, active, post-active et non-active).

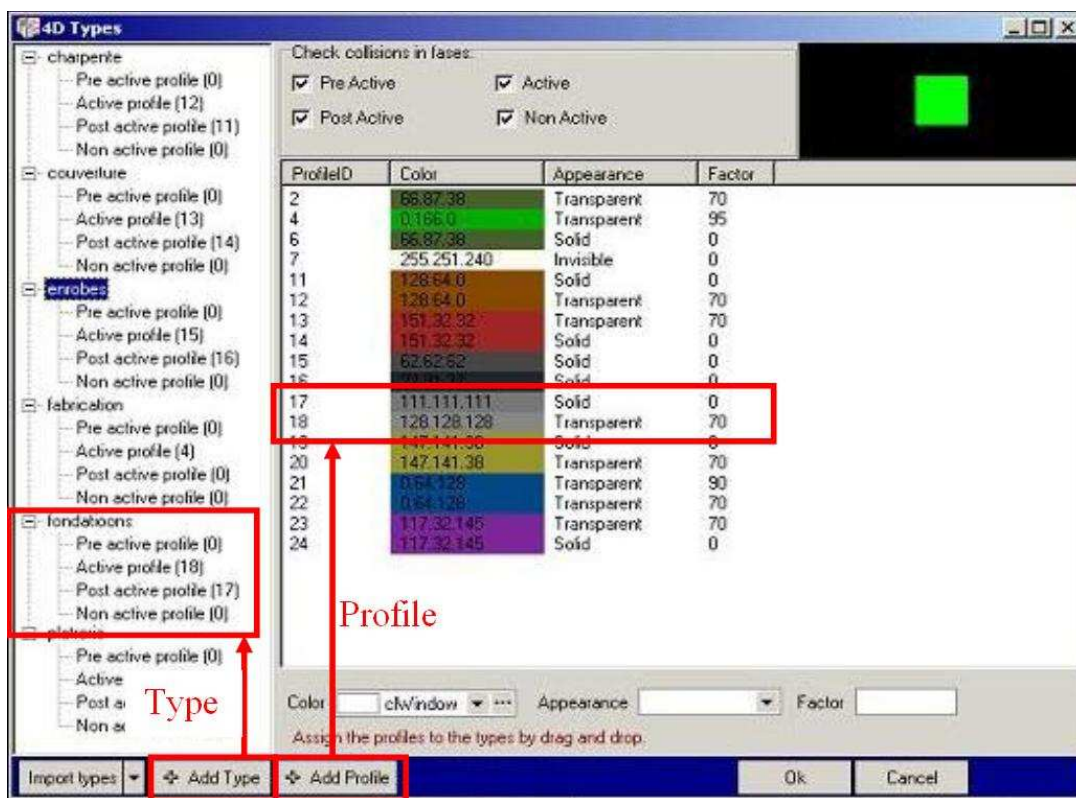


Figure 7 : 4D Types

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

– **Création des objets 4D :**

- On sélectionne une tâche du planning.

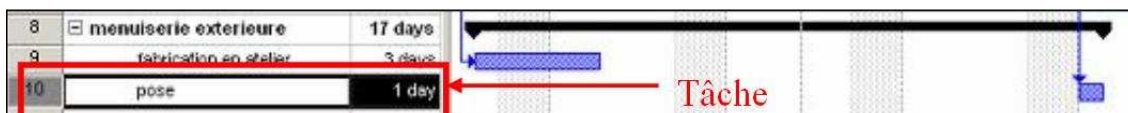


Figure 8 : Tâches du planning

- On sélectionne les objets de la maquette numérique concernés.

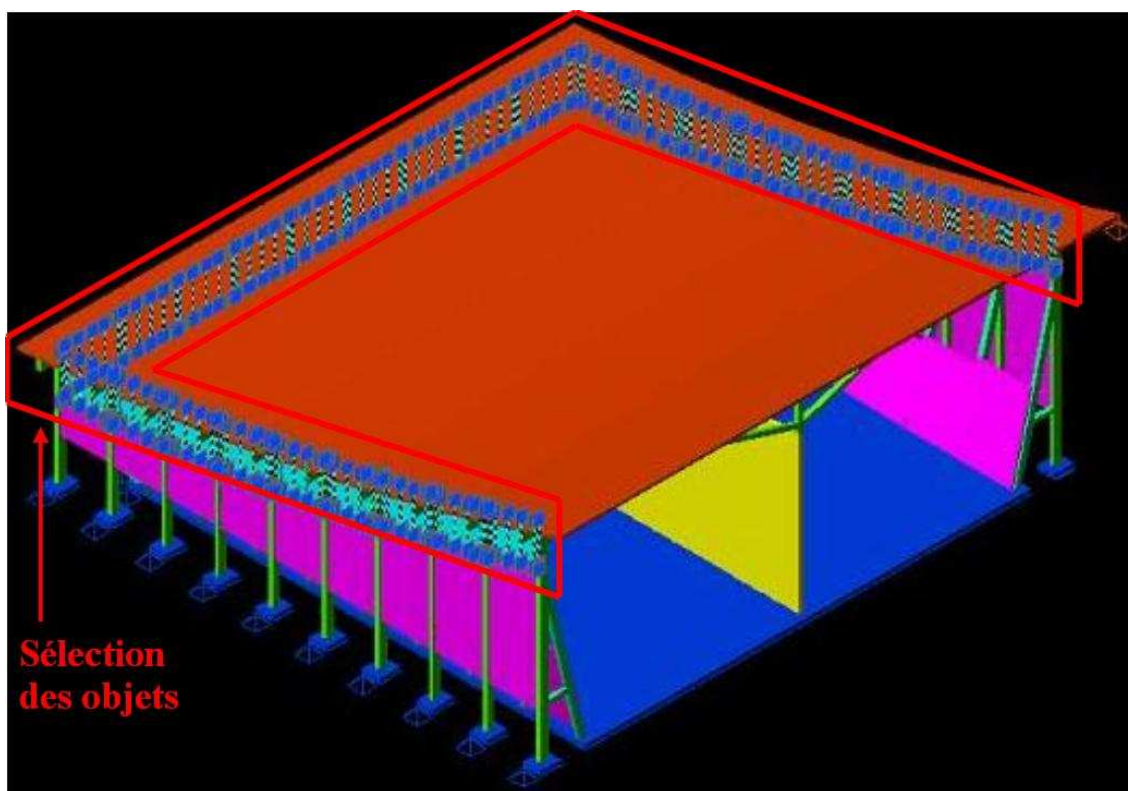


Figure 9 : Objets de la maquette numérique

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

- **Fenêtre "Objects" :** On choisit le "Type" concerné et on fait le lien. Un objet 4D est ainsi défini. Il réunit objets 3D, les informations temporelles et les différentes visualisations en fonction des phases.

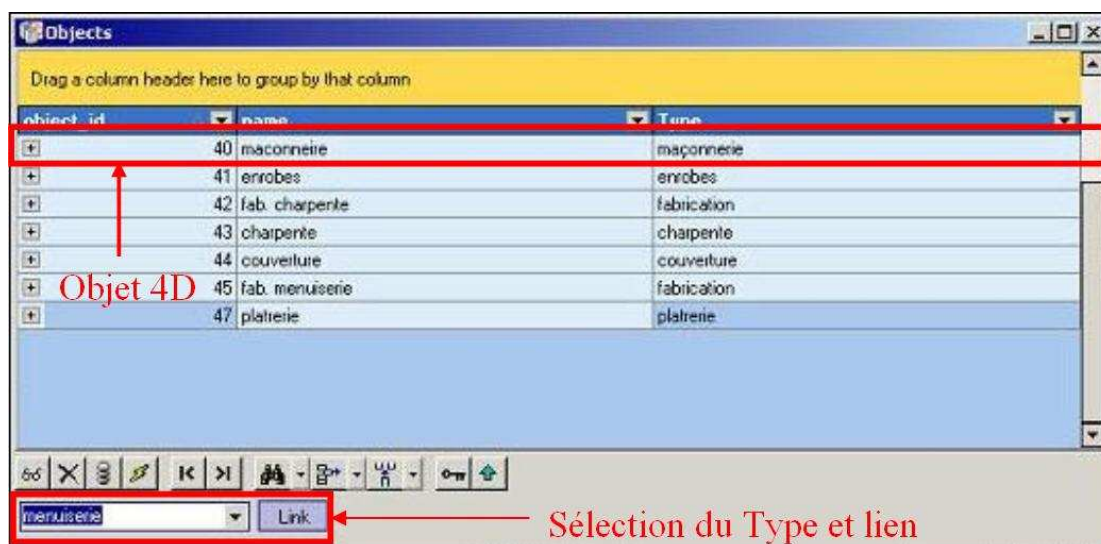


Figure 10 : Objects 4D

2.2.2 Viewer 4D

Il permet de visualiser la maquette 4D. L'interface regroupe 3 fenêtres :

- **Les menus :** on y trouve les fonctionnalités standards mais aussi des fonctionnalités qui permettent la création de filtres, vidéos, images ou de naviguer dans le temps...
- **Le planning :** il se présente sous la forme d'un diagramme de Gantt avec le temps en abscisse et les tâches en ordonnées. Il permet de visualiser l'enchaînement des opérations mais aussi de naviguer à travers le temps avec une barre de défilement.
- **Le visualiseur 3D :** il affiche la maquette au format VRML avec une légende adaptée et renseigne l'utilisateur sur la date en cours.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

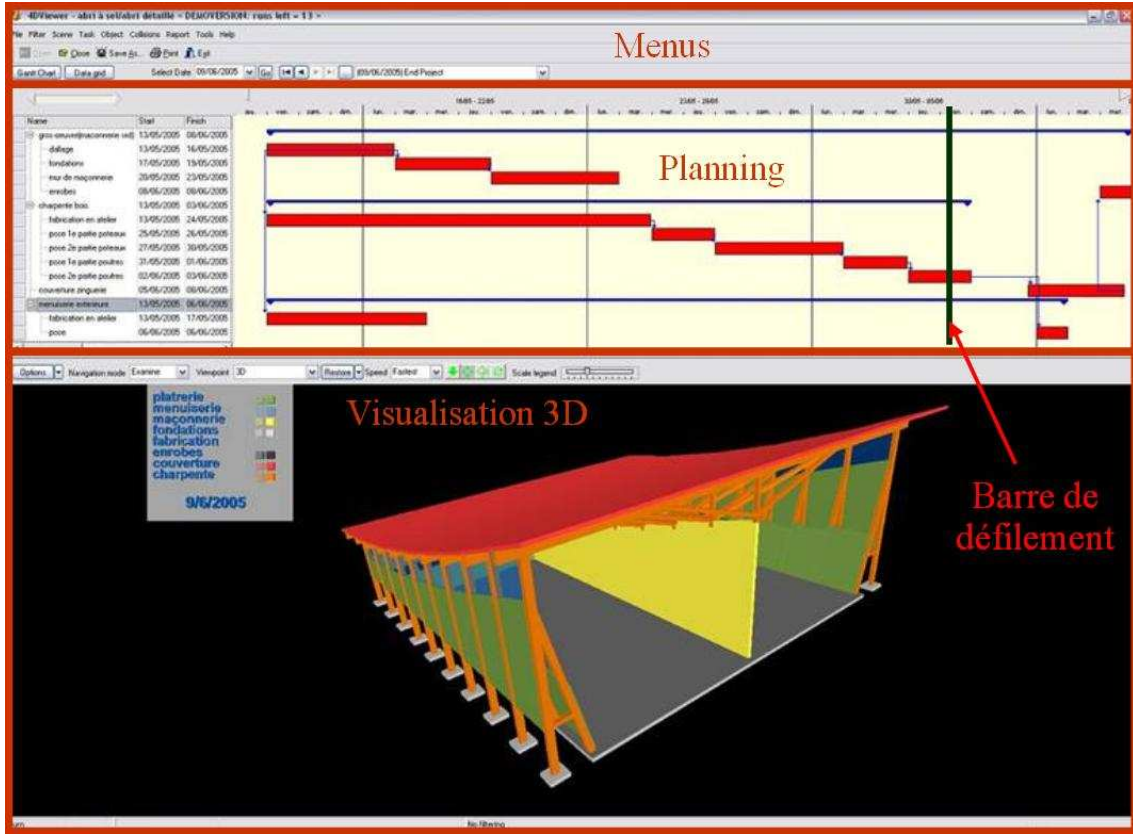


Figure 11 : Viewer 4D

2.2.3 Analyse

Tout d'abord, avec 4D suite, il est compliqué d'importer une maquette 3D. Des problèmes de couplage avec certains logiciels l'ont rendu un peu difficile d'accès au premier abord mais ceux-ci se sont réglés ensuite avec les versions compatibles. Une meilleure approche de ces problèmes est à envisager.

Le gros inconvénient vient sûrement de l'importation du planning. En effet, toutes les informations de planification ne sont pas transmises comme les liens entre les tâches, les marges, les ressources, le matériel... Il est donc difficile d'utiliser la maquette 4D

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

comme support de planification puisqu'il manque des informations importantes et de plus il n'est pas possible d'apporter des modifications en direct sur le planning.

Il est donc nécessaire de revenir à chaque fois au point de départ et de ressaisir une nouvelle représentation 4D ce qui rend le travail plus contraignant et moins accessible. Il nous semble donc nécessaire de remédier à ses problèmes inhérents à tous les logiciels de 4D.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

3 PROPOSITIONS

3.1 Potentiel de la visualisation 4D (temporalité + 3D)

Le mode de visualisation est en général bon sur les logiciels de 4D. Certains critères nous semblent toutefois utiles d'être améliorés. De plus, il nous semblerait intéressant de pouvoir visualiser toutes les phases de construction d'un ouvrage :

- **Phase pré-active** : la tâche n'est pas commencée mais est signalée afin que les professionnels prennent les dispositions adéquates. Cela peut correspondre aussi à un ouvrage qui est en cours de fabrication.
- **Phase active** : la tâche est en cours de réalisation. L'état d'avancement et la cadence de construction (m²/h...) sont des informations qui nous semble aussi utiles pour cette phase.
- **Phase post-active** : la tâche est achevée et on n'a plus à revenir dessus.

La pratique sur le chantier consiste couramment à colorier sur papier les barres du planning afin de visualiser ces phases. L'avantage de la 3D serait de pouvoir localiser directement l'ouvrage concerné par l'une de ces phases et donc de favoriser les décisions des différents acteurs. De même, un module qui permettrait d'anticiper le début, la fin et le retard d'une tâche serait d'une utilité non négligeable.

De plus, le fait d'apporter plus d'informations au planning 4D et de le rendre plus dynamique pourrait favoriser les utilisateurs à utiliser cette technique dans leur travail car ils pourraient visualiser en même temps les répercussions sur le chantier lors d'une modification...

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

3.2 Besoins des acteurs du bâtiment

3.2.1 Identité des acteurs

Les participants habituels à la vie de chantier sont :

- le maître d’ouvrage ou son conducteur d’opération;
- le maître d’ouvrage mandaté ou son représentant;
- l’architecte, le maître d’œuvre ou son représentant;
- le bureau d’études techniques (BET) ou les ingénieurs-conseils;
- l’économiste du bâtiment;
- l’organisme d’ordonnancement pilotage coordination (OPC);
- le contrôleur technique;
- le coordonnateur de sécurité;
- le coordonnateur des systèmes de sécurité incendie (SSI);
- les entreprises titulaires des différents lots.

3.2.2 Identification des besoins

Les acteurs de la construction n'ont pas les mêmes exigences et besoins. En effet, dans le cadre d'un projet de construction, deux types de plannings sont utilisés.

Le planning général, qui représente les grandes phases du projet, intéresse essentiellement la maîtrise d'ouvrage et l'architecte. Il leur est utile pour avoir une visualisation à grande échelle du projet. Cette visualisation doit leur permettre de pouvoir entrevoir les différents lots et leur déroulement phase par phase.

Le planning détaillé renseigne chaque tâche ou activité du chantier. Il intéresse les entreprises ainsi que le maître d'œuvre car ils ont besoin de savoir exactement les

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

travaux journaliers afin de respecter les cadences d'exécution et éviter les retards sur le planning.

La représentation 4D doit s'intéresser à ces deux types de planning. Une visualisation à grande échelle et une détaillée permettraient de palier à ces exigences et favoriser la coordination des intervenants.

3.3 Identification des points de vue

3.3.1 La notion de point de vue

Elle est à considérer dès que l'on se place dans un contexte Multi-Utilisateurs car les différences de perspectives n'en seront que plus flagrantes. En imaginant la construction de points de vue sur la maquette numérique, nous permettons aux acteurs et aux utilisateurs d'y accéder de façon intuitive et efficace, et d'éliminer les informations parasites qui ne les concernent pas. Il faut donc clairement identifier de quel type d'information l'acteur à besoin? Comment en a-t-il besoin? A quel moment? Où ?...

Certaines familles d'acteurs ont des besoins similaires en ce qui concerne l'information en fonction de leur corps d'état (Thibault, 2004). C'est le premier niveau qu'il faudra étudier. A un deuxième niveau, il y a aussi des exigences spécifiques à un moment donné. Il faudra donc pouvoir gérer, affiner ces points de vue adaptatifs. Il y a aussi le cas où l'on n'est pas concerné par ces deux niveaux et où il faudra pouvoir choisir dynamiquement les informations souhaitées.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

3.3.2 Points de vue des acteurs

Comme nous l'avons vu précédemment, les acteurs n'ont pas les mêmes besoins. Certains utilisent le planning de manière globale, s'intéressent à tout ces corps d'état et d'autres en veulent voir que les tâches qu'ils ont à exécuter de façon détaillée.

Le premier niveau de point de vue est identique à chaque utilisateur car ils ont besoin des mêmes systèmes de représentation comme la visualisation du planning, de la maquette numérique mais aussi des mêmes codes de couleurs. Néanmoins, l'information représentée variera en fonction du corps d'état de la personne (le menuisier ne s'intéressera qu'à son lot)

Le deuxième niveau de point de vue doit permettre aux utilisateurs de pouvoir affiner leur visualisation et gérer leur point de vue. Il leur est parfois nécessaire de filtrer les informations pour se concentrer uniquement sur ce qui les intéressent à un moment donné. Par exemple, le maître d'œuvre peut avoir besoin de voir exclusivement les travaux à réaliser sur une semaine ou par une entreprise spécifique.

Le troisième niveau implique que l'utilisateur puisse lui-même définir ce qu'il veut voir. Ce niveau est permis par les logiciels de 4D puisqu'ils permettent de gérer chaque élément représenté. Par contre, les deux autres niveaux sont à définir pour qu'un utilisateur peu expérimenté puisse accéder seulement aux informations dont il a besoin.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

3.4 Expérimentations

3.4.1 Abri à sel

L'étude menée s'est concentrée sur les méthodes pour visualiser au mieux les informations avec une maquette 4D. Dans cet objectif, nous avons expérimenté la saisie du planning 4D d'un projet architectural. Il s'agit de la construction d'un abri à sel à Gérardmer dans les Vosges.



Figure 12 : Abri à sel

Nous avons identifié la possibilité de faire apparaître les éléments en transparence ce qui nous a donné l'idée d'effectuer quatre expérimentations.

Scénario 1 :

La première expérimentation consistait à représenter les éléments en cours de construction en transparence et les éléments construits en couleur pleine. Les couleurs choisies étaient différentes en fonction des lots afin de mieux les visualiser (ex: brun pour la charpente, bleu pour les menuiseries...).

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

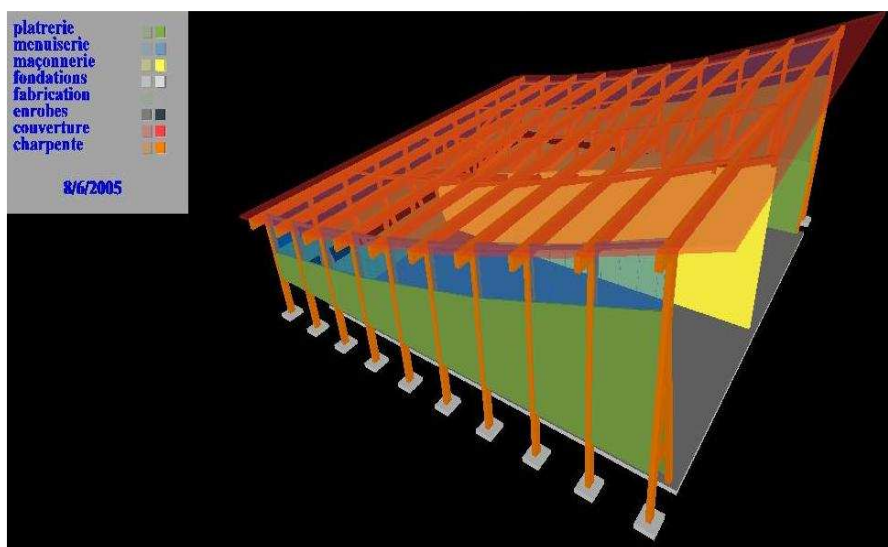


Figure 13 : Scénario 1, tâches en cours en transparence

Analyse : Ce mode de représentation est plutôt efficace, il permet de visualiser clairement les objets et les phases de construction. Il est néanmoins difficile de voir une tâche lorsque celle-ci se trouve à l'intérieur d'un ouvrage déjà construit puisque celui-ci apparaît en couleur pleine.

Plusieurs possibilités ont été expérimentées afin de répondre à ce problème :

- Créer des vues justifiées pour chaque situation posant problème afin de gagner du temps à l'identification des tâches.
- Utiliser un filtre permettant de visualiser uniquement les tâches en cours. Cela permet de cibler les tâches à exécuter. Néanmoins, lorsque l'on a affaire à un gros projet, il est difficile de situer les travaux à réaliser.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

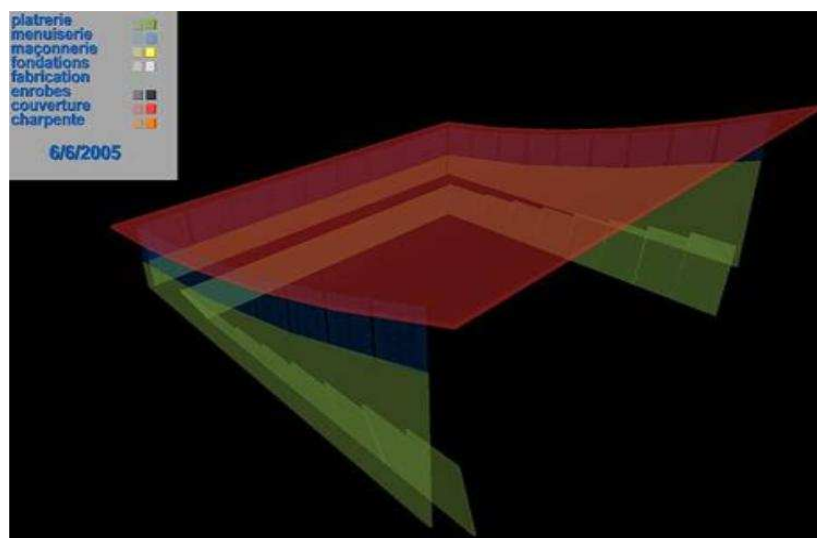


Figure 14 : Filtrage des objets

- Utiliser un filtre pour visualiser les tâches en cours et les objets directement liés. Cela permet à l'utilisateur de situer les travaux dans le projet en déchargeant la maquette des ouvrages inutiles à ce moment. Cette représentation est la plus efficace pour les acteurs qui veulent pouvoir localiser clairement les ouvrages et comprendre les actions à entreprendre.

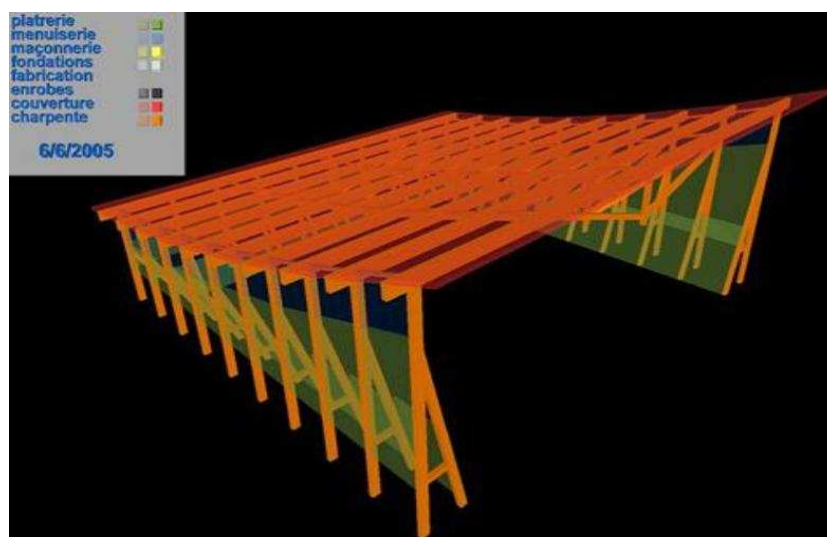


Figure 15 : Tâches et objets liés

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Scénario 2 :

La deuxième expérimentation consistait à représenter les éléments en cours de construction en couleur pleine et les éléments construits en transparence. Les couleurs choisies étaient les mêmes que pour le premier scénario.

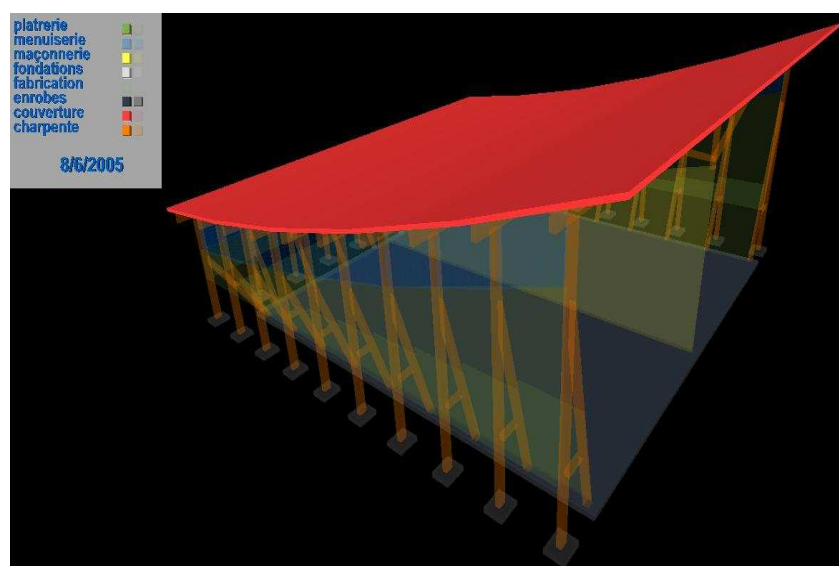


Figure 16 : Scénario 2, tâches en cours en couleur pleine

Analyse : cette expérimentation permet une visualisation plus directe de l'information concernée mais rend moins claire la visualisation des éléments construits par conséquent l'état actuel de la construction et la localisation précise de l'objet.

Scénario 3 :

Les deux premiers scénarios utilisaient des couleurs différentes entre les lots et utilisaient la transparence pour représenter l'état des objets. Néanmoins, sous certaines

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

vues, Il était parfois compliqué de discerner les éléments transparents des éléments pleins. Cette expérience essay de mettre en évidence les tâches en cours en utilisant une couleur vive. La couleur bleu ciel a été utilisée en réutilisant les maquettes des scénarios 1 et 2.

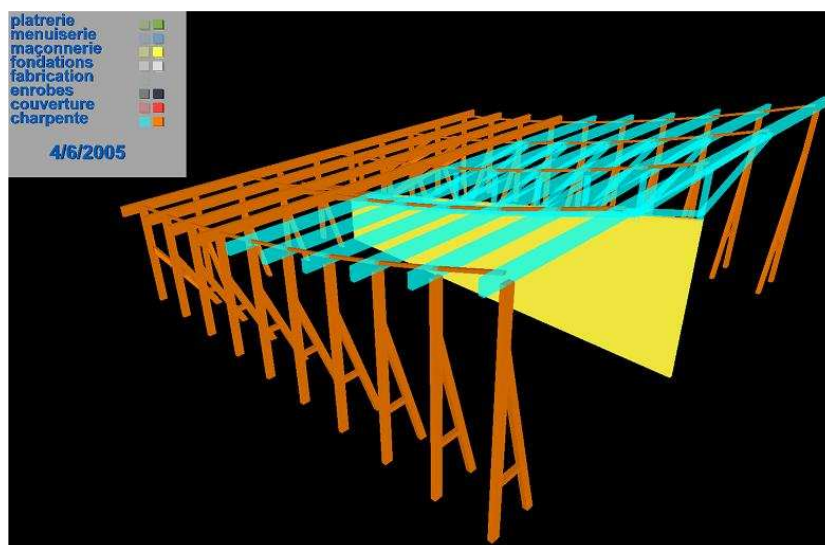


Figure 17 : Scénario 3, couleurs pleines

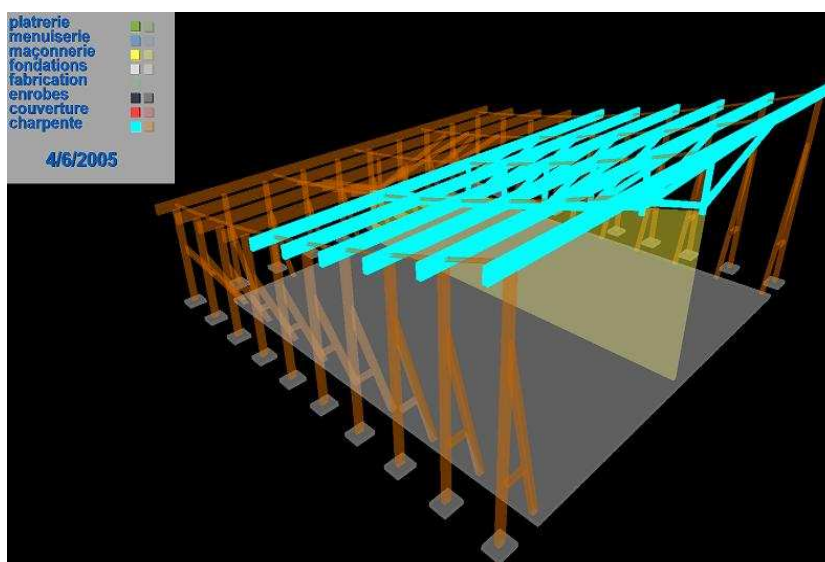


Figure 18 : Scénario 3, couleurs transparentes

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Analyse : cette expérience montre que le fait d'utiliser une couleur vive permet de mettre en évidence les objets et donc la phase de construction. En effet, ce sont les éléments que l'on voit en premier sur la maquette. La représentation qui nous semble la plus adéquate est celle associée au scénario 1 avec l'utilisation de filtres d'objets et de vues justifiées.

Scénario 4 :

Ce scénario se concentre sur la possibilité de représenter la phase pré-active des ouvrages. Lors de la réalisation d'un projet, les utilisateurs ont besoin de connaître des phases telles que la fabrication ou d'anticiper l'exécution d'une tâche (pour préparer le matériel...). L'idée de représenter les éléments en couleur fortement transparente mais dans une couleur pâle permet de suggérer ces besoins sans pour autant surcharger la maquette.

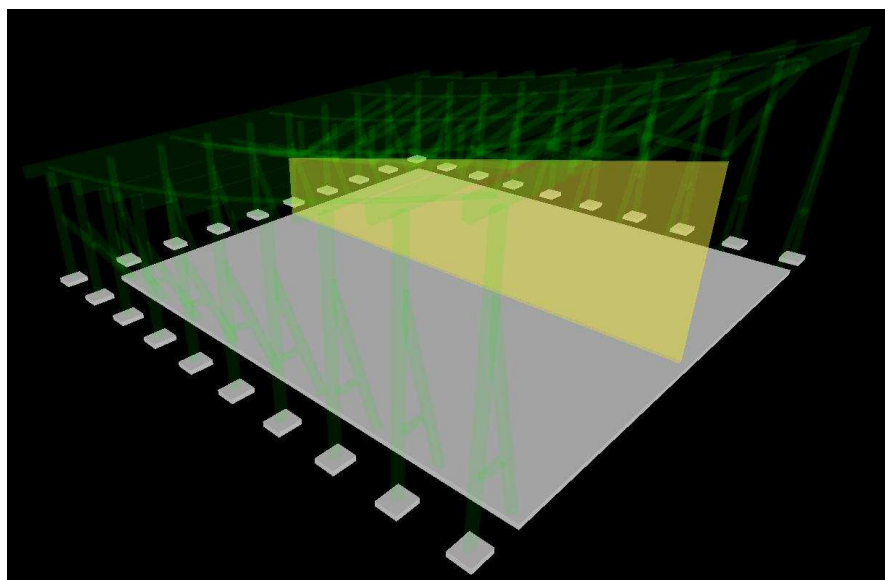


Figure 19 : Scénario 4, fabrication de la charpente

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

3.4.2 Bâtiment en bois

A travers cette expérience, nous avons expérimenté les scénarios précédents sur un projet de construction d'un bâtiment en bois de trois niveaux. La complexité d'un tel ouvrage nous a permis d'expérimenter l'utilisation de points de vue.

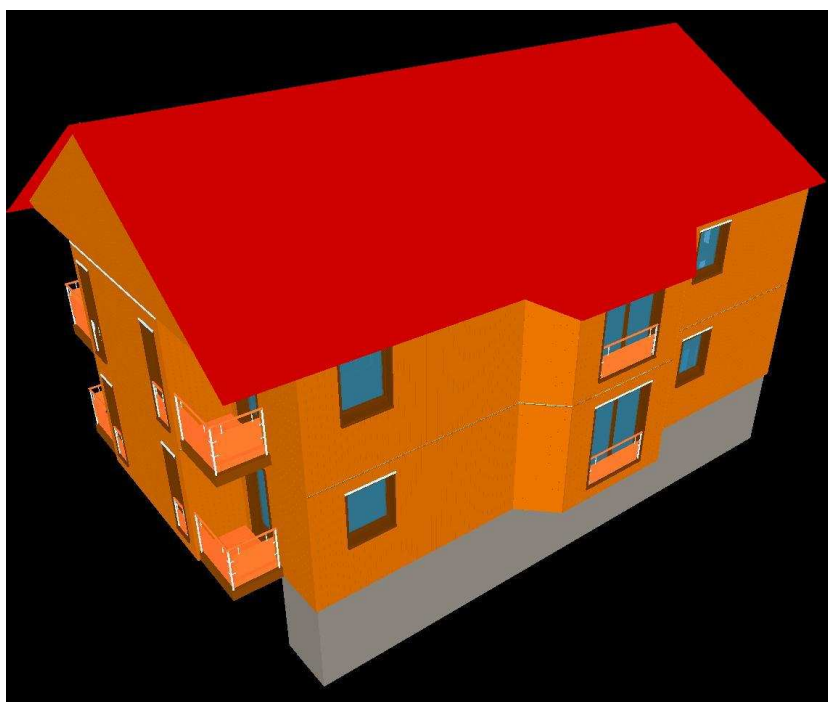


Figure 20 : Bâtiment en bois

Lorsque une tâche se localise à des lieux différents, une vue justifiée ne permet pas de visualiser tous les ouvrages que le planning soit détaillé ou non. Par exemple, lors de la pose de menuiseries, la tâche occupe toutes les façades du bâtiment à la fois.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

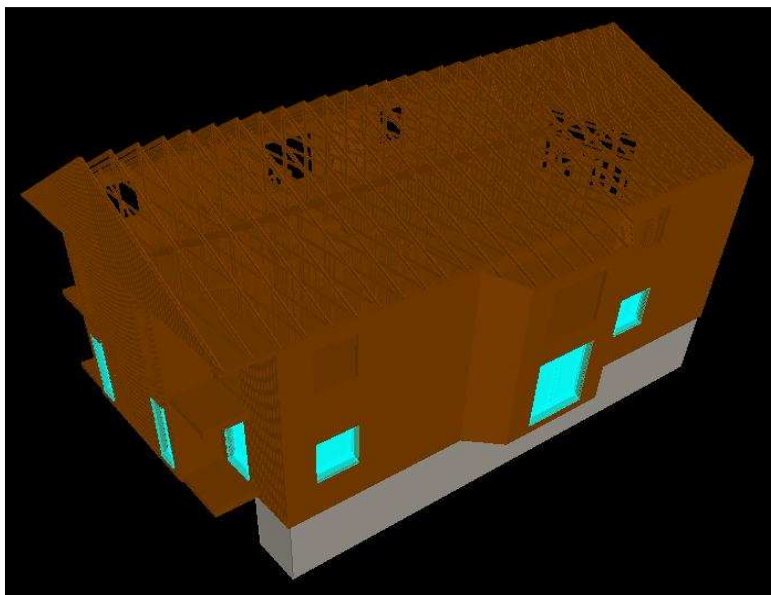


Figure 21 : Pose des menuiseries

La possibilité de visualiser l'ouvrage en filaire répond bien à ce problème et permet donc de mieux cibler les actions à entreprendre et les différents lots.

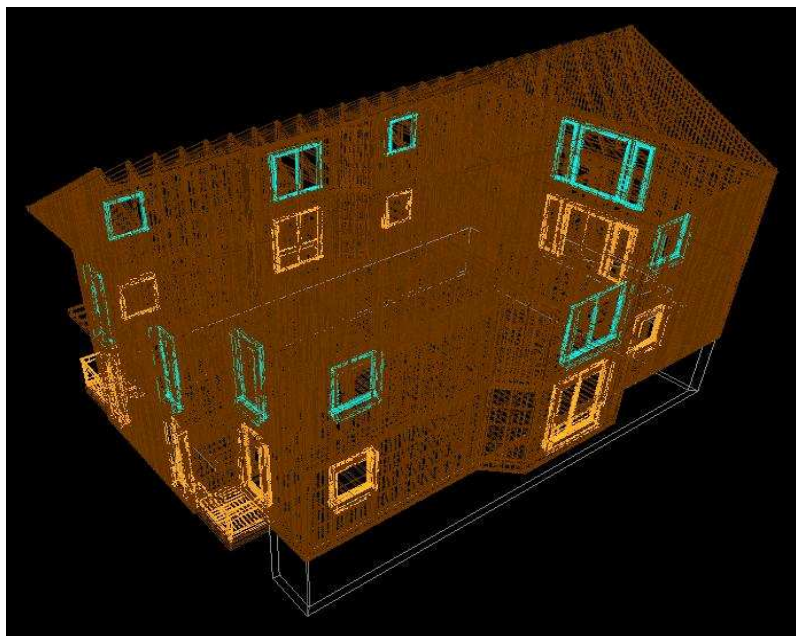


Figure 22 : Vue filaire

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Dans l'objectif de mettre en valeur la notion de point de vue, j'ai travaillé sur la représentation de la tâche de mise en oeuvre du plancher du premier étage dans le planning général et le planning détaillé de cette ouvrage. Nous avons donc réalisé quatre expérimentations.

Scénario 1 :

Dans cette expérimentation, il fut réalisé le planning général du bâtiment. Dans ce type de planning, il est indiqué les grandes phases du projet. La figure 23 nous montre la visualisation de la tâche de mise en oeuvre du plancher sur sa globalité. La tâche "plancher du 1^e étage" s'étend sur plusieurs jours et renseigne sur la totalité du plancher. Ce type d'information va intéresser uniquement le maître d'ouvrage et éventuellement l'architecte s'il n'est pas le maître d'œuvre du projet.

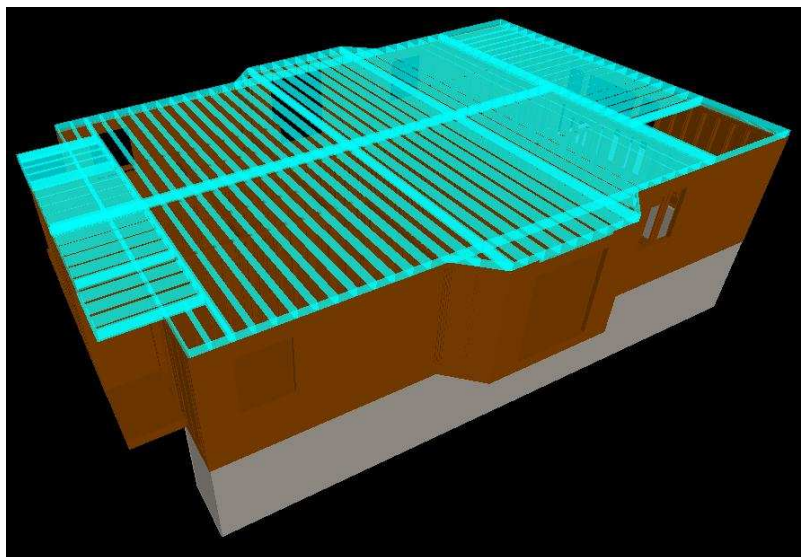


Figure 23 : Planning général

Analyse : Ce mode de représentation permettra aux acteurs de bien comprendre ce qui est en cours de construction et la morphologie tout en restant très général.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Scénario 2 :

L'expérimentation se centre sur le planning détaillé du "plancher". Il y est représenté le plancher en cours de construction avec une couleur vive pour représenter les éléments à installer le jour concerné. L'entreprise de charpente aura besoin de gérer, au jour le jour, l'avancement de cette tâche. Le planning détaillé est donc indispensable à ce type d'acteur qui veut pouvoir visualiser ses objectifs journaliers pour respecter son planning et sa cadence.

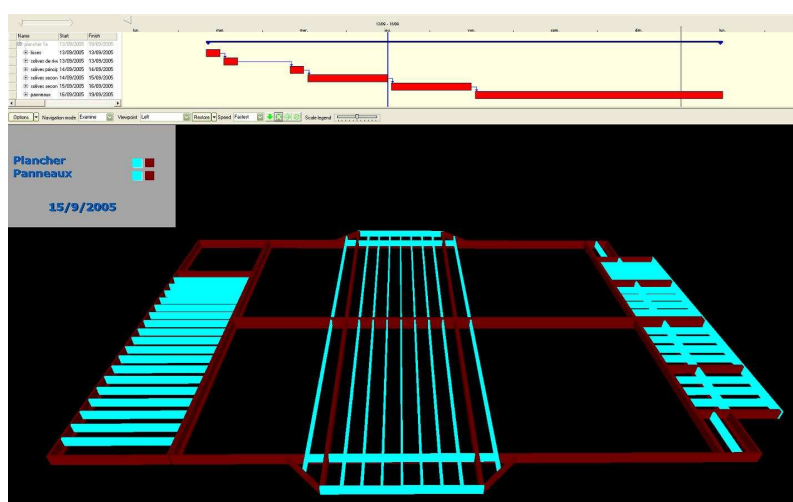


Figure 24 : Planning détaillé, représentation du plancher

Analyse : ce mode de représentation permet de bien comprendre les étapes de la construction du plancher mais il ne permet pas de visualiser la localisation exact des éléments sur l'existant.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

Scénario 3 :

Cette expérimentation représente le plancher de la même manière que précédemment mais aussi les ouvrages directement liés afin de répondre au problème de localisation.

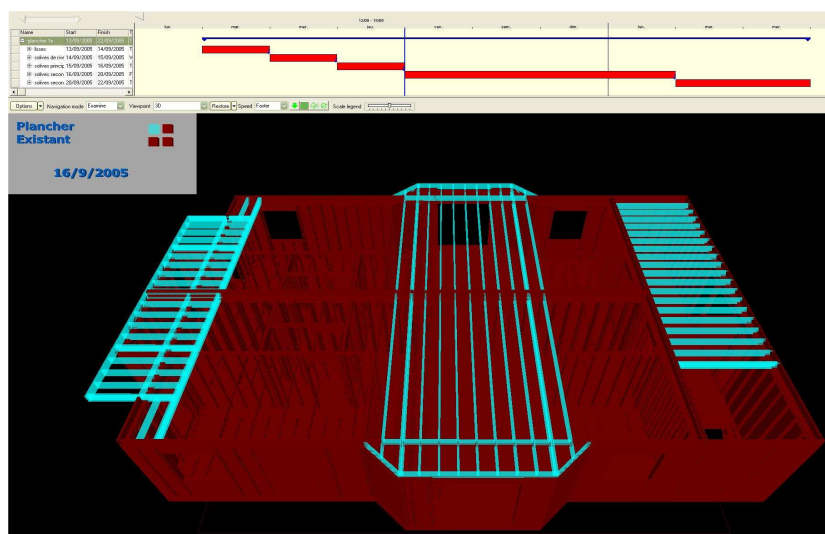


Figure 25 : Planning détaillé, représentation des ouvrages existants

Analyse : Ce mode de représentation permet de visualiser la localisation des éléments à mettre en place mais rend presque impossible la visualisation des éléments du plancher déjà mis en place. Cela peut poser des problèmes de mise en œuvre ou de compréhension.

Scénario 4 :

La dernière expérimentation offre une réponse au problème présenté précédemment. L'idée de représenter les éléments du plancher mis en œuvre d'une couleur différente fut étudiée. Cette couleur restera affichée jusqu'à ce que la tâche soit entièrement finie. Nous avons décidé de choisir une couleur jaune vive pour signifier que l'on s'intéresse au planning détaillé du plancher.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier

Visualisation et point de vue

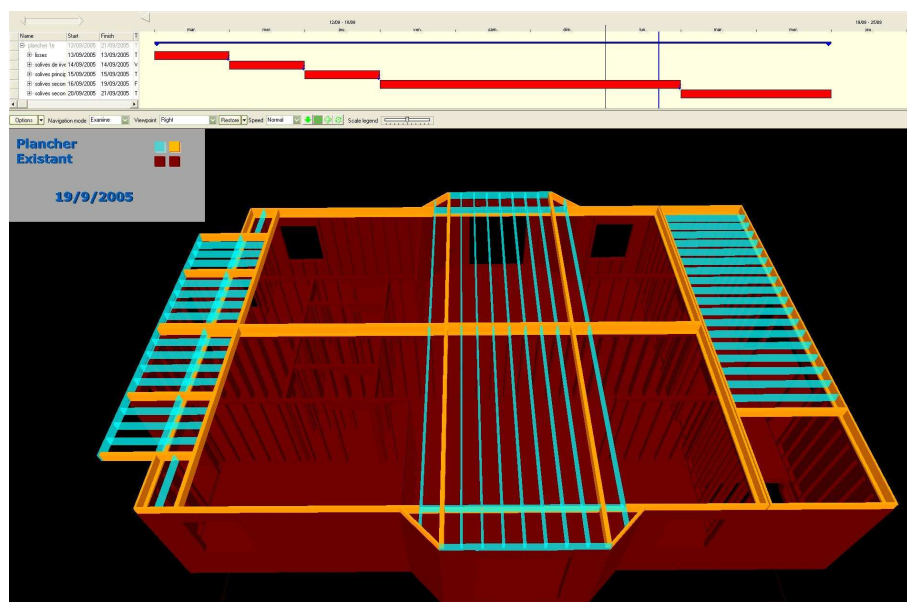


Figure 26 : Planning détaillé, mise en valeur des tâches en cours

Analyse : c'est le mode de représentation idéal du planning détaillé. Il permet de visualiser la tâche en cours mais aussi de positionner les ouvrages en cours sur l'existant. Cela permet une bonne compréhension des différentes étapes et de bien se rendre compte de la disposition des éléments entre eux.

3.5 Bilan

Nous avons vu qu'avec une maquette 4D, il est possible de répondre aux besoins des acteurs. On peut représenter très clairement l'évolution d'un projet en respectant une organisation des tâches du planning et un code de couleur précis.

Pour l'instant, un planning général ou détaillé possède sa propre maquette 4D pour être représenté. La notion de point de vue implique que un planning 4D unique, l'utilisateur

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

doit pouvoir, en fonction de son corps d'état, accéder à l'information dont il a besoin. Il est donc important par la suite de travailler sur un modèle qui pourrait contenir toutes les informations dans un seul fichier. Un projet de ce type devra regrouper tous les types de planning et proposer à chacun des filtres et des vues adéquates.

Il est important de souligner qu'un logiciel 4D doit aussi proposer des solutions pour permettre de respecter le planning comme des alertes en cas d'écart avec les dates prévues ou pour prévenir à l'avance d'actions à entreprendre. Pour cela, il faudra pouvoir pointer les tâches accomplies et à quelles dates pour comparer le prévu avec le réel.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

CONCLUSION

La prise en compte de l'information temporelle et de la maquette numérique en phase chantier à des avantages certains pour une bonne coordination des activités de construction.

En effet, la modélisation 4D, tout en conservant les avantages de la planification standard, est un moyen de visualisation qui permet de représenter ce que les méthodes courantes ne peuvent facilement faire comme les informations spatiales, d'enchaînement de tâches ou de conflits potentiels.

La diversité des informations et des besoins des différents acteurs nous amène à essayer d'identifier et de prendre en compte les points de vue de chacun afin d'améliorer la rapidité de compréhension, anticipation et décision. Une maquette 4D doit regrouper tous ces points de vue et présenter une représentation justifiée à chaque corps d'état concerné.

Ces travaux laissent entrevoir que la mise en place de groupes de travail virtuels permettrait de réduire le temps passé à décrire les éléments des projets et de cibler plus sur l'organisation et la localisation des problèmes grâce à ce mode de représentation qu'est la 4D. De tels groupes, à travers les portails de projet, favoriseraient le dynamisme et la fréquence des interventions sur la planification et par conséquent contribueraient à une amélioration de la qualité des ouvrages finis et un meilleur respect des objectifs.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

BIBLIOGRAPHIE

- Achten H., *Requirements for Collaborative Design in Architecture*, Department of Architecture, Building and Planning, Eindhoven University of Technology, 2002
- Armand J., Raffestin Y., Couffignal D., Dugaret B., *Conduire son chantier, 7e édition*, Le Moniteur, 2003, p.73-193.
- Caradant M., *La mission O.P.C. "Organisation, Pilotage, Coordination"*, 2004
- Cavallini C., Raffestin Y., *Le guide de la construction: Les hommes, les moyens, les méthodes, 3e édition*, Le Moniteur, 1988, p. 126-253.
- Donath D., Lömker T., Petzold F., *New Approaches in computer Aided Project Planning*, Bauhaus-Universität Weimar, 2000.
- Donath D., Weferling U., *Digital building surveying and planning: integrative approaches with commercial object-oriented CAAD systems*, Bauhaus-Universität Weimar, 2003.
- Dumas C., Saugis G., Chaillou C., *Interface 3D appliqué au travail collaborative*, LIFL, 2000.
- Fischer M., Guibas L., *Geometric representations for construction planning and scheduling*, CIFE (Center for Integrated Facility Engineering), 2001.
- Hanrot S., *Modélisation de la connaissance architecturale pour un outil de CAO intelligent*, Plan Construction et Architecture. 1989.
- Liston K., Fischer M., Kunz J., « *Requirements and Benefits of Interactive Information Workspaces in Construction* », Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE-VIII), 14-17 august 2000, Stanford University.
- Riva J., Frenot M., *Maîtrise d'ouvrage bâtiment, Loi MOP et décrets d'application*, Eyrolles, 1995.
- Thibault J., *Un outil d'aide à la coopération pour la conception d'ouvrages en bois: construction de points de vue à partir de filtres de données à caractère sémantique*, DEA "Modélisation et Simulation des Espaces Bâtis", Université de Nancy, 2004.
- Vallet G., *Techniques de planification de projets, 3e édition*, Dunod, 2001.

Information temporelle et maquette numérique en phase chantier
Visualisation et point de vue

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Diagramme de Gantt	13
Figure 2 : Le réseau PERT	16
Figure 3 : PERT sous forme de diagramme	17
Figure 4 : Planning de chemin de fer.....	18
Figure 5 : Graphique de tâches et contraintes.....	20
Figure 6 : Builder 4D.....	26
Figure 7 : 4D Types	27
Figure 8 : Tâches du planning	28
Figure 9 : Objets de la maquette numérique.....	28
Figure 10 : Objets 4D	29
Figure 11 : Viewer 4D.....	30
Figure 12 : Abri à sel.....	36
Figure 13 : Scénario 1, tâches en cours en transparence	37
Figure 14 : Filtrage des objets	38
Figure 15 : Tâches et objets liés	38
Figure 16 : Scénario 2, tâches en cours en couleur pleine.....	39
Figure 17 : Scénario 3, couleurs pleines.....	40
Figure 18 : Scénario 3, couleurs transparentes	40
Figure 19 : Scénario 4, fabrication de la charpente	41
Figure 20 : Bâtiment en bois	42
Figure 21 : Pose des menuiseries.....	43
Figure 22 : Vue filaire	43
Figure 23 : Planning général.....	44
Figure 24 : Planning détaillé, représentation du plancher	45
Figure 25 : Planning détaillé, représentation des ouvrages existants	46
Figure 26 : Planning détaillé, mise en valeur des tâches en cours.....	47