



HAL
open science

**Réalité virtuelle et gestion technique du patrimoine
construit : une application à la gestion du
fonctionnement et de la maintenance de grands édifices
ferroviaires**

André Fawaz

► **To cite this version:**

André Fawaz. Réalité virtuelle et gestion technique du patrimoine construit : une application à la gestion du fonctionnement et de la maintenance de grands édifices ferroviaires. Architectures Matérielles [cs.AR]. Arts et Métiers ParisTech, 2008. Français. NNT : 2008ENAM0009 . pastel-00566683

HAL Id: pastel-00566683

<https://pastel.hal.science/pastel-00566683>

Submitted on 16 Feb 2011

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.



Ecole doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Conception"

*présentée et soutenue publiquement
par*

André FAWAZ

le 16 mai 2008

**REALITE VIRTUELLE ET GESTION TECHNIQUE DU
PATRIMOINE CONSTRUIT**

**UNE APPLICATION A LA GESTION DU FONCTIONNEMENT ET DE
LA MAINTENANCE DE GRANDS EDIFICES FERROVIAIRES**

Directeur de thèse : Michel FLORENZANO

Co-encadrement de la thèse : Jean-Paul KIEFFER

Jury :

Michel FLORENZANO , Directeur de CNRS	Examineur
Jean-Paul KIEFFER , Professeur des universités	Examineur
Jean-Claude BIGNON , Professeur des écoles, HDR.....	Rapporteur
Jean-François LE MAITRE , Professeur des universités	Rapporteur
Philippe VERON , Professeur des universités	Président
Michel TOLLENAERE , Professeur des universités.....	Examineur
Philippe DAVID , SNCF	Invité

Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes
Arts et Métiers ParisTech, centre de Aix-en-provence

INTRODUCTION.....	4
I LA GESTION TECHNIQUE DE PATRIMOINE CONSTRUIT.....	6
I.1 PROBLEMATIQUE DE LA MAINTENANCE	7
I.1.1 Définitions	7
I.1.2 Maintenance de patrimoine construit.....	9
I.1.3 Activités et acteurs de la maintenance.....	10
I.1.4 Synthèse.....	14
I.2 SOLUTIONS EXISTANTES.....	15
I.2.1 Approches classiques.....	15
I.2.2 Nouvelles approches et projets innovants	21
I.2.3 Ouvertures techniques	28
I.2.4 Conclusion.....	34
II LA REALITE VIRTUELLE	36
II.1 L'EXISTANT.....	37
II.1.1 Principes.....	37
II.1.2 Outils et applications actuelles.....	40
II.1.3 Applications dans la construction	49
II.1.4 Synthèse.....	50
II.2 DIFFERENTES APPROCHES DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT	54
II.2.1 Grandes tendances de la recherche.....	54
II.2.2 Projets de recherche spécifiques à la construction	56
II.2.3 Approches techniques choisies	59
II.2.4 Conclusion.....	64
III UN SYSTEME D'INFORMATION POUR LE PATRIMOINE CONSTRUIT VIA LA REALITE VIRTUELLE	65
III.1 MODELE DU PATRIMOINE CONSTRUIT	66
III.1.1 Principaux disfonctionnements et exigences identifiés.....	66
III.1.2 Caractéristiques des données alphanumériques	68
III.1.3 Méthode d'évaluation globale de l'état du patrimoine construit	71
III.1.4 Approches choisies	76
III.2 SYSTEME D'INFORMATION.....	80
III.2.1 Notre approche de classifications	81
III.2.2 Schéma Représentatif du Champ d'Action de chaque acteur.....	85
III.2.3 Spécification de la gestion des connaissances dans un Environnement Virtuel.....	88
III.2.4 Conclusion.....	93
IV L'APPLICATION RVGT.....	95
IV.1 CONNAISSANCE DE L'EXISTANT.....	96
IV.1.1 Patrimoine immobilier à la SNCF.....	96
IV.1.2 Objectifs de la SNCF.....	97
IV.2 CARACTERISTIQUES DU SYSTEME.....	99
IV.2.1 Modèles de données dans le Système d'information	101
IV.2.2 Les outils utilisés	103
IV.3 DEVELOPPEMENT DU PROTOTYPE RVGT	109
IV.3.1 Architecture du système.....	109
IV.3.2 Gestion d'accès aux informations	111
IV.3.3 Prototype RVGT	113
IV.3.4 Scénarii.....	120
V CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	130
BIBLIOGRAPHIE.....	134
PUBLICATIONS	139
GLOSSAIRE	140
ANNEXES	141
ORGANISATION DES INFORMATIONS TECHNIQUES DANS UNE GMAO.....	142

ROLES ET RESPONSABILITES DES ACTEURS DURANT LES VISITES TECHNIQUES.....	143
LES VISITES TECHNIQUES DES BATIMENTS, DE LEURS EQUIPEMENTS ET DES VRD	145
LES VISITES ANNUELLES DE GESTION.....	146
LES VISITES LIEES AU SUIVI DES GARANTIES APRES TRAVAUX	148
LES VISITES REGLEMENTAIRES.....	150

Introduction

Depuis quelques années, les entreprises sont confrontées à des variations de marchés très rapides, et à une concurrence très vive ; pour résister, la qualité des produits fabriqués doit être sans reproche et au meilleur prix [Dépardieu, 2004]. A cet effet, l'organisation de l'entreprise a été optimisée, les effectifs ont été réduits, les automatismes et l'informatique ont été développés.

Pour rester compétitive et garder leurs clients, les entreprises ont dû s'adapter aux exigences de leurs donneurs d'ordre. Pour réduire les prix de revient, la production en flux tendu a été généralisée, les stocks en amont et en aval de l'outil de production ont été diminués. Les machines ont été rénovées, automatisées, le personnel a été réduit pour produire plus au meilleur prix. L'objectif ambitieux étant la recherche des zéros: zéro défaut, zéro panne, zéro stock, zéro délai, zéro papier.

Le service maintenance a été intégré à cette évolution ; il a dû se réorganiser en fonction des objectifs de la production pour fiabiliser le fonctionnement des équipements et augmenter la productivité. Le service maintenance n'a plus été considéré comme un centre de coûts mais bien comme un centre de profits, il est devenu un des fournisseurs du service production.

L'étape la plus marquante de notre histoire récente, pour ce qui concerne le patrimoine bâti, se situe après la seconde guerre mondiale, avec la profonde transformation sociologique qui conduit à construire un parc immense de locaux d'activité, de logements et d'équipements publics. L'augmentation du confort exigé ainsi que la crise de l'énergie des années 70 ont généré des évolutions techniques très importantes parmi lesquelles les premiers outils de gestion des équipements.

La gestion technique immobilière n'a pas eu l'impact qu'elle aurait du avoir. En effet, les décideurs continuent à focaliser leur attention sur les opérations de réalisations neuves à travers le prestige dont elles sont porteuses et ils négligent bien souvent de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour assurer un fonctionnement et une maintenance satisfaisante [Francastel, 2003]. Pourtant, un projet réalisé a une durée de fonctionnement telle que les coûts d'exploitation et de maintenance représentent plus de 80% du coût global du bâtiment durant tout son cycle de vie [Perret, 1995].

Aujourd'hui, grâce aux applications informatiques, notamment dans le domaine de la CAO¹, de la capitalisation des connaissances et, par extension, celui des nouvelles technologies liées aux réseaux, le secteur du bâtiment, et plus particulièrement des bâtiments aéroportuaires, a pour ambition de maîtriser l'historique de la construction d'un édifice afin d'en faciliter son entretien après réalisation. Les acteurs de la production de bâtiments s'intéressent désormais à la «mémoire» des édifices et surtout à la «mémoire» de leur réalisation. Les concepts de traçabilité des décisions et d'historique de conception, déjà bien connus dans le secteur de la production industrielle, deviennent des thèmes de recherche très importants pour les gestionnaires de parcs immobiliers. Ces derniers souhaitent réduire le temps consacré aux études préalables lors d'interventions sur les ouvrages en situation de gestion d'exploitation ou de maintenance. Pour cela, les décideurs ont besoin de voir se développer des systèmes d'informations capables de les assister durant les phases qui suivent la réalisation d'un édifice (en référence aux séquences qui rythment son cycle de vie). En outre, la conservation et la mise à jour des connaissances liées à un édifice sont généralement rendues difficiles par leur taille, leur utilisation pour des activités

¹ Conception Assistée par Ordinateur
André FAWAZ

différentes, géographiquement disjointes mais aussi par des mouvements de personnel et d'usagers importants.

Simultanément, les entreprises concernées sont de plus en plus intéressées par le développement d'applications collaboratives. A travers notre travail, nous nous sommes préoccupés du partage des connaissances techniques à travers les environnements virtuels 3D. La Réalité Virtuelle est un moyen de communication qui aide à combler le déficit d'informations nécessaires aux activités des partenaires d'un projet de construction. Nous avons donc eu recours à elle comme une réponse à ces problématiques et pour permettre à plusieurs personnes physiquement séparées l'une de l'autre, d'interagir et de collaborer.

Ces informations géométriques 3D et ces connaissances techniques sont importantes également pour la maintenance des grands édifices ferroviaires qui deviennent de plus en plus complexes. C'est pourquoi, dans le cadre d'une thèse CIFRE, la Direction de l'Innovation & de la Recherche de la SNCF a souhaité étudier l'intérêt de la Réalité Virtuelle pour la gestion technique du patrimoine construit. Le présent manuscrit retrace la démarche de cette étude.

Le premier chapitre fournit un aperçu sur les activités de maintenance du patrimoine construit et établit le point sur les acteurs qui interviennent pour en saisir les contraintes et les exigences avant de poser les données du problème. Nous insistons, d'abord, sur les outils et les formats normalisés dans lesquels ils sont produits, puis sur les différents points de vue qui sont impliqués dans le projet architectural. Il s'agit *in fine* de décrire les différents systèmes d'information permettant de conserver et de valoriser les informations du patrimoine construit ainsi que ses formats normalisés.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des concepts et des définitions qui vont servir de base aux travaux dans le domaine de la Réalité Virtuelle (RV) et à l'étude des outils qui traitent de la gestion des données techniques par les Environnements Virtuels. Nous avons regardé les projets nationaux et internationaux qui utilisent la RV dans différents domaines et spécialement dans l'architecture. Ces travaux de recherche sont basés sur des approches conceptuelles diverses.

Le troisième chapitre porte sur le système d'information pour le bâtiment. Il présente le travail de recherche réalisé dans le cadre de la présente thèse de doctorat, ainsi que l'expérimentation développée pour valider nos propositions. Sur la base des premiers résultats de l'axe des recherches menés au laboratoire Map-Gamsau et grâce à la Réalité Virtuelle, nous nous intéressons plus particulièrement aux aspects maintenance du patrimoine construit.

Le quatrième chapitre présente les différentes expérimentations informatiques liées à la RV réalisées à la SNCF et qui ont permis de valider ce travail de thèse. Le prototype développé RVGT est le résultat de notre conception d'une interface composite (2D+3D) pour la gestion technique du patrimoine construit qui prend en considération les aspects pratiques et applicables d'un grand gestionnaire de parc immobilier.

I La gestion technique de patrimoine construit

Une organisation ne peut exister, produire, se développer sans un flux permanent d'informations [Hendrickx, 2002]. La description du patrimoine peut se faire avec des informations sur papier ou des données sur support informatique sous forme alphanumérique et graphique. Mais, l'absence d'une véritable conscience de la nécessité de connaître le patrimoine et la stabilité des organisations qui acceptait de maintenir une mémoire humaine, ne permettaient pas de mettre en place une gestion efficace de patrimoine construit.

Le temps consacré, le coût et la relative facilité des opérations d'entretien viennent s'ajouter à cette problématique, malgré le principe des années 1970 qui disait : « la connaissance d'un patrimoine immobilier est indispensable à sa gestion ». Pourtant, les patrimoines immobiliers représentent des valeurs considérables et ils monopolisent au travers des budgets d'entretien et de fonctionnement des ressources humaines et financières importantes. Il faut rappeler que l'étude du coût global d'un bâtiment pour une durée de vie totale de l'ordre de 100 ans, montre que les coûts de la maintenance à mettre en oeuvre après réalisation, sur une période de 90ans, représentent 80 à 85 % de l'ensemble des dépenses. Sachant que pour une gare ancienne, telle que Saint-Lazare à Paris, son cycle d'exploitation et de maintenance peut atteindre facilement les 160 ans !

Avant d'aborder un état de l'art relatif aux échanges d'informations dans le secteur de la gestion technique du patrimoine construit, il est important de positionner le modèle organisationnel, les méthodes et les outils qui sont liés à ce secteur. Nous centrons notre travail autour de la phase d'exploitation, de fonctionnement et de maintenance des composants du bâtiment, qui est notamment celle qui supporte le plus grand nombre d'échanges d'informations.

Le but de cette première partie est d'insister sur le caractère pluridisciplinaire de la gestion technique du bâtiment engagé par les contributions métiers validées par des échanges entre les différents partenaires de l'édifice. Nous montrerons les activités des acteurs impliqués dans chaque étape du processus de gestion de maintenance et d'exploitation et qui produisent un grand nombre d'informations concrétisées par des documents et des données techniques hétérogènes et peu normalisées.

Ensuite, nous examinons la demande de la gestion des informations techniques du patrimoine construit en vers les Nouvelles Technologies de l'information et de la Communication. Cette demande est représentée par la fragmentation des informations en fonction du niveau d'harmonisation des équipes.

I.1 Problématique de la maintenance

I.1.1 Définitions

Les notions classiques de la définition de la maintenance sont développées suivant deux grandes rubriques : la maintenance corrective et la maintenance préventive (Voir Figure I-1 : Une comparaison entre la maintenance corrective et la maintenance préventive [Héng, 2002] [Javel, 2003])

La maintenance est définie comme étant un « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise¹ ». Maintenir c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations à un coût global optimum.

La maintenance corrective est définie comme étant la « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». Exemple : Entretien, Remplacement, Amélioration et Adaptation des éléments après un incident (une panne d'ascenseur, de système de contrôle d'accès, etc.)

La maintenance préventive est définie comme étant la « Maintenance exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage² ». Si elle est effectuée suivant un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unité d'usage, elle devient une Maintenance Systématique. Et si elle est subordonnée à un type d'événement déterminé révélateur de l'état de dégradation du bien, elle devient Maintenance Conditionnelle.

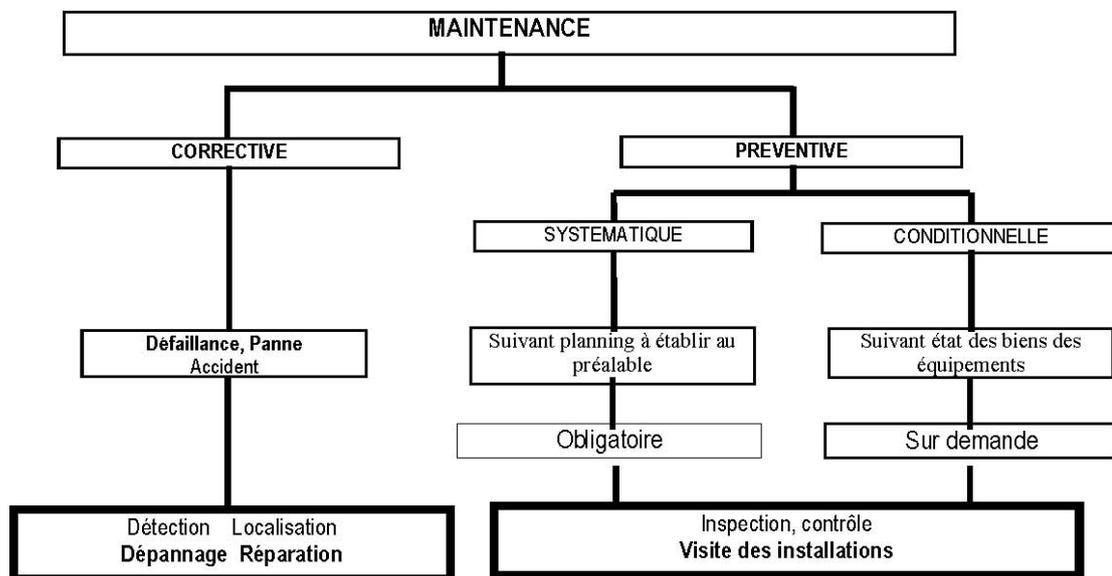


Figure I-1 : Une comparaison entre la maintenance corrective et la maintenance préventive [Héng, 2002] [Javel, 2003]

¹ Définition du projet de norme prEN 13306 de 1998 du CEN

² 3 ans pour un immeuble d'habitation.
6 mois pour un immeuble de grande hauteur.
1 an pour un établissement recevant du public.

Le contenu du contrôle périodique comporte les points suivants : un examen d'état de conservation, un examen de conformité au règlement et aux normes, un essai de vitesse et de fonctionnement, un essai des dispositifs de sécurité et une vérification des câbles et chaînes de suspension.

La norme¹ distingue les cinq niveaux de maintenance et sa classe selon l'importance de la tâche, de sa complexité et de sa mise en œuvre. Cette caractérisation s'appelle le niveau de maintenance.

. →1^{er} niveau : Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ex : Nettoyage d'un filtre.

. →2^{ème} niveau : Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ex : Dépannage électrique.

. →3^{ème} niveau : Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre complexe. Ex : Interventions sur circuits électroniques.

. →4^{ème} niveau : Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ex : Maintenance préventive de remise à niveau.

. →5^{ème} niveau : Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Ex : Réfection complète d'une machine importante

Toutes les interventions n'entrent pas dans la classification tel un fragment découpé dans son puzzle. Il est souvent nécessaire de faire un choix approchant. De manière habituelle, si un des critères d'appréciation se trouve placé dans la catégorie supérieure, c'est l'intervention entière qui s'y trouve placée.

Le plan de maintenance consiste en la « Définition des méthodes, des procédures et des ressources nécessaires à la maintenance d'un bien durant une période déterminée de son cycle de vie »². C'est un document énonçant les modes opératoires, les ressources et les séquences des activités liées à la maintenance d'un bien³. Donc, c'est un plan de surveillance des réseaux d'eau et d'air. Ce plan permet d'identifier les dangers et de lister les anomalies. Il détaille la

Pour tout projet, il faut prévoir la maintenance préventive dès la conception pour éviter toute défaillance et il est nécessaire de la planifier et de l'anticiper. Les coûts annuels de maintenance et d'exploitation d'un bâtiment varient entre 5 et 10 % de l'investissement.

¹ Norme [Projet prEN 13306 de 1998 du CEN]

² Norme [Projet prEN 13306 de 1998 du CEN]

³ Norme [X 60-010 de 1994]

I.1.2 Maintenance de patrimoine construit

Depuis plus d'une cinquantaine d'années, la construction neuve a représenté l'essentiel de l'activité du secteur du bâtiment en France et ce pour des raisons diverses liées à la nécessité de construire des nouveaux logements, à l'amélioration des équipements publics, à la modernisation du parc industriel et à l'évolution des activités du secteur tertiaire [Perret, 1995] [Hendrickx, 2002]. Les différentes statistiques produites par les ministères ou les organismes professionnels ont permis de constater que, au sein de l'activité totale du bâtiment, la part de la maintenance – réhabilitation est en progression régulière depuis quinze ans, d'environ 2% en moyenne, alors que la construction neuve, entre 1975 et 1983 a perdu chaque année 3 % environ. La maintenance n'a été qu'une activité marginale et délaissée au profit de la conception, de l'ingénierie de la construction et des travaux. Sachant qu'avec le temps et durant le cycle de vie du bâtiment, l'information augmente et devient de plus en plus compliquée et imposante à gérer en fonction de nombre d'interventions effectuées sur le patrimoine construit. On peut distinguer deux types d'information : une information générale (comme les références projets, la documentation réglementaire, les normes, les documentations techniques, etc.) et une information contextuelle à chaque site (les prévisions, les plans, les détails, etc.) (Voir Figure I-2 : Le cycle de la maintenance et d'exploitation des informations techniques du patrimoine construit).

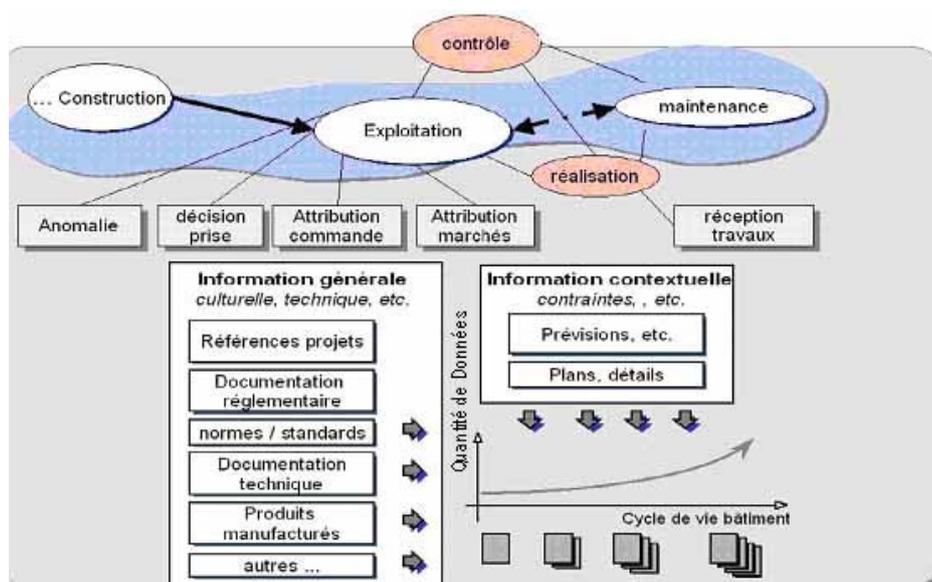


Figure I-2 : Le cycle de la maintenance et d'exploitation des informations techniques du patrimoine construit

Les premières démarches de rationalisation de la maintenance remontent à une trentaine d'années, suite à une augmentation des dépenses d'entretien du patrimoine de logements locatifs et à la première crise de l'énergie. En matière d'organisation et de méthodes, des évolutions ont marqué ces dernières années la reconnaissance progressive de la fonction « exploitation et maintenance » au sein des organismes par le développement des logiciels ou progiciels spécialisés. [<http://www.apogee-perigee.com>]. Cette tendance vers une rationalisation de la maintenance va accélérer vers « une économie de qualité » après avoir été « une économie de production » [Perret, 1995]. Donc, aujourd'hui, Il n'est plus admissible de conserver des situations de désordres graves, résultant d'une absence de prévisions et de maîtrise des problèmes techniques, perturbant ainsi le confort de la vie sociale ou bien les services publics.

L'accroissement des parcs immobiliers et leur vieillissement qui vient s'ajouter à la présence d'installations techniques de plus en plus complexes avec le développement du vandalisme sur le patrimoine bâti, entraînent une augmentation sensible et constante de la maintenance et la nécessaire réhabilitation au sein du marché du bâtiment. Ainsi, les montants consacrés à ce secteur sont en évolution croissante¹ par rapport aux montants totaux investis dans le développement du bâtiment.

Pour [Perret, 1995], [Monchy, 2003], [Hendrickx, 2002], l'étude du coût global d'un bâtiment pour une durée de vie totale de l'ordre de 100 ans, montre que les coûts de maintenance à mettre en œuvre après réalisation représentent 80 à 85 % de l'ensemble des dépenses. Les coûts d'études et de construction n'intervenant que pour 15 à 20 % ! En outre, les montants annuels du coût de la maintenance par rapport à la valeur neuve du patrimoine se situent entre 1 et 2 % pour les travaux concernant le clos, le couvert et les réparations lourdes des équipements, et entre 4 et 10% pour les prestations concernant la maintenance et l'exploitation des équipements techniques.

La synthèse de cette rubrique est que la maintenance en amont est très bien organisée et classifiée théoriquement, mais souvent, les systèmes de gestion de maintenance et d'exploitation mis en place sont complexes à être absorbés par l'administration.

Compte tenu de ces commentaires, par rapport à la problématique de la maintenance et de l'exploitation de patrimoine construit, nous allons définir l'activité de la maintenance et les acteurs concernés en se fondant sur les normes européennes.

I.1.3 Activités et acteurs de la maintenance

Pour éviter la déformation du terme gestion du patrimoine et faciliter sa compréhension, nous allons préciser les actes génériques, ressortant de la gestion de patrimoine, regroupés en 4 familles d'actifs [le cahier du CSTB n°3405 - Avril 2002] :

- . →Gestion des actifs
- . →Gestion du parc
- . →Réalisation des opérations investissement
- . →Exploitation et maintenance

Compte tenu de notre projet, nous nous sommes intéressés à la famille des actifs liés à la gestion de l'exploitation et de la maintenance de patrimoine construit qui consiste à gérer le patrimoine et son évolution en adéquation avec la stratégie d'entreprise.

Or, jusqu'à maintenant, de nombreux gestionnaires de patrimoine ne prenaient pas en compte toute la diversité des enjeux de chaque immeuble, car les interventions réalisées sur le patrimoine étaient souvent conduites par une logique purement technique et la connaissance stratégique du patrimoine restait relativement intuitive et non formalisée (manque de communication entre les services gestionnaires des différentes directions de l'entreprise).

Pour faire face à ces problématiques, il y a plusieurs exigences réglementaires basées sur le Plan Stratégique de Patrimoine (PSP) défini par l'Etat. Le PSP constitue une manière opérationnelle de connaître et partager le patrimoine immobilier et de donner une vision stratégique à moyen et long terme. C'est à partir d'un bilan économique du patrimoine et de la

¹ 40% en 1980, 47% en 1990, 49% en 1992 et 53% en 1993 et à partir de 2000 dépasse 60%

synthèse des besoins (client, marché) que l'évolution du patrimoine est envisagée et que des scénarii sont établis.

La stratégie patrimoniale congnée, donc, dans un plan stratégique, se construit par le choix d'un ou plusieurs scénarii d'évolution. Enfin, c'est de ce plan stratégique que seront élaborés les schémas directeurs et les programmes d'investissements de création de patrimoine.

D'après le rapport d'INEUMconsulting¹ en mars 2005, ce PSP a apporté une vraie visibilité stratégique, sur plusieurs termes :

- . →De pilotage stratégique par un véritable tableau de bord,
- . →De modes de fonctionnement par la mise en place d'actions de gestion différenciées selon les typologies de patrimoine.
- . →D'organisation par la structuration des fonctions de contrôle et de suivi.
- . →De communication interne par le partage des données et l'organisation des groupes de travail transversaux.

Donc, les enseignements de cette démarche ont permis aux propriétaires d'un parc immobilier de prendre la mesure des enjeux économiques considérables liés aux actifs immobiliers cité ci-dessus, alors même que ces actifs demeurent encore parfois inexplorés.

Plusieurs approches sont envisageables pour classer les acteurs du patrimoine construit. Elles sont soit basées sur la réglementation de la loi MOP², soit sur la segmentation du marché, voire même en fonction des compétences que les activités nécessitent.

Selon [Perret, 1998], le cycle de vie du bâtiment se scinde en 4 phases : phase d'aménagement, phase de construction, phase de vente, phase de gestion. Pour la phase de gestion, le propriétaire peut assurer la gestion lui-même ou la confier, par mandat, à un autre intervenant. L'objectif de la gérance immobilière est d'assurer le fonctionnement du bien et de régler toutes les questions administratives, locatives, de charges, d'entretien, d'exploitation et de service. Les activités de gestion immobilière comprennent :

- . →les prévisions des travaux de modification d'équipement,
- . →la gestion de la maintenance courante,
- . →la maîtrise des entreprises sous traitantes,
- . →la gestion de la consommation et des contrats de fournisseurs de fluides et d'énergie,
- . →les visites régulières des sites,
- . →le service de réception d'appels des occupants.

L'objectif de la gestion patrimoniale est d'assurer le fonctionnement du bien et de régler des enjeux généraux. La gestion technique regroupe les deux aspects que sont la gestion de patrimoine (entretien du propriétaire) et l'exploitation/maintenance.

Le mainteneur doit conserver le bien en état de fonctionnement, mais aussi garantir la sécurité, rechercher l'optimisation et la préservation de la valeur du bien. En outre, l'administrateur de biens a pour mission principale de gérer les propriétés de tous les ordres ou d'administrer les immeubles. Dans les copropriétés, le syndic est le représentant des co-propriétaires et le mandataire du syndicat est responsable devant les copropriétaires de la bonne exécution de la mission confiée. Enfin, le gestionnaire de patrimoine doit gérer certaines prestations techniques

¹ <http://www.ineumconsulting.com> , GénérationINEUMconsulting – numéro – Mars 2005

² Loi N°85-704 du 12 juillet 1985, relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée.

Modifié par Loi 91-662 13 Juillet 1991 art 18, 19 JORF 19 juillet 1991

André FAWAZ

16/05/2008

en travaillant, soit avec ses propres services internes appelés souvent régies, soit à l'extérieur, avec des entrepreneurs ou des prestataires de services.

Selon l'Association Apogée¹, une définition de la gestion immobilière détaille et augmente le nombre des acteurs intéressés jusqu'aux treize. Elle représente les entreprises sous différentes prestations de services, tout en définissant plus clairement le rôle du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre durant la phase d'exploitation et de maintenance contrairement à [Perret, 1998], qui considère que le maître d'œuvre n'intervient que dans la phase de construction.

Selon [Carassus, 1998], en partant du cycle de vie des ouvrages (production, utilisation, démolition), des types d'acteurs mis en évidence dans l'analyse de la spécificité de la construction, et des trois types de processus de production-gestion, il est possible de distinguer trois types d'acteurs :

- . →les acteurs spécialisés dans la construction,
- . →les acteurs non spécialisés dans la construction, mais, parties prenantes des processus,
- . →les acteurs institutionnels qui caractérisent la construction,
- . →les gestionnaires immobiliers et d'ouvrages qui passent d'une simple gestion de patrimoine à une gestion d'actifs immobiliers,
- . →les exploitants (chauffagistes, ascensoristes...) sont les parties prenantes de la construction neuve, de la réhabilitation, de la transformation, de la démolition des ouvrages assurés et commandés par les maîtres d'ouvrages,
- . →la maîtrise d'œuvre qui assure la conception (architecturale, technique, économique...), le contrôle et la coordination,
- . →et les entreprises et artisans du génie civil et de la production industrielle comme les fabricants, les producteurs, les loueurs...

Au sein des acteurs spécialisés, il convient de distinguer les acteurs pour lesquels la construction est le cœur du métier de ceux pour lesquels la construction est un métier annexe.

Les acteurs non spécialisés jouent un rôle essentiel dans les processus de la construction sans être, le plus souvent spécialisés dans la construction, comme par exemple, les établissements financiers qui financent la réhabilitation et les sociétés d'assurances qui assurent l'ensemble des acteurs, ou encore, les opérateurs de réseaux et de services (électricité, gaz, eau,...), qui sont les fournisseurs réguliers des gestionnaires.

Les acteurs institutionnels jouent un rôle essentiel dans la définition et le suivi des nombreuses règles et conventions qui caractérisent la construction. En outre, comme nous l'avons noté, l'importance des externalités de la production et de la gestion de biens durables et la complexité des processus de gestion de ces ouvrages génère un nombre élevé de médiations, de règles et de conventions appliquées à la construction. L'élaboration et le suivi de ces règles peuvent être le fait des acteurs eux-mêmes ou de leurs organisations privées, professionnelles ou de défense. Le plus souvent la puissance publique définit et fait appliquer les règles par ses différents échelons : Union européenne, Etat, région, ...

Selon le classement des acteurs du système patrimonial des Aéroports de Paris (ADP) (Voir Figure I-3 : Représentation des acteurs internes au SIP chez ADP), nous pouvons constater qu'une approche générique est mise au point. Les rôles génériques se définissent par référence aux activités composant la gestion de patrimoine. En réalisant un regroupement des activités par

¹ <http://www.apogee-perigee.com>
12

domaine, il est facile de caractériser les familles d'acteurs et les compétences que cela implique. Chez ADP, il existe 3 familles d'acteurs : Acteurs internes au Système d'Information Patrimonial (SIP), Acteurs externes au SIP et Acteurs externes à l'entreprise.

Nom Acteur	Activité
Investisseur	Définir et suivre la stratégie patrimoniale
Propriétaire	Assurer les missions du propriétaire
Gestionnaire-Syndic	Gérer la location
Exploitant-opérationnel	Gérer l'exploitation opérationnelle
Exploitant-technique	Gérer l'exploitation technique
Mainteneur	Maintenir le patrimoine
Maître d'ouvrage	Réaliser la maîtrise d'ouvrage
Conducteurs d'opérations	Conduire les opérations
Maître d'œuvre	Assurer la maîtrise d'œuvre
Acheteur	Acheter
Approvisionneur	Approvisionner
Manager des activités patrimoniales	Suivre la production des activités patrimoniales
Producteur / patrimoine	Réaliser les prestations complémentaires

Figure I-3 : Représentation des acteurs internes au SIP chez ADP

Selon [CSTB, 2001], la tendance du marché français et international vers une rationalisation de la gestion des actifs joue actuellement en faveur de l'externalisation. Dans ce contexte, la tendance est à la structuration d'offres globales. Les grands groupes complètent leur offre de services techniques grâce à l'acquisition ou la prise de participation dans des entreprises aux compétences et activités complémentaires. En outre, toujours selon [CSTB, 2001], il y a une tentation de classer les opérateurs FM (Facilities Management) en fonction de leur positionnement par rapport au client final et de leur position plus ou moins forte située en amont des projets (conception, maîtrise d'ouvrage, conseil) ou en aval, sur le terrain du service. Ils distinguent alors des prestataires ensembliers, par exemple, en regroupant les sociétés qui offrent traditionnellement des services à caractère technique (restauration et propreté ensemble), tels que :

- . →Vivendi lorsqu'a été créé DALKIA FM en regroupant quatre entreprises représentant des millions d'Euros de chiffre d'affaires.
- . →Gaz de France (GDF) qui, ayant déjà pris le contrôle de DANATO ROGEAT dans COFATECH (créé avec AGIP et PARISBAS), a constitué « KEOPS Productique» avec le groupe de nettoyage ONET.

I.1.4 Synthèse

Nous avons vu que l'activité de la maintenance se développe au travers de phases identifiées et compliquées à gérer. De la maintenance à la gestion du fonctionnement, chaque activité technique sur le patrimoine construit implique des équipes d'acteurs de compétences distinctes, qui produisent une grande quantité d'informations à maintenir et à manipuler dans le temps (Voir Figure I-4 : Acteurs différents avec des contraintes techniques exigeantes).

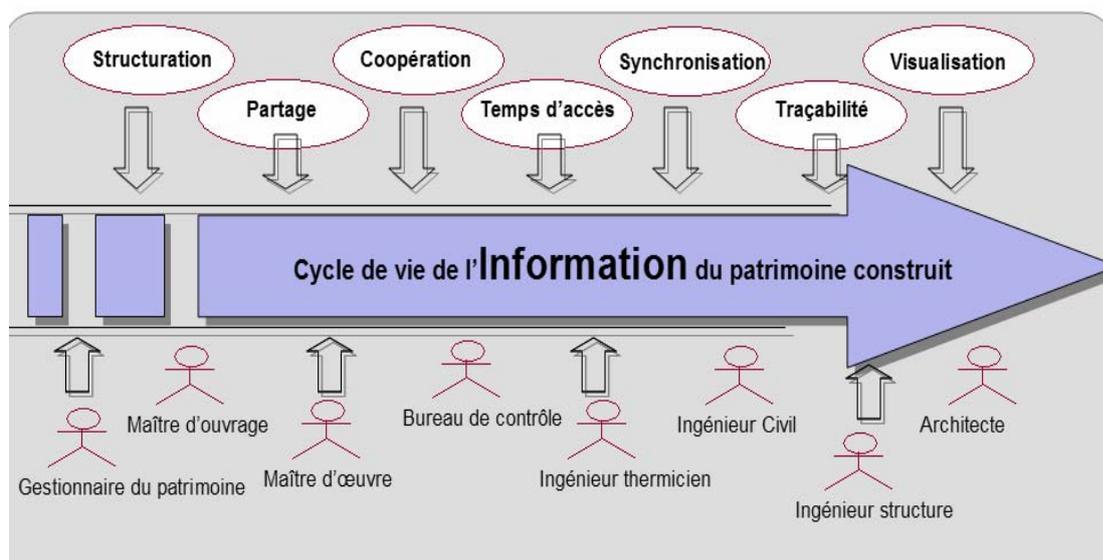


Figure I-4 : Acteurs différents avec des contraintes techniques exigeantes

A tous les niveaux de l'activité de la maintenance, il en résulte une production toujours plus importante de données, dont seul l'émetteur en maîtrise le contenu. Les méthodes de travail et d'échanges entre partenaires ont été modélisées par plusieurs propriétaires des grands parcs immobiliers mais souvent sans prendre en compte les spécificités métiers de chacun d'entre eux et sa formation d'origine.

Dans cette perspective, la maîtrise partagée de l'information descriptive durant la maintenance et l'exploitation du patrimoine construit est un véritable enjeu. Les partenaires de l'activité de maintenance sont demandeurs de systèmes capables de délivrer des descriptions dynamiques de l'édifice en fonction de son évolution dans le temps et suite aux différents types d'interventions techniques effectuées.

Parallèlement, nous avons pu constater une forte demande parmi la pluralité et la diversité des acteurs soucieux de faciliter la gestion technique de la masse importante des informations mises à leur disposition. Il s'agit d'intégrer, dans le processus de la gestion technique globale de ses informations, la multiplicité des technologies utilisées (outils d'aide à la décision, etc.) à la richesse des variables de décision à prendre en compte, que nous aborderons dans le point ci-après.

I.2 Solutions existantes

Les premières solutions techniques mises en place depuis quelques années sont basées sur des logiciels totalement dédiés à chaque métier. Chacun travaille exclusivement dans son domaine [Améziane, 1998]. Le partage des informations est manuel et donc limité à ce que chacun veut bien transmettre. Les principaux types de logiciels que l'on trouve couvrent les quatre grands domaines que sont :

- . →les plans avec principalement des logiciels de dessin (CAO),
- . →les logiciels de gestion d'interventions techniques (GMAO),
- . →les logiciels de gestion administrative et financière,
- . →les logiciels de gestion de parc et d'inventaire.

I.2.1 Approches classiques

Beaucoup d'essais d'interconnexion de logiciels ont été tentés par des grands utilisateurs et ont rarement débouché sur une architecture cohérente. Les limites technologiques ont été vite atteintes et les logiciels ont été souvent source d'incohérence des données, de perte d'intégrité, et de processus lourd de mise à jour manuelle.

Le point le plus délicat à traiter est l'intégration des informations avec les outils de dessin, aussi bien sur un plan purement technique que méthodologique, pour la saisie et la mise à jour des plans des bâtiments

I.2.1.a Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

Un système informatique de management de la maintenance est un logiciel organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects technique, budgétaire et organisationnel, toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité (services, lignes, ateliers, machines, équipements, sous-ensembles, pièces, ...) à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, ateliers, magasins et bureaux d'approvisionnement [Frédéric, 2003]. Il s'agit d'un logiciel spécialisé pour réaliser la gestion d'un service technique.

En général, un logiciel de GMAO permet de construire une base de données dans laquelle on retrouvera :

- . →Les articles du magasin
- . →Les fournisseurs
- . →La gestion des entrées et sorties des articles
- . →La gestion des achats
- . →La gestion des actifs (équipements et sous-ensembles)
- . →La gestion des interventions correctives
- . →La gestion des interventions préventives
- . →La gestion des demandes d'interventions
- . →Les analyses financières et le suivi des indicateurs de maintenance
- . →La gestion des contacts clients et la facturation

Le plus souvent, ces logiciels sont utilisés pour assurer la maintenance des équipements industriels. Ils servent de plus en plus pour gérer la maintenance des immeubles tertiaires : bureaux, hôpitaux, HLM, villes. Les sociétés spécialisées dans la maintenance tertiaire utilisent aussi ces logiciels, soit dans leur version de base, soit dans une version adaptée qui leur permet

de suivre les relations commerciales avec leurs clients et de réaliser la facturation de leurs services : ventes de pièces détachées, travaux divers, gestion de contrats.

Selon [Frédéric, 2003], pour mettre en place et favoriser une GMAO qui répond à aux besoins de la gestion de maintenance de patrimoine construit, il faut, au début et avant de démarrer notre projet, connaître et étudier les nombreux logiciels sur le marché, ainsi que de saisir les interventions de maintenance propre à l'entreprise et de les généraliser à l'ensemble du service. La GMAO, puisant les informations techniques dans la GTB (Gestion Technique du Bâtiment), organise la maintenance des équipements techniques, gère les interventions préventives et correctives au niveau des prévisions et des coûts, et consolide le référentiel par l'expérience, en interactivité avec la GTB.

Les systèmes de GMAO sont très proches des gestions de site ou de patrimoine. Dans tous les cas, l'application permet :

- . →D'effectuer un inventaire,
- . →D'élaborer des plans (prévision),
- . →D'élaborer les budgets,
- . →De contrôler la qualité des interventions et les performances des matériels.

On peut imaginer, dans un proche avenir, une fusion ou un recouvrement des outils de maintenance avec les logiciels de gestion. Les logiciels de GMAO, de même que les logiciels de la GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur), s'intègrent au système d'information technique de l'entreprise. Par exemple la GMAO unit ses informations avec :

- . →Les logiciels d'aide à la décision, intégrant des fonctions de visualisation, permettent d'exploiter les données fournies par la GMAO qui rendent les utilisateurs autonomes en leurs permettant d'obtenir les résultats qui les intéressent. C'est « la GMAO décisionnelle » .
- . →Les standards de communication sur Internet permettent un accès à distance. C'est « la GMAO et le WEB ».
- . →Les progiciels intégrés proposent, bien entendu, dans le domaine de l'ERP (Entreprise Ressource Planning) des modules de GMAO spécialisés permettant une vue globale. C'est « la GMAO et l'ERP ».

En général, La GMAO doit répondre aux besoins quotidiens des hommes de maintenance, c'est à dire permettre de réaliser des interventions sur les équipements avec le maximum d'efficacité [Frédéric, 2003]. Pour cela la GMAO va représenter la mémoire et le savoir-faire du service maintenance. Habituellement, cette mémoire et ce savoir-faire sont partagés entre les techniciens et les ingénieurs, ce qui engendre de grosses difficultés pendant leurs absences pour congés, formation, maladie, retraites ou départ de l'entreprise. Bien sûr, dans beaucoup de cas, un historique papier des interventions est enregistré dans un rapport journalier, mais l'information est longue à retrouver et le plus souvent ces rapports manquent de précision. La GMAO a l'avantage de l'informatique, c'est à dire la rapidité pour trouver l'information et calculer des coûts ou des ratios.

Les nouveaux logiciels de gestion de site ou de patrimoine intègrent de plus en plus l'aspect graphique. Il faut bien distinguer deux pôles développés dans ces logiciels : la visualisation et l'édition (Voir Figure I-5 : Une interface classique d'une GMAO).

En ce qui concerne la gestion de l'immeuble, au sens technique, donc proche de la GMAO ou de

la gestion des grosses réparations, constructions ou simplement la gestion des éléments courants, tous ces aspects sont surtout exprimés par des bases de données, la partie graphique n'étant utile que sous l'aspect visualisation, constitution de dossiers techniques.

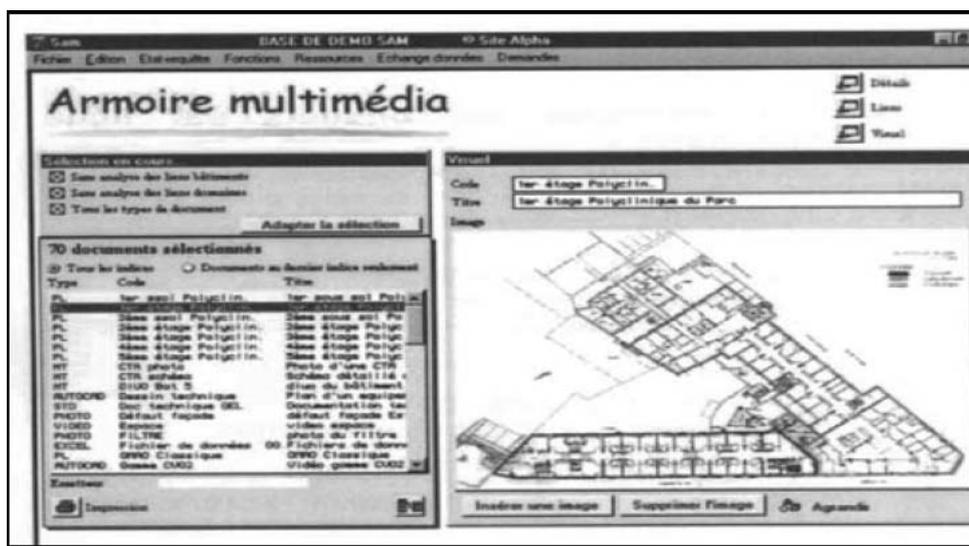


Figure 1-5 : Une interface classique d'une GMAO

La gestion de l'immeuble et son contenu est plus appropriée à la gestion graphique de l'information. L'apport du dessin est essentiel car il permet, outre la récupération automatique des quantités, la manipulation simplifiée d'ensembles d'éléments, en particulier en ce qui concerne les aménagements.

1.2.1.b Exemples d'application

Sur le marché, il y a des applications de conception distinctes. Elles essayent de répondre au besoin du marché grâce à des options techniques différentes. Nous les avons classées dans 3 grandes familles différentes :

- . →Les logiciels peu chers, limités en fonctions et non évolutifs.
- . →Les logiciels de moyenne gamme, complets et évolutifs.
- . →Les logiciels de haute gamme, destinés à des projets de plusieurs millions d'euros, en général multi sites, pour des services techniques bien structurés. Ces logiciels sont plus lourds à utiliser et plus complexes à mettre en oeuvre.

Chaque famille d'application a ses propres avantages et sa propre destination. Nous allons explorer quelques applications de GMAO qui sont classées dans la moyenne et haute gamme avec des options différentes en fonction de leurs cibles sur le marché. Cette famille d'application représente une grande partie des contrats français ce qui lui permet d'être connue par la majorité des experts dans ce domaine.

Applications de moyenne gamme :

Système d'Aide à la Maintenance (SAM) par « SITE ALPHA »: SAM est le logiciel de référence dans le domaine de la maintenance tertiaire. SAM s'adapte à chaque type de patrimoine construit [SITE]. Il est présent pour les sites de grande importance, ou pour les groupements d'immeubles, et pour les bâtiments de taille moyenne. La version Helpdesk (fonctionnalités standard sans la gestion du préventif) conviendra pour les bâtiments de faible importance. Ces solutions peuvent être complétées par le module mobilité ou des fonctionnalités Web. Les principales fonctionnalités de la GMAO : la gestion et le suivi des interventions, la gestion des stocks, le recensement du patrimoine immobilier et technique, la gestion des travaux de renouvellement et des travaux neufs sont optimisés par les modules de communication web (SOSWEB, CRWEB et Web Reporting), le GSM et les solutions de mobilité avec le module CRPALM. (Pour une description du contenu voir (voir en annexe : Annexes

Organisation des informations techniques dans une GMAO).

MIAO par "ALL SYSTEMS" : Selon [ALLS], la société ALL SYSTEMS a créé, en collaboration avec des professionnels de la maison individuelle, une nouvelle base de données entièrement personnalisable qui comprend plus de 15 000 articles dessinés, métrés et décrits. Celle-ci a été conçue pour tenir compte des particularismes régionaux : elle peut être facilement adaptée aux méthodes de travail et de métré de chaque entreprise car son langage simple et pédagogique n'est pas celui d'un informaticien. La base de données intégrée au logiciel MIAO est le centre du système. A la différence des logiciels de CAO/DAO classiques, qui ne gèrent que des traits ou des volumes, MIAO traite tout projet de construction comme un ensemble d'objets intelligents (murs, dalles, ouvertures...) qui possèdent des règles graphiques, descriptives et quantitatives. Chaque élément réagit ainsi différemment selon les prestations et dimensions saisies au départ dans le projet avec des conséquences différentes, tant sur le plan graphique que budgétaire.

Cependant, MIAO et SAM se ressemblent dans leur organisation et leur classification des données techniques et leur gestion des informations alphanumériques. Par contre, nous percevons rapidement la différence avec leur gestion des informations géométriques.

SAM pour les grands projets grâce à sa légèreté et sa rapidité de traiter des données complexes mais pas si intelligentes pour les modifications et l'exploitation durant le cycle de vie de l'édifice.

MIAO pour les petits et moyens projets grâce au volume des données géométriques plus intelligent et plus interopérable mais sont souvent plus lent à explorer.

Nous pensons que ces 2 types de logiciels représentent des contraintes distinctes sur le marché. Dans l'avenir proche, l'handicap de MIAO va être résolu avec la présence des ordinateurs de plus en plus performants, ce qui peut être plus difficile pour SAM pour conserver sa place.

Applications de haute gamme

Nous allons détailler une application haute de gamme pour montrer la flexibilité et l'évolution d'une application conçue spécialement pour répondre à des problèmes spécifiques au sein d'un grand groupe comme la SNCF.

COPI à la SNCF : COPI (Connaissance et Organisation du Patrimoine Immobilier) est le fichier de référence pour tous les professionnels de l'immobilier de la SNCF, représente 115 000 hectares et 14 millions de mètres carrés de bâtiments situés sur 11000 communes. La SNCF a conservé les biens liés à son activité de transporteur : gares, dépôt, ateliers de réparation des trains, zones fret et logistiques, logements de cheminots, locaux administratifs... Sur ces sites, Copi recense la répartition entre les activités et les domaines. A partir de cet inventaire, les

agences immobilières régionales peuvent facturer à chaque occupant sa quote-part des charges, calculée selon les surfaces occupées. Il est également plus facile de connaître et d'adapter les besoins des uns et des autres en bureaux ou locaux, [Bouthillon, 1998] [SNCF].

Cependant, COPI est une application développée par La Direction Déléguée à l'Aménagement et au Patrimoine (AP) déployée via un serveur informatique central. Il s'agit d'une base de données accessible (consultation et modification) sous Intranet avec interface « Web » dans laquelle sont regroupées les données alphanumériques et graphiques (plans des sites et plans détaillés) des biens immobiliers.

La spécificité de COPI réside dans la constitution d'un lien informatique entre les données graphiques des plans DAO et les données alphanumériques de la base. Ce lien garantit la cohérence entre les deux supports en bloquant des ajouts ou suppressions unilatéraux. COPI constitue de fait un premier système d'information géographique à la SNCF permettant la consultation simultanée des données des biens immobiliers sous forme de tableaux et de plans.

La création du Fichier Immobilier COPI au printemps 2000 répondait à deux objectifs essentiels :

- gérer l'inventaire des propriétés (terrains et constructions) une fois leur répartition réalisée entre la SNCF et Réseau Ferré de France (RFF),
- connaître le périmètre et suivre les évolutions du patrimoine affecté aux Activités et Domaines de la SNCF tant en consistance qu'en occupations afin d'alimenter les différentes applications de gestion (fiscalité, immobilisations, charges d'entretien, loyers).

Ces deux objectifs sont plus que jamais au cœur de la préoccupation de la gestion voulue par l'Entreprise pour répondre à la nécessité d'optimiser l'utilisation de son patrimoine immobilier.

S'y ajoute désormais, avec le développement du fichier des immobilisations, le besoin d'identification « universel » de tous les investissements de l'Entreprise basé sur les identifiants de COPI. Le fichier immobilier COPI devient donc, la référence d'identification et de localisation des biens immobiliers mais également des installations fixes (infrastructure, matériel, ...).

De nombreux systèmes d'information sont ou seront concernés par ces procédures, COPI étant en amont de ces systèmes d'information :

- l'Application Comptable des Immobilisations,
- le fichier fiscal,
- les applications de gestion relevant du périmètre immobilier,
- les applications « métier » des autres Activités et domaines qui utilisent les identifiants du patrimoine.

COPI décrit les biens immobiliers propriété du Chemin de Fer classés « en site » correspondant aux emprises ferroviaires (gares, ateliers, dépôts) ou « hors emprise » sites correspondant aux centres de vacances, ensembles de logements, bureaux, commerces et autres occupations non directement ferroviaires. Tous ces sites (10 000 environ) sont identifiés indifféremment « UT » Unités Topographiques.

Les surfaces couvertes par ces sites (hors section de voies courantes) représentent environ 35000 ha. Les sections de voies courantes couvrant environ 80 000 ha ne sont pas répertoriées. Elles pourront être intégrées progressivement dans COPI en fonction des programmes de description complémentaires de données décidés.

Le fichier des parcelles du fichier fiscal, organisé par commune, couvre indifféremment les terrains des sites et ceux des sections de voies courantes.

La description du patrimoine est articulée autour des principales données suivantes :

- en ce qui concerne les terrains des sites :
 - numéro d'unité topographique,
 - numéro INSEE de la commune
 - lot de terrain (descriptif PAS) avec les données associées,
 - affectation interne SNCF (les Activités et Domaines),
 - référence de propriété (SNCF, RFF, tiers) au 31/12/96 (proposition Breteuil II),
 - propriété FICS (donnée de propriété validée et définitive).

- en ce qui concerne les constructions (bâtiments et installations foncières) et leurs locaux :
 - numéro d'unité topographique et numéro d'unité descriptive juridique (UDJ),
 - numéro INSEE de la commune,
 - lot de terrain support (descriptif PAS),
 - numéro de construction,
 - affectation interne SNCF (les Activités et domaines),
 - référence de propriété (SNCF, RFF, tiers) au 31/12/96, (proposition Breteuil II),
 - propriété FICS (donnée de propriété validée et définitive),
 - descriptif des locaux physiques ou « fiscaux »,
 - données d'occupation des locaux.

I.2.2 Nouvelles approches et projets innovants

I.2.2.a Organisation et structuration des données en couches

Définir des conventions de structuration des données du bâtiment, préalablement à toute velléité d'échange, a suscité de nombreuses recherches à partir de 1985. En France, les premières réflexions ont porté sur la structuration des données en « couches ». Comme la montre la Figure I-6, ces conventions organisent le dessin en un certain nombre de calques distincts, chaque calque étant exclusivement porteur d'une information particulière ou d'un type de composant du bâtiment. Ce premier niveau de structuration qui ignore l'organisation interne des entités sur un calque, n'est pourtant pas déjà si facile à imposer dans la profession.

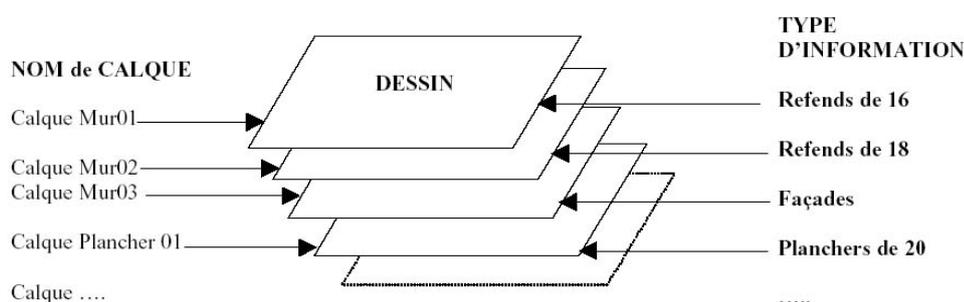


Figure I-6 : le Concept des calques

Selon [Billon, 1999], le problème des échanges n'a pas été résolu pour autant. Une nouvelle technique de structuration des données devient nécessaire pour répondre au problème, en même temps qu'une nouvelle technologie de programmation doit hisser les logiciels au niveau de performances requis pour gérer cette complexité : les structures et langages dits « orientés objets ».

Les entités du Bâtiment manipulées par les logiciels techniques doivent, donc, devenir matures : abandonner leurs « couches » contre des habits plus complexes, mais plus pratiques, les « objets ».

Il est vrai que les perspectives offertes par une banalisation des échanges entre logiciels techniques du secteur de l'AEC (Architecture, Engineering and Construction) sont considérables :

- . → Réduire les durées des études et améliorer la productivité des intervenants (dépasser les seuils existants)
- . → Résoudre bon nombre de problèmes de coordination (environ 8 milliards d'euros gaspillés chaque année en France dus à des malfaçons provoquées par une mauvaise coordination)
- . → Accéder enfin à une véritable ingénierie concourante (un rêve réputé inaccessible dans le secteur du Bâtiment)
- . → Délocaliser les études (l'éclatement géographique des partenaires devient une contrainte incontournable dans certaines opérations)
- . → Permettre une participation des petites structures (qui sont majoritaires dans l'économie du secteur du Bâtiment)

- Agir aux différentes étapes de la vie d'un bâtiment (détenir un modèle du bâtiment sous la forme d'une base de données centralisée exploitable tout au long de sa vie)
- En conclusion, autoriser des économies tout en améliorant la qualité de production de tout un secteur d'activité.

I.2.2.b Projets de recherche dans le secteur du bâtiment

Plusieurs programmes de recherche s'intéressent à la gestion des informations relatives à la description d'un bâtiment durant son cycle de vie. Le but est de répondre à une demande vigoureuse des acteurs du bâtiment souhaitant s'orienter vers une ingénierie concurrente et vers un travail coopératif durant le processus de production.

La problématique sur l'échange de données entre les applications de CAO hétéroclite a poussé plusieurs formats de représentation de données, comme l'IGES, le DXF, le CALS, le STEP, etc., et la plus récente est l'IFC (Industry Foundation Classes).

Le format STEP (the Standard for the Exchange of Product Model Data), département de l'ISO (International Organisation for Standardization), avait en projet le développement d'un modèle d'échange de données dédié au secteur de l'AEC et basé sur les technologies objets. Constatant la lenteur de ce développement, l'IAI¹ décidait d'accélérer cette action dans un cadre professionnel privé, en exploitant certaines ressources de STEP, pour proposer un modèle d'échange sous le nom des IFCs [IAIF].

Les IFC ont choisi la méthode la plus logique, celle qui a le plus de chances d'être comprise par les professionnels du monde entier, et qui de plus est majoritairement employée dans les logiciels techniques leader dans le secteur de la CAO et des partenaires institutionnels.

Plusieurs expériences répondent à ces inquiétudes, à l'échelle nationale (VEGA, GENIAL, PERDIS, RISE, ATLAS, etc.) européenne (ISTforCE, OSMOS, DIVERCITY SETRA, COMBINE, ROADCON, etc.) et internationale (UCIP, CECOM, etc.) qui poursuivent un but plus ou moins commun. Ce but est d'avoir une approche interopérable à travers la spécification de modèles de données pour les acteurs afin d'être échangées librement entre plate-formes différentes. La norme STEP, pour la représentation et l'échange de données entre des métiers distincts tout au long du cycle de vie du produit, était particulièrement utilisée dans ces tentatives différentes. La Figure I-7 nous propose une synthèse de différents projets de recherche dans le secteur de la construction qui sont souvent complémentaires car leurs approches coopératives s'appuient sur des informations distribuées liées au secteur du bâtiment. Ces projets essayent de résoudre les problèmes cités auparavant dans le chapitre 1.

¹ L'IAI (International Alliance for Interoperability) est née en 1995 aux Etats Unis sous l'impulsion de 12 sociétés fondatrices.

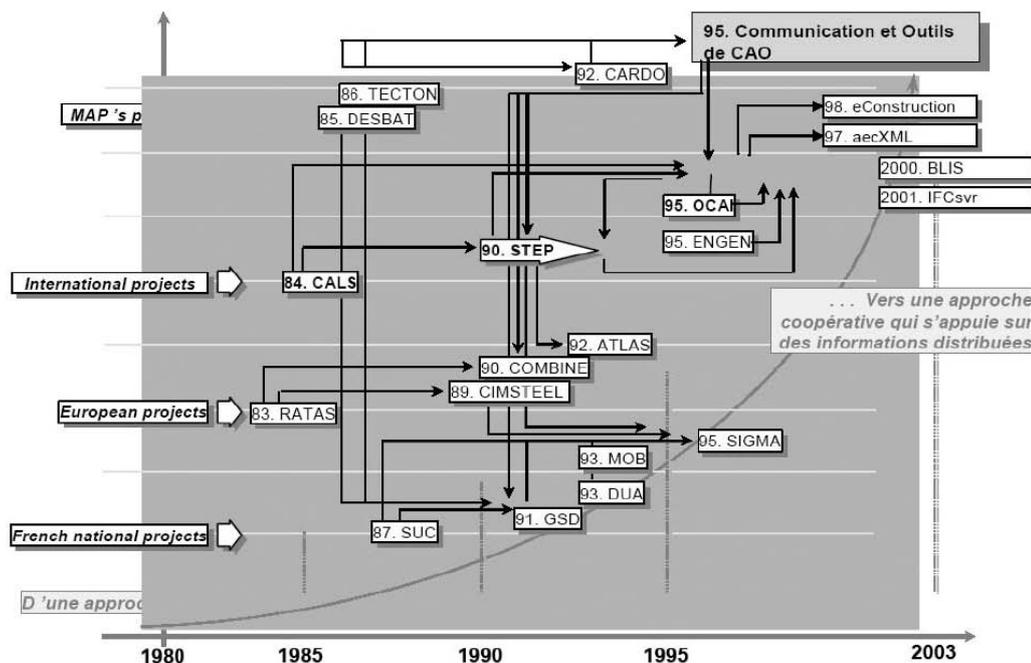


Figure 1-7 : une synthèse de projets de recherche [Améziane, 1998]

1.2.2.c Projets de l'International Alliance for Interoperability

Comment découper l'information descriptive du bâtiment, que tous reconnaissent comme complexe, pour la structurer en vue des échanges ? Car il faut bien définir une hiérarchie dans cette information, qui permette d'atteindre le niveau de détail requis pour les logiciels les plus exigeants (études de prix, calcul thermique ...).

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

- . →son appartenance à une classe,
- . →ses propriétés (que l'on appelle aussi attributs),
- . →ses relations.

Le projet CLAIRE [<http://www.bbs-slama.com/>] est le développement d'un visualiseur de fichiers IFC qui assure une fonction de médiation entre la CAO ou la gestion de patrimoine et des applications métier. CLAIRE est le premier logiciel français à avoir été certifié en mai 2001. Le Ministère de l'Équipement (DGHUC/PUCA) a accompagné cette initiative. En contrepartie de son soutien financier au projet, le visualiseur est diffusé gratuitement et seul le développement d'interfaces dédiées reste à la charge des éditeurs. Certains éditeurs comme ROBOBAT et GRAITEC, qui avaient participé au projet initial, ont décidé de s'approprier les technologies IFC et d'intégrer à leurs produits des capacités d'échanges IFC et de développer des assistants métier dédiés à la structure. L'effort collectif des éditeurs s'est poursuivi dans le cadre des projets interopérer et bâtiment interopérable, avec le soutien du Ministère de l'Industrie et la participation de représentants de la maîtrise d'oeuvre.

A partir des travaux de l'International Alliance for Interoperability (IAI), le projet « interopérer dans l'e-construction » [<http://www.bbs-slama.com/>] a pour ambition d'accroître de façon significative, en allant bien au-delà de la transmission de contrecalques électroniques, l'interopérabilité entre logiciels techniques pour :

. →Améliorer la qualité des dossiers d'opérations (dossiers de consultation des entreprises, etc.) à travers une plus grande cohérence des documents qui les constituent : descriptifs, plans, pièces écrites, etc.

. →Engager, au travers d'Internet, l'appropriation et l'utilisation de ces technologies par la collectivité du bâtiment.

L'objectif du projet « Des logiciels de CAO et de Gestion de Patrimoine à la Simulation Thermique: l'apport des IFC » [IAIF] était d'expérimenter en quoi les IFC facilitent les étapes préalables à la simulation thermique. Après une analyse détaillée du processus et des classes IFC utiles à la simulation, un démonstrateur a été développé puis expérimenté. Deux éditeurs de logiciels ont été impliqués : Keops Informatique qui est l'auteur du logiciel SIMCAD et du visualiseur CLAIRE, et LABEO qui développe le logiciel de gestion de patrimoine RS Abyla.

Le projet « SABLE » (Simple Access to the Building Lifecycle Exchange), développé par le groupe BLIS, a proposé de faciliter le développement des applications et de masquer la complexité du modèle général (et les différences entre les différents modèles des IFC). Il propose également de définir des vues par domaine (thermique, construction, FM,...) et de développer des services Web.

Le projet « Corenet, Singapour - Projet ISTforCE, CSTB », [CSTB], a permis le contrôle de la conformité à une réglementation. Après formalisation de cette réglementation, l'application analyse le contenu de la maquette, détecte les objets non conformes, les met en évidence de façon graphique et édite un rapport d'expertise. Les démarches HQE¹ contribuent actuellement à l'émergence du besoin chez les bureaux d'études, donc la nécessité de faire des simulations

Le VTT (Centre de Recherche Technique de Finlande) et Cecom (Japon) ont développé un serveur IFC en logiciel libre. Le serveur a été testé en France, au Japon, en Australie, aux USA. Il a été complété et enrichi par tous les participants. [<http://cic.vtt.fi>]

Il y a plusieurs autres projets qui traitent la visite virtuelle d'un appartement pour la concertation avec les futurs occupants (co-conception).

1.2.2.d Autres projets

Après avoir présenté les projets de l'IAI dédié au secteur de l'AEC et basé sur les technologies objets, voici quelques projets de recherche qui illustrent, aussi, l'intérêt porté aux traitements des informations dans le secteur du bâtiment :

Le projet « e-cognos » vise à indiquer et développer un modèle ouvert de l'infrastructure et un ensemble d'outils qui poussent à la gestion des connaissances dans la construction. Le travail est fondé sur une compréhension profonde des activités de gestion de la connaissance des compagnies de construction européennes. Pour organiser les documents techniques, selon leur contenu et interdépendances, les chercheurs ont eu recours à l'analyse de la sémantique à travers des documents introduits, puis, au développement des mécanismes adaptatifs. Le projet e-COGNOS vise à offrir une solution générique, modulaire et ouverte pour le KM (Knowledge Management), dans un contexte de collaboration entre tous les acteurs d'un projet de construction. [<http://cic.cstb.fr/ilc/ecprojec/ecognos/home.htm>]

¹Haute Qualité Environnementale

Le Commerce Electronique émerge lentement dans le secteur de la construction. Cependant, l'utilisation des NTIC au niveau des phases d'un projet comme la conception ou la construction proprement dite a beaucoup plus de mal à décoller. L'une des raisons majeures à cela est le fait que les NTIC ne sont pas toujours bien adaptées à la nature même du secteur Construction. Elles nécessitent le plus souvent des standards internationaux complémentaires, des machines et réseaux puissants, ainsi que le soutien d'un grand nombre d'éditeurs logiciels. A contrario, les technologies les plus prisées aujourd'hui par l'industrie (Internet, Intranet, Extranet) restent trop peu sécurisées, trop lentes et trop génériques pour prendre la place qu'elles briguent. Le projet E-Construct (Electronic Business in the Building and Construction Industry: Preparing for the new Internet (IST¹-1999-10303)) se propose de développer un langage de communication s'appuyant sur ces technologies (XML notamment) dédiées au secteur Construction, ainsi qu'un ensemble d'applications associées, puis de démontrer et disséminer le plus largement les résultats et l'intérêt d'une telle approche. [http://cic.cstb.fr/ilc/ecprojec/e_construct/home.htm]

L'objectif principal du projet OSMOS (Open System for Inter-entreprise Information Management in Dynamic Virtual Environments (IST-1999-10491)) est d'améliorer la compétitivité des entreprises de construction (et en particulier les PME) par la promotion de services à valeur ajoutée basés sur les technologies Internet et supportant le travail collaboratif et les réseaux évolutifs (entreprise virtuelle en Intranets ou Extranets) dans le secteur de la construction en Europe. [<http://cic.vtt.fi/projects/osmos/index.html>]

L'objectif du projet Divercity (Distributed Virtual Workspace for Enhancing Communication within the Construction Industry) est de créer un environnement de travail, virtuel et partagé, supportant l'interaction, la communication et la coordination entre les différents interlocuteurs et partenaires d'un projet de construction (Clients, Architectes, Bureaux d'Etudes, Entreprises, etc.). Cet environnement de travail permettra d'organiser des réunions « virtuelles » de revue de projet (en phase conception), de suivi de projet (en phase d'exécution), de simuler différents scénarii (tant sur le plan des choix architecturaux et techniques que sur le plan organisationnel) et de communiquer et coordonner les activités de conception entre les équipes. Dans le cadre de ce projet européen, l'expérimentation par des entreprises sur la simulation du processus de construction, i.e. la construction étape par étape du bâtiment, a introduit l'expression « 4D » pour indiquer le temps comme étant une 4eme dimension (Voir le chapitre III.2.1.a).

L'ISTforCE (Intelligent Services and Tools for Concurrent Engineering, projet européen (IST-1999-11508)) est une plate-forme centrée sur les services aux utilisateurs qui vise à la mise en œuvre de fonctionnalités du type « ingénierie concourante ». Cette infrastructure informatique permettra une participation à des projets multiples, offrira des serveurs de connaissances pour des tâches d'ingénierie bien précises, gèrera et coordonnera les besoins en matière de flux de travaux et d'activités (« workflow »), fournira des outils et des services pour le commerce électronique, le multimédia et les signatures électroniques, traitera du cadre légal dans lequel les participants interagiront grâce au système, sera un moyen d'interconnexion avec d'autres plates-formes d'ingénierie concourantes qui respecteront certaines spécifications techniques. [<http://www.istforce.com/>]

Le but du projet de ROADCON (projet européen, IST 2001-37278, 2002/6-2003/8 : Strategic ROADmap towards knowledge-driven « sustainable » CONstruction) est le développement d'une feuille de route stratégique pour des projets et le support de RTD (Research and Technological Development) dans l'industrie du bâtiment, et la préparation d'une future recherche et développement stratégique for ICT (Information, Communication and Technologies) dans la construction. [<http://www.roadcon.org/>]

¹ Information Society Technologies
André FAWAZ

Le projet VEGA (Virtual Enterprises using Groupware tools and distributed Architecture, 1996/1999) va combler le fossé entre 4 standards (STEP, SGML, CORBA, EDI) et prendre une initiative dans le domaine du Workflow (WfMC : Gestion Coalition de Workflow). Il développera également la plateforme COAST (l'accès par Corba aux modèles STEP) et les services associés (Persistance, Workflow, Support Documentaire, Messages EDI) pour la distribution des applications CAO dans l'industrie des grands projets de construction. [<http://cic.cstb.fr/ILC/ECPROJEC/VEGA/HOME.HTM>]

Le projet GENIAL (Global Engineering Network, 1999) a pour but essentiel de spécifier et de développer un ensemble de modèles et d'outils logiciels autour de l'ingénierie de l'information, et de fournir une infrastructure autour d'un réseau GEN ainsi qu'un ensemble de services pour la définition, l'accès, l'échange et la maintenance électronique des masses d'information gérées

Dans le projet PERDIS (1999), les partenaires proposent la réalisation d'un transfert de la recherche vers l'industrie et plus particulièrement une application à l'industrie de la construction, des récents résultats des technologies avancées en matière de distribution et de persistance des données. Ce transfert e fait sous forme d'une plate-forme logicielle d'intégration, permettant le partage des objets C++ entre des applications hétérogènes distribuées. L'interface d'accès choisie pour ce projet est celle proposée par STEP (the Standard for the Exchange of Product Model Data), le SDAI (STEP Data Access Interface). [<http://cic.cstb.fr/ILC/ecproject/perdis/home.htm>]

Le projet ATLAS (Architecture, methodology and Tools for computer integrated LArge Scale engineering) (Architecture, méthodologie et outils pour l'informatique dans les grands projets de construction) définit un cadre méthodologique, conforme à STEP, et les outils logiciels pour permettre l'intégration des applications des grands projets de construction). [<http://cic.cstb.fr/ILC/ECPROJEC/ATLAS/atlas.HTM>]

Le projet COMBINE1 (COmputer Models for the Building INdustry in Europe (Modèles informatiques pour l'industrie du bâtiment en Europe 1991-1993) a démontré la faisabilité de la technologie proposée par STEP dans son effort à intégrer les applications dans le domaine de la construction à travers un modèle de données intégrées commun (IDM).

[http://cic.cstb.fr/ilc/ecprojec/combine/main_fr.htm] Après le succès du projet COMBINE1 qui s'est terminé début 1993, le projet COMBINE 2 (1993-1995) a développé un système de projet de construction intégré à une base de données. [<http://erg.ucd.ie/combine.html>]

Tous les sujets et les projets précédents donnent lieu au développement d'applications et de services par des éditeurs et des laboratoires de recherche qui sont confrontés sans cesse au défi de l'interopérabilité, mais, qui disposent pour les relever d'un environnement de plus en plus favorable (les standards Internet, le développement de l'Open source,...). Cependant, il est question d'interopérabilité, d'échange et de partage d'informations techniques ou commerciales, de nouvelles applications capables d'exploiter le contenu de maquettes numériques (voir III.1.1) et de relever bien d'autres défis auxquels les développeurs doivent faire face.

Le domaine des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) tente de répondre à quelques interrogations légitimes :

- . →Comment intégrer des technologies nouvelles, souvent complexes, pour un investissement raisonnable?
- . →Quels sont les standards incontournables?

- . →Quels sont les services Web déjà disponibles et comment développer un service Web ?

Les Technologies de l'Information et de la Communication offrent de multiples moyens pour mieux communiquer, et donc mieux travailler ensemble pour mieux construire [IAIF].

I.2.3 Ouvertures techniques

Aujourd'hui, les machines informatiques utilisées sont tout autant des systèmes permettant d'effectuer des calculs que des outils de partage et d'échanges d'information. D'outils de calcul, les systèmes informatiques sont devenus des outils de représentation du produit et des documents associés : les systèmes de SGDT (Système de Gestion de Données Techniques) ont alors permis la mise en place de référentiels pour le développement et le support à la vie des produits. La fin des années 90 voit naître, avec l'apparition des maquettes numériques, le concept de gestion des données de produit virtuel (VPDM). Le WEB et les technologies associées ont donné un nouveau rôle à ces outils.

Toutefois, l'usage de ces nouvelles technologies a clairement mis en évidence la nécessité, à côté d'un nouvel espace de communication multimédia, de s'appuyer sur des modèles de données riches et normalisées qui servent de support au partage d'informations : les IFC sont en train de s'imposer comme un standard pour le partage des données dans l'Architecture, tandis qu'UML a été normalisé par l'OMG (Object Management Group) comme notation standard de modélisation des systèmes objet. Les développements autour du WEB ont également imposé, outre les différentes évolutions d'html, le format XML pour un accès multivues à des informations issues de sources diverses. Ces nouveaux outils, en permettant de distribuer de façon individualisée, performante et sécurisée les informations, vont bouleverser les processus dans un futur très proche.

Cependant, le formalisme établit des conventions de représentation et précise les contraintes de relations entre entités. Il est indispensable pour représenter un modèle, de le communiquer et de l'enrichir.

Les modèles à objets ont pour ambition de modéliser le monde réel. Un objet est un groupe de données structurées caractérisé par un identifiant unique représentant une entité du monde réel. Les concepts de base de l'approche objet (encapsulation, agrégation, héritage...) sont stables et largement éprouvés [Booch, 1994] [Budd, 1991] [Chappell, 1996] [Jacobson, 1993] [Gardarin, 2003]. Aujourd'hui, programmer « objet », c'est bénéficier d'un ensemble d'outils et de langages performants. On parle de « bibliothèques de classes » et plus largement d'API (Application Protocol Interface) qui apportent des solutions fonctionnelles à la plupart des problèmes rencontrés dans la conception d'un outil logiciel.

L'approche objet est une solution technologique incontournable lorsque l'on cherche à concevoir des logiciels complexes qui doivent s'adapter à des évolutions rapides.

Cette technologie apporte de bonnes réponses aux aspects suivants :

- . →la complexité du logiciel,
- . →les évolutions des technologies,
- . →la taille des équipes,
- . →les délais de plus en plus courts,
- . →les spécifications peu précises sur les technologies à déployer.

Pour remédier à ces inconvénients majeurs, on dispose aujourd'hui d'outils qui donnent une méthodologie à l'approche objet et qui permettent de mieux maîtriser sa richesse grâce à des langages et des démarches d'analyse et conception objet.

I.2.3.a Conservation et valorisation de l'information

Les bases de données sont actuellement au cœur du système d'information des entreprises. Dans un premier temps et de façon informelle, on peut considérer une Base de Données (BD) comme une grande quantité de données, centralisées ou non, servant pour les besoins d'une ou plusieurs applications, interrogeables et modifiables par un groupe d'utilisateurs travaillant en parallèle. Quant au Système de Gestion de Bases de Données (SGBD), il peut être appréhendé comme le logiciel prenant en charge la structuration, le stockage, la mise à jour et la maintenance des données ; c'est, en fait, l'interface entre la base de données et les utilisateurs ou leurs programmes.

Les premiers SGBD sont apparus à la fin des années 60. La première génération est caractérisée par la séparation de la description des données et la manipulation par les programmes d'application [Codd, 1970]. La deuxième génération de SGBD a grandi dans les laboratoires depuis 1970 [Codd, 1979]. Les principaux systèmes, commercialisés depuis 1980, sont ORACLE, INGRES, SYBASE, INFORMIX, DB2 et SQL SERVER. Depuis le début des années 80, la troisième génération, développée dans les laboratoires, commence à apparaître dans l'industrie avec les extensions objet des systèmes relationnels [Maier, 1983] [Date, 1990], [Delobel, 1991].

Quant à la quatrième génération, celle-ci est déjà en fonction et devrait mieux supporter Internet et le Web, les informations mal structurées, les objets, multimédias, l'aide à la prise de décisions et l'extraction de connaissances (data mining) à partir des données [Valduriez, 1999]. Selon [Gardarin, 2003], les recherches actuelles conduiront à une évolution des SGBD de 3ème génération plutôt qu'à une nouvelle génération. Nous ferons un point sur les différentes architectures des SGBD sur le marché et, spécialement sur le modèle Relationnel-Objet.

Modèle Relationnel-Objet

Le relationnel permet tout d'abord une modélisation des données adaptée à la gestion à l'aide de tables dont les colonnes prennent des valeurs dans des domaines alphanumériques. Grâce au langage puissant que constitue le standard universel SQL2, à sa bonne adaptation aux architectures client-serveur de données, à sa théorie bien assise aussi bien pour la conception des bases (normalisation), l'optimisation de requêtes (algèbre, réécriture, modèle de coûts) que pour la gestion de transactions (concurrency, fiabilité) intégrée, le relationnel s'est imposé dans l'industrie aux cours des années 80 [Delobel, 1991]. Le relationnel présente cependant des faiblesses qui justifient son extension vers l'objet. Tout d'abord, les règles de modélisation imposées pour structurer proprement les données s'avèrent trop restrictives.

L'absence de pointeurs visibles par l'utilisateur est très pénalisante. Dans les architectures modernes de machines où la mémoire à accès directe est importante, il devient intéressant de chaîner directement des données. La non intégration des opérations dans le modèle relationnel constitue un manque [Codd, 1970], [Codd, 1979]. Ceci conduit à un mauvais support des applications non standard telles que la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), les Bases de Données géographiques et techniques par les Systèmes de Gestion de Base de Données (SGBD) relationnels. En effet, ces applications gèrent des objets à structures complexes ; composés d'éléments chaînés souvent représentés par des graphes. Les modèles objets sont issus des langages objets. Ils apportent des nouveaux concepts importants qui répondent aux manques du relationnel, comme l'identité d'objets, l'encapsulation, l'héritage et le polymorphisme [Castagna, 1997].

L'identité d'objet permet l'introduction de pointeurs invariants pour chaîner les objets entre eux.

Ces possibilités de chaînage rapide sont importantes pour les applications nécessitant le support de graphes d'objets.

L'encapsulation des données permet d'isoler certaines données dites privées par des opérations et de présenter des interfaces stables aux utilisateurs. Ceci facilite l'évolution des structures de données qui peuvent changer sans modifier les interfaces publiques seules visibles des utilisateurs. L'héritage d'opérations et de structures facilite la réutilisation des types de données. Il permet plus généralement l'adaptation de composants à son application.

Le modèle relationnel présente des points forts indiscutables, mais il a aussi des points faibles. L'objet répond à ces faiblesses. L'intérêt d'une intégration est fondamental [Gardarin, 2003].

Dans cette approche et comme la Figure I-8, nous le montre, le modèle objet-relationnel est fondé sur l'idée d'extension du modèle relationnel avec les concepts essentiels de l'objet [Stonebraker, 1996]. Ce modèle, donc, conserve les notions de base du relationnel (domaine, table, attribut, clé et contrainte référentielle) auxquelles il ajoute les concepts de type utilisateur avec structure éventuellement privée et opérations encapsulant, de collections supportant des attributs (structure, liste, tableau, ensemble, etc.), d'héritage sur relations et types, et d'identifiant d'objets permettant les références inter-tables. Ainsi, le modèle Objet répond à la faiblesse du modèle relationnel

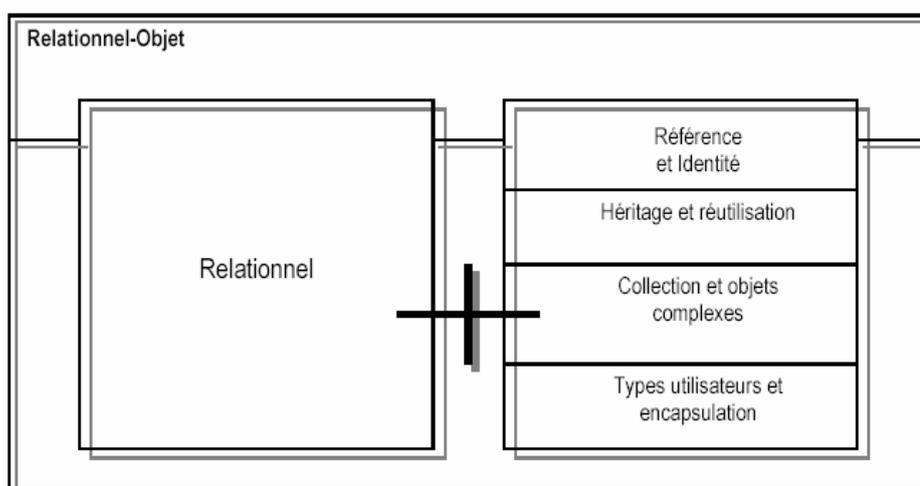


Figure I-8 : l'approche entre le Modèle Relationnel et Relationnel Objet

Au-delà du modèle, il est nécessaire d'étendre le langage de manipulation de données pour supporter les nouvelles avancées du langage de définition. SQL3 va donc comporter un langage de requêtes étendu avec notamment les appels d'opérations en résultat et en qualification, la surcharge des opérateurs de base de SQL, le support automatique de l'héritage, le parcours de références, la constitution de tables imbriquées en résultat, etc.

I.2.3.b Les formalismes de représentation

Rien dans les concepts de base de l'approche objet ne stipule comment modéliser la structure objet d'un système de manière adéquate, de même qu'il est difficile de représenter un projet de manière limpide par l'ensemble des acteurs qui y coopèrent. Ce choix appartient au concepteur du modèle. Ceci implique que l'application des concepts objet nécessite une grande rigueur

(risques d'ambiguïtés et d'incompréhensions) qui se règlent en amont de la phase de programmation.

Cependant, en premier lieu, nous déroulerons des méthodologies et des systèmes qui conservent et valorisent les informations. Puis, nous aborderons différents langages, formalismes et notations, qui répondent à notre problématique technique, pour structurer un SGDT (Système de Gestion de Données Techniques), comme :

- . →XML par son ensemble de règles normalisées pour la conception de formats texte permettant de structurer des données,
- . →la notation UML par son métamodèle qui permet de limiter les ambiguïtés et encourager la construction d'outils.
- . →le langage Express par son usage dans la représentation et la compréhension des IFC.

Langage XML

La croissance rapide du réseau Internet a peu à peu imposé le langage HTML comme moyen pour véhiculer de l'information dans des pages Web accessibles à distance. Malheureusement, ces informations n'étant pas ou peu structurées, ce langage trouve ses limites d'une part dans la pauvreté sémantique de son contenu, et d'autre part dans la libre interprétation des outils (navigateurs, browsers, logiciels divers) capables de restituer ce contenu. Le simple fait de se connecter à un navigateur ne permet pas, par exemple, de rechercher des matériaux de construction de manière efficace, de comparer leurs performances pour un critère donné, ou bien encore trouver les références de divers entrepreneurs concernés par un appel d'offre. Pour s'en convaincre, une recherche sur le mot « fenêtre » dans un moteur type Google [<http://www.google.fr>] ou Yahoo [<http://www.yahoo.fr>], fournit en premier lieu des sites généralistes sur l'Europe, ou des sites sur la photographie, ou des sites sur l'interface Windows.

C'est pour palier ces manques qu'apparaît XML (Extensible Markup Language) en 1996 pour devenir une norme du W3C en février 1998. XML a pour ambition de délivrer une information structurée, sémantiquement riche et indépendante d'une plate-forme et d'une application.

Ce langage à balisage extensible [BABEL] est un sous-ensemble de SGML (Standard Generalized Markup Language¹), dont le but est de permettre au SGML générique d'être transmis, reçu et traité sur le Web de la même manière que l'est HTML aujourd'hui. XML a été conçu pour être facile à mettre en œuvre et interopérable avec SGML et HTML. Il s'agit de faciliter le traitement automatisé de documents et de données. L'idée étant de pouvoir structurer les informations de telle manière qu'elles puissent être à la fois lues par des personnes sur le Web, et exploitées de manière automatique par des applications [Gardarin, 2002]. XML propose un ensemble de règles normalisées pour la conception de formats texte permettant de structurer des données. Il facilite donc la réalisation de fichiers non ambigus, et répond aux problèmes de non-extensibilité (impossibilité d'enrichir la description d'un objet), à l'absence de prise en charge de l'internationalisation / localisation (la langue par exemple), et à la dépendance par rapport à certaines plates-formes. XML peut être considéré comme une généralisation de HTML où, au lieu d'avoir un jeu de balises prédéfinies ayant une signification figée, l'auteur peut décider de ses propres balises

Un autre aspect important de cette technologie émergente est que XML est fortement évolutif car fortement ouvert aux initiatives. De fait, XML peut être vu comme une famille de technologies

¹ Développé au début des années 1980, devenu norme ISO [ISO 8879] depuis 1986 et largement utilisé dans des projets de documentation détaillée importante. Pour des informations détaillées, on se reportera à [Hervijnen, 1995]

maintenues par des groupes de travail puis validée par le W3C¹. Sur la base de XML 1.0, un nombre de plus en plus important de modules facultatifs fournissent des groupes de balises et d'attributs ou des lignes directrices pour des tâches particulières. C'est, le cas de *Xlink*, qui décrit une méthode standard pour ajouter des liens hypertextes à un fichier XML. *XPointer* et *XFragments* sont des syntaxes pour pointer sur des parties d'un document XML. Un *XPointer* ressemble à une URL, mais au lieu de pointer sur des documents du Web, il pointe sur des éléments de données au sein d'un fichier XML.

De telles initiatives se sont développées dans le secteur de la construction autour d'un regroupement *aecXML* (architecture Engineering Construction XML) lancé par Bentley Systems en août 1999. Ce consortium a donné naissance à un groupe de travail dont l'objectif est de définir les spécifications de base du standard *aecXML* et plus récemment *bcXML* (building construction XML). A ce jour, le regroupement compte 120 entreprises et organisations, dont plusieurs éditeurs de logiciels parmi lesquels on retrouve Autodesk Inc. et Bricsnet.

Dans le secteur industriel, des éditeurs et groupes de travail tendent à encapsuler les données STEP dans un format XML pour échanger des données via le Web. Dassault Systems utilise cette technique dans ses propres modèles d'applications. L'AIAG (Automotive Industry Action Group) s'appuie sur ce standard pour échanger des fichiers entre Metaphase de SDRC (Aujourd'hui EDS Product Life Management) et Enovia de IBM [Yunas, 2002] (voir le chapitre suivant).

Formalisme UML

UML (Unified Modeling Language ou « langage de modélisation objet unifié) est à la fois un langage formel de modélisation objet défini par un métamodèle, un support de communication et plus généralement un cadre méthodologique qui est devenu une norme de l'OMG (Object Management Group) en 1997. UML comble donc une lacune importante des technologies objet, au même titre que EXPRESS

G. Il permet d'exprimer et d'élaborer des modèles objet, indépendamment de tout langage de programmation [Muller, 2001] [Quatrani, 2000],. Ainsi, UML est avant tout un support de communication performant et un langage universel qui :

- . →Facilite la représentation et la compréhension de solutions objet,
- . →Facilite la comparaison et l'évaluation de solutions grâce à sa notation graphique permettant d'exprimer visuellement une solution objet,
- . →Limite les ambiguïtés et les incompréhensions au travers de l'aspect formel de sa notation,
- . →Assure une indépendance par rapport aux langages de programmation, aux domaines d'application et aux processus.

Pour la compréhension entre les différents acteurs d'un projet, UML propose des vues complémentaires appelées diagrammes qui vont permettre d'éclaircir les spécifications. Un diagramme UML est une représentation graphique, qui s'intéresse à un aspect précis du modèle. L'ensemble de ces diagrammes procure une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un projet. L'objectif principal est de répondre à l'évolution rapide des applications en permettant d'effectuer facilement des allers et retours sur chaque phase du cycle de développement.

Pour la définition des systèmes, UML propose alors plusieurs modèles qui sont regardés par les utilisateurs au moyen de vues graphiques. A une vue d'un ou plusieurs modèles correspondent

¹ <http://www.web3d.org/>
32

un ou plusieurs diagrammes de représentation qui sont définis au nombre de 9 :

- . →Le diagramme des activités qui décrit le comportement d'une opération en termes d'actions,
- . →Le diagramme des cas d'utilisation (Use Case View) pour les fonctions du système du point de vue de l'utilisateur,
- . →Le diagramme de classes qui représente la structure statique du système en termes de classes et de relations.
- . →Le diagramme de collaboration qui fournit une représentation spatiale des objets, des liens et des interactions,
- . →Le diagramme de composants (Component view) qui répertorie les composants physiques d'une application (par exemple un fichier CAO),
- . →Le diagramme de déploiement (Deployment View) pour les composants sur les dispositifs matériels,
- . →Le diagramme d'états transitions qui décrit le comportement d'une classe en terme d'états,
- . →Le diagramme d'objets qui correspond à une instanciation des diagrammes de classes,
- . →Le diagramme de séquence qui donne une représentation temporelle des objets et de leurs interactions.

Langage Express

Un modèle écrit selon EXPRESS (ISO 10303-41) définit un ensemble d'entités qui représentent les objets à modéliser. EXPRESS suit une approche orientée type [Atkinson, 1990] : les types d'entités sont définis dans un schéma statique, et il n'y a pas de notion de métaclasse. Chaque entité est définie par un ensemble de caractéristiques appelées attributs. Chaque attribut possède un domaine de valeurs licites (types de données, pouvant eux-mêmes être des entités). EXPRESS permet de préciser ces domaines grâce à des contraintes d'intégrité. Enfin, conformément à l'approche objet [Meyer, 1988] [Coad, 1992], les entités sont organisées de façon hiérarchique par des relations associées à un mécanisme d'héritage.

A la différence des nombreuses notations existantes pour modéliser des données telles que NIAM [Habrias, 1988], OMT [Rumbaugh, Blaha et Premerlani, 1991] ou UML [Jacobson, Booch et Rumbaugh, 1999] qui ne sont que graphiques, l'atout d'EXPRESS est de posséder à la fois une version graphique et une version textuelle ce qui rend ce langage interprétable par une machine (vérification de la cohérence, ou conversion automatique de la version graphique à la version textuelle et inversement).

Enfin, il peut être exploité pour générer automatiquement différents programmes ou représentations informatives tel que le schéma d'une base de données susceptible d'en stocker les instances. Il s'agit donc bien à la fois d'un modèle interprétable par un utilisateur humain, et d'une spécification interprétable par une machine.

I.2.4 Conclusion

Les avantages apportés par l'utilisation des outils numériques sont apparus progressivement, et ils sont nombreux [Monchy, 2003]. L'archivage des données à moindre coût permet de supprimer les montagnes de calques des projets précédents et de revenir facilement sur les projets antérieurs. Les outils de représentation offrent aux architectes la possibilité de créer et d'exploiter de nouveaux médias, supports de communication du projet. Certaines questions relatives à la maîtrise d'ouvrage, quant au fonctionnement d'un édifice par exemple, trouvent leur réponse à travers des navigations en trois dimensions, beaucoup plus expressives pour ceux qui ne pratiquent pas couramment les représentations techniques normalisées de type plans ou coupes. Les outils de communication et d'échanges permettent de travailler à distance et d'accélérer les prises de décision.

La gestion de patrimoine basée sur une interface graphique pour travailler directement à partir de la géographie des bâtiments correspond à l'attente de presque tous les utilisateurs [Dépardieu, 2001]. L'évolution des techniques informatiques permet aujourd'hui d'offrir ce type d'ergonomie plus facilement. Encore faut-il que les logiciels graphiques utilisés soient simples d'accès et parfaitement adaptés à la gestion, ce qui n'est pas toujours vrai.

L'interface graphique d'un logiciel de gestion technique devient donc indispensable à tout logiciel diffusé sur le marché [Pimor, 2001]. Deux grandes options existent aujourd'hui pour le logiciel graphique. La facilité est de prendre un logiciel de dessin du marché et de l'intégrer plus ou moins bien avec un logiciel de gestion alphanumérique. Cette solution est la plus répandue actuellement. Beaucoup de logiciels sont basés sur AUTOCAD ce qui rassure les « connaisseurs » (les bureaux d'études, les géomètres ou les architectes) qui maîtrisent parfaitement ce genre d'outil utilisé quotidiennement dans leurs travaux de spécialistes en conception.

Ces solutions atteignent vite leurs limites pour plusieurs raisons :

- . →complexité d'utilisation (spécialiste CAO),
- . →paramétrage illimité ce qui rend incompatibles des sources de données de provenances différentes (dénomination des couches, des blocs...),
- . →gestion des plans fichier par fichier ce qui entraîne des temps d'accès qui peuvent être assez longs suivant la taille des plans et leur nombre,
- . →synchronisation entre deux logiciels utilisés indépendamment.

Le point clef pour intégrer un outil graphique dans la gestion de patrimoine consiste à utiliser les logiciels adaptés à la gestion. Les outils de dessin ont été développés pour des concepteurs et des dessinateurs qui vont passer plusieurs heures par jour à travailler exclusivement sur un plan.

Un gestionnaire va surtout utiliser l'interface graphique pour naviguer dans les plans de son patrimoine pour faire des mises à jour. L'élément clef de cette fonction est la facilité et la rapidité d'accès aux plans. La solution graphique doit donc s'appuyer sur un logiciel de dessin simple d'utilisation et conçu avant tout pour des gestionnaires.

Cette seconde approche, beaucoup plus récente, est basée, pour les solutions existantes, sur des S.I.G. (Système d'Information Géographique). Ils intègrent des fonctionnalités de dessin largement suffisantes pour des gestionnaires et ont surtout été conçus pour réaliser une gestion de données graphiques et géographiques.

Au début de ce chapitre, nous avons montré et constaté l'importance du coût accordé à la

maintenance par rapport au coût global du bâtiment et les diverses solutions graphiques apportées par les systèmes de gestion dans ce domaine. Nous avons ensuite identifié de nombreux outils et logiciels permettant à l'ensemble des acteurs de l'exploitation et de la maintenance d'échanger l'information sous forme de documents structurés dans un système centralisé. Ces outils améliorent considérablement le travail de groupe et permettent en fin d'opération, de fournir au maître d'ouvrage une base solide pour gérer son édifice.

Nous avons également vu que le secteur du bâtiment bénéficie aujourd'hui de l'avancée du génie industriel dans le domaine de la gestion des informations d'un produit le long de son cycle de vie et particulièrement, durant son exploitation et sa maintenance. Ce secteur fait l'objet de nombreuses tentatives de normalisation d'information par des projets nationaux, européens et internationaux qui se développent autour d'une approche fondée sur la connaissance et se concentrent sur la notion de modèles de description d'un édifice. Le plus prometteur et le plus dynamique dans le monde, paraît être celui de l'International Alliance for Interoperability (IAI).

D'ailleurs, on constate que depuis peu de temps, la gestion de patrimoine construit basée sur une interface graphique répond à l'attente de la majorité des utilisateurs. L'utilisation de ses logiciels graphiques, en 2D, est cependant toujours peu adaptée à la mise à disposition auprès des acteurs qui veulent retrouver, comprendre et interpréter correctement les énormes flux d'informations durant le cycle de vie du patrimoine construit. Encore faut-il que les logiciels graphiques utilisés soient simples d'accès et parfaitement adaptés à la gestion technique et à la maintenance d'un grand patrimoine construit.

Cette analyse va orienter notre travail vers deux approches complémentaires visant à améliorer la gestion du patrimoine informationnel du bâtiment.

Une première approche se fonde sur un modèle documentaire du bâtiment des SGDT développés dans les années 90 pour répondre au contexte d'exploitation et de maintenance du patrimoine construit (partie I).

Une deuxième approche se fonde sur la 3ème dimension. Cette approche doit réduire des malentendus et des problèmes imprévus durant la phase de maintenance, afin d'améliorer le temps, les coûts et les économies, et par conséquent la qualité globale, et la satisfaction du client. L'évolution des techniques informatiques et plus particulièrement, de la Réalité Virtuelle permet aujourd'hui d'offrir, plus facilement, ce type d'ergonomie.

C'est dans ce contexte que nous avons choisi de présenter, dans le chapitre suivant, le monde de la Réalité Virtuelle en se basant sur les outils, les logiciels du marché qui permettent la modélisation et la gestion des scènes 3D, les différents projets de recherche nationaux et internationaux, les domaines d'applications et les approches distinctes sur la RV vues par plusieurs experts dans l'industrie et plus particulièrement, dans le secteur du bâtiment.

II La Réalité Virtuelle

Nous considérons que les outils de CAO, qui manipule la 3D, sur le marché permettent de maîtriser la conception des aspects graphiques du projet d'architecture. L'ambition est donc de répondre au problème de continuité des informations tout au long de leur cycle de vie.

Comme nous l'avons évoqué en première partie, durant tout le cycle du bâtiment, depuis le concept jusqu'aux détails, les incidences sur l'environnement, la planification d'espace, les issues opérationnelles, l'évacuation de secours, la sécurité et la construction, doivent être prises en considération et spécialement, pendant le cycle de maintenance et d'exploitation du bâtiment.

Dans le domaine de la Gestion Technique de Patrimoine Construit (GTPC), les premières solutions techniques mises en place depuis quelques années sont basées sur des logiciels totalement dédiés à chaque métier. Actuellement, les études de gestion et de maintenance et les réunions multidisciplinaires ont lieu autour des schémas 2D et des photos qui sont susceptibles d'entraîner une fausse interprétation par des personnes pas toujours accoutumées à les interpréter.

Aujourd'hui, la Réalité Virtuelle (RV) peut être employée comme un outil de communication permettant de faciliter de telles réunions multidisciplinaires. Elle peut surmonter les limitations inhérentes aux schémas 2D et donner des idées d'intervention et des solutions à des problèmes de maintenance afin que les membres de l'équipe soient plus efficaces et pour gérer tous les membres des équipes chargés conduire des études d'intervention, ce qui peut être long et coûteux pour les organismes qui sont géographiquement répartis.

II.1 L'existant

Historiquement des programmes de DAO¹ ont été créés pour la représentation des modèles de bâtiment. En revanche, des programmes de RV ont été créés pour montrer des modèles 3D. À l'origine l'information de DAO a pu seulement être écrite et regardée en 2D. Puis, le modèle dessiné dans un logiciel de DAO a évolué vers le format 3D. Actuellement, les développements en 4D (3D + temps), permettent au modèle d'être regardé à chaque étape du cycle de vie de développement [Lie, 2003]. La RV surpasse le DAO en plaçant les utilisateurs à l'intérieur du modèle, leur permettant d'agir l'un sur l'autre avec les objets de la scène, plutôt que par une interface 2D. Ce concept permet à l'utilisateur de tourner un objet, se promener autour de lui, s'arrêter, le toucher, manœuvrer ses parties. Le logiciel de DAO peut être lié, par l'intermédiaire d'une interface, au logiciel de la RV, afin d'importer des modèles de données au monde virtuel. Ces données ajoutent une nouvelle manière puissante de comprendre et d'agir. En outre, la RV permet à l'utilisateur d'améliorer l'aspect visuel des produits. Ceci peut être fait en appliquant des propriétés de texture et, changeant les attributs d'éclairage.

Nous allons, dans un premier temps, présenter les principes de la maquette numérique et leur évolution vers la Réalité Virtuelle en passant par les environnements virtuels, les différents outils de modélisation des scènes 3D leader sur le marché afin de cibler plus particulièrement ceux qui touchent à la gestion des données techniques. En outre, la présentation des projets de recherche sur la RV au niveau national, européen et international est fondamentale. Puis, dans un second temps, nous présenterons un bref sommaire des applications de la RV dans les différents secteurs de l'industrie et du bâtiment qui ont été les déclencheurs de la réorganisation et de l'optimisation des méthodes de conception et de la gestion des informations techniques.

II.1.1 Principes

II.1.1.a Maquette numérique

Une maquette numérique ou bâtiment virtuel est la description des objets composant un bâtiment, de leurs caractéristiques et des relations entre ces objets. Elle ne peut être produite qu'avec un logiciel de CAO de nouvelle génération, véritablement orienté objet.

La maquette numérique est une réalité dans les industries automobile et aéronautique où l'on parle à présent d'usine numérique. Ce n'est pas encore le cas dans la construction mais un environnement propice au passage à la maquette numérique commence à se mettre en place par un usage plus important de la CAO 3D. La maquette rassemble et organise l'ensemble des informations sur un bâtiment, pour tous les intervenants et pour toutes les phases du cycle de vie de ce bâtiment :

- . → La maquette numérique est construite par la maîtrise d'œuvre.
- . → Elle servira de base aux diverses évaluations des performances du projet, ou encore à la simulation des processus de construction.
- . → Elle finira par être l'image du bâtiment tel que construit et pourra alors être transmise à l'exploitant qui obtiendra ainsi des informations de première importance sur les locaux, les ouvrages et les équipements. Tout le monde est donc concerné.

La maquette numérique pourrait être une réalité dans la construction comme dans l'industrie car

¹ Dessin Assisté par Ordinateur
André FAWAZ

des conditions préalables sont remplies :

- . → On dispose d'un modèle pour l'échange et le partage des données techniques (les IFC) (voir le chapitre précédent).
- . → Il fait l'objet d'un consensus international et a été homologué par l'ISO fin 2002.
- . → Des logiciels « parlant IFC » sont en vente.

Reste, et ce sera le plus difficile, à accompagner un changement profond dans la façon d'aborder le projet, à passer d'une culture de l'échange de plans à celle du partage des objets décrivant le bâtiment tout au long de son cycle de vie.

Un nombre important de maîtres d'œuvre et l'Union Nationale des Syndicats Français et des Architectes (UNSA), se sont engagés dans la promotion des IFC auprès des architectes. Les entreprises entrevoient les perspectives ouvertes par la modélisation du processus de construction. Les gestionnaires de patrimoine réalisent qu'une maquette numérique transmise à la fin de la phase de construction, constitue un système d'information riche et de qualité dont la mise en place à partir de fichiers de plans est aujourd'hui très coûteuse et difficile à recréer [Billon, 99].

Il conviendrait de mener une enquête pour quantifier la situation aujourd'hui, mais il semble que l'usage de la CAO dans le secteur du bâtiment soit de plus en plus répandu. La pratique la plus courante consiste à travailler sur des représentations 2D des bâtiments, et à utiliser le fichier de plans comme principal vecteur d'échange.

La maquette numérique est par définition partagée entre plusieurs intervenants. L'ingénierie collaborative, et l'ingénierie concurrente sont appliquées et elles mobilisent des outils et des méthodes de travail.

II.1.1.b Architecture de la Réalité virtuelle

D'après [Fuchs, 2003] la définition de la RV est la suivante :

« Les techniques de la réalité virtuelle sont fondées sur l'interaction¹ en temps réel avec un monde artificiel, à l'aide d'interfaces comportementales² permettant l'immersion "pseudo-naturelle"³ de(s) l'utilisateur(s) dans cet environnement. Ce monde artificiel est imaginaire ou une simulation de certains aspects du monde réel ». D'autres définitions de la réalité virtuelle, d'un point de vue fonctionnel et philosophique, sont détaillées dans [Fuc, 2003].

Ainsi, la RV peut être définie par sa finalité, ses applications, ses fonctions ou encore les techniques sur lesquelles elle repose [Fuchs, 2003]. La RV s'arrêterait là où commencent les simulateurs, à savoir dès que l'utilisateur interagit avec le système au moyen d'un dispositif réel.

La notion d'immersion et d'interaction dans un monde virtuel a largement été décrite par [Fuchs, 2003] et [Fuchs01, 2003]. D'après [Psocka, 1995], la RV fournit un mode de communication

¹ La navigation, citée par certains auteurs, n'est qu'une interaction particulière : l'utilisateur interagit en se déplaçant virtuellement par une commande spécifique. S'il ne commande pas lui-même le déplacement, il est alors un passif spectateur et il ne s'agit plus dans ce cas de réalité virtuelle.

² Interfaces comportementales : permettant l'interaction de l'utilisateur avec le monde virtuel (information de l'utilisateur vers le monde virtuel et du monde virtuel vers l'utilisateur).

³ Pseudo-naturelle car l'immersion ne sera jamais en tout point identique au réel et des différences sensorimotrices ou cognitives existeront toujours quelles que soient les interfaces utilisées.

différent entre un Environnement Virtuel (EV) et une personne, entre une forme symbolique et une représentation mentale. En effet, d'après [Fuchs, 2003], l'utilisateur agit sur l'EV et perçoit par ses sens (voir la Figure II-1). Il est connecté au système au niveau de ses sens et de ses réponses motrices par des interfaces comportementales. L'interfaçage comportemental ne doit pas simplement être étudié au niveau physique (boutons de commande et retours d'informations sur les actions). Les modèles mentaux avec lesquels l'utilisateur pense et agit dans l'EV doivent aussi être pris en compte. Donc, l'immersion d'un utilisateur dans un EV ne doit pas être vue que du point technique mais aussi sensori-moteur.

D'après [Fuchs01, 2003], l'utilisateur n'est pas passif mais actif dans un EV, c'est pour cela que nous parlerons de la notion « d'immersion et d'interaction » et non pas de présence. Il existe trois niveaux d'immersion et d'interaction : sensori-motrices, cognitives et fonctionnelles [Lourdeaux, 2001].

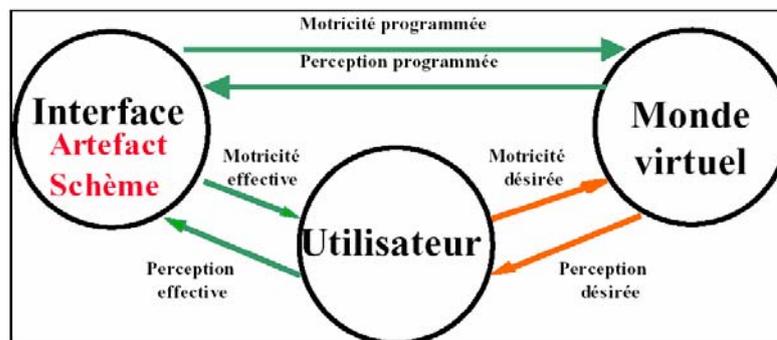


Figure II-1 : Interfaçage comportementale entre utilisateur et EV [Fuchs, 2003]

D'après [Bourdot, 2002], pour mener différentes tâches plus ou moins collaboratives, relatives à des applications tridimensionnelles, on peut voir la RV comme un ensemble d'outils matériels et de logiciels qui permet de gérer de façon immersive et « réaliste » des interactions sensori-motrices d'opérateurs humains, d'une part sur des objets réels via un monde virtuel, d'autre part sur des entités virtuelles plus ou moins contraintes par l'univers réel.

Il y a, donc, deux classes d'entités virtuelles : les entités purement virtuelles d'une part et celles ayant une représentation concrète dans le monde réel d'autre part.

Les entités purement virtuelles sont des entités dont le modèle original n'a d'existence que dans l'imagination de leur concepteur. Il n'existe aucun lien entre ce type d'entité et une quelconque entité équivalente dans le monde réel.

D'après [Sherman, 2002], pour décrire plus précisément les interactions des opérateurs humains et des objets réels avec le monde virtuel, il faut considérer deux types d'avatars : Humains et Objets d'une part (voir la Figure II-2). [Stanney, 2002] au contraire limite le concept d'avatar aux être humains.

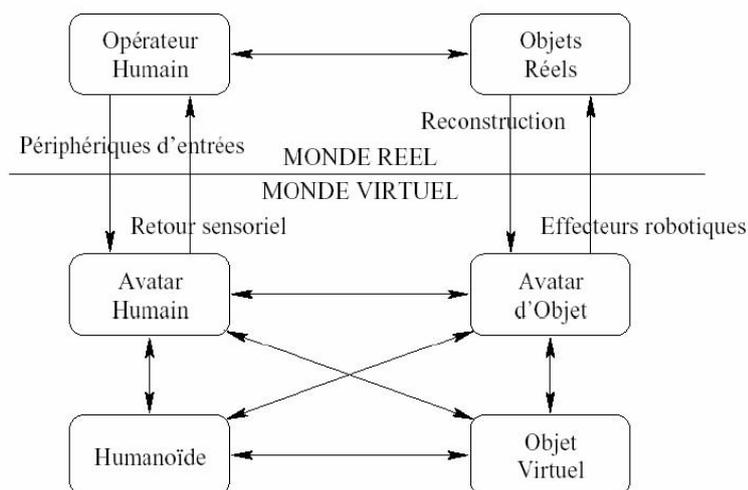


Figure II-2 : Schéma Conceptuel de la Réalité Virtuelle & de la Réalité Augmentée

Ces avatars sont : soit issus de la numérisation d'une entité réelle, soit d'un modèle qui pilote un objet existant dans un monde réel. Par exemple : la synthèse par EDF du sanctuaire d'Athéna à Delphes par numérisation des différents éléments architecturaux, puis la reconstruction du puzzle [Athéna, 96]. L'existence des avatars d'objets caractérise les applications de la Réalité Augmentée (RA) car elle requiert une reconstruction du monde réel.

II.1.2 Outils et applications actuelles

Après avoir présenté la maintenance et spécialement la GMAO dans le chapitre précédent, nous allons, en premier lieu, présenter quelques logiciels industriels dédiés à la maquette numérique qui traitent la simulation, la coopération, la gestion par des environnements virtuels 3D.

En deuxième lieu, nous allons présenter les outils de développement qui accentuent la puissance de la technologie interactive 3D et les solutions employées pour des coûts de production minimaux. Ces outils naviguent dans un environnement virtuel et accèdent à l'information en temps réel.

II.1.2.a Produits de Dassault Systèmes S.A

Dassault Systèmes S.A. est la première société mondiale de développement de solutions PLM « Product Lifecycle Management » (Gestion du Cycle de vie du Produit) ; elle offre aux entreprises des solutions « e-business » pour la mise en œuvre de leur entreprise digitale, permettant ainsi la création et la simulation du cycle de vie intégral du produit, de la préconception à la mise en fabrication.

Les solutions CATIA, DELMIA et ENOVIA, que Dassault Systèmes diffuse, supportent des processus d'entreprise spécifiques à l'industrie permettant à leurs clients de privilégier la créativité et l'innovation, de réduire la durée du cycle de développement de leurs produits, d'en améliorer la qualité, d'accroître leur compétitivité et la valeur de leur titre : CATIA permet la définition et la simulation de produits numériques, DELMIA offre des solutions de définition et de simulation des processus de fabrication digitale et ENOVIA fournit des solutions d'entreprise permettant de gérer un modèle produit, processus et ressources numériques de façon complète, collaborative et partagée. Cette intégration aboutit à la création du cycle de vie du produit

numérique, qui permet la réutilisation du savoir-faire de l'entreprise. En tant que filiales de Dassault Systèmes, SolidWorks et Smart Solutions offrent des solutions centrées sur la conception 3D.

CATIA

Comme la Figure II-3 nous le montre, «*CATIA - Systems Routing 2* » :

- . →gère et améliore les processus de fabrication/production et/ou les plans d'usine
- . →réduit le délai de commercialisation.

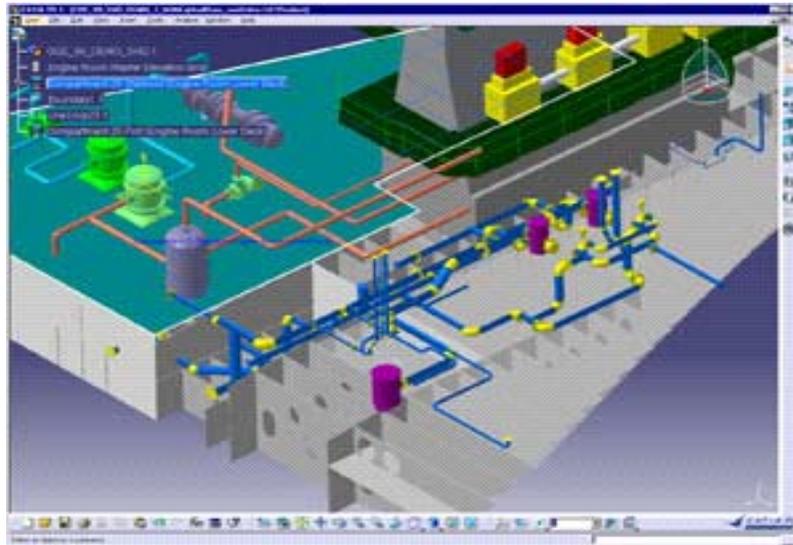


Figure II-3 : Interface de l'application Catia, source : <http://www.3ds.com/>

Il prend en charge tous les systèmes d'acheminement : canalisations, tuyauteries, transporteurs, réseaux de distribution et les conduites de câbles, etc. ce qui lui permet d'avoir une capacité d'évolution pour les concepteurs et de progresser à son propre rythme dans l'étude détaillée de la conception de l'acheminement. En conséquence, il autorise la réutilisation maximale des résultats des travaux précédents.

«*CATIA Team PDM* » est l'intégration du Système de Gestion de Données Techniques SmarTeam dans la CAO CATIA V5. Cet outil est une solution de gestion de données techniques, destinée à intégrer et à regrouper la multitude d'événements intervenant dans un processus de conception en deux tâches fondamentales : les tâches de conception et les tâches de gestion de données.

En conséquence, ce logiciel permet aux entreprises de gérer et d'organiser toutes les informations liées au produit, tout au long de son cycle de vie. A partir de l'environnement CATIA, les utilisateurs ont accès à toutes les informations liées au projet. Les informations peuvent être retrouvées par requête sur des critères choisis ou par relations à partir d'autres projets. Les utilisateurs de CATIA peuvent se consacrer à la conception et se libérer ainsi des tâches d'organisation de leurs données. Un tel système de « *PDM* » favorise la réutilisation des composants existants.

DELMIA

Les solutions de fabrication numériques de DELMIA permettent aux industriels de concevoir et de visualiser l'ensemble du processus de production d'un produit numériquement spécifié, avant la mise en service de tout matériel ou machine physique. Elles s'intègrent étroitement aux solutions de conception CATIA, ainsi qu'aux solutions de gestion de données et de travail collaboratif d'ENOVIA pour offrir des bénéfices importants aux clients.

En ergonomie, « ERGO » de Delmia est un outil permettant de générer rapidement des mouvements humains appliqués à des mannequins virtuels (voir la Figure III-4), et d'effectuer un certain nombre d'analyses.



Figure II-4 : Interface de l'application Delmia ERGO, source : <http://www.delmia.com>

Cette démarche permet de concevoir un environnement de travail, qui sera optimisé en terme d'accessibilité, de sécurité, de temps de cycle, de faisabilité vis-à-vis de l'effort et de la fatigue, de diminution du temps et du coût de conception en éliminant le prototype physique. Ces mouvements sont basés sur une reproduction fidèle des articulations du corps humain (86 articulations (degrés de liberté) ou plus). De plus, les différentes tailles de mannequin permettent de couvrir facilement la totalité de la population. Les ingénieurs méthodes peuvent rapidement valider, dans un environnement comprenant les outils et les produits, les capacités de l'opérateur en termes d'accessibilité et de soulèvement d'objet et de vision. L'analyse du cycle de l'opérateur RULA permet de classer les gestes en trois catégories : bon geste, geste fatiguant à long terme; geste fatiguant à court terme.

En assemblage, « ASSEMBLY » de Delmia est un puissant environnement de simulation en 3D, il est spécialement dédié au développement et à la documentation des processus d'assemblage. Les objectifs d' « ASSEMBLY » sont de valider le design et de déterminer les besoins de de l'usine en processus, outillage, robotique et humain. Cet outil permet de créer des instructions détaillées et animées de l'assemblage pour les fournir aux opérateurs.

En Robotique, « IGRIP » de Delmia est un outil de Simulation Robotique et de Programmation. Il permet de modéliser rapidement et graphiquement une cellule robotique, (voir la Figure II-5), et ainsi de tester et valider, dans un contexte 3D reproduisant fidèlement la réalité des solutions des processus et procédures non figées; puis ensuite de générer des fichiers directement exécutables.

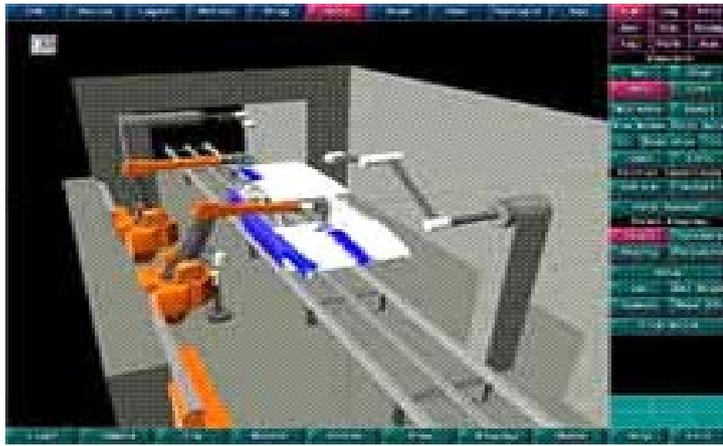


Figure II-5 : Interface de l'application Delmia IGRIP, source : <http://www.delmia.com>

En Simulation de Flux, « QUEST » de Delmia permet de simuler et d'analyser les flux de production dans un environnement 3D virtuel, (voir la Figure III-6). Le but de cet outil est d'optimiser la production de l'usine virtuelle.



Figure II-6 : Interface de l'application Delmia QUEST, source : <http://www.delmia.com>

Les objectifs de « QUEST » sont de :

- . →Valider le design d'un système complexe de convoyage de matière, le planning de production et le flux de production.
- . →Optimiser l'utilisation de l'espace et maximiser l'utilisation des équipements tout en justifiant l'achat des équipements indispensables.
- . →Réduire ou redistribuer les opérateurs, l'inventaire et les modifications durant la production et bien sûr, les coûts et les risques.
- . →Faire ressortir les goulots d'étranglement en augmentant la productivité

ENOVIA

« ENOVIAPM » est une solution ENOVIA Corporation permettant la génération de solutions d'ingénierie simultanées au niveau entreprise, ciblant plus particulièrement le domaine des SGDT (Système de Gestion des Données Techniques)

« ENOVIAPM » fournit une technologie évolutive et intégrée étendant les processus de flux de l'entreprise et permettant la définition, le stockage et la gestion de toutes les données produit et

procédé déterminant le cycle de vie du produit (voir la Figure II-7). Cet outil est conçu pour connecter des plateformes, systèmes de production et outils de conception assistée par ordinateur (CAO) dans un environnement continu.

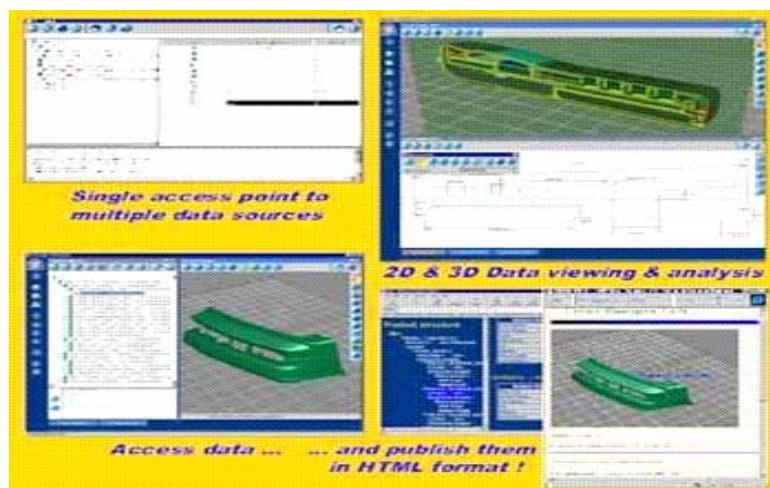


Figure II-7 : Interface de l'application Enovia, Source : <http://www.enovia.com/>

« ENOVIA 3d Navigator » permet l'affichage et l'accès à distance aux données via Internet ou Intranet. Grâce à sa fonction d'explorateur, les utilisateurs peuvent accéder aux informations CATIA, ENOVIAVPM et CDM-A. Un pilote multi-PDM permet aux utilisateurs de formuler des requêtes dans plusieurs bases de données puis d'afficher les données obtenues dans un afficheur unique.

« ENOVIA 3d Space » permet de réaliser une analyse à facettes impliquant des opérations de coupe/écrêtage, de vérification des distances entre les modèles, les objets et les faces, de contrôle des erreurs d'enveloppe et de détection de collisions et d'espacements.

Le processus de publication « Publish » permet de créer rapidement des pages Web comportant des images, des commentaires et des applets 2D ou 3D. Ces pages HTML sont immédiatement disponibles pour tous types d'opérations, telles que l'impression, l'envoi d'un courrier électronique, l'intégration d'un formulaire ou d'une autre page HTML, etc. Après publication, les pages sont accessibles à partir de tout navigateur Web.

II.1.2.b VIRTOOLS

Virtools est un logiciel auteur permettant de créer du contenu 3D interactif (Virtools Dev), un serveur pour la distribution de contenu dynamique sur internet (Behavioral server) et un visualiseur d'application (VWP). Virtools fournit, donc, une combinaison de logiciels et de services (voir la Figure II-8) qui garantissent l'accomplissement d'un projet via les Environnements Virtuels.

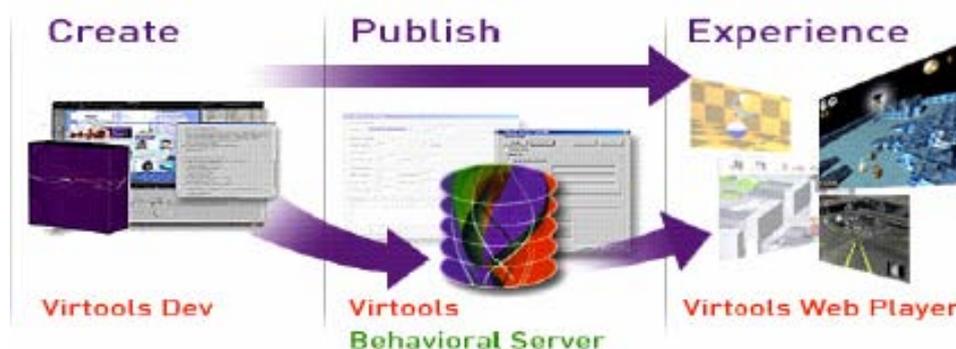


Figure II-8 : le concept de virtools, source : <http://www.virtools.com>

Virtools Dev permet le développement interactif et rapide d'une application 3D. Sans être informaticien, le développeur peut créer, à l'aide d'une interface simple, une application dotée d'animations et de comportements complexes. Cependant, cet outil fournit les outils et les serveurs de logiciel dont nous avons besoin pour développer et déployer des demandes interactives et industrielles. (Voir la Figure II-9).

Cette technologie nous permet de créer des applications interactives en assemblant graphiquement une interface intuitive et des comportements, dans le monde virtuel, flexible et facile à réutiliser. Cet outil accélère le cycle de production et nous permet de se baser sur des projets précédents. Nous pouvons employer la « bibliothèque de comportements » ou programmer nos propres comportements avec le kit de développement SDK (Software Development Kit) [www.virtools.com].

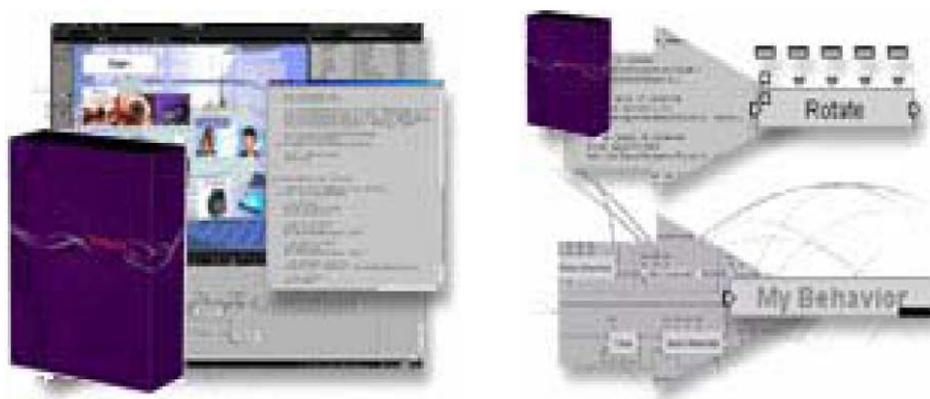


Figure II-9 : Interface de Virtools Dev, source : <http://www.virtools.com>

Behavioral server

Un serveur supplémentaire est nécessaire pour une interaction entre plusieurs utilisateurs, un contenu dynamique, ou un contenu relatif à une base de données (voir la Figure III-10).

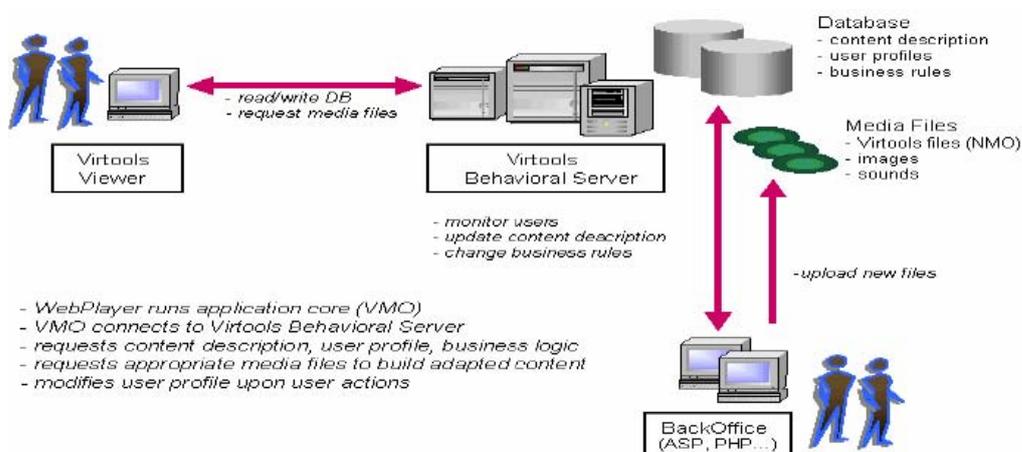


Figure II-10 : Architecture de Virtools, source : <http://www.vistools.com>

Pour la visualisation 3D, le serveur immerge les utilisateurs dans un environnement entièrement interactif, chaque objet 3D agit sur l'autre selon ses propres comportements spécifiques définis auparavant.

Une architecture modulaire et ouverte permet au serveur comportemental d'intégrer, avec l'infrastructure technique existante comprenant des serveurs d'enchaînement, des bases de données et des serveurs d'application. Les solutions de logiciel communiquent avec des systèmes d'information et ajoutent une dimension interactive en recueillant l'information valable à l'utilisateur. Son module de base de données permet d'accéder aux bases de données standard en SQL par l'intermédiaire des raccordements d'ODBC. Donc, Virtools peut lire, écrire et manoeuvrer des données en utilisant le langage des requêtes standards SQL.

Avec le Multiuser pack (Paquet à utilisateurs multiples), Virtools est plus particulièrement utilisé dans le domaine des jeux vidéo.

II.1.2.c Les simulateurs à la SNCF

Conception et Design

La première application de la Réalité Virtuelle à la SNCF devait examiner le schéma de la signalisation de la gare de Magenta (ligne de RER E à Paris). La gare a été modélisée avec des personnes représentant des clients de la future gare qui devaient effectuer des parcours en entrée et en sortie. Les déplacements étaient effectués par une tierce personne pour obliger les sujets à verbaliser, (Voir la Figure II-11). En conséquence, il y a eu une modification de la signalisation pour améliorer le flux de la clientèle.



Figure II-11 : la gare Magenta

Concept train

Le concept train est au train ce que « le concept car » est à l'automobile. Cependant, la RV a été utilisée pour visualiser les concepts imaginés par les stylistes et les concepteurs afin de communiquer largement sur le sujet.

Pour examiner une nouvelle conception d'aménagement intérieur du concept train, la SNCF a eu recours à la RV (voir la Figure II-12). Avec cette application, des problèmes dans la conception ont été identifiés.



Figure II-12 : l'Intérieur du concept train

FIACRE

FIACRE est un simulateur utilisé pour former les conducteurs de train à la vérification et à la manipulation des aiguillages sur les voies (voir la Figure II-13).

Ce simulateur a été conçu pour répondre aux problèmes suivants :

- . →le danger des vraies voies,
- . →le temps limité consacré à la formation,
- . →la logistique complexe,
- . →la dépendance aux conditions météorologiques,
- . →le coût



Figure II-13 : FIACRE

FIACRE est un simulateur immersif. La dimension de son écran est de 2 mètres de haut par 3 mètres de large. Un tapis roulant aide le stagiaire à évaluer et sentir les distances et le temps dans l'environnement virtuel. Un gant de données vient s'ajouter au système pour agir et interagir avec les différents éléments de l'Environnement Virtuel (EV).

SIMURAT

SIMURAT est un prototype destiné à utiliser pour former des employés de la SNCF à la vérification des wagons de fret pour garantir la sécurité dans le transport (voir la Figure II-14). Les points de contrôle sont les organes mécaniques essentiels du chariot (freins, roues...), du chargement et de son arrivage, etc...



Figure II-14 : SIMURAT

II.1.3 Applications dans la construction

La conception du musée Guggenheim de Bilbao construit par l'architecte Frank O'Gehry est remarquable, car cet édifice a été possible uniquement grâce au logiciel CATIA de Dassault Systèmes S.A. Ce bâtiment a été conçu comme un avion, en partant de la forme pour arriver à la structure et sa réalisation, chaque étape étant validée par la simulation informatique. Cette technique a permis de mettre au point une structure apparemment impossible par une méthode traditionnelle et pour un coût équivalent.

L'informatique a permis d'augmenter la complexité des algorithmes pour s'approcher au maximum de la réalité. Elle a également permis la démocratisation de la simulation. C'est ainsi qu'il est possible de simuler une maquette 3D rapidement grâce à des logiciels métiers tels que Allplan de Nemetschek A.G., ArchiCAD de Graphisoft Inc., AutoCAD de Autodesk, 3DSMax de Discreet, etc.

Nous venons de voir un exemple intéressant dans l'architecture, qui s'est appuyé sur la technologie industrielle pour arriver à définir et à simuler une structure complexe d'un grand édifice. Pour notre part, nous pensons que c'est important de montrer la puissance des logiciels industriels et comment ils peuvent simuler et calculer un cycle de vie d'un produit afin d'augmenter sa rentabilité et sa qualité et diminuer son temps de fabrication et de maintenance. Le Corbusier a toujours établi un parallèle entre l'architecture et l'industrie automobile ou navale et insisté sur la distinction entre architecte, artiste et artisan en prenant pour exemple le design industriel.

Une entreprise spécialiste dans le contrôle des grandes constructions et en particulier dans les industries pétrochimiques a expérimenté l'utilisation de la RV dans un projet pilote. A la lumière de leur expérience, ils ont décidé d'accroître leur utilisation de la RV et de réaliser un modèle d'une grande usine chimique dans le nord-est de l'Angleterre.

Le fait de pouvoir diriger une usine chimique complexe, même avant d'être construite, a apporté beaucoup d'avantages au processus de conception. Un des avantages les plus apparents, est d'accéder facilement aux données complexes. Le nombre de schémas et diagrammes nécessaires pour décrire une usine chimique est énorme. En utilisant la RV, il est beaucoup plus facile de vérifier l'accès à l'information. En effet, le personnel qui devra effectuer les tâches d'entretien peut, aussi, vérifier la conception de l'intervention et sa méthodologie via la RV.

La salubrité, la sûreté et la formation sont les autres secteurs où la RV a fourni des avantages significatifs. Des modèles peuvent être employés pour vérifier l'écoulement des vapeurs toxiques en cas d'un accident dans l'usine et les sorties de secours des zones dangereuses. Les applications de formation peuvent effectuer des opérations uniques, telles que soulever un nouveau morceau d'équipement dans une usine existante et permettre au personnel d'entretenir et d'apprendre à accomplir des tâches courantes dans un environnement sûr. L'utilisation de la RV dans la collaboration et dans l'immersion fournit un degré significatif de réalisme pour ces applications.

Le modèle de « Docklands Light Railway¹, Lewisham Extension » a été créé pour montrer les intérieurs d'une plate-forme typique de pont pour dépeindre l'accessibilité interne pour l'entretien et l'inspection. Diverses fonctions d'interface utilisateur ont été incluses dans le modèle. Par

¹ The Docklands Light Railway (DLR) est un métro de transport en commun pour la région reconstruite de Docklands de Londres, Angleterre.
André FAWAZ

exemple, tous les organes sont identifiés par des couleurs vives pour faciliter précisément l'identification. La capacité de commander l'affichage « Marche/Arrêt » de divers articles aide l'affichage du taux d'armature et augmente la vitesse de vol de l'utilisateur dans l'environnement de la RV. Ils ont inclus une commande de barre coulissante qui facilite la compréhension des ensembles complexes d'équipement inclus dans le béton précontraint de la plate-forme. L'action de tenir le curseur au-dessus d'une partie évidente d'un tendon cause l'affichage d'un menu déroulant qui montre divers détails de conception, de construction ou d'entretien au sujet de ce tendon particulier. Ceci permet la diffusion rapide d'information aux employés sur place qui est aisément comprise. Cette information peut être une représentation virtuelle de l'environnement d'emplacement dans lequel ils maintiendront et travailleront physiquement.

II.1.4 Synthèse

Nous avons présenté la RV comme un outil de conception acceptable pour faciliter la collaboration de projet et pour résoudre certains problèmes de l'interface et de la vitesse de la navigation. La plupart des modèles de l'EV viennent d'une exportation directe d'un modèle 3D construit dans un outil de DAO. La RV a inclus l'étude de conception, les inspections externes et internes, l'inspection souterraine, l'évaluation de la prise de terre et de l'utilisation de l'espace, la visibilité des couloirs et l'ordonnancement de la construction.

Après avoir cité les tendances de quelques outils et application, nous pouvons conclure que la RV est employée dans plusieurs domaines d'application tels que la technologie, la construction, la médecine, le militaire, etc. L'utilisation principale de la RV dans l'industrie peut être classée par catégorie sous la conception de produits (des composants ou des bâtiments de technologie), la formation, les ventes et le marketing (voir la Figure II-15). Cette partie présente un bref sommaire des applications de la RV dans ces secteurs.

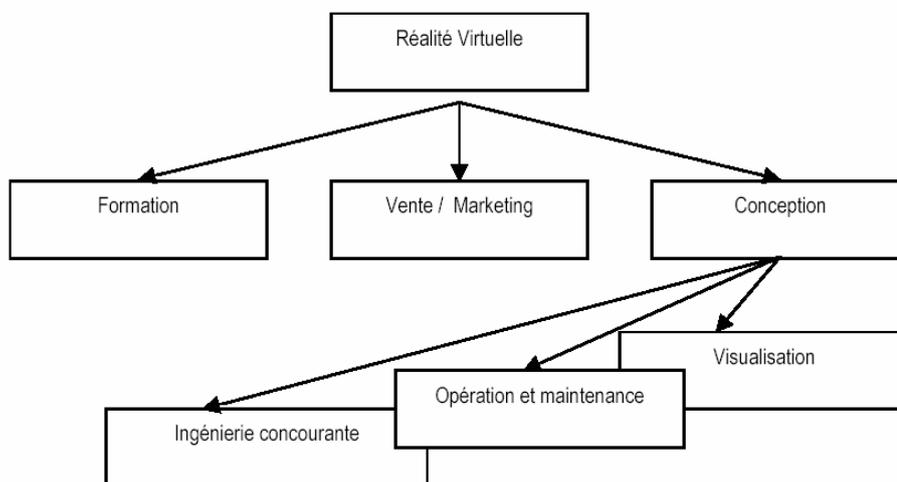


Figure II-15 : classification des outils et applications de la RV

II.1.4.a Formation

La RV a un potentiel considérable pour la formation des personnes dans beaucoup de situations qui sont ou potentiellement dangereuses et coûteuses. Outre les applications SNCF, Déjà citées, on peut parler de la formation à la conduite des opérations d'intervention sur les sites nucléaires à EDF, la formation au soudage à l'AFPA en France. Cependant, les exemples évidents incluent : la simulation de vol, la création des scénarios de champ de bataille pour les forces

militaires, l'entraînement du personnel de secours, la chaîne de formation pour les opérations d'assemblage et de production, et la formation d'entretien. Ainsi, la RV est également employée intensivement dans le domaine médical pour la formation chirurgicale.

Pendant les conceptions des systèmes éducatifs, les limites apparaissent immédiatement. Un certain aspect de la pédagogie ne peut pas trouver une réponse dans l'application de RV. Ces limites impliquent une réduction de fonctionnalités et doivent être maintenues dans l'esprit afin d'adapter la pédagogie, et les fonctions découvertes devront être traitées par un autre moyen. Le réalisme dans toutes les dimensions n'est pas toujours une bonne approche et souvent non nécessaire. La simplification d'un simulateur est toujours une bonne idée en pédagogie pour aider le stagiaire à se concentrer.

II.1.4.b Vente et marketing

L'utilisation de la RV à des fins promotionnelles a eu beaucoup de succès dans plusieurs sociétés de vente immobilière. L'accès, par conséquent, facile pour regarder un bâtiment pour des clients serait un avantage supplémentaire. Il peut également être employé pour :

- . →attirer des clients aux salles des expositions et aux musées
- . →mettre des annonces pour des appartements à vendre
- . →générer des intérêts à la publicité.

II.1.4.c Conception

Le Prototypage Numérique est une étape importante du cycle de vie de n'importe quel produit. Il comporte la création des modèles de CAO du produit pour effectuer l'analyse de conception avant de lancer la production. Les systèmes de CAO courants sont raisonnablement développés pour soutenir la conception détaillée des procédures et des processus qui ne permettent pas aux concepteurs d'évaluer des issues de facteur humain telles que l'entretien, d'opération, de sécurité ou de secours, etc...

La RV et le développement des environnements virtuels (EV) ont eu un impact significatif sur la façon dont les ingénieurs ont pu exposer leurs projets et l'information associée dans le processus de conception devant les clients.

Visualisation

La RV a une capacité à gérer différents types de données sous une forme intuitive. À un niveau simple, la RV est idéale pour présenter un déplacement (walk through) dans de grands projets de construction. L'avantage de la RV est qu'elle permet à des professionnels de traduire des plans de bâtiment et des diagrammes schématiques en 3D, que chacun peut comprendre. Cependant, la RV peut être employée pour voir n'importe quelle couche sous quelle perspective que ce soit pour répondre à des contraintes environnementales, telles que l'impact visuel lié aux projets de construction, à un bon nombre de pièces et d'objets dans un processus de conception complexe. Ceci caractérise la conception et la compréhension de beaucoup d'usines avec leurs procédures de production et leurs canalisations étendues.

Beaucoup d'entreprises des secteurs de la construction aéronautique et de la construction automobile emploient la RV, par exemple: Renault, Peugeot, Ford, BMW, Volkswagen, Rolls Royce et McDonnell Douglas l'emploient pour la visualisation interactive des conceptions complexes. Ici le but est de visualiser comment les pièces sophistiquées d'assemblage s'adapteront ensemble et comprendront leurs rapports spatiaux. Une telle visualisation permet

aux concepteurs de détecter des défauts de conception aux premières parties du cycle de vie de produit tout en économisant l'argent.

Opération et maintenance

La RV peut être employée pour évaluer l'opération et l'entretien des bâtiments et des produits mécaniques : par exemple, une fois qu'un bâtiment est conçu, les concepteurs peuvent employer la RV pour aller à l'intérieur du bâtiment afin d'évaluer diverses tâches et activités humaines. Ceci peut aider des entreprises à projeter de nouvelles procédures de fabrication et d'entretien. L'utilisation de la RV permet aux usines d'introduire des études ergonomiques dans leurs conceptions en examinant des considérations telles que la façon d'assembler et de maintenir un moteur, charger une voiture et actionner une machine de terrassement.

Ingénierie concourante et collaborative

Les entreprises adoptent maintenant la technologie concourante et le travail collaboratif en considérant les problèmes en amont du cycle de vie du produit pendant les étapes préliminaires de conception. L'adoption de cette approche doit se justifier par la recherche de la réduction des malentendus et des problèmes imprévus durant la phase de conception de son cycle de vie. Cette approche améliore le temps, les coûts et les économies. Par conséquent, elle augmente la qualité globale de la satisfaction du produit et du client.

Cependant, afin de mettre en application ce concept concourant dans la construction, les problèmes de cycle de vie, les incidences sur l'environnement, la planification d'espace, l'entretien, les difficultés opérationnelles, l'évacuation de secours, la sécurité et la construction, doivent être considérés dès la phase de conception.

En conséquence, les différents acteurs tels que les planificateurs, les architectes, les concepteurs, les ingénieurs civils, les entrepreneurs, les ingénieurs d'entretien et le besoin de personnel de sécurité doivent se rassembler pour passer en revue les conceptions et pour parvenir à un commun accord. Actuellement, de telles études de conception et briefings multidisciplinaires ont lieu autour des plans 2D qui sont sujets à une fausse interprétation par ces personnes moins accoutumées à les interpréter.

La RV peut être employée de manière à faciliter de telles réunions multidisciplinaires et à surmonter les limitations inhérentes aux schémas 2D. La RV peut être adoptée comme un outil améliorant la communication pour donner des idées de conception à d'autres membres de l'équipe.

Un autre problème afférent à la conception concourante et collaborative réside dans la difficulté d'installer tous les membres d'équipe nécessaires pour conduire des études de conception. Ceci peut être long et coûteux pour les organismes qui sont géographiquement distribués. Plusieurs compagnies évaluent maintenant les environnements virtuels distribués comme une manière de soutenir la technologie des équipes concourantes distribuées.

Aujourd'hui, les compagnies sont de plus en plus concernées par le développement d'applications impliquant plusieurs utilisateurs. Ces applications collaboratives peuvent améliorer l'efficacité en créant les zones de travail qui fournissent un forum pour un échange plus facile entre les membres éloignés. Néanmoins, les compagnies ont besoin de moyens efficaces pour maintenir des projets et contrôler le temps et les coûts du développement.

Grâce à cet exposé de quelques outils du marché, nous pouvons déterminer le but de l'utilisation de la RV qui permet d'avoir :

- . →une analyse spatiale en temps réel pour des vérifications en amont.
- . →une évaluation des accès pour les services d'entretien et de secours ou pour l'utilisation de grandes machines d'intervention pendant le cycle de vie du bâtiment.
- . →une évaluation de la construction des environnements dangereux pour les êtres humains.
- . →une surveillance de l'évolution du produit et une évaluation visuelle de son ordonnancement.
- . →une appréciation de la valeur esthétique et une aide à la solution des problèmes d'interface entre les différentes disciplines et acteurs.
- . →une facilité des opérations de maintenance, une rénovation des équipements existants et un jugement des scénarii pour les présenter d'une façon simple à la compréhension.

II.2 Différentes approches de recherche et développement

II.2.1 Grandes tendances de la recherche

Au cours de la partie II.1, nous avons pu voir l'émergence de la RV dans différentes disciplines. Elle résulte d'un assemblage de technologies dont les origines se situent autour des années 50, et sa reconnaissance (le terme « Réalité virtuelle » est introduit en 1989) comme une technologie à part entière fut beaucoup plus tardive. La RV se base sur 3 principes :

L'immersion, l'interaction, et l'interactivité.

Ces trois conditions sont essentielles pour qualifier une application de RV, mais elles interviennent de façon plus ou moins importante au sein d'un même projet en fonction du contexte et des objectifs du projet. Nous allons étudier différents projets de recherche nationaux, européens et internationaux qui traitent la RV. Au début, nous allons exposer ces projets de recherche qui touchent à la RV général, puis, nous allons citer quelques projets spécifiquement liés au bâtiment.

II.2.1.a Projets de recherche

De nombreux programmes de recherche portent sur la Réalité Virtuelle. L'objectif est de répondre à une forte demande des acteurs de ce secteur qui souhaitent s'orienter vers une ingénierie concourante puis plus largement, un travail coopératif durant le processus de production.

Plusieurs tentatives répondent à ces préoccupations, Tableau II-1 : Un descriptif comparatif des projets divers, à l'échelle nationale, européenne et internationale en poursuivant le même but : D'agir et collaborer sur des objets virtuels complexes, de développer de nouveaux algorithmes afin d'améliorer et d'accélérer le processus de génération d'images de synthèse dans des environnements immersifs, d'augmenter le réalisme des environnements virtuels et d'utiliser ces environnements pour un apprentissage. L'objectif à terme est, donc, de contribuer à rendre l'interaction avec les mondes virtuels aussi simple, intuitive et confortable que l'interaction avec les mondes réels. Ils s'appuient alors sur des formats de fichiers particuliers utilisés par la norme STEP pour la représentation et l'échange de données entre les divers environnements métiers tout le long du cycle de vie du produit.

projets	Année/Etablissement	Objectifs	Référence
V-MAN	2000, CSTB	De créer, d'animer, de commander et d'agir sur des personnages virtuels en 3D.	http://cic.cstb.fr/ilc/ecprojec/vman/home.htm
VISICADE	2000, CSTB	Des tâches d'IAO (Interaction Assistée par Ordinateur) dans la RV pour réduire les intervalles de temps des procédures de modelage et d'évaluation.	http://cic.cstb.fr/ilc/ecprojec/visicade/home.htm
SIAMES	2000, INRIA	De simuler les mouvements et la réalité virtuelle. De réaliser des modèles « physiques », dont les caractéristiques sont données par des lois mécaniques.	http://www.openMASK.org http://www.irisa.fr/siames/

I3D	2002, INRIA	De contribuer à rendre l'interaction avec les mondes virtuels aussi simple, intuitive et confortable que l'interaction avec les mondes réels.	http://www.inria.fr
REVES	2002, CSTB, INRETS, INRIA	D'étudier la modélisation cohérente du son et de l'image pour les environnements virtuels. Il est à présent largement reconnu que l'apport de son spatialisé en complément de graphiques 3D convaincants améliore sensiblement la sensation d'immersion et de présence dans les environnements virtuels.	http://ralyx.inria.fr/2002/Raweb/reves/uid54.html
PREDIT	2003, CSTB, INRIA	De développer des outils pour le rendu non-photoréaliste (type « dessin » ou plus généralement de style artistique), dans des environnements immersifs.	http://www-sop.inria.fr/reves http://www-sop.inria.fr/reves/Archeos http://www.cs.ucl.ac.uk/create
ALCOVE	2003, INRIA, CNRS	De proposer un terminal de travail (interfaces visuelle et gestuelle, simulation et réseau) permettant à une équipe chirurgicale répartie (chaque participant est devant son terminal) de faire un diagnostic médical d'un patient reconstruit en 3D.	http://www2.lifl.fr/GRAPHIX/index.php
EVASION	2003, INRIA	De développement d'outils permettant de concevoir, puis d'utiliser des maquettes numériques 3D, dans le cadre d'applications de taille significative (complexité importante).	http://www-imagis.imag.fr/
VISTA	2003, IRISA, INRIA	De s'intéresser aux problèmes du contrôle de caméra dans des environnements virtuels et aux problèmes de réalité augmentée temps réel	http://www.irisa.fr/vista

Tableau II-1 : Un descriptif comparatif des projets divers

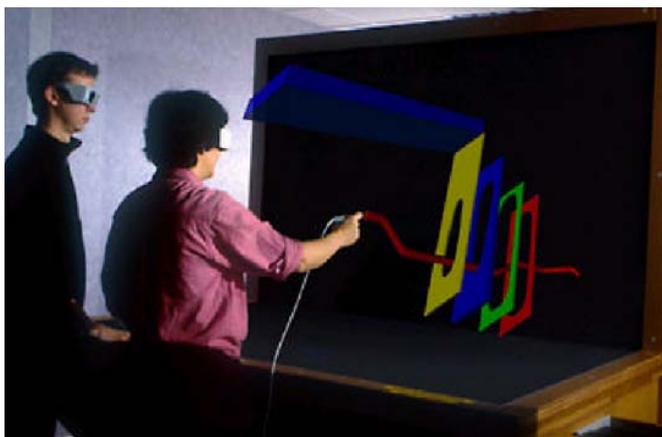


Figure II-16 : Projet I3D : Workbench de l'Inria Rocquencourt

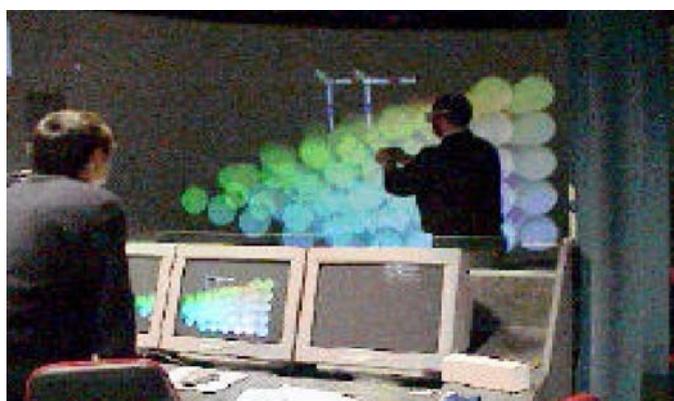


Figure II-17 : Projet VISTA : Interaction et visualisation immersive à l'INRIA Rennes

II.2.2 Projets de recherche spécifiques à la construction

La prise de conscience des avantages potentiels offerts par ces nouvelles technologies, ainsi, que les résultats tangibles de l'application de celles-ci dans le domaine industriel, ont été le déclencheur de nombreux travaux de recherche et de développement dans le domaine de la construction. Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) en France, a pris une part active dans ces projets. Nous allons présenter différents projets nationaux, européens et internationaux, proches de notre travail de thèse, qui sont : 3D au ND, SPICE, GALLICON et DIVERCITY.

En 2002 et 2003, le projet « 3D au ND » vise la conception du bâtiment avec un outil qui permet à des utilisateurs de créer, partager, observer et appliquer la connaissance à partir des perspectives multiples exigées par l'utilisateur. Son objectif est de développer l'infrastructure, les méthodologies et les technologies qui faciliteront l'intégration du temps, du coût, de l'accessibilité, de l'entretien, de l'acoustique, de l'éclairage et des conditions thermiques. L'outil permettra à des professionnels de construction d'exécuter et d'analyser à un instant « T » un projet, basé sur la manipulation et l'impact des changements aux paramètres mentionnés ci-dessus, de sorte que des décisions puissent être prises. Ce projet a été financé par le conseil des recherches d'ingénierie et des sciences physiques (EPSRC = the Engineering and Physical Sciences Research Council) de l'Université de Salford. [Lie, 2003]

En 2000 et 2001, le projet SPICE, de l'Université de Salford, a développé un ensemble des processus qui organise une partie importante des processus dans la construction et met en place des méthodes successives pour la gestion durant la phase de maintenance. Le modèle permet une amélioration continue des étapes. Le projet s'est concentré au niveau plus bas du modèle conceptuel et il a examiné une série d'études approfondies sur des projets de construction. Le cadre de l'SPICE FM a été employé par plusieurs hôpitaux et une grande chaîne de magasins de vente. Le résultat est, donc, une amélioration des processus pour les entreprises de construction. [Voir <http://www.construct-it.org.uk/>]

En 2000 et 2001, GALLICON est un projet de recherche financé par le département de l'environnement, du transport et des régions (DETR) du Royaume-Uni. Il a été entrepris par l'université de Salford pendant la période de mars 1999 jusqu'à octobre 2000 en collaboration avec Galliford, eaux de Gallois, EC Harris et maisons de Stamford. Le but de Gallicon était de démontrer les avantages des technologies de la RV intégrés aux logements dans les secteurs de l'industrie du bâtiment. Ces avantages sont représentés par la rapidité d'accès à l'information, le travail collaboratif et la gestion des données liées au bâtiment. [<http://www.scpm.salford.ac.uk/gallicon>]

DIVERCITY est un projet de 30 mois financé en partie par le programme européen IST^{1,2}, qui a commencé début 2000. Le but de DIVERCITY est de développer une zone de travail virtuelle qui vise à améliorer le processus en trois phases de construction de bâtiments:

- . →réunion de client : avec l'interaction détaillée entre le client et l'architecte;
- . →étude de conception : ce qui exige l'entrée détaillée des équipes, des architectes, des ingénieurs, des directeurs de service, etc.. multidisciplinaires
- . →construction : viser à montrer comment à la disposition l'emplacement et à construire le bâtiment sur cet emplacement. [<http://www.e-divercity.com/>]

¹ Les Technologies de société de l'information des syndicats

Le secteur de la construction se prête bien à l'utilisation de la RV pour la conception et le suivi de projet. Dans ce secteur d'activités, les métiers sont nombreux et variés. Le point commun fondamental des acteurs de la construction est l'ouvrage. Ce dernier prend une place centrale dans le processus de construction. Un environnement virtuel (EV) est un support de communication, grâce à sa représentation universelle sous forme 3D, et compréhensible par tous. Donc, l'EV a le potentiel d'améliorer considérablement la communication inter-métiers. Cette communication est basée sur des procédures séquentielles de conception par un enrichissement progressif de l'EV grâce à l'ajout de données techniques propres à chaque corps de métiers. Les projets de recherches exposés ci-dessus partent dans ce sens là, et nous observons le manque de projets qui touchent à la phase de maintenance et d'exploitation des édifices, malgré l'ampleur et la richesse de cette phase (voir le chapitre I).

II.2.3 Approches techniques choisies

La représentation des informations manipulées lors de la conception a constitué en soi un thème d'études depuis les débuts de la CAO. Toutefois, dans les années 80, il s'agissait de permettre aux applications CAO, aux applications de conception et aux logiciels de calculs le plus souvent écrits en Fortran, la manipulation de leurs données propres. Dans ce contexte, l'architecture applicative des logiciels CAO était construite autour d'un modèle rigide de données comme les modèles Z, NIAM ou Merise (voir le chapitre I.2.3). L'archétype en était le modèle de l'arrête ailée pour représenter les solides B-Rep (voir le chapitre II.2.3.a.1). Ces modèles privilégiaient la performance des algorithmes d'accès aux données. Les besoins fonctionnels croissants des applications, la nécessité d'accéder à des données communes à partir d'applicatifs distincts (module FAO, Modélisation géométrique, maillage...) et surtout la nécessité de permettre des adjonctions et des modifications sur les modèles de données ont mis en évidence la nécessaire refonte des architectures en s'appuyant sur un nouveau modèle de développement plus souple. Les modèles objets se sont alors généralisés au début des années 90 avec C++ comme langage support. Par ailleurs, le besoin d'échanges entre applications a rapidement conduit dès les années 80 à des formats neutres (IGES, SET, DXF) qui ont montré leurs limites dès lors que l'objectif de l'ingénierie concurrente a mis en évidence la nécessité du partage de l'information et non plus seulement d'échanges ponctuels.

Au départ du processus de la modélisation géométrique, les objets de la scène ont été modélisés par des outils (modeleurs CAO) qui peuvent exploiter plusieurs types de modèles géométriques (ex : NURBS, ...) qui nécessitent une conversion en un ensemble de facettes polygonales planes pour les intégrer dans l'application (le moteur) de Réalité Virtuelle. Cette conversion est généralement effectuée avec une perte d'information car l'ensemble des facettes polygonales planes ne représente qu'une vue approchée de la surface initiale.

- . →quels objets cherche t-on à modéliser ?
- . →comment sont-ils représentés ?
- . →quels sont les critères de comparaison entre les différentes représentations ?

La réponse à ces questions conduit à la problématique et aux fondements de la modélisation géométrique¹ solide à travers les représentations les plus classiques.

II.2.3.a Informations géométriques d'une scène virtuelle

D'après [Foley, 1982 ; Hégron, 1985; Foley, 1995; Peroche, 1998], l'exploitation d'une scène virtuelle est réalisée par le traitement de modèles que ce soit pour la forme des objets, leur aspect et leur mobilité. Comme le montre la figure II.18, une scène virtuelle est, donc, composée de plusieurs objets qui sont fréquemment organisés selon une représentation hiérarchique arborescente. Les informations géométriques d'une scène virtuelle décrivent cette représentation hiérarchique des objets physiques (les modèles géométriques) et ces mouvements relatifs (les modèles de mouvement).

¹ « Un modèle géométrique solide est une représentation mathématique (non ambiguë et complète) de la forme d'un objet physique afin de la traiter sur ordinateur », page 372 de [Mortenson, 1985].

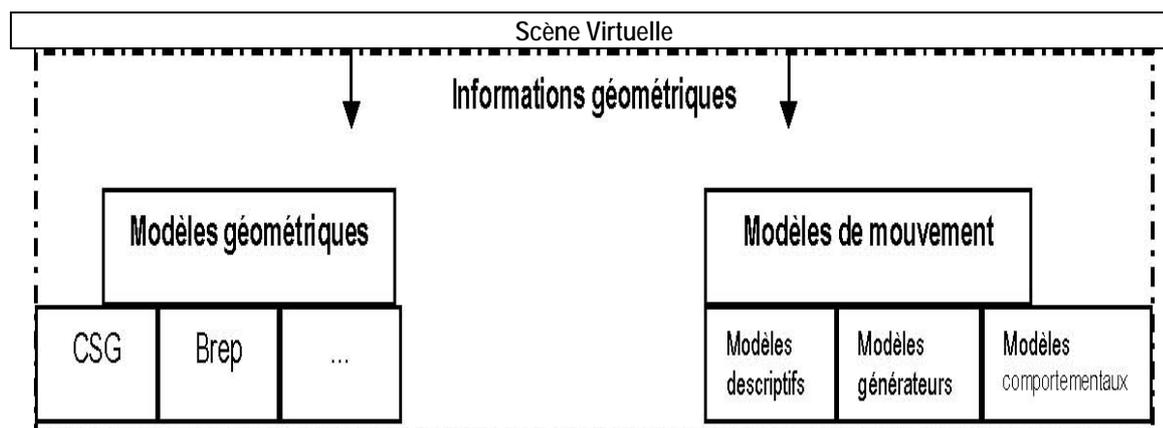


Figure II-18 : les informations géométriques dans une scène virtuelle

Modèles géométriques

Concernant les modèles géométriques, la représentation hiérarchique des objets physiques, le problème consiste essentiellement à décrire sous une forme mathématique la frontière entre l'intérieur et l'extérieur de l'objet. Explicitement, différentes techniques sont utilisables (voir III.3.1.a). Il y a plusieurs types de modèles géométriques qui ont été décrits par [Mortenson, 1985], [Foley, 1995]. Au début, il faut savoir définir ce qu'on l'on cherche à représenter. La représentation des modèles géométriques varie d'une application à une autre. De nombreux modèles existent, les modèles qui nous intéressent sont : les modèles Booléens (ou CSG¹), et la représentation frontière (ou Brep²).

Le CSG, comme le montre la Figure II-19, est un arbre binaire dont les feuilles sont des « primitives géométriques » (boite, cylindre, cône,...) et les nœuds des opérateurs booléens régularisés (Union, Intersection, Substruction). Pour les opérations élémentaires de la manipulation du CSG, les transformations géométriques élémentaires s'appliquent simplement aux feuilles de l'arbre : en modifiant la position des primitives (rotation, translation,...) et leurs dimensions (changement d'échelle,...). Les opérations booléennes ne nécessitent aucun algorithme complexe. Le modèle CSG est ergonomique et est proposé par tous les grands modeleurs 3D. Le CSG est, donc, le modèle privilégié de la CAO mécanique, mais il peut aussi être utilisé dans d'autres domaines d'application. C'est le modèle le plus ergonomique. Généralement, il est utilisé avec un modèle B-rep calculé automatiquement.

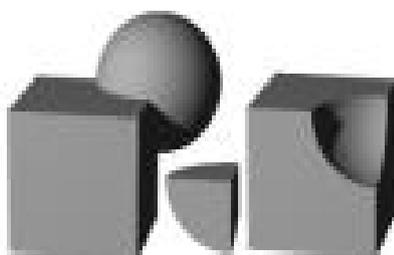


Figure II-19 : Modèle CSG

¹ CSG : Constructive Solid Geometry

² Brep: Boundary REPresentation

Le Brep, comme le montre la Figure III-20, est décrit par sa frontière qui sépare les points intérieurs des points extérieurs. Une frontière est représentée par 3 ensembles: Sommets (S), Arêtes (A), Faces (F). Les méthodes pour le calcul et la localisation d'un point sont simples et efficaces. La manipulation en 2D de ce modèle est généralement correcte. Mais en 3D, la manipulation devient difficile et nécessite des outils vérifiant la validité de la structure. Pour cette représentation, il y a eu le plus de travail de recherche et développement ce qui lui permet d'être la plus utilisée. Néanmoins, le traitement des polyèdres à faces quelconques est encore mal résolu à ce jour.

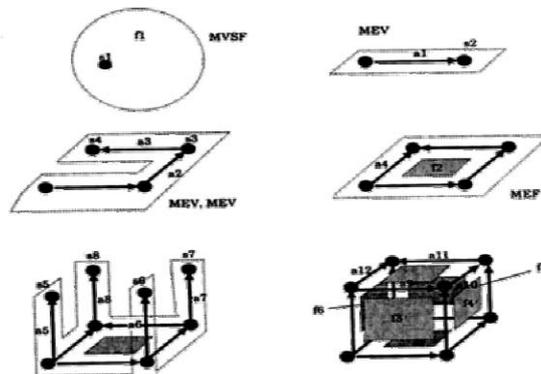


Figure III-20 : Modèle Brep

Comme nous l'avons vu, les représentations ne sont pas équivalentes. Cette rubrique montre que le CSG est le modèle le plus interactif et que le Brep est le modèle qui offre le plus large domaine de représentation.

Les représentations solides ont des qualités complémentaires. De nombreuses personnes ont travaillé sur des algorithmes qui permettent le passage d'un modèle à un autre. A partir de ce point de vue, les représentations ne sont pas équivalentes et, certains modèles contenant plus d'informations que d'autres. Par exemple : le passage du modèle CSG vers Brep.

Typologie des Informations géométriques

Notre intérêt se porte sur les modèles génériques qui correspondent le mieux à nos besoins en terme de modélisation des informations géométriques du patrimoine construit. Nous cherchons à modéliser le patrimoine construit dans son ensemble, ce qui élimine les modèles partiels de données. Cependant, la sémantique est primordiale dans notre travail. Les modèles susceptibles de correspondre à nos besoins de modélisation sont la norme STEP, et la norme IFC.

STEP est la norme ISO10303. C'est un standard de référence pour l'échange de données définissant des produits industriels, né du besoin exprimé par le milieu industriel. Cette norme vient à la suite de projets internationaux (IGES, SET, VDA, etc.) ainsi que des formats propriétaires (DWG, DXF, etc.) [Ameziane, 1995]. STEP est le fruit d'une réflexion visant à permettre la description de toutes les données de définition de produit, sans se limiter à la seule information géométrique, en s'intéressant autant au contenu du modèle qu'au format physique d'échange. STEP s'attache à une description exhaustive des caractéristiques physiques et fonctionnelles de n'importe quel produit industriel, tout au long de son cycle de vie.

En dépit du caractère normatif fortement marqué, ce projet conserve un aspect « recherche »

important. En particulier, de nombreux projets bénéficient des avancées de la norme et contribuent en contrepartie à enrichir le processus de normalisation. Ces échanges sont particulièrement importants dans le secteur de la construction même s'il est tardivement impliqué dans le processus de normalisation. Ce domaine est devenu un des secteurs les plus actifs de STEP. Cette implication a pu contribuer aux projets européens comme les projets COMBINE, COMBI qui ont été brièvement abordés dans le chapitre précédent.

Le protocole d'application 225 (Structural Buildings Elements Using Explicit Shape Information) a été le premier modèle normatif à être mis en œuvre au sein des systèmes informatiques de la profession. Il contient une description des éléments de construction à partir de leur représentation tridimensionnelle. Ainsi, ce protocole compose une première brique¹ fondamentale pour la représentation des informations techniques nécessaires à la description des éléments constitutifs d'un projet de construction, tels que les éléments de structure (poutres, murs, dalles, ...) l'enveloppe, les équipements et les espaces. Ce protocole se focalise également sur les arrangements de ces éléments et sur la représentation explicite de la géométrie.

La représentation des formes par l'AP225 est combinée par les données issues de la CSG et le Brep (voir II.2.3.a.).

L'IAI² en charge de la spécification des IFC³ regroupe quelques majors de chacun des domaines impliqués, comme des éditeurs de logiciels (Autodesk, Bentley, Nemetschek,...) des entreprises de construction ou cabinets d'architecture (HOK, Turner Construction Company,...), des bureaux d'ingénierie (Ove Arup, Naoki System, ...), des équipements (Carrier, AT&T,...) etc. En terme de spécification du modèle, les IFC sont librement inspirées du Building Construction Core Model (BBCM), avec toutefois une architecture un peu différente. (Voir le paragraphe I.2.2.a, [IAIF], [CICS] et [Billon, 1999] pour plus d'informations sur le modèle descriptif des données géométriques et alphanumériques des IFC).

Ces deux modèles IFC et STEP, présentés ci-dessus, pourraient correspondre à nos besoins en terme de gestion de données alphanumériques (I.2.2.a) et de données géométriques (II.2.3.a.1). Le processus de normalisation dans STEP ne prévoit que des solutions à moyen terme en fournissant une norme pour les échanges d'informations géométriques, tandis que le concept des IFC vise l'interopérabilité à long terme. Ainsi, le modèle des IFC, contrairement au modèle STEP, a été notamment conçu pour modéliser l'activité et les produits du bâtiment. Les IFC ont bénéficié des points forts de la norme STEP, ainsi des nombreux projets internationaux.

Après avoir décrit la gestion des données géométriques et les différentes normes de descriptions et d'échanges d'informations, nous allons exposer sous la rubrique suivante les différents outils, dans le domaine mécanique et architectural, les plus évolués sur le marché, qui traitent la gestion des données alphanumériques et géométriques dans le monde virtuel.

Modèles de mouvement

Concernant les modèles des mouvements relatifs aux objets, selon [Arnaldi, 1988] et [Arnaldi, 1994], nous distinguons trois classes de modèles de mouvement dans la littérature scientifique : les modèles descriptifs, générateurs et comportementaux.

¹ Une partie d'un système informatique

² International Alliance for Interoperability

³ Industry Foundation Classes

D'après [Reeves, 1981] et [Steketee, 1985], les modèles descriptifs sont préenregistrés et nous ne pouvons contrôler que le déclenchement du mouvement et sa trajectoire. Donc, c'est une représentation fondée sur la description des effets des mouvements (modèles phénoménologiques) sous la forme de trajectoires spatio-temporelles.

D'après [Hégron, 1995], les modèles générateurs sont basés sur l'action de l'utilisateur qui entre les paramètres dans un système d'équations différentielles définis. Par exemple : une interaction avec retour d'efforts où les inerties engendrées lors d'une manipulation pour les transmettre ensuite au dispositif haptique.

D'après [Donikian, 1994], les modèles comportementaux ont pour vocation de donner de l'autonomie à l'objet. Par exemple : le traitement d'humains virtuels autonomes capables d'agir et de réagir dans l'environnement virtuel.

Nous n'allons pas rentrer dans les principes des principaux algorithmes de transformation, mais nous allons exposer les normes essentielles à la représentation de la typologie des informations géométriques (les modèles géométriques et les modèles de mouvement) qui peuvent intéresser notre travail (voir 1.2.4.c).

II.2.4 Conclusion

La RV est employée dans plusieurs domaines d'application tels que la technologie, la construction, la médecine, le militaire etc. [Lourdeaux, 2001] À présent, il existe peu de sources de réflexions appliquées à la Gestion Technique de Patrimoine Construit dans le domaine de la RV [Valande, 2004].

Pour que la gestion technique du patrimoine construit (GTPC) exploite suffisamment la RV, il faut prendre en considération plusieurs aspects :

- . →d'une part, comment résoudre le facteur d'interactivité avec le monde virtuel ?
- . →et d'autre part, savoir comment maîtriser, capitaliser, mettre à disposition auprès des acteurs les informations nécessaires, afin de les retrouver, les comprendre et de les interpréter correctement tout au long du cycle de vie du bâtiment.

Pour notre recherche, nous pouvons profiter des usages et des avantages de la RV pour faire face aux problématiques de la gestion technique et la maintenance du patrimoine construit. Notamment, et après avoir présenté notre état de l'art, nous allons citer, dans l'introduction du chapitre suivant, les objectifs de notre travail que nous avons pu fixer.

III Un système d'information pour le patrimoine construit via la Réalité Virtuelle

Comme nous l'avons signalé dans le chapitre I, de nombreux programmes de recherche portent sur la gestion des informations relatives à la description d'un bâtiment durant son cycle de vie. Les objectifs répondent à une forte demande des acteurs dans ce secteur qui souhaitent la mise en place d'un travail coopératif durant le processus d'exploitation et de maintenance et permettant d'assurer la continuité d'informations de plus en plus complexes et variées.

Notre contribution à l'élaboration d'un système d'information pour le bâtiment s'inscrit dans cette démarche et plus particulièrement lors de la phase de maintenance et d'exploitation. Il a pour ambition d'apporter des réponses au caractère pluridisciplinaire des métiers qui interviennent dans la gestion technique de cette phase.

Nous nous concentrerons, dans un premier temps, sur la gestion des accès aux informations qui décrivent l'édifice, en prenant en compte le contexte métier d'un grand gestionnaire immobilier tel que la SNCF. Il s'agit de montrer que le contenu utile à la réalisation de la mission d'un expert dans l'immobilier peut être extrait d'un ensemble exhaustif d'informations maintenues au sein du système. Dans ce but, nous proposons une représentation de la mission d'un acteur, auquel nous attachons un profil d'accès personnalisable qui évolue dans le temps. Le contenu filtré (données graphiques et non graphiques) constitue une interface d'accès privilégiée aux données de la base du projet d'architecture représentées dans le monde virtuel. Nous parlerons d' « interface virtuelle adaptative ».

Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à la représentation, à l'accès aux informations du projet de construction et à leur réutilisation en fonction d'un métier particulier. En outre, nous nous pencherons sur la manière d'enrichir le système et la façon la plus ergonomique de le mettre à jour. Grâce à des outils d'aide à la prescription, notre ambition est d'améliorer l'étape fastidieuse, mais déterminante, qui consiste à décrire les ouvrages de l'édifice avec des produits industrialisés. Notre démarche d'aide à la prescription s'appuie essentiellement sur la possibilité d'accéder, d'une part, à un entrepôt de données produits (Data Warehouse) structuré par thèmes métiers (suivant différents aspects et niveaux) et, d'autre part, à des solutions techniques capitalisées de projets antérieurs comme éléments de comparaison. La typologie des données acquises du patrimoine décrit les ouvrages et leurs activités pendant leur cycle de vie. Nous parlerons de « mémoire du patrimoine ».

Enfin, dans un troisième temps, nous pensons que la mise à disposition d'un tel entrepôt de données constitue une opportunité pour observer les comportements des prescripteurs grâce aux techniques d'exploration de données (data mining). Le contrôle de la gestion technique immobilière est pointé sur une observation « macro » et « micro » du patrimoine construit. Cependant, des connaissances concernant le domaine de l'aide à la décision dans le secteur de la maintenance et l'exploitation seront intégrées dans notre système d'information. Nous parlerons de chemins de prescription comme alternatives de recherche d'un produit manufacturé.

III.1 Modèle du patrimoine construit

III.1.1 Principaux dysfonctionnements et exigences identifiés

La SNCF dispose de 115 000 hectares et 14 millions de mètres carrés de bâtiments construits situés sur 11000 communes ce qui présente le 2ème patrimoine en France après celui de l'Etat. Si, nous ne pouvons pas résoudre tous les problèmes liés à la gestion technique de son patrimoine immobilier, nous allons, néanmoins, essayer de spécifier notre critique sur les outils à cette gestion immobilière disponibles au sein de la SNCF.

Le système d'information existant actuellement au sein de la SNCF répond avec difficulté aux besoins de connaissance du patrimoine, bien que DAAB²⁸ et la DDG²⁹ s'efforcent ensemble d'améliorer la situation. Suite à une étude menée par DI³⁰, nous avons pu constater plusieurs problématiques. Nous ne pouvons pas résoudre tous les dysfonctionnements liés à la gestion technique du patrimoine immobilier, mais, pour autant, nous allons en citer quelques-uns afin d'essayer de contribuer à une légère amélioration du système existant :

- . →les gros travaux d'entretien sont décidés annuellement sans stratégie durable d'où l'absence de schéma pluri-annuel de maintenance et de rénovation.
- . →les informations liées aux activités locales d'exploitation et de maintenance ne sont pas connues au niveau national, et la politique de maintenance n'est pas déterminée sur la base de l'état du patrimoine. Ce sont les axes stratégiques qui décident la mise en place de cette politique. Il y a, donc, une insuffisance de consolidation de la remontée de l'information du niveau local au niveau stratégique national.
- . →les rôles des différents acteurs stratégiques régionaux ou nationaux font l'objet d'une interprétation variée sur les choix d'investissements qui sont parfois contestés, par les acteurs opérationnels.
- . →En outre, des écarts de surfaces existent entre les surfaces répertoriées dans la base de données géométriques (COPI) (voir le chapitre I.2.1.b) et les surfaces réelles. Cette différenciation de superficies s'explique par des origines des données différentes n'ayant pas la même définition ni la même précision. Aujourd'hui, le système actuel ne permet, donc, pas d'affecter de manière rigoureuse les charges par bâtiment.

Du fait de ces défauts, et des problématiques citées dans le chapitre I (voir le chapitre I.1.4), nous pouvons définir les grandes lignes de notre projet et ses champs de déploiement dans le paragraphe suivant.

Le projet RVGT se situe dans le prolongement des travaux de recherche du MAP-GAMSAU. Ce dernier contribue à l'étude et à la mise en place d'un système de gestion coopérative d'informations du bâtiment qui serait initié durant la phase d'ingénierie, enrichi durant la réalisation et maintenu, dans les phases d'exploitation et de maintenance, par le propriétaire. Ce projet conduit logiquement à s'intéresser aux questions relatives à l'archivage, au partage et à

²⁸ Direction de l'Architecture, d'Aménagement et des Bâtiments

²⁹ Direction des Gares et de l'Escale

³⁰ Direction de l'Immobilier

l'échange d'informations selon une approche concourante. Ces informations préexistantes et distribuées complètent une description morphologique élaborée à l'aide d'un système traditionnel de CAO. Les travaux entrepris se focalisent sur la gestion de la description d'un bâtiment qui se compose d'objets architecturaux identifiables, mis en relation selon des règles établies [Améziane, 1998] (voir la Figure III-1).

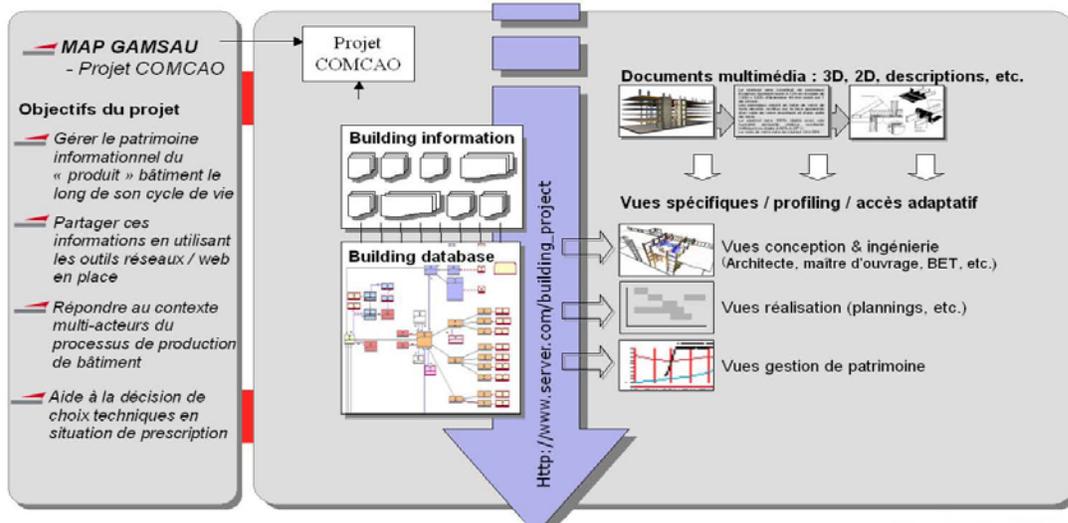


Figure III-1 : Le projet "Communication et Outils de CAO"

C'est sur la base de ce programme et de ses premiers résultats que nous intervenons, en situant plus particulièrement notre contribution dans le domaine de la gestion des accès aux bases de données manipulées en situation de maintenance et d'exploitation. Les notions de profils d'acteurs, de base de données partagées et de travail coopératif sont privilégiées. Nous nous focalisons notamment sur l'enrichissement structurel du schéma de données pour intégrer des données métiers et préparer le système à une aide à la décision.

Le premier objectif de notre travail est de proposer une description du bâtiment s'appuyant sur la norme IFC (Industry Foundation Classes) et tenant compte des spécificités des grands édifices SNCF.

Le deuxième objectif est de proposer un système d'information et d'aide à la décision pour la gestion technique et pour la maintenance du patrimoine construit, en exploitant les nombreuses possibilités offertes par la RV et en gérant des profils d'acteurs distincts.

Le troisième objectif est de contribuer à la réalisation d'un prototype basé sur un moteur de la réalité virtuelle capable d'exploiter et de valoriser les dispositifs de la RV pour la maintenance du patrimoine construit.

Pour réaliser le premier objectif de notre travail, (la description du patrimoine construit de la SNCF), nous nous sommes intéressés essentiellement à plusieurs éléments principaux qui constituent les pré-requis concernant le choix du modèle de bâtiment ferroviaire. Ce modèle est

défini par :

- . →la typologie caractéristique des données descriptives techniques du bâtiment, « les données alphanumériques »,
- . →« les activités », les procédures et les processus qui font l'objet de la gestion technique d'exploitation et de la maintenance de ce type de bâtiment,
- . →« les acteurs » et les profils distincts,
- . →et finalement, par leurs interrelations « Données + Activités + Acteurs ».

III.1.2 Caractéristiques des données alphanumériques

D'après [Perret, 1998] et [CSTB], les inventaires, les nomenclatures, les récapitulatifs à mettre en œuvre au sein d'une entreprise résultent de son activité de gestion et de son degré de performance et non pas d'un ordre préétabli.

En outre, la spécificité de chaque entreprise impose une réflexion particulière pour définir son système d'inventaire, à l'exclusion des inventaires basiques que les auditeurs connaissent déjà.

D'après le CSTB (cahier 3451, avril 2003), il existe plusieurs types d'inventaires pour mettre en place un système d'information. Cette représentation du patrimoine, selon plusieurs points de vue et d'activités, met en évidence l'existence de plusieurs systèmes d'inventaires qui s'interpénètrent et déterminent le système d'informations d'une direction immobilière. La représentation de l'aménagement, par exemple, s'appuie sur différents inventaires issus des visions spécifiques à chaque gestionnaire intéressé par cet aménagement, et, les fonctions de la direction immobilière et également des directions collatérales (DRH, Informatique...) doivent constituer le système d'informations de l'entreprise. Les inventaires sont :

- . →un inventaire pour chaque fonction
- . →un inventaire en cohérence avec le degré de gestion
- . →un inventaire de l'activité de maintenance technique
- . →un inventaire de la gestion des surfaces
- . →un inventaire de l'activité des entretiens

III.1.2.a Inventaire pour chaque fonction

Le point et la distance d'observation modifient la vision du patrimoine (voir la Figure III-2). Par exemple, un responsable de la gestion stratégique (Asset Management) s'intéresse à une vision globale du patrimoine immobilier, en revanche, un responsable de maintenance s'intéresse aux équipements avec une vision plus proche du terrain.

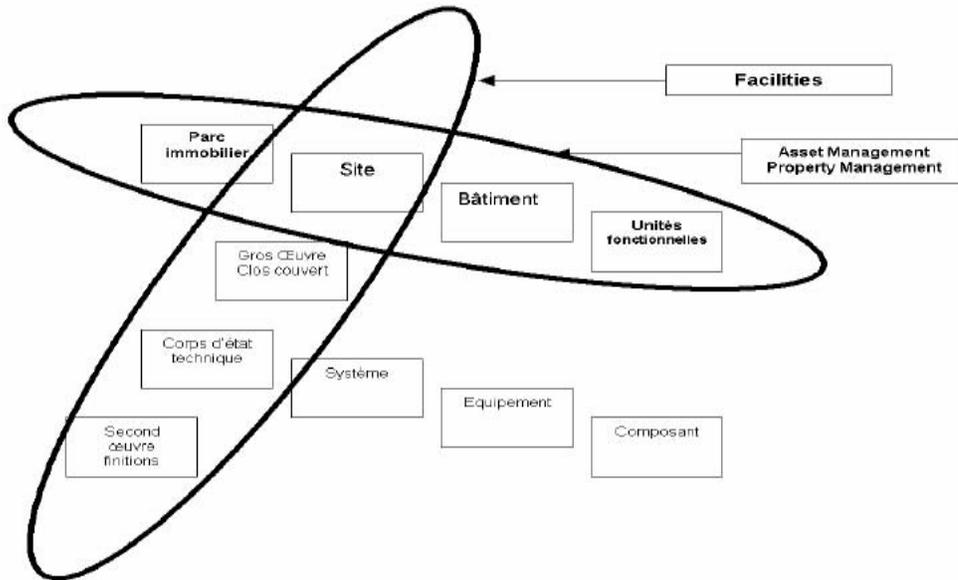


Figure III-2 : Un inventaire pour chaque fonction [cahier 3451, CSTB]

De ce fait, suivant la fonction assurée, le même patrimoine conduit à avoir une vision différente de sa composition, donc de son inventaire.

III.1.2.b Inventaire en cohérence avec le degré de gestion

Dans ce type d'inventaire, il est fondamental de s'interroger sur l'activité de gestion pratiquée ou visée et sur son degré pour déterminer la finesse de la structure d'inventaire. Par exemple, si un degré très élevé de finesse génère un coût inutile, une structure insuffisante génère a contrario une vision limitée du gestionnaire diminuant de fait sa performance.

III.1.2.c Inventaire de l'activité de maintenance technique

Le responsable de la maintenance technique s'intéresse à la gestion de ses équipements et de ses composants (voir la Figure III-3).

Réf. Local	Réf. Lot	Réf. Eqt	Réf. cpt	Description	Fournisseur	Réf. Im	Réf. doc Technique	Date Mise en service	Durée Vie (heures)	Nbre Heures Fonctionnement
A-4-523	CVC	123		Ventilo convect	CIAT	Major 24	123-2000	12/07/2000	100 000	30 000
A-4-523	CVC	124	2	Vanne 3 voies	Landys et Gyr		545-2000	12/07/2001	50 000	25 000

Figure III-3 : Un inventaire de l'activité de maintenance technique

III.1.2.d Un inventaire de la gestion des surfaces

Le responsable de la gestion des surfaces (space management) s'intéresse à l'utilisation des surfaces par activité (voir la Figure III-4).

Réf. Local	Activité	Direction	Service	Nature du local	m ² utile	Classification sécurité	Nb poste de travail
A-4-523	Logistique	D.A.I	M.T	Bureau	17	sans	1
A-4-524	Logistique	D.A.I	M.T	Bureau	15	sans	1
A-4-525	Logistique	D.A.I	M.T	Salle de réunion	25	sans	Personnel affecté JeanMILLARD
A-4-526	Logistique	D.A.I	M.T	Archives	20	C.D.	
A-4-527	Moyen généraux	D.A.I		T.G.B.T	10	habilité	

Figure III-4 : Un inventaire de la gestion des surfaces

III.1.2.e Un inventaire de l'activité des entretiens de 1er degré

Le gestionnaire s'intéresse au nettoyage des surfaces et a besoin en conséquence d'en connaître la nature et la surface (voir la Figure III-5) et, également, de connaître le prestataire en charge du nettoyage et le contrat qui lui est attaché.

Réf. Local	Nature du local	Support sol		Surface vitrée m ²	Entreprise	Réf. Contrat	Date anniversaire du contrat	Durée du contrat
		Nature	Surface m ²					
A-4-523	Bureau	Moquette	17	2,25	ONET	DAI/E/34-2002	01-févr-02	12 mois
A-4-524	Bureau	Moquette	15	2,25	ONET	DAI/E/34-2002	01-févr-02	12 mois
A-4-525	Salle de réunion	Thermo plastique	25	4,5	ONET	DAI/E/34-2002	01-févr-02	12 mois
A-4-526	Archives	Thermo plastique	20	2,25	Clean Service	DAI/E/45-2001	01-sept-01	12 mois
A-4-527	T.G.B.T	Thermo plastique	10	0				

Figure III-5 : Un inventaire de l'activité des entretiens

Chaque activité de gestion de patrimoine s'appuie sur un inventaire adapté à ses besoins et qui lui est propre. La gestion du patrimoine est composée de plusieurs activités, donc de plusieurs inventaires. Il en résulte que l'implantation des données correspondantes dans une même base de données pose de gros problèmes.

Pour que cette base de données soit une source de productivité, de qualité et génératrice d'économie, il faut mettre en place un référentiel patrimonial, tout en mettant l'accent sur les services et les moyens sous-jacents, donc les principes à mettre en place qui gravitent autour des

services et des moyens de cette gestion. D'après [CSTB, cahier 3451], un référentiel patrimonial fera face aux enjeux de cette gestion, lorsqu'il répondra à cette question : « quelles informations partager ? »

Le référentiel patrimonial contient l'ensemble des informations descriptives du patrimoine, communes et partagées entre les activités. Il faut tout d'abord mettre en place un dictionnaire, une définition et une classification de tous les concepts manipulés. D'après le CSTB, pour simplifier, 2 types d'objets sont décrits dans le référentiel :

- . →des objets spatiaux (bâtiment, niveau, local), c'est-à-dire le contenant
- . →des objets physiques (composant, équipement, mobilier), c'est-à-dire le contenu

Chaque objet doit être identifié d'une manière unique. Le fait de mettre tout dans le même référentiel peut apparaître lourd et inutile, d'autant plus que les informations devront être conservées. D'après le CSTB, la référence patrimoniale contient les informations suivantes qu'on peut regrouper en 4 familles :

- . →la classification des objets patrimoniaux :
 - . Espaces : bâtiment, niveau, local
 - . Objets physiques : équipement, constituant, mobilier
- . →la topologie
 - . Organisation spatiale
 - . Localisation relative et/ou absolue
- . →la géométrie
 - . Surface, volume, forme
 - . Représentation graphique
- . →la technologie
 - . Description technique des objets
 - . Matériaux

III.1.3 Méthode d'évaluation globale de l'état du patrimoine construit

Pour savoir qui fait quoi, comment et pourquoi, il faut fédérer les tâches qui gravitent autour des informations patrimoniales et de leur mise à jour. Il s'agit d'une nouvelle activité qui doit être définie au niveau :

- . →des procédures : comment est géré le référentiel ?
- . →de l'organisation : qui gère le référentiel ?
- . →des moyens : avec quels outils informatiques génère-t-on le référentiel ?

A cette fin, il convient de définir des procédures pour :

- . →le maintien de la connaissance du patrimoine, la mise en place du circuit d'information des modifications, l'organisation de la collecte des documents
- . →la mise à jour et la validation des informations suite à une modification.
- . →la diffusion de l'information, pour que chacun soit informé des conséquences sur son inventaire.

La mise en place d'un référentiel patrimonial constitue notre réponse à la problématique « comment faire cohabiter plusieurs inventaires ? ». Il faut donc identifier un contenu commun qui se compose de quatre facettes :

- . →classification : identification des objets
- . →topologie : localisation
- . →géométrie : surface, volume
- . →technologie : description, constitution, matériaux

III.1.3.a Activités

L'activité de la maintenance doit s'orienter vers un professionnalisme de haute qualité. Des équipements techniques complexes et incompréhensibles, des exigences de gestion de plus en plus rigoureuses nécessitent que les techniciens deviennent de plus en plus experts. Suite à la perception du développement de l'activité de maintenance, les grands groupes du BTP ont mis en place et développé des filiales spécifiques. L'activité de la maintenance demande beaucoup de main-d'œuvre dotée d'une bonne formation technique de base. Les raisons de l'évolution de cette activité sont de trois types : techniques, fonctionnelles et relatives à une prise de conscience. Parmi ces raisons, il y a des causes directes et indirectes.

Les causes directes sont liées aux interventions curatives, suite à des désordres ou pannes graves, qui sont longues et difficiles, donc, plus coûteuses, et aussi, aux interventions en urgence sont également plus coûteuses que des interventions préventives programmées pendant des périodes favorables (arrêt de production, absence de client).

Les causes indirectes sont liées aux défauts de suivi d'exploitation qui peuvent, à cause d'un fonctionnement défectueux ou de mauvais réglages, entraîner des surcoûts très importants des consommables. Par exemple, un sinistre ou des désordres graves. Les conséquences de ces défauts peuvent être très lourdes sur le plan économique (mécontentement de la clientèle, arrêt de l'activité et perturbations diverses).

[Perret, 1995] a mis en place une politique de maintenance des bâtiments (voir la Figure III-6) en se basant sur l'identité et la santé du patrimoine construit. Ainsi, il a découpé le patrimoine en plusieurs entités. Chaque entité a ses propres propriétés, comme le degré d'urgence.

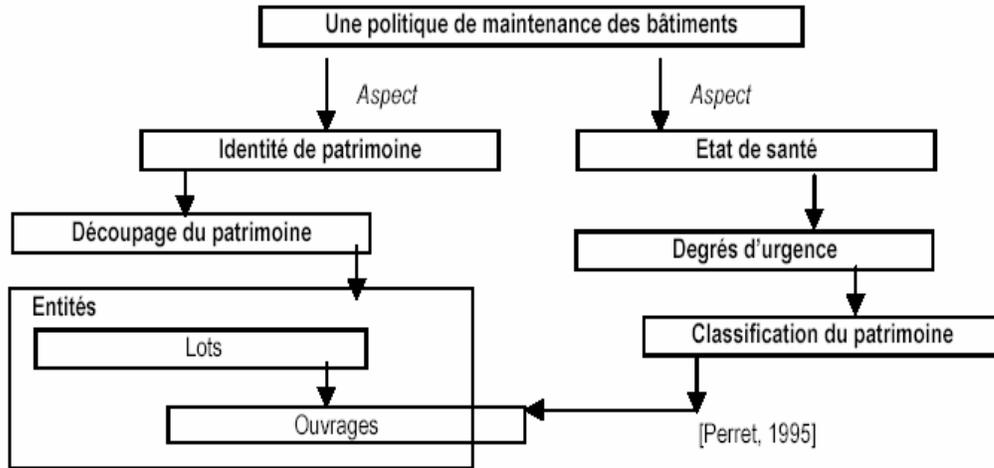


Figure III-6 : une politique des bâtiments

III.1.3.b Acteurs à la SNCF

Pour déterminer le besoin en terme d'activités et cerner le savoir faire lié à la gestion de maintenance du patrimoine de la SNCF, nous allons présenter et étudier les différents rôles et responsabilités des principaux acteurs durant les visites techniques afin de montrer la complexité du fonctionnement des interventions comme la Figure III-7 l'illustre. Cette étude est basée sur le projet MAPE³¹.

Les principaux acteurs à la SNCF sont :

- . →l'établissement occupant (EO),
- . →la Direction Déléguée à l'Aménagement et au Patrimoine (AP),
- . →l'Agence Immobilière Régionale (AIR),
- . →l'Etablissement Gérant des Installations de l'Infrastructure (EVEN), prestataire.
- . →la Direction des Gares et de l'Escale (DDG)
- . →la Direction de l'immobilier (DI)

A la SNCF, chaque directeur d'établissement a la responsabilité d'assurer que les visites ont bien été effectuées dans les délais prescrits et par les personnes répondant aux critères fixés par la réglementation.

Le patrimoine immobilier, mis à disposition de la clientèle, du public et du personnel, est placé sous la responsabilité du directeur d'établissement occupant. Il lui appartient de signaler à l'AIR, à l'établissement gérant les installations de l'Infrastructure toute anomalie perceptible de nature à

³¹Ce projet a pour objet la mise en place d'une organisation et de dispositions spécifiques à engager exclusivement sur 48 gares de l'activité gares. Il vise à assurer le transfert de la gestion de la maintenance des ascenseurs, portes automatiques et escaliers mécaniques, utilisés par le public et/ou directement liés à l'exploitation gares, des établissements gérants les installations de l'infrastructure (EVEN), aux établissements exploitations (EEX).

générer des risques pour les personnes et les biens, ou à générer des dépenses inutiles (fuite, début de dégradation, vétusté, etc....).

DAAB a pour mission de constituer un centre d'expertise et de mise en œuvre, pour le compte des activités et domaines prestataires et pour celui de RFF³², en matière de patrimoine immobilier et notamment d'exploitation et de maintenance. DAAB est secrétaire du CNGP³³.

La direction régionale dispose d'une entité chargée de la gérance immobilière régionale: l'AIR³⁴.

Dans le cadre de ces missions, l'agence immobilière régionale mandatée par les activités et domaines prestataires et les établissements occupants, qui lui fournissent les moyens correspondants, est chargée de veiller à la pérennité du Patrimoine Immobilier concerné selon la politique exprimée par ces activités et domaines (voir la Figure III-8).

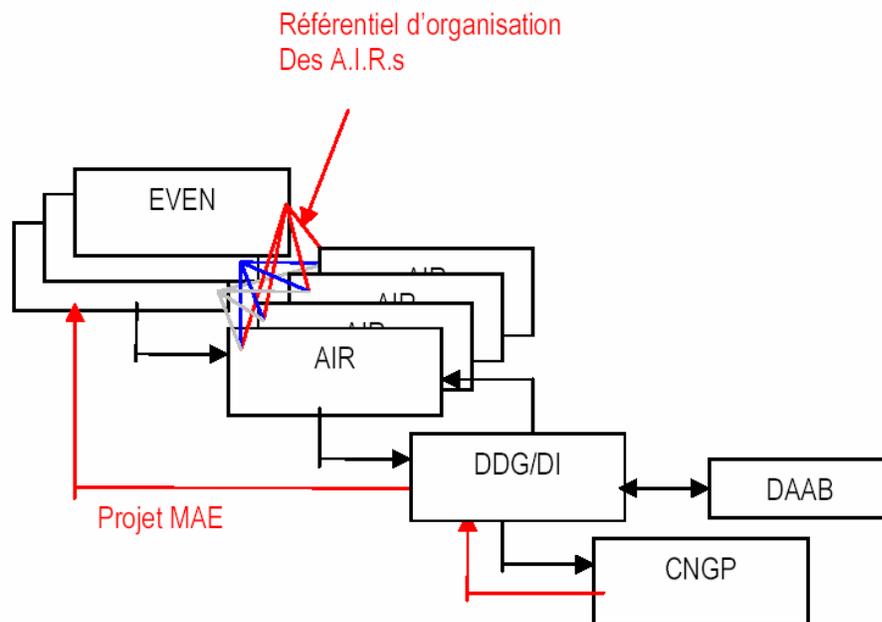


Figure III-7: Un exemple d'un schéma qui reflète la complexité d'une activité au sein de la SNCF

Par contractualisation avec l'agence immobilière régionale, les travaux de maintenance courante et les grosses réparations (maintenance de niveaux 2, 3, 4, 5 de la norme NF 60 010)(voir le chapitre I.1.1) sont exécutés sous la maîtrise d'œuvre exécution des établissements gérant les installations de l'infrastructure sauf exception, pour les travaux dits à la charge du propriétaire et pour les travaux relevant des charges locatives communes, ainsi que pour les visites périodiques et la maintenance, rendues obligatoires par la réglementation.

³³ Comité National de Gestion du Patrimoine

³⁴ Agence Immobilière Régionale

³² Réseau Ferré de France

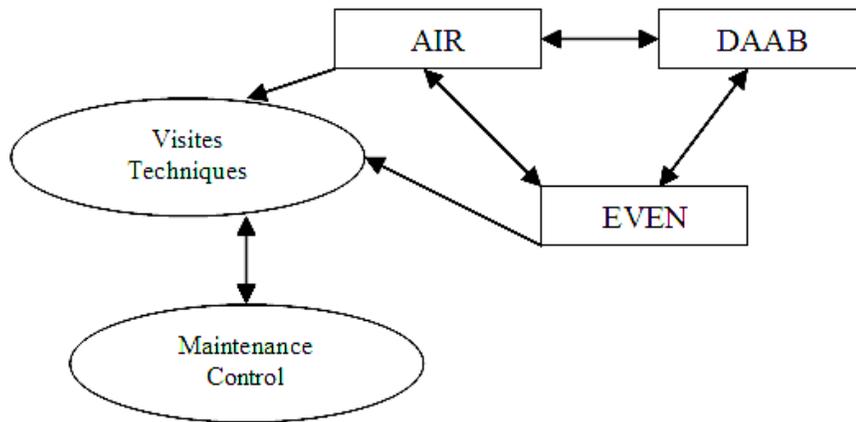


Figure III-8 : ensemble des acteurs avec leurs interactions durant les visites techniques des édifices.

Pour la facturation des interventions de maintenance sur le site, les procédures administratives sont complexes. La SNCF essaye de faciliter la tâche et propose une norme liée à cette activité administrative. Comme le montre la Figure III-9, nous avons pu classer les processus grâce aux activités organisées par des acteurs et des tâches.

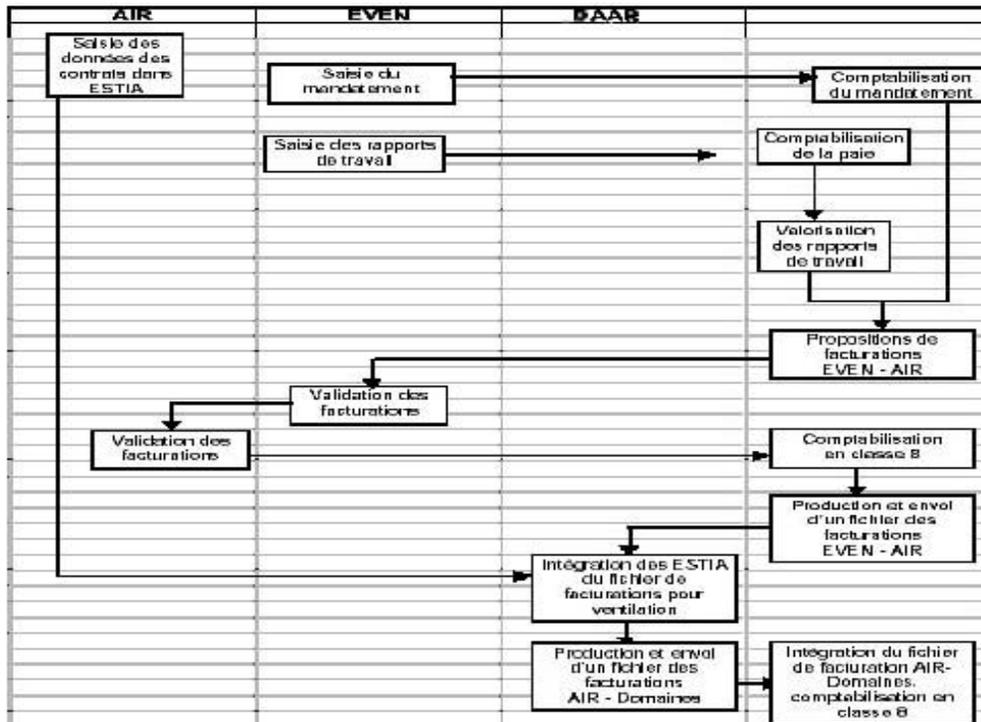


Figure III-9 : Exemple d'une activité de facturation au sein de la SNCF

III.1.4 Approches choisies

Le futur outil se positionne dans un contexte existant pour mettre en place le référentiel propre aux activités souhaitées. Il est essentiel, donc, d'identifier parfaitement cet environnement pour permettre d'évaluer l'écart entre la situation actuelle et celle souhaitée afin de quantifier l'effort à réaliser sur les actions suivantes : Par exemple, le coût à investir, les nouvelles compétences à acquérir et les techniques informatiques à mettre en place.

Les informations disponibles sont à identifier et de préciser le format avec une évaluation de la qualité des données. Nous avons établi un bilan de l'existant et nous avons identifié les acteurs qui fournissent de l'information, qui la traitent et qui exploitent les résultats tout en créant un lien entre l'information et les acteurs pour définir les connaissances qui rentrent en jeux.

III.1.4.a Proposition d'une plate forme IFC

Après avoir décrit plusieurs modèles génériques et modèles communs, dans le premier chapitre de ce manuscrit, nous nous sommes intéressés spécifiquement à la norme IFC. En terme de modélisation du bâtiment, les IFCs correspondent le mieux à nos besoins. Nous cherchons, explicitement, à modéliser le bâtiment dans son ensemble, ce qui élimine les modèles partiels de données. Ainsi, la sémantique est primordiale dans notre travail.

Le modèle IFC est orienté objet. Sa structure est basée sur une organisation de classes. Ces classes peuvent être concrètes ou abstraites. Une classe concrète représente un élément du bâtiment physique. (Comme un poteau, une porte, espace...) Les attributs de chacune des classes représentent les caractéristiques nécessaires à la définition de l'objet.

L'évolution de la norme IFC a provoqué plusieurs versions différentes. A partir de la version 2x, une description est mise en place et définie comme la base de l'évolution des nouvelles versions. Ainsi, la norme IFC a pu répondre aux exigences de son évolution et de sa pérennité.

Cependant, nous avons constaté que les IFCs répondent à nos attentes par la modélisation des informations liées aux éléments du bâtiment. Toutes les caractéristiques de ces éléments sont définies par des indices d'identification, par leur géométrie, par leur localisation et par leur description technologique quelle que soit la version. (Voir la Figure III-10).

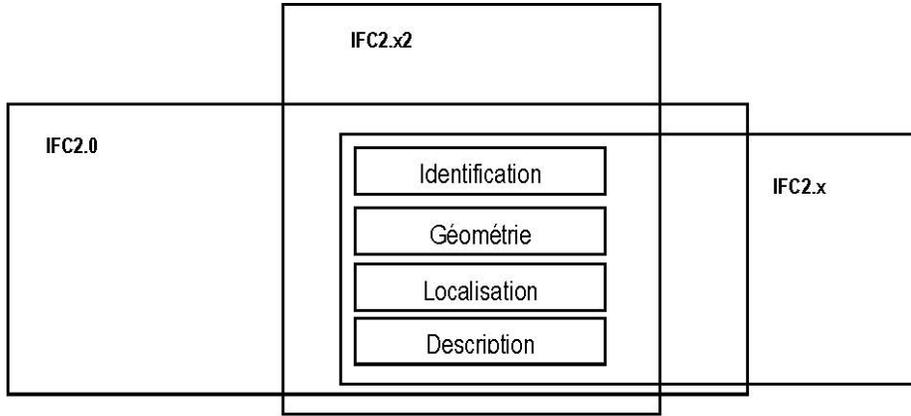


Figure III-10 : caractéristiques générales communes aux différentes versions des IFC

Nos attentes par rapport à ce modèle ne se résument pas seulement à la partie descriptive des éléments physiques du bâtiment, mais, aussi à la partie descriptive des processus et des procédures liées à la gestion du patrimoine immobilier. Les caractéristiques descriptives des activités liées à la gestion de maintenance diffèrent en fonction de la version. Par exemple, la version IFC 2x dispose de la description la plus riche pour la gestion de maintenance. Les « Select Types », les « Enumérations », et les « Entités » de chaque version sont différents. Nous allons prendre les classes communes entre les 3 dernières versions (voir la Figure III-11).

IFC 2.0	IFC 2.x	IFC 2.x2
IfcFacilitiesMgmtDomain 5 Enumérations 11 Entités	IfcFacilitiesMgmtDomain 1 Select Types : IfcFMStandardSelect 2 Enumérations: IfcMaintenanceTypeEnum IfcPriorityEnum 7 Entités : IfcEquipmentStandard IfcFurnitureStandard IfcMaintenanceStandard IfcMaintenanceWorkOrder IfcMove IfcRelAssignsFNAtandard IfcRelMaintenanceEvent	IfcFacilitiesMgmtDomain 1 Select Types 8 Entités

Figure III-11 : différentes classifications des propriétés de la classe IfcFacilitiesMgmtDomain

III.1.4.b Référentiel choisi

Au début, il faut définir les objets communs utilisés par le référentiel. Puis, une formalisation générique de la gestion de patrimoine permet de se focaliser sur les processus proches et qui sont susceptibles de partager le plus d'informations.

Quel référentiel choisir ?

- . → Quel contenu ? : quels sont les objets, les informations que doit gérer le référentiel ?
- . → Quels acteurs ? : quels sont les acteurs qui vont utiliser le référentiel, et le référentiel va-t-il changer le rôle de ces acteurs ?
- . → Quels services ? : quelles sont les fonctions de base et quelles sont les fonctions nouvelles que peut apporter le référentiel ?

Un objet est défini par une famille de propriétés (son identification, sa localisation, sa géométrie, et sa description technologique). Il y a plusieurs activités qui déterminent la gestion technique du patrimoine construit. Chaque activité a besoin de certaines des propriétés de chaque objet. Pour faciliter la compréhension du patrimoine, nous faisons correspondre les propriétés des objets, aux activités du patrimoine. Ce croisement génère une information complémentaire (voir la Figure III-12). Ce fait constitue le point d'entrée justifiant la mise en commun d'informations patrimoniales. Les évolutions permanentes des objets du patrimoine et leurs activités doivent s'appuyer sur ce lien caractéristique de la représentation des informations techniques entre objets et activités. Ainsi, nous allons déterminer des caractéristiques spécifiques (Identification, Localisation, Géométrie, ...) à chaque activité (Maintenance corrective, Gestion des surfaces, Entretien, ...) dont l'acteur aura besoin. Cette classification va nous permettre de bâtir des tableaux de bord qualitatifs et économiques afin de conduire des analyses quantitatives sur le patrimoine en question. Comme la Figure III-12 nous le montre, nous retenons une vision synthétique des objets et de leurs propriétés ainsi que quelques activités patrimoniales.

Référentiel Patrimonial		Maintenance corrective	Gestion des surfaces	Gestion Analytique	Entretien
Locaux	Identification unique	X	X	X	X
	Localisation	X	X		X
	Géométrie	X	X	X	X
	Description technologique	X	X		X
Equipements	Identification unique	X		X	
	Localisation	X	X		
	Géométrie	X			X
	Description technologique	X		X	

Figure III-12 : Extrait des informations par activité

Les fonctions de base d'un référentiel qui sont indispensables aux acteurs et qui agissent sur les données du référentiel sont :

- . → la création d'objet

- . →la modification d'objet
- . →la consultation des objets

Chaque objet « Local » et « équipement » a les caractéristiques suivantes :

- . →Identification : (Indice, Version, ID)
Gestion de configuration
- . →Géométrie : Sélection par volume ou sélection par statut
- . →Localisation
- . →Description technologique

Dans la partie suivante, nous listons un ensemble des procédures identifiées pour remplir les tâches concernées et pouvoir traduire le savoir-faire par la connaissance du degré de formalisation des tâches. Après une réflexion personnelle, nous déterminons, aussi, la quantité de travail en identifiant les outils informatiques actuellement utilisés. Nous associons les procédures développées à leur champ d'application en termes de typologie de données traitées.

III.2 Système d'information

Dans la partie précédente, nous avons pu répondre au premier objectif de notre travail qui consiste à proposer une description du bâtiment s'appuyant sur la norme IFC (Industrial Foundation Classes) en tenant compte des spécificités des grands édifices de la SNCF. Dans cette partie, nous continuons notre démarche prévue pour répondre au deuxième objectif de notre travail. Cette partie comporte une proposition d'un système d'information et d'aide à la décision pour la gestion technique et pour la maintenance du patrimoine construit, en exploitant les nombreuses possibilités offertes par la RV et en gérant des profils d'acteurs distincts.

Dans l'industrie de la mécanique, une CAO est systématiquement associée à un système de gestion de données de produit (Product Data Management) pour la gestion de la maquette numérique. Des solutions basées sur ces technologies pourraient jouer ce rôle dans le secteur de la construction.

Dans le bâtiment, une maquette numérique est établie selon un modèle et la plupart des solutions actuelles sont construites sur la base du modèle des IFC. Les logiciels des leaders de la CAO, ainsi que plusieurs solutions de gestion de patrimoine possèdent des capacités d'échange de fichiers d'objets à la norme IFC. C'est sur le concept de « Building Information Modeling » que s'est développée une nouvelle génération de produits, (voir les publications d'Autodesk, Graphisoft et Bentley). Plusieurs projets de recherche européens portent sur la maquette numérique, comme l'illustrent nombreux projets menés dans le cadre du programme finlandais VERA. [<http://cic.vtt.fi/vera/english.htm>] (Voir le chapitre I.2.2.b).

Comment découper l'information descriptive du bâtiment, reconnue comme complexe, pour la structurer en vue des échanges d'information ? Il faut bien définir une hiérarchie dans cette information, qui permette d'atteindre le niveau de détail requis pour les logiciels les plus exigeants. Il est à noter que quelque soit la nature de ce système, la mise en place d'un modèle conceptuel pour le bâtiment est obligatoire car c'est le constitutif de la base commune autour de laquelle chaque acteur pourra accéder à ses informations. La description de ce modèle devra être validée par un format normatif neutre admis par tous. Ce format contribuera à faciliter les échanges et ainsi permettra la création d'une véritable interopérabilité.

Le développement du format d'échange IFC (Industry Foundation Classes) constitue pour le moment l'action en cours la plus avancée dans le domaine de la représentation des connaissances architecturales [IAI, Web] [Lasserre, 2004] [Maissa, 2004] [Valande, 2004]. Les informations décrivant le bâtiment sont largement réparties et le propriétaire du patrimoine construit propose une vue de l'édifice comme un ensemble d'ouvrages et de lots d'ouvrages. Ce point de vue peut structurer un modèle de description.

Les IFC ont été les seules à mettre en place une méthode logique, celle qui a le plus de chances d'être comprise par les professionnels du monde entier, et qui de plus est majoritairement employée dans les logiciels techniques.

Les IFC ont mis en place trois types d'informations associées à un composant désigné :

- . →son appartenance à une classe
- . →ses propriétés (que l'on appelle aussi attributs)
- . →ses relations

Pour une bonne représentation des données techniques de la maintenance dans ce modèle, il suffit d'identifier les classes objets décrites dans les IFC susceptibles d'être enrichissantes pour « la maintenance », puis, les adapter à notre besoin et les implémenter dans un SGBD, visible et accessible à partir d'un moteur de Réalité Virtuelle. Pour cela, nous allons créer 2 parties (voir la Figure III-13):

→une partie statique descriptive du patrimoine construit, constituée par 2 couches. Une qui couvre la partie normalisée des IFC, et une autre qui enrichit la première, propre à la description du patrimoine construit de la SNCF.

. →une partie dynamique descriptive, « MAINTENANCE_CONTROL », constituée par des classes IFC de contrôle et des scénarii d'activités d'interventions réalisées sur le patrimoine construit par les acteurs désignés.

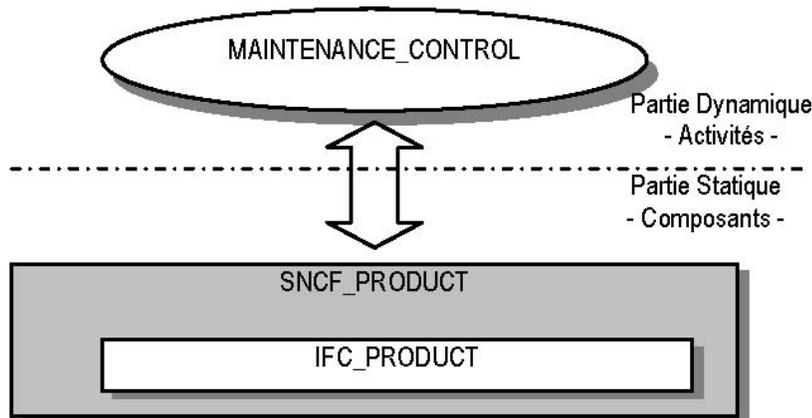


Figure III-13 : La partie Dynamique et Statique du système

III.2.1 Notre approche de classifications

Il est difficile de classer les acteurs dans le secteur de la construction. Plusieurs approches sont envisageables qui sont soit basées sur la réglementation (loi MOP³⁵), soit sur la segmentation du marché ou encore en fonction des compétences que les activités nécessitent :

- . →Une approche classique par phase [Perret, 1998].
- . →Une approche par spécialité [Carassus, 1998]
- . →Une approche générique (d'après les acteurs du système patrimonial des Aéroports de Paris, ADP) (voir chapitre I.1.3)

Notre approche s'inscrit dans l'usage qui en est attendu par chaque activité d'intervention dans le

³⁵ Loi N°85-704 du 12 juillet 1985, relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée. Modifié par Loi 91-662 13 Juillet 1991 art 18, 19 JORF 19 juillet 1991

temps. Ainsi, nous regroupons les acteurs (voir la Figure III-18) en fonction de chaque activité d'intervention effectuée durant la phase d'exploitation et de maintenance sur le patrimoine construit suivant les 3 niveaux cités ci-dessus (Stratégique, Administratif, Opérationnel). Le niveau stratégique permet, par exemple, de piloter l'évolution du patrimoine et l'activité de la gestion, le niveau Administratif permet de contrôler les obligations du propriétaire du patrimoine et le niveau opérationnel permet de fonctionner et d'exploiter les ouvrages.

Chaque niveau d'activité est divisé en 4 spécificités : Financiers, Techniques, Fonctionnels et Tactiques (Voir la Figure III-14 : Les Niveaux et les Aspects du patrimoine construit).

Pour le Niveau Opérationnel (O) :

- . → Opérationnel x Financier = OFi
- . → Opérationnel x Technique = OTe
- . → Opérationnel x Fonctionnel = OFc
- . → Opérationnel x Tactique = OTa

Alors, on aura pour le Niveau Administratif (A) :

- AFi, ATe, AFc, ATa Et pour le Niveau Stratégique (S):
- SFi, STe, SFc, STa

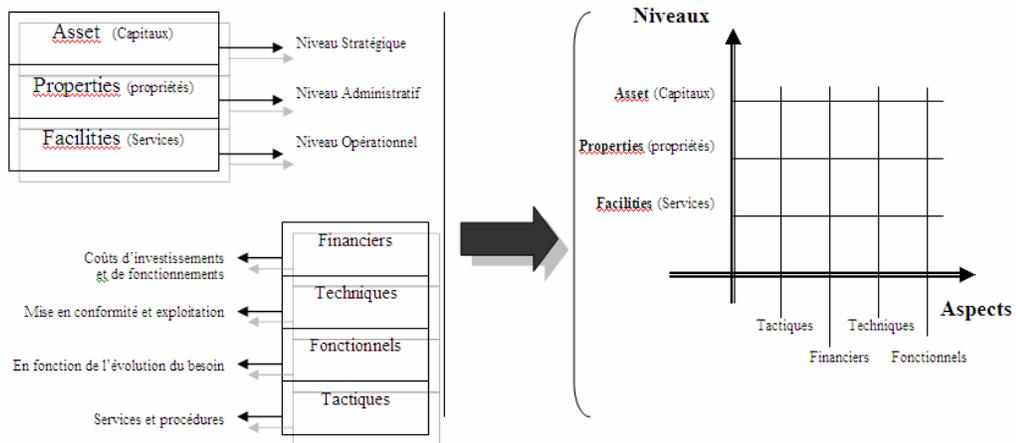


Figure III-14 : Les Niveaux et les Aspects du patrimoine construit

Dans le cadre de la maintenance de l'édifice, nous offrons la possibilité de faire remonter tous les niveaux et les aspects qui ont permis de valider une solution technique et d'identifier précisément le moment de la défaillance par exemple. L'ensemble de ces classifications a défini le rôle de chaque acteur d'intervention, ses droits et ses responsabilités, ainsi, un champ d'application spécifique (voir la partie III.2.2 : Schéma Représentatif du Champ d'Action de chaque acteur).

Indépendamment des phases de conceptions et de réalisations de l'édifice, on peut trouver des répétitions successives de ces phases (Conceptions, Réalisations et Maintenance) durant la phase d'exploitation (Voir Figure III-15).

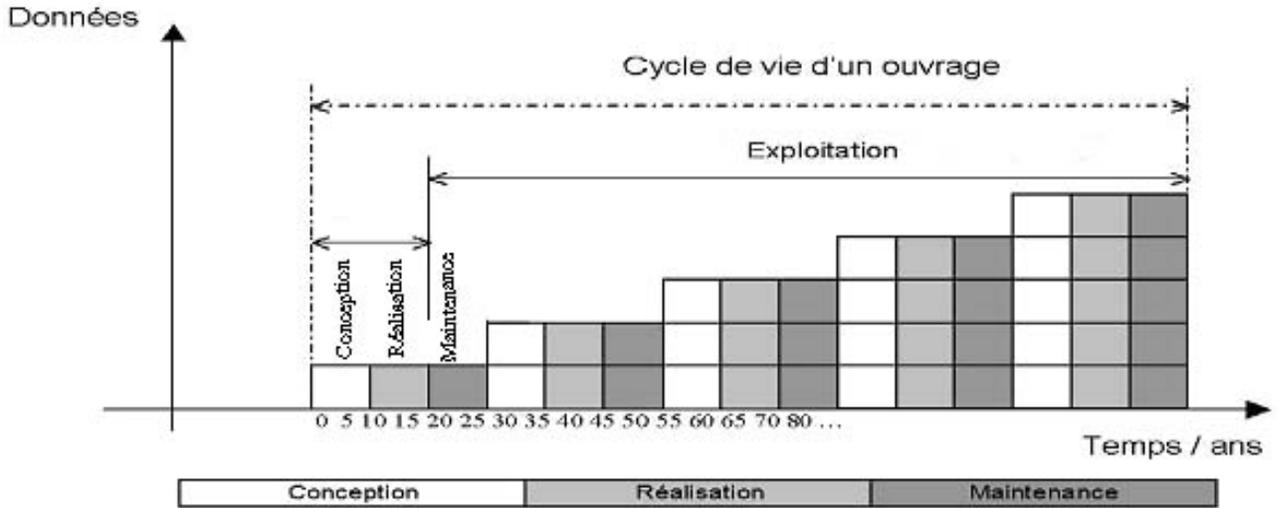


Figure III-15 : L'évolution des données durant le Cycle de vie du bâtiment

Pour gérer les données techniques complexes propre au patrimoine construit, Il nous apparaît, alors comme nécessaire, de subdiviser cette période évolutive en 3 sous phases : Conception, Réalisation et Maintenance (Voir Figure III-17).

Les Activités d'intervention sur le patrimoine construit ont pour ambition de :

- . →assurer la sécurité des biens et des personnes
- . →garantir l'administration du patrimoine
- . →garantir le fonctionnement Opérationnel du patrimoine
- . →maîtriser les coûts
- . →maîtriser les moyens
- . →assurer l'évolution du patrimoine

Les résultats de l'analyse de l'activité des acteurs montrent que les intentions de communication des acteurs dépendent du but de l'intervention (voir les différentes Unités Opérationnelles à la SNCF). Ces interventions sont liées aux dégradations du patrimoine et aux modifications apportées.

Il s'agit donc, d'assurer, de maîtriser et de garantir les différents niveaux, depuis l'opérationnel jusqu'au stratégique en passant par l'administratif, durant la phase d'exploitation et de maintenance du bâtiment (Voir la Figure III-16). Cette phase est marquante par une répétition successive des sous phases signalées ci-dessus (Voir la Figure III-17).

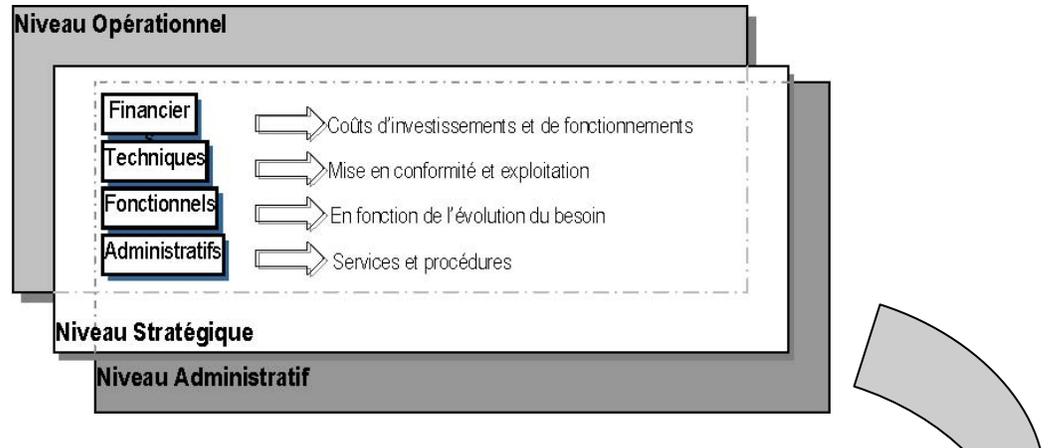


Figure III-16 : Les trois Niveaux d'Activités d'interventions

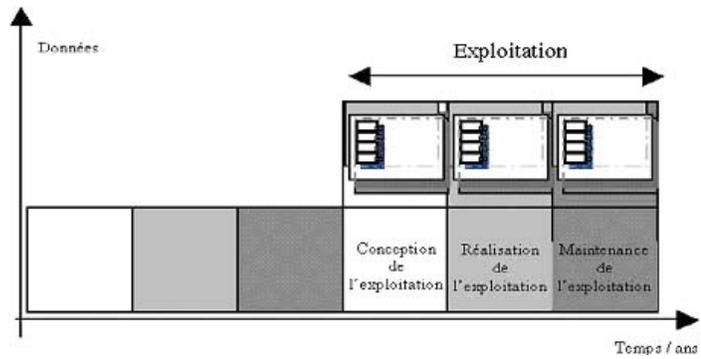


Figure III-17 : Les 3 niveaux sont intégrés durant le cycle d'exploitation et de maintenance du bâtiment.

III.2.2 Schéma Représentatif du Champ d'Action de chaque acteur

Le nombre d'acteurs impliqués dans une opération de maintenance varie considérablement suivant la nature et l'importance de l'opération. Cette différence dépend non seulement de la taille du projet (superficie, budget, etc.) mais également de la complexité technique et fonctionnelle (voir Figure III-18 : Exemple de groupement des acteurs en fonction des activités d'intervention).

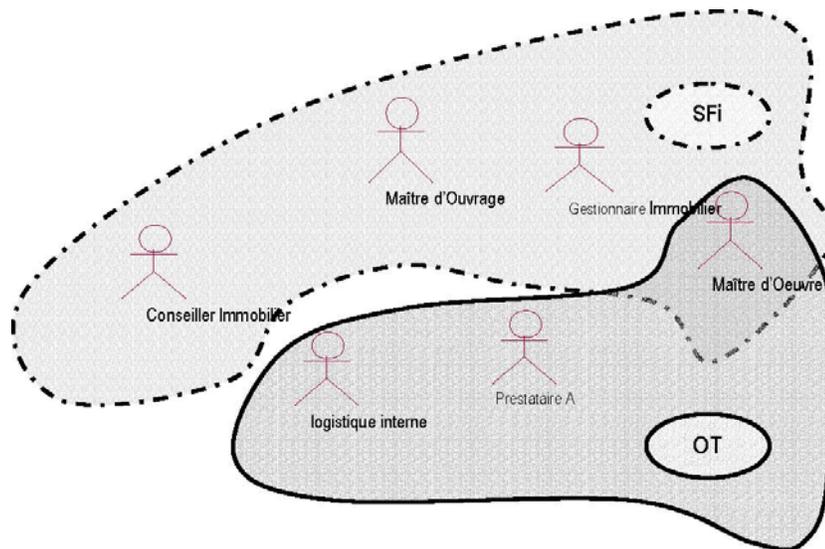


Figure III-18 : Exemple de groupement des acteurs en fonction des activités d'intervention

Compte tenu du rôle qui est attribué à chaque opérateur, nous différencions les niveaux (Stratégique, Administratif et Opérationnel) de chaque aspect (Financier, Technique, Fonctionnel, et Tactique) en prenant part au projet d'intervention et tenant compte de leur responsabilité sur le ou les éléments pour lesquels ils sont missionnés. Cependant, chaque acteur a son Schéma Représentatif du Champ d'Action (SRCA) spécifique à lui (voir la Figure III-19 et la Figure III-20). Nous prenons comme exemple la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage.

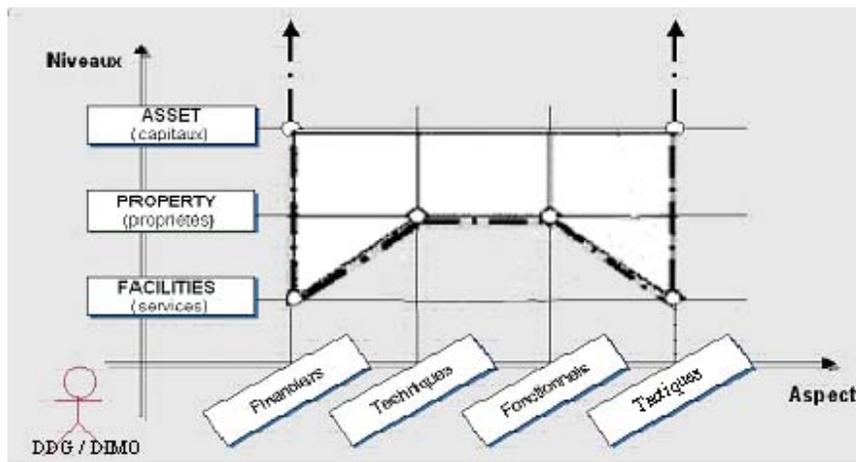


Figure III-19 : Schéma Représentatif du Champ d'Action (SRCA) du Maître d'ouvrage

En général, pour le SRCA de la maîtrise d'œuvre, nous considérons que les aspects Financiers et Tactiques restent à un niveau stratégique de décision de l'activité (Vision Macroscopique du Patrimoine (VMac)) et que les aspects techniques et fonctionnels sont appliqués jusqu'au niveau opérationnel de l'activité (Vision Microscopique du patrimoine (VMic)).

Contrairement au SRCA de la maîtrise d'ouvrage, nous considérons que l'activité a besoin de données très précises quant aux aspects Financiers et Tactiques (VMic), et de données pas très précises quant aux aspects Techniques et Fonctionnels (VMac).

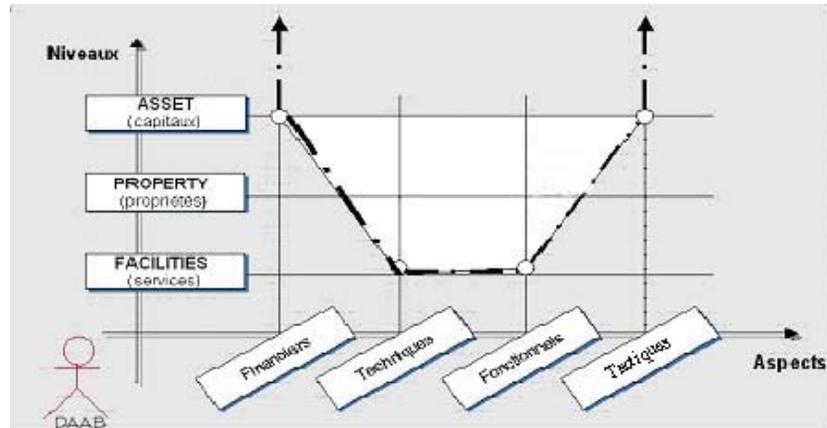


Figure III-20 : Schéma Représentatif du Champ d'Action (SRCA) du Maître d'œuvre

Une démarche d'ingénierie concurrente qui réunit de multiples acteurs autour de l'élaboration d'un produit, d'un processus ou d'un service, implique d'une part une bonne maîtrise de l'information et des dispositifs de communication entre ces acteurs, et d'autre part, des processus de décision. Dans cette logique et pour un espace virtuel de collaboration, nous allons superposer les différents SRCA afin de définir une bonne activité (espace) de communication entre les représentants accumulés (voir la Figure III-21).

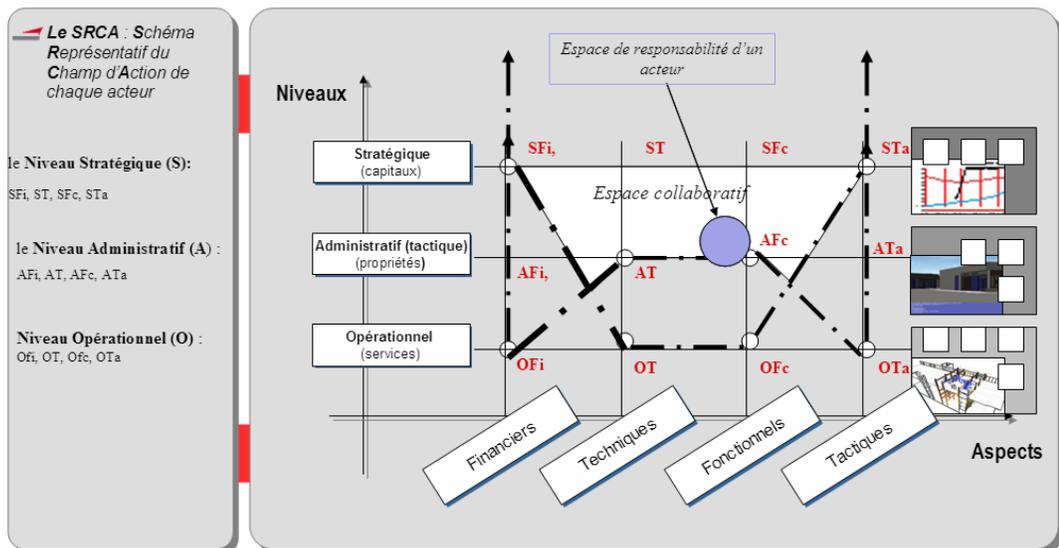


Figure III-21 : Schéma Représentatif du Champ d'Action de plusieurs acteurs

Durant la phase de maintenance et d'exploitation, nous avons vu que différents savoirs métiers sont en jeu, et génèrent une grande quantité de données. L'absence de normes de représentation de ces données et la rapidité de leur évolution durant les étapes du processus de maintenance et d'exploitation donnent à ces informations un caractère dynamique, dont les représentations successives deviennent rapidement obsolètes.

L'ensemble des informations maintenues dans notre système d'information n'a que peu d'importance au regard des besoins spécifiques d'un acteur. Trop d'informations inutiles pourraient ralentir l'expertise de ledit acteur et certaines informations sont confidentielles. Ainsi, la modification des données qui ne sont pas à sa charge peut introduire de dysfonctionnements dans la chaîne de l'intervention.

La volonté de filtrer les informations du patrimoine, nous amène à définir un profil d'accès aux données techniques, de manière à gérer des vues particulières du projet en question. Néanmoins, nous allons associer une vue (interface) spécifique propre à chaque niveau de l'activité (voir ci-dessus) en fonction de la Vison Macro ou Microscopique du patrimoine voulue.

Grâce à SRCA, nous contribuons à maîtriser les acteurs potentiellement différents et dont l'étendue de la mission est variable. Chaque projet met en jeu des équipes qui ne seront plus amenées à travailler ensemble et des intervenants qui ne se croiseront pas aux mêmes étapes. A chaque début de projet, un ensemble de tâches est confié à un partenaire. Ces tâches sont associées à une ou plusieurs étapes distinctes du cycle de vie de l'édifice. Leur étendue s'appuie en général sur le cadre législatif défini par la loi MOP (Voir le chapitre I.1.3).

Nous n'allons pas entrer en détails dans la décomposition des tâches et des activités. Nous sommes arrêtés sur la flexibilité du concept SRCA en vue d'une classification des caractéristiques des objets et des activités de la maintenance afin de permettre la représentation des informations dans notre interface. Nous verrons, dans le chapitre suivant, cette classification en fonction du profil d'acteur et selon son point de vue.

III.2.3 Spécification de la gestion des connaissances dans un Environnement Virtuel

La définition d'un monde virtuel pour la gestion technique de patrimoine construit met l'accent sur la finalité du système proposé. Le fait d'étudier, d'analyser, de modifier les activités dans le monde réel et de les intercaler dans ce monde virtuel est fondamental pour le développement des interfaces adaptées aux acteurs cités ci-dessus. Les fonctionnalités du système correspondent aux informations et aux actions qui vont permettre à l'acteur de connaître le patrimoine, de prendre une décision d'intervention et de mettre en place une stratégie à court moyen et long terme.

Certains scénarii permettent aux acteurs de mieux présenter l'état de la situation des tâches à un instant « T ». Ils permettent aussi d'accentuer certains points précis qui peuvent poser des difficultés ou des risques tout en estimant et en trouvant des solutions adéquates. En jouant sur les différentes activités d'interventions, citées ci-dessus, et en faisant ressortir ces points cruciaux, les acteurs non experts dans la technique de construction pourront aussi voir les actions réalisées par les spécialistes et les interpréter correctement. Grâce à ces activités, l'acteur pourra ainsi connaître les prévisions et identifier où et comment l'investissement se révèle être audacieux !

Pour déterminer une intervention parmi un catalogue vaste basé sur ces activités, l'acteur doit pouvoir la spécifier sur l'ensemble des tâches en question. Les différentes vues des acteurs nous permettent de filtrer les classes objets, statiques et dynamiques en fonction de l'activité et de la tâche en question, qui sont déjà modélisées dans la base de données (Voir Figure II-13).

Un certain nombre de potentialités de la RV permettent aux acteurs de construire une meilleure représentation du fonctionnement de certains systèmes ou tâches qu'ils doivent réaliser (voir la situation d'un point de vue différent, modifier l'échelle de l'environnement ou d'un dispositif, voir ce qui se passe au cœur d'un dispositif, etc.) Ces potentialités peuvent aider l'acteur à s'orienter, à atteindre des buts. Elles attirent son attention sur un point précis ou encore lui donnent des informations supplémentaires (vitesse, direction, etc.). On peut ainsi accélérer l'intervention, puis retirer ces repères pour éviter un mauvais transfert de connaissance. Les EV permettent de modifier le contexte et de ne pas être dépendant du lieu, des conditions climatiques, des dangers réels, etc. et permet aussi d'avoir accès à des zones sensibles et invisibles comme en Environnement Réel (ER).

La RV dispose d'une capacité de gérer différents types de données sous une forme intuitive [Watsen, 1999]. À un niveau simple, la RV est idéale pour présenter un « walkthrough » de grands projets de construction. L'avantage de la RV est qu'elle permet à des professionnels de traduire des plans de bâtiment et des diagrammes schématiques en 3D [Bowman, 2001], que chacun peut comprendre qu'il soit compétent dans un savoir technique ou non. En outre, des issues environnementales telles que l'impact visuel lié aux projets de construction peuvent être évaluées en utilisant la RV, aussi bien qu'un grand patrimoine construit entretenu par une maintenance complexe suivie par des couches d'interventions multiples.

Au même moment, l'émergence de l'informatique en réseaux et notamment la réalité virtuelle, augmente l'accessibilité immédiate à une multitude d'informations et permet une synchronisation des décisions et par conséquent, réduit les temps de maintenance. Cette méthode de travail a pour objectif de mieux coordonner tous les acteurs qui interviennent dans un projet. Il s'agit donc de réorganiser les équipes en les démarginalisant, et en leur permettant d'utiliser des systèmes informatiques communs.

Dans ce cas là, la RV peut être employée pour identifier n'importe quelle couche d'intervention, de n'importe quelle perspective et de n'importe quelle période [Fuchs, 2003]. Le changement du temps, du lieu et des interactions sont décisives dans le monde virtuel. Le temps peut se dérouler dans le passé, le présent et le futur. Le lieu peut être dans une zone inaccessible, inchangeable et même virtuelle, et les interactions peuvent être simulées, réelles et mêmes imaginaires (Voir la Figure IV-22)

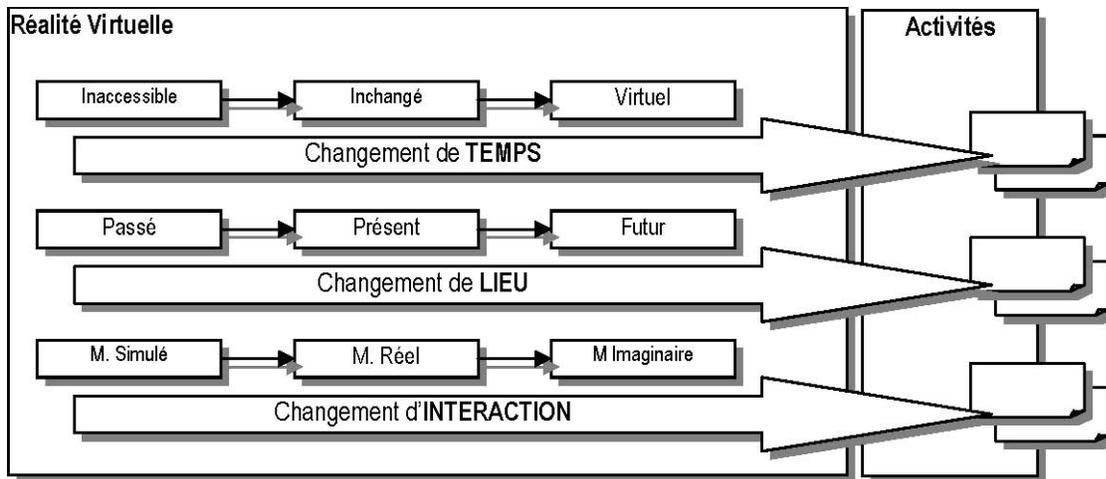


Figure III-22 : La manipulation des Activités d'Interventions par des Interfaces Virtuelles.

Dans ce contexte, la RV peut être employée pour évaluer l'opération et l'entretien des bâtiments et des produits mécaniques et industriels qui le déterminent. Nous essayerons d'exploiter les aspects techniques des diagnostics qui ne sont pas accessibles en situation réelle qui répondent à des préoccupations précises et réelles dans les gestionnaires de grands parcs immobiliers.

Nous marquerons aussi la rencontre entre les compétences de développement issues du multimédia et de la réalité virtuelle. Outre le mouvement, l'animation des interventions peut être complétée par des systèmes de retour d'effort et par un fond sonore provenant à la fois d'un échantillonnage du bruit et de la qualité de produit exploité (escalator, ascenseur, traiteur d'air, gaines de ventilations...)[Fuchs, 2003].

III.2.3.a Gestion d'accès aux informations

Aujourd'hui, les systèmes d'aide au dessin sont largement utilisés par l'ensemble de la chaîne des acteurs qui participent au projet de construction. Les outils de CAO sont devenus

indispensables pour maîtriser certaines phases critiques du projet comme la synthèse des ouvrages utilisés. Alors que les représentations graphiques 3D sont un type de média que tous les partenaires ont en commun comme support de communication et d'échanges, nous allons les placer au cœur de notre système d'information comme pivot d'accès.

Selon la taille du projet, le nombre d'objets techniques représentés au sein de la maquette 3D peut être important et même handicapant en termes d'ergonomie d'utilisation. Pour alléger les échanges et améliorer la lecture, nous nous proposons également de personnaliser la représentation morphologique du bâtiment selon le profil de l'utilisateur. En fonction du profil de l'utilisateur, celui-ci peut ainsi accéder aux informations qu'il recherche grâce à une interface graphique adaptative générée par le serveur en fonction de sa requête.

Puisqu'on parle de faciliter l'accès à l'information, l'ergonomie doit être simple et bien réfléchie car une quantité importante d'informations doit être gérée par l'utilisateur. La navigation dans le bâtiment virtuel ou à l'intérieur de la documentations est parfois un handicap au succès de la recherche. Nous allons essayer de nous appuyer sur une interface mixée avec le monde virtuel et une interface 2D. Cette interface 2D va nous aider à mettre en place une gestion d'affichage, et de navigation dans le monde virtuel, une gestion de base de données et une gestion de connaissance (voir le chapitre suivant).

III.2.3.b Structuration des informations en fonction du métier

Les informations échangées tout au long du cycle de vie d'un édifice sont multiples, hétérogènes, polysémiques et évoluent dans le temps. Une partie ou la totalité de ces informations participent à la définition des processus de décision en fonction de chaque acteur qui intervient dans l'exécution de l'activité.

Dans cette perspective, la structure de l'entrepôt de données de produits pour le bâtiment que nous nous proposons de mettre en place se développe en colonnes thématiques, dans le but de permettre l'archivage et la préservation des informations par aspect et niveau (suivant un SRCA) propre à chaque profil métier. Ainsi, un expert peut avoir besoin de se référer à plusieurs thèmes, bien qu'il y en ait toujours un privilégié qui se rapporte à son domaine d'activité.

La Figure III-23 traite 2 exemples :

Le premier exemple traite des informations liées aux objets (une dalle) représentés par une classe d'objet statique « IfcSlab » (Ifc Dalle) qui hérite ses informations des classes mères : « IfcBuildingElement » (Ifc Élément du bâtiment), « IfcElement » (Ifc Élément), « IfcProduct » (Ifc Production), « IfcObject » (Ifc Objet) et « IfcRoot » (Ifc Projet).

Si l'acteur stratégique financier et l'acteur opérationnel financier ont besoin de connaître les informations liées aux surfaces des dalles (Zones), l'acteur administratif financier n'est pas intéressé par ces données.

produit en question, et l'information devient inaccessible au fur et à mesure qu'on descend dans la hiérarchie vers un niveau opérationnel.

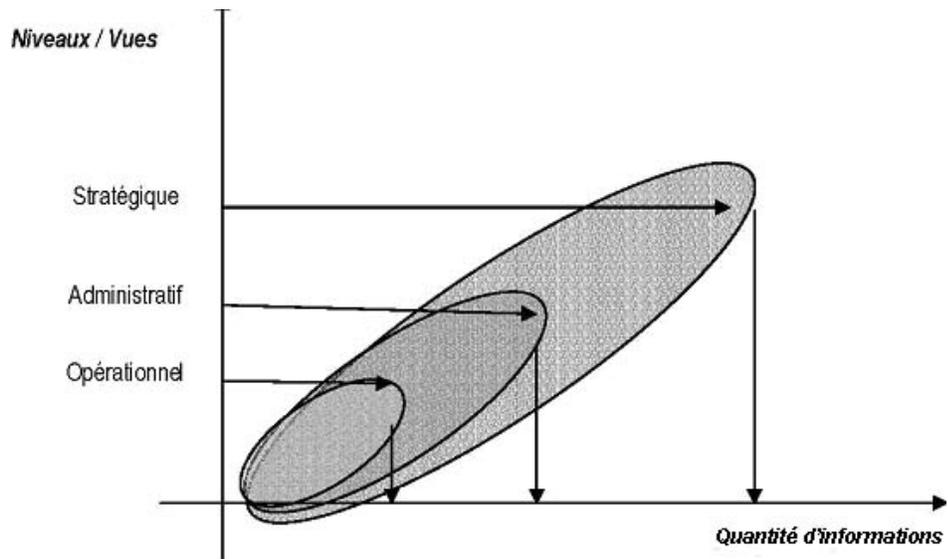


Figure III-24 : Relation entre les niveaux et les informations dans la gestion technique du patrimoine technique

III.2.4 Conclusion

Nous avons vu que notre approche se situe dans la prise en compte des spécificités métiers qui participent à la maintenance et à l'exploitation du bâtiment. Nous nous concentrons, au début, sur la mise à disposition d'un accès ciblé aux informations du système, puis, sur une aide à l'intégration des différentes contributions de ces acteurs aux activités liées au patrimoine construit durant sa phase d'exploitation et de fonctionnement.

Dans le prolongement des ouvertures proposées par l'IAI, la représentation d'un bâtiment sous forme d'objets permet aux différents partenaires de partager un même modèle du projet et également de définir pour chaque filière sa propre représentation des objets accessibles dans le schéma descriptif du modèle. Chacun d'entre eux, compte tenu de son profil métier peut, à son tour, les réutiliser ou les enrichir en produisant une nouvelle version datée, dans un contexte d'ingénierie concourante de la maintenance.

Cependant, nous nous concentrons sur le développement du système, qui consiste à renseigner l'ensemble des attributs et propriétés techniques qui caractérisent les entités architecturales manipulées. Notre but est d'aider l'acteur technique, financier, fonctionnel et administratif dans sa recherche d'information sur un produit adapté en prenant en considération ses besoins métiers et son niveau de responsabilité dans l'opération et l'action effectuée.

En premier lieu, nous favorisons l'approche fonctionnelle par la mise en place un Système de Gestion de Base de Données Relationnelles-Objets (SGBDRO) pour les produits du patrimoine construit de la SNCF. Ce dernier est structuré en thèmes de métier afin de réformer la solution optimale qui satisfait l'ensemble des contraintes fonctionnelles, techniques, financières et tactiques liés au patrimoine construit. Ensuite, nous effectuons une approche technologique qui admet une réutilisation des contrôles techniques capitalisés issus des processus et procédures des projets différents. Pour cela, nous réalisons une représentation de l'objet « Control » décrite dans un schéma distinct et mémorisé dans une base différente qui matérialise le « savoir-faire » des gestionnaires des grands parcs immobiliers et qui est enrichie au fur et à mesure des projets modifiés, exploités et maintenus. Cette description prendra en considération la spécificité du patrimoine construit de la SNCF.

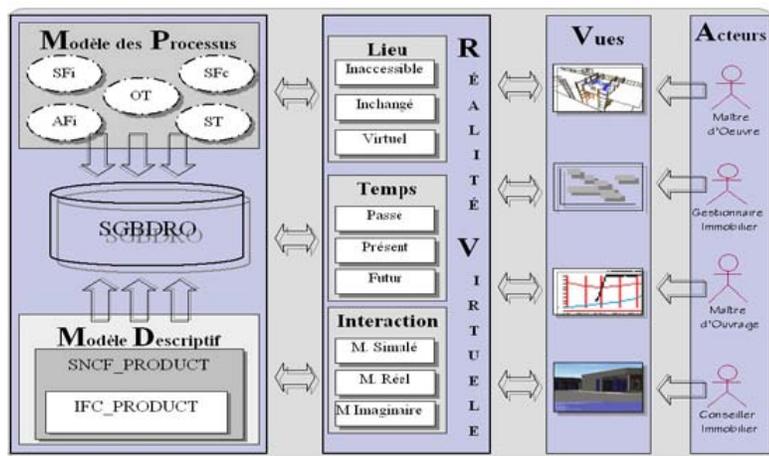


Figure III-25 : l'articulation de notre système avec ses différents vues et acteurs

Ainsi, dans la continuité de cette partie, nous proposons, dans le chapitre suivant, d'utiliser et de mettre au cœur du système le monde virtuel de l'édifice réel comme interface adaptative de consultation et d'interrogation. Cette maquette est générée dynamiquement selon le profil métier de l'utilisateur afin d'améliorer la lecture de l'édifice et l'extraction des connaissances liées à sa gestion de fonctionnement. Nous associons, donc, l'avantage de la Réalité Virtuelle qui consiste à générer une interaction active à des informations alphanumériques dynamiques et statiques selon le profil métier en question.

Le chapitre suivant présente, donc, le prototype informatique RVGT (Réalité Virtuelle et Gestion Technique), à savoir le troisième objectif de notre travail, qui nous permet ainsi de formaliser notre approche.

IV L'application RVGT

Dans la partie III.1, nous avons pu répondre au premier objectif de notre travail qui consiste à proposer une description du bâtiment s'appuyant sur la norme IFC (Industrial Foundation Classes) en tenant compte des spécificités des grands édifices de la SNCF. Dans la partie III.2, nous avons continué notre démarche prévue pour répondre au deuxième objectif de notre travail qui consiste à fournir un système d'information et d'aide à la décision pour la gestion technique et pour la maintenance du patrimoine construit, en exploitant les nombreuses possibilités offertes par la RV et en gérant des profils d'acteurs distincts

Dans cette partie IV, nous continuons par le développement du troisième objectif de la thèse, qui consiste à contribuer à la réalisation d'un prototype basé sur un moteur de la réalité virtuelle capable d'exploiter et de valoriser les dispositifs de la RV pour la maintenance du patrimoine construit. Pour cela, nous nous sommes basés sur des entretiens auprès des principaux acteurs concernés au sein de la SNCF (voir Annexes) afin de comprendre l'activité de ce patrimoine et les objectifs de la SNCF. L'étude s'est parfois révélée très complexe par les enchaînements des différentes responsabilités. Ensuite, nous avons mis l'accent sur le partage du diagnostic et des éléments clés du scénario d'organisation. Puis, nous avons affiné le dispositif à partir de l'organisation de la SNCF pour arriver à mettre en place des scénarii d'activités opérationnelles et stratégiques afin de développer l'interface du prototype RVGT.

Avec cette démarche, nous avons pu mettre en place les fonctionnalités cherchées de ce nouvel outil afin de développer une architecture du système plus adéquate au réel. Par les caractéristiques de ce système, nous avons pu structurer le modèle géométrique et le modèle alphanumérique du patrimoine construit. Cette structuration va nous permettre de accompagner les informations liées au cycle de vie des produits industriels qui déterminent le patrimoine de la SNCF. Pour mettre en place ce développement conceptuel, nous avons eu recours à des outils, à des langages et à des notations informatiques mentionnés dans le chapitre I et II. Pour valider tous ces concepts, nous exposons, à la fin du chapitre, étape par étape, l'interface de l'outil en question et sa manipulation par des d'acteurs différents (opérationnels et stratégiques) enrichie par des scénarii réels.

Nous rappelons que dans le cadre d'une thèse CIFRE, la Direction de l'Innovation et de la Recherche à la SNCF souhaitera étudier l'intérêt de la RV pour la Gestion Technique du Patrimoine Construit (GTPC) et élaborer un lien technique et opérationnel entre la description géométrique et alphanumérique du patrimoine construit. Ainsi, nous nous sommes intéressés à cette problématique.

IV.1 Connaissance de l'existant

Nous procédons, dans un premier temps, à l'étude du patrimoine immobilier de la SNCF et de sa spécificité, avant de s'intéresser aux activités des différents profils d'acteurs (voir en annexes) qui interviennent sur l'évolution dudit patrimoine durant la phase de fonctionnement et de maintenance. Ainsi, nous étudions les profils d'acteurs en situation de gestion et d'exploitation des espaces bâtis dans leur monde réel. Cette situation nous permet d'analyser les caractéristiques et les comportements de leurs activités dans le monde virtuel. Le tout a pour objectif de définir et de mettre en place des stratégies de gestion patrimoniale à court, moyen et long terme. L'application de ce système vise, essentiellement, l'amélioration des services de maintenance pour augmenter le confort et diminuer le temps d'intervention sur les sites sensibles.

IV.1.1 Patrimoine immobilier à la SNCF

Le patrimoine immobilier évolue et devient de plus en plus compliqué à gérer. La gestion des centaines de milliers d'hectares et de bâtiments coûte trois fois plus que ce qu'il génère comme revenus³⁶ (voir la Figure V-1). Les activités des grands parcs immobiliers sont imbriquées par le résultat de dizaines d'années d'évolution³⁷.

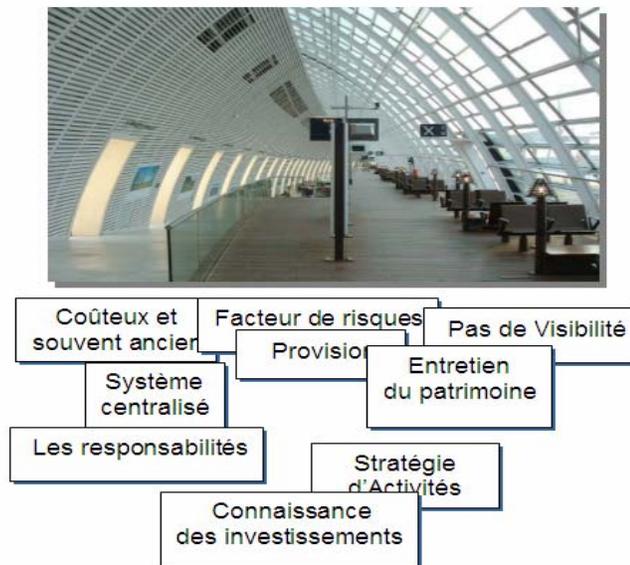


Figure IV-1 Contexte du patrimoine construit de la SNCF

Au sein de la SNCF, il y a une dizaine d'applications qui traitent et gèrent le patrimoine immobilier : financières, achats, fret, infrastructure, RH logements, DDG (Direction Des Gares). Ces différentes applications sont articulées autour de COPI (Connaissance et Organisation du Patrimoine Immobilier). Cette application, constitutive du cœur du système d'information du

³⁶ Etude au sein de la SNCF

³⁷ 160 années d'évolutions ferroviaires pour la SNCF, sachant que la gare Saint-Lazare à Paris est la première gare construite en France en 1836.

patrimoine immobilier, permet la description physique et l'enregistrement des occupations de ce patrimoine immobilier (SNCF et RFF³⁸).

Le patrimoine immobilier ferroviaire est constitué de bâtiments et de leurs équipements, de terrains et de leurs VRD (environ 6000 sites ferroviaires, 11500 ha, 55000 bâtiments et environ 250 000 locaux). Chaque site, lot de terrain, bâtiment et local doit être identifié et codifié. L'objectif de l'application COPI est de constituer le référentiel immobilier unique et exhaustif.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la gestion immobilière, un inventaire et une analyse des outils existants et complétés par des visites effectuées ont mis en évidence l'absence d'outils informatiques intégrés spécifiques à la gestion technique du patrimoine immobilier de la SNCF. En revanche, nous avons pu constater que chaque direction de la SNCF développe localement ses propres outils (Access, Excel ...) sans liaison avec les outils existants de gestion du patrimoine (COPI...).

Cette absence d'outil intégré et commun à tous les acteurs intéressés par la gestion des bâtiments au sein de la SNCF met en évidence une insuffisante maîtrise de l'information et une absence de vision globale sur la gestion technique du patrimoine qui se traduit, au niveau local, par une trop grande segmentation de l'information et des actions, et au niveau national par le manque d'indicateurs nécessaires pour valider, corriger voir définir une politique globale de maintenance.

L'amélioration du système d'information, va permettre entre autres, aux différents acteurs de recueillir, dans un souci de qualité, les informations nécessaires à la réalisation des objectifs de la gestion du patrimoine suivant leurs profils distincts, ce qu'on va essayer de le montrer dans le paragraphe suivant.

IV.1.2 Objectifs de la SNCF

La gestion du patrimoine immobilier de la SNCF a pour but de concrétiser une stratégie globale et de tendre vers une gestion par centre de responsabilité. Au sein de la SNCF, il y a une ambition de développer la professionnalisation de la gestion immobilière et de susciter les adaptations nécessaires à la satisfaction des besoins des « domaines d'activité » et du Réseau Ferré de France (RFF).

Des études effectuées sur l'organisation du patrimoine immobilier au sein de la SNCF ont permis la mise en place de cahiers des charges pour une organisation plus efficace (voir la Figure V-2). Nous allons citer quelques synthèses et réflexions qui peuvent être intéressantes pour notre projet. L'approche idéale à mettre en place n'existe pas, mais nous allons éclaircir quelques points séduisants qui touchent, en premier lieu, à l'aspect confort de la clientèle et, en deuxième lieu, à l'aspect financier et économique.

³⁸ Réseau Ferré de France

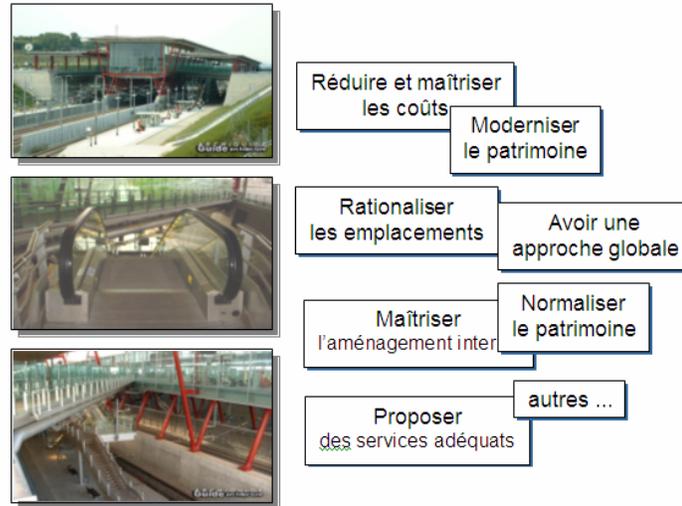


Figure IV-2 : Les enjeux de l'activité du patrimoine de la SNCF

Depuis les années 1980, force est de constater que l'écart entre le confort dans le train et le confort dans la gare s'est creusé. De ce fait, en 2001, la SNCF lance le programme de certification des gares aux normes AFNOR³⁹. Les exigences des clients croissent au fur et à mesure de leur satisfaction. Dans ce cadre là, il faut bien gérer les problèmes techniques pour pallier les défaillances des composants du patrimoine et ce afin d'améliorer le confort dans les grands édifices publics ferroviaires. Une mauvaise gestion de la maintenance et du fonctionnement de ces composants entraînera une mauvaise satisfaction de la clientèle. Pour cela, la Direction de l'immobilier tend à coordonner et à combiner les approches immobilières de ses différentes activités.

Cependant, l'importance économique est fondamentale dans la gestion technique de patrimoine construit. Néanmoins, sans argent, nous ne pouvons pas avoir un bon investissement. Une détérioration du confort et une dégradation des composants du patrimoine sont les conséquences de ce manque de fonds. C'est ainsi que pour répondre aux contraintes économiques, la Direction de l'immobilier doit :

- réduire le coût global de possession des actifs de son patrimoine : i.e. maîtriser le coût, valoriser le patrimoine et opérer les cessions nécessaires.
- optimiser le coût d'occupation des locaux avec une approche de la rationalisation des coûts à la fois fonctionnelle et spatiale.

La Direction des Gares est responsable de la gestion de son patrimoine et, à ce titre, elle maîtrise les investissements et les espaces liés en prenant en compte la spécificité des gares.

³⁹ L'Association Française de Normalisation (AFNOR) est l'organisme officiel français de normalisation. Il est membre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO).

IV.2 Caractéristiques du système

Un Système de Gestion de Base de Données Relationnel Objet (SGBDRO), permettra de structurer et de gérer la gestion des données afin de répondre à nos problématiques (voir chapitre 2.3). Le dit SGBDRO sera interfacé avec le moteur de Réalité Virtuelle - SOFI, développé au sein de la Direction de l'Innovation et de la Recherche à la SNCF, pour développer des liens entre les données morphologiques des ouvrages et les informations techniques.

En premier lieu, un modèle géométrique et un schéma descriptif sémantique d'une porte sont développés et testés dans le cadre d'un prototype d'application dédié au domaine de la gestion technique de patrimoine construit des grands édifices des transports ferroviaires (Approche Objet3DInformation/Acteur : Une représentation d'une porte sous différents profils d'acteurs.). Nous organisons ces classes d'objets dans des « packages » thématiques. Ces classeurs représentent chacun un domaine du champ de la construction, comme l'illustre la Figure V-3.

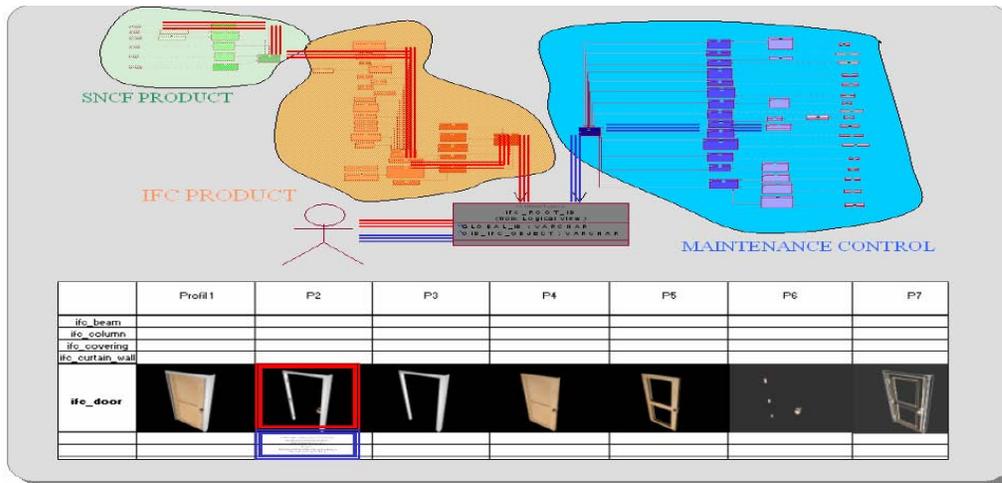


Figure IV-3 : Approche Objet3DInformation/acteur : Schéma hiérarchique et descriptif des classes objets d'une porte sous différents profils d'acteurs.

Autour d'une classe mère, la description du bâtiment se développe progressivement [Ameziane,1998] et les modèles physiques des objets doivent évoluer avec le temps (voir la Figure V-4) . Les composants du bâtiment qui représentent « physiquement » l'édifice sont la « Partie Statique » (IFC et SNCF PRODUCT). Les activités liées à ces composants « Partie Dynamique » sont regroupées dans IFC et SNCF_CONTROL et sont réalisées par des acteurs dont les caractéristiques sont spécifiées.

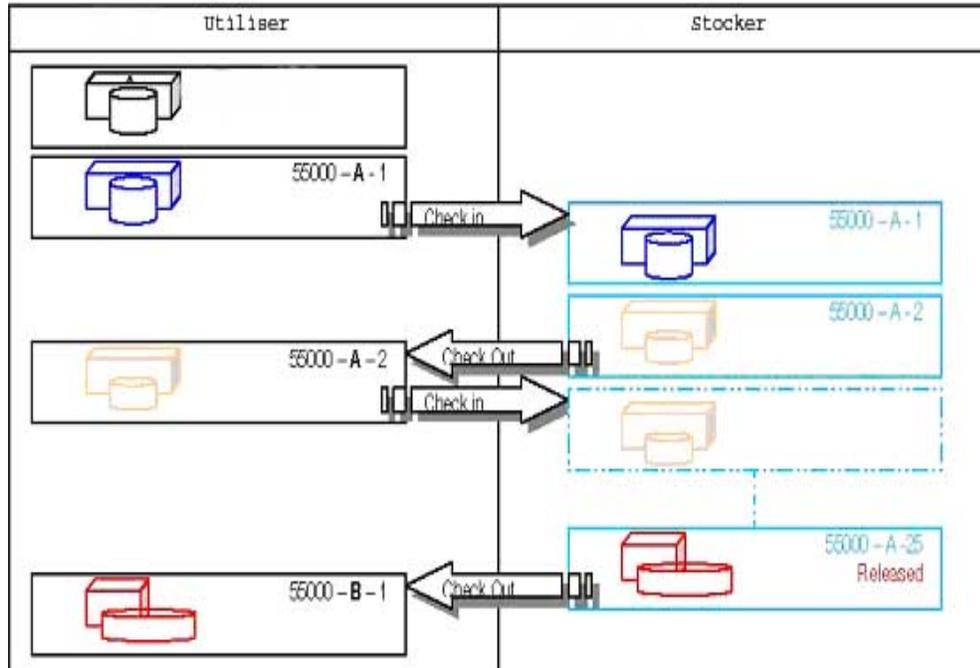


Figure IV-4 : Evolution des données alphanumériques et géométriques

Ce schéma représente d'une part des normes et des standards IFC que nous avons décrits (dans le chapitre II.2.2.b.1) et d'autre part, des données enrichies du bâtiment propre à la SNCF comme les composteurs, les automates,... leurs labels ou encore des valeurs qui peuvent être ajoutées, par exemple, sur la résistances au feu (M0, M1, etc.) et qui sont regroupées dans un package.

Cette application nous a permis de montrer la faisabilité d'une communication entre la base de données descriptives du bâtiment et le moteur SOFI (Voir la Figure V-5).



Figure IV-5 : Test d'un Environnement Virtuel Interactif des données descriptives des portes)

L'évolution des scénarii métiers d'intervention sur le site est fondamentale. Nous aurons, donc, recours aux visites techniques périodiques, liées aux garanties, et obligatoires effectuées sur le

site avec plusieurs acteurs de la gestion technique et maintenance du patrimoine construit (Maître d'ouvrage, maître d'œuvre, prescripteur, consultant, pouvoir public, pouvoir privé, exécutant, fournisseur, etc.). Dans les grandes entreprises comme la SNCF, nous sommes confrontés à un nombre plus élevé d'intervenants sur le patrimoine (voir annexes).

IV.2.1 Modèles de données dans le Système d'information

Pour mettre en marche notre projet, nous devons prendre en considération la nouvelle organisation et les objectifs prioritaires de la Direction de l'immobilier. Pour la partie Modèle des Processus et Modèle Descriptif, comme l'illustre la Figure V-6, nous organisons ces classes d'objets dans des "packages" thématiques. Ces classeurs représentent chacun un domaine du champ de la construction.

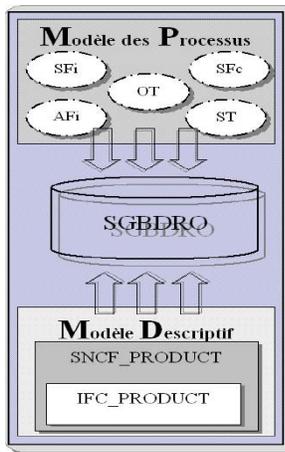


Figure IV-6 : Relation SGBD avec les modèles du système

Autour d'une classe mère (IFC_Root), la description du bâtiment se développe progressivement. Dans le Modèle Descriptif, les domaines représentant « physiquement » l'édifice, sont les Ouvrages (Construction_Works) et les « Produits » (Product). Dans le Modèle des Processus, les activités liées à ces composants sont regroupées dans « Contrôle » (Control). Ces activités sont réalisées par des acteurs dont les caractéristiques sont spécifiées dans le chapitre IV.2.2. Les activités, les ouvrages et les produits particuliers à la SNCF viennent enrichir le schéma de base décrit par la norme IFC.

Le Modèle Descriptif regroupe des données "statiques", (voir le chapitre IV.1.4.d), du bâtiment comme les numéros de lots, leurs labels, ou encore des valeurs de résistances au feu (M0, M1, etc.) qui sont regroupées dans le package Product et les données « dynamiques » du bâtiment sont représentées dans le Modèle des Processus. Pour alimenter cette dernière partie dynamique, nous

avons recours aux visites techniques des grands édifices (voir Annexes).

Cependant, le modèle IFC décrit le monde du bâtiment en classes d'objet [IAIF], ainsi un acteur, un mur ou même une unité de mesure est représentée par une classe au formalisme Express et Express-G. Les classes définies de la sorte ont des liens entre elles (association, héritage...). L'architecture du modèle IFC est fortement inspirée du domaine de la gestion de production, surtout quand il s'agit de définir plusieurs niveaux de description (ressources, noyau, interopérabilité...).

Ainsi, le modèle IFC propose peu de classes pour décrire les composants du bâtiment, mais il offre une schématisation détaillée de chacune. En d'autres termes, on peut trouver dans l'architecture du modèle IFC tout composant physique ou non du bâtiment (mur rampe d'escalier, coût d'une opération, temps d'une tâche, ...) mais décrit de manière peu détaillée du fait qu'il s'agit d'un standard constituant le plus petit dénominateur commun entre le savoir-faire de différents éditeurs de logiciels.

La Figure V-7 montre des extraits des domaines "Ouvrages" et "Produits" du schéma de données dans lequel nos objets du bâtiment ont été structurés. Ils héritent de la classe

"Building_Entity" définie comme un objet générique. La classe « IFC_Control » vient s'ajouter dans le Modèle descriptif des processus et « IFC_Product » vient s'ajouter au Modèle descriptif des produits. Ces 2 classes héritent des propriétés de "IFC_Object" et «IFC_Root», en y ajoutant les informations propres à la SNCF.

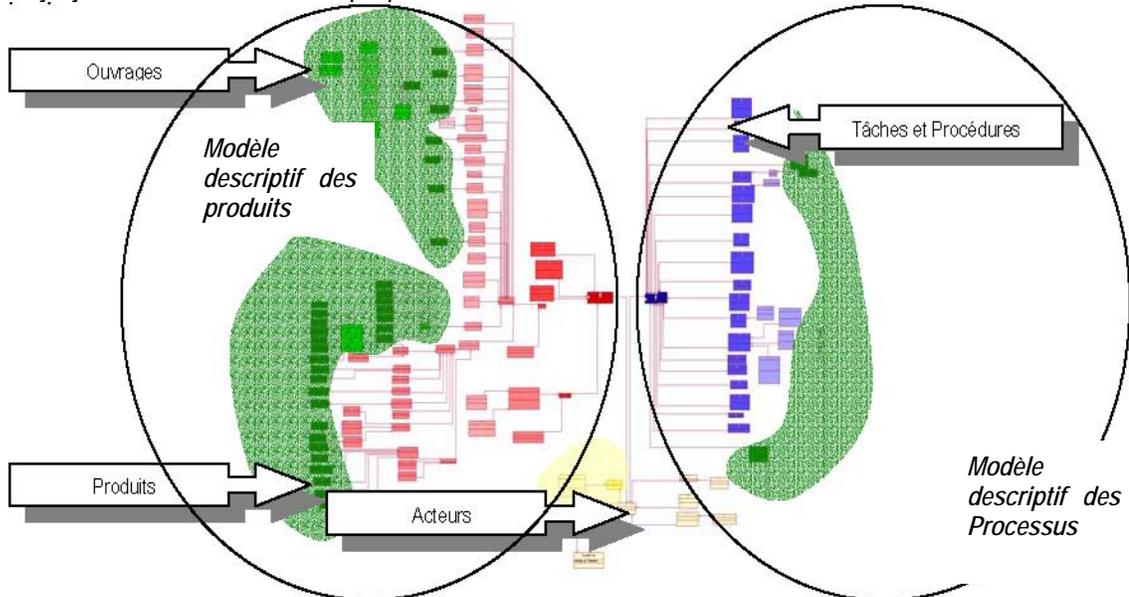


Figure IV-7 : Schéma descriptif des produits et des processus de patrimoine construit enrichi par la spécificité de la SNCF

	Schéma descriptif de la spécificité du patrimoine construit de la SNCF
	Schéma descriptif des Ouvrages et des Produits de patrimoine construit
	Schéma descriptif des Taches et des Procédures de patrimoine construit
	Schéma descriptif des profils d'acteurs de patrimoine construit

Par exemple, la classe « poteau » (IFC_Beam) se trouve en fin de branche. Cette classe hérite des informations de la classe « entité du bâtiment » (IFC_Building Element). De cette classe, il y a un héritage successive de « élément » (IFC_Element), en passant par « production » (IFC_Product) et « objet »(IFC_Object) jusqu'à la classe «IFC_Root ». Pour chaque projet de construction, nous introduisons un schéma administré par un utilisateur privilégié. Ce schéma reprend les caractéristiques de celui que nous maintenons depuis Rational Rose avec le formalisme UML.

A chaque définition d'objet correspond un squelette de classe qui contient les différentes caractéristiques de la classe (les attributs et les méthodes). Ces attributs sont de type scalaire (nombre, caractère, date, Large Object Binary) ou de type "objet" défini dans le schéma. Cette deuxième possibilité nous permet de caractériser des liens de type référence ou association entre les objets de la base.

De la même façon, la classe "Product" définit de manière générale les produits du bâtiment. Elle est complétée par les classes IFC relatives aux caractéristiques des matériaux, ainsi que par des attributs propres à la législation française comme le code de la nomenclature « Sofi_name » ou le code de lot d'ouvrage.

Ces deux classes ont un lien d'association qui traduit le fait qu'un ouvrage est composé de plusieurs produits (Un mur peut être composé de parpaings, de béton, d'un enduit sur la face extérieure, d'une isolation sur la face intérieure, d'une couche de placoplâtre et d'un revêtement mural). Inversement, on est capable de lister tous les ouvrages qui nécessitent la pose d'un matériau isolant par un plaquiste, par exemple.

Cette association permet également de conserver une description globale de l'ouvrage même si toutes les couches ne sont pas représentées graphiquement. Ceci est fondamental pour une bonne gestion des niveaux de représentation de l'édifice, dont nous avons parlé dans le chapitre II.2.2.b.1. L'acteur décisionnel (administrateur) arrête où il veut le niveau de détail de son ouvrage dessiné, sachant qu'il est décrit très précisément de manière textuelle, et qu'il peut naviguer dans ces descriptions via le système d'information.

IV.2.2 Les outils utilisés

Au sein du laboratoire MAP-GAMSAU [Gamsau,Web], [Ameziane, 1998] [Lasserre, 2004] [Hamani, 2003], Rational Rose offre de bonnes réponses en terme de travail collaboratif et de suivi des versions. Il permet de partager des modèles de données et de suivre ses révisions entre les différents utilisateurs qui travaillent sur cet axe de recherche. Chacun peut ainsi développer ses propres domaines d'intervention et les implémenter de manière autonome.

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre II.2.2, nous utilisons le formalisme UML pour la modélisation des classes d'objets et les cas d'utilisations, grâce au modelleur Rational Rose de Rational Inc.

Nous avons modélisé les classes, pour les implémenter dans notre SGBD de description du bâtiment. Nous avons connecté les classes « CONTROL » et « Product » à « IFC_Object », de la manière suivante :

En premier lieu, nous avons modélisé des classes d'objets sous Rational Rose de type « objet table » (voir la Figure V-8) associées aux classes que nous voulions instancier dans notre base de données.

En deuxième lieu, Rational Rose permet de générer, à partir d'un schéma comme suite, un fichier SQL interprétable directement par PostgreSQL.

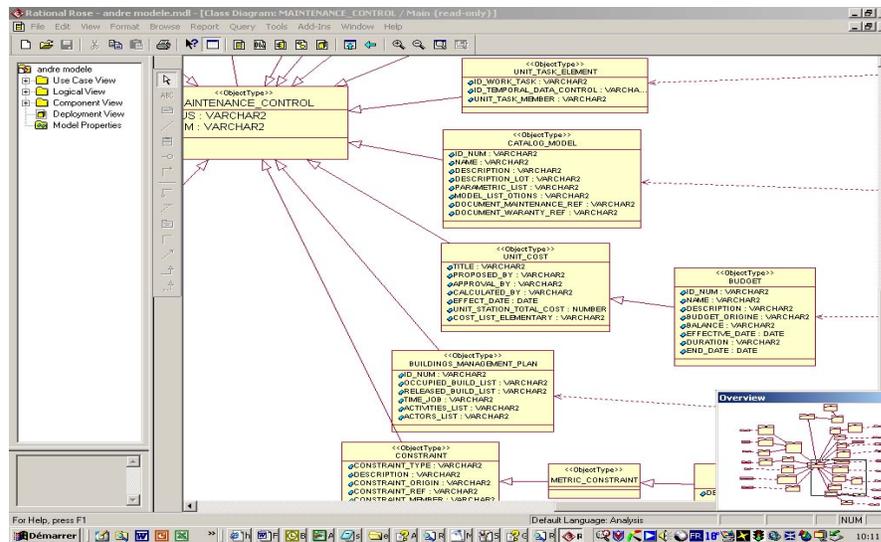


Figure IV-8 : Les classes d'objets dans le package "IFC_CONTROL"

Après avoir cherché toutes les bases de données disponibles qui soient libres et dont le code source soit disponible, nous avons trouvé que PostgreSQL (voir la Figure V-9) est le SGBDRO (Relationnel Objet) le plus mature et le plus largement utilisé au monde. Des énormes travaux ont déjà été effectués sur des thèmes distincts. Il possède des pilotes ODBC et JDBC permettant d'écrire des applications indépendantes des bases de données. Les applications écrites en PostgreSQL qui utilisent les pilotes TCL/TK, PHP, JDBC et ODBC, sont facilement portables sur d'autres systèmes tels que Oracle, Sybase et Informix et vice versa.

Nous accédons aux données du SGBD via le driver JDBC (Java DataBase Connectivity). Ce driver est implémenté par l'API JDBC, comme le montre l'extrait suivant. Ici, nous sélectionnons tous les types de rôles définis pour un acteur et, les « Meta » informations qui sont associées. Il s'agit de la structure de la classe comme les noms d'attributs et leurs méthodes.



Figure IV-9 : Interface phpPgAdmin pour gérer Postgresql

La version 7.4 PostgreSQL permet de définir un schéma de données pour chaque utilisateur du SGBDRO. Ainsi, une base de données peut gérer plusieurs schémas avec ses propres stratégies d'accès.

Pour implémenter nos maquettes informatiques, nous nous sommes appuyés sur le logiciel Rational Rose de IBM Corp.⁴⁹. Il s'agit d'un logiciel d'application qui couvre le domaine de l'ingénierie du logiciel. Il apporte des outils d'analyse et de conception dans le développement de logiciel basé sur les modèles UML (Unified Modeling Language), COM (Component Object Modeling), OMT (Object Modeling Technique) et Booch ("93 method for visual modeling ") [Quatrani,2000]

Dans notre projet, Rational Rose nous permet de modéliser des schémas de bases de données, et d'exécuter des instructions SQL, et de décrire nos besoins en terme de cas d'utilisation du système. Ce logiciel procure un ensemble d'outils qui permettent de modéliser des classes, de représenter les liens entre ces classes, de définir des diagrammes conformément aux prescriptions UML⁴⁰. Il permet ensuite de déployer ces éléments dans un langage particulier (Java, C++, SQL⁴¹, Oracle, Visual Basic, etc.).

En vue de valider nos hypothèses, nous allons associer notre base de données à un modèle géométrique. Nous allons utiliser pour cette expérimentation un moteur de réalité virtuelle, SOFI (Simulateur Opérationnel de Formation Individuelle). Notre choix de SOFI se justifie par l'importance et le développement de ce moteur par la Direction de l'Innovation et de la Recherche à la SNCF.

SOFI est un moteur de réalité virtuelle qui permet la création d'une simulation interactive, de l'interface utilisateur et des mondes virtuels. Il est employé réellement comme outil de recherches pour créer et examiner des systèmes de formation par la Réalité Virtuelle (RV). Il est conçu pour être modulaire, extensible, avec le soutien des affichages multiples sur les ordinateurs gérés en réseau et les interactions à utilisateurs multiples. SOFI est un prototype de recherches qui traite la représentation graphique d'une base de données et d'une interaction avec cette représentation. C'est un cadre pour contrôler l'affichage et l'interaction, aussi bien que la distribution de réseau. SOFI peut être employé comme application entière, « data-driven » par les comportements et les dossiers de configuration de XML ou bien, comme une bibliothèque externe accessible en cas de besoin. SOFI fonctionne seulement sous Linux pour le moment. Cependant, il est conçu par l'utilisation des bibliothèques dynamiques comportementales par objets. Nous voulons qu'il soit une alternative simple, légère et un moteur libre de RV.

XML est employé, ici, pour décrire les scènes, qui peuvent être dynamiquement chargées et déchargées. Les scènes peuvent être lues et écrites facilement, puisque c'est une description par texte. L'interpréteur qui contrôle le graphe de scène, et ainsi chaque format 3D soutenu par lui (3DS, DWG, DXF, ...), peut être importé et utilisé. Des comportements sont écrits dans C++ et groupés en bibliothèques dynamiques.

⁴⁰Union Modelling Language

⁴¹ Structured Query Language

Rational Rose permet de structurer des schémas spécifiques à la base de données et les implémenter après avoir généré les classes, au format SQL, afin de les implémenter dans le serveur. Les différentes entités que l'on peut modéliser sont le Type objet, les tables relationnelles, les tableaux de données (V Array), les tables incluses (Nested Tables), les tables d'objets (Object Tables), les vues relationnelles et les vues objets. On obtient toujours un retour d'information concernant la bonne exécution des requêtes dans le serveur.

Le langage SQL (Structured Query Language) peut être considéré comme le langage d'accès normalisé aux bases de données. Il est aujourd'hui supporté par la plupart des produits commerciaux que ce soit par les systèmes de gestion de bases de données micro tel que Access ou par les produits plus professionnels tels que Oracle. Il a fait l'objet de plusieurs normes ANSI/ISO dont la plus répandue aujourd'hui est la norme SQL2 qui a été définie en 1992. Le succès du langage SQL est du essentiellement à sa simplicité et au fait qu'il s'appuie sur le schéma conceptuel pour énoncer des requêtes en laissant le SGBD responsable de la stratégie d'exécution. Le langage SQL propose un langage de requêtes ensembliste et assertionnel. Néanmoins, le langage SQL ne possède pas la puissance d'un langage de programmation : entrées/sorties, instructions conditionnelles, boucles et affectations. Pour certains traitements il est donc nécessaire de coupler le langage SQL avec un langage de programmation complet au sens Turing du terme.

PostgreSQL supporte le langage SQL dans sa version 3. C'est le moyen privilégié pour communiquer avec un SGBDRO. PostgreSQL permet d'administrer le serveur, de maintenir le schéma de données associé à un utilisateur, et de manipuler les données qui y sont stockées (sélection, insertion, mise à jour, et suppression). Ce langage est décrit plus largement au paragraphe I.6.

PhpPgAdmin 3.3 ajoute sur les anciennes versions des nouveaux dispositifs sur la stabilité et sur la fixation des bugs. Les nouveaux dispositifs sont :

- . →Dispositif de décharge de base de données, qui emploie le pg_dump
- . →Grandes améliorations de vitesse en réduisant le nombre de raccords de base de données et en employant la feuille externe de modèle.
- . →La fenêtre instantanée de SQL se transfère maintenant sur la base de données courante
- . →Affichage des Agrégations et classes d'opérateur

Nous organisons ces classes d'objets dans des « packages » thématiques. Ces classeurs représentent chacun un domaine du champ de la construction, comme l'illustre la Figure 9. Autour d'une classe mère, comme le préconisait les premiers travaux de l'axe de recherche communication et outils de CAO, la description du bâtiment se développe progressivement [Ameziane,1998]. D'autres classes complètent ce schéma. Il s'agit d'une part des normes et des standards IFC que nous avons décrits plus haut.

PostgreSQL supporte le langage Java qui vient compléter le PL/pgSQL . Au sein du SGBD, il permet entre autres d'écrire des agents planifiés ou des procédures stockées actionnables par triggers. PostgreSQL fournit également un grand nombre d'API (Application Programming Interfaces) pour faciliter le développement d'applications ou de services comme par exemple la

messaging entre acteurs du projet. Un des atouts de cette architecture orientée Java est de pouvoir ajouter des modules de classes qui complètent les fonctionnalités du serveur d'applications. Dans nos expérimentations, nous nous sommes largement appuyés sur cette possibilité pour étendre les fonctionnalités du système d'information au travers de composants dédiés. Dans cette application (voir la Figure V-10), nous adhérons à SQL/92, et nous illustrons les implémentations de ces fonctionnalités avec PostgreSQL, version Linux.

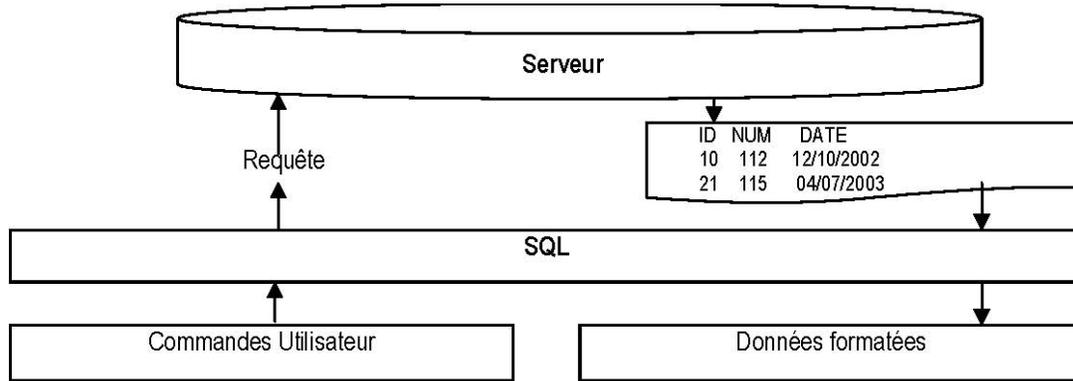


Figure IV-10 : Interaction avec Postgresql au moyen de SQL

Dans tous les SGBDR, les tables constituent l'unité de base du stockage des données. Elles comportent toutes les données accessibles à l'utilisateur. Pour créer une table (voir Figure V-13), il faut lui donner un nom et tous les attributs qu'elle doit comporter. De plus pour chaque attribut, l'utilisateur doit définir le type de données concernées et si nécessaire, les contraintes appropriées. Voici un exemple de la syntaxe pour créer une table « **WORK_EXECUTION_ORDER** » de la commande **CREATE TABLE**:

```
CREATE TABLE WORK_EXECUTION_ORDER ( WORK_PRODUCT_LIST VARCHAR(100), LONG_WORK_DESCRIPTION VARCHAR(200),
SHORT_WORK_DESCRIPTION VARCHAR(100), TASKS_TYPES_ELEMENTARY VARCHAR(100),
WORK_CONTRACTUAL_REFERENCE VARCHAR(100), STATE_COMMENT VARCHAR(200), STARTING_DATE DATE, ENDING_DATE
DATE, ESTIMATE_DATE DATE, WORK_PLANNING VARCHAR(200), ASCRIBABLE_BUDGET VARCHAR(200));
```

Il peut s'avérer nécessaire de déterminer le nom, le type de données et d'autres informations sur les contraintes des attributs constituant la table. La commande **DESCRIBE** de SQL permet de trouver ces informations.

```
DESCRIBE WORK_EXECUTION_ORDER
```

Ainsi, nous pouvons y ajouter des lignes par la commande **INSERT INTO**. Le processus d'ajout de lignes à une table est désigné par l'expression remplir ou peupler la table.

```
INSERT INTO WORK_EXECUTION_ORDER (WORK_PRODUCT_LIST, LONG_WORK_DESCRIPTION,
SHORT_WORK_DESCRIPTION, TASKS_TYPES_ELEMENTARY, WORK_CONTRACTUAL_REFERENCE,
STATE_COMMENT, STARTING_DATE, ENDING_DATE, ESTIMATE_DATE, WORK_PLANNING,
ASCRIBABLE_BUDGET)
```

```
VALUES ('nettoyer les fenêtres', 'prendre la serviette et le saut', 'la serviette', 'essuyer',
'UF152', 'très propre', '01/05/03', '03/05/03',
'03/05/03', '2 jours dont une heure de l'intérieure et 30 min de l'extérieure', '100 euro');
```

```
COMMIT ;
```

SHORT_WORK	TASKS_TYPES	WORK_CONTRA	STATE_COMME	STARTING_DATE	ENDING_DATE	ESTIMATE_DATE	WORK_PLANNI	ASCHIBABI	
1	serviette	essuyer	UF152	très propre	2001-05-03	2003-05-03	2003-05-03	2 jours dort une heure de nettoyage	100 euro

Figure IV-11 : interface MySQL pour créer la table *WORK_EXECUTION_ORDER*

Pour le moteur 3D au sein de la SNCF, nous avons eu recours à :

VRPN : Serveur libre de dispositifs de RV.

Le réseau périphérique de Réalité Virtuelle (VRPN) est un ensemble de classes dans une bibliothèque et un ensemble de serveurs qui sont conçus pour mettre en application une interface transparente de réseau entre les programmes d'application et l'ensemble de dispositifs physiques (traqueur, etc...) utilisé dans un système de la réalité virtuelle (VR). L'idée est d'avoir un PC ou tout autre centre serveur à chaque station de VR qui commande les périphériques (traqueur, un dispositif de bouton, dispositif haptique, entrées analogiques, bruit, etc...). VRPN fournit des raccordements entre l'application et tous les dispositifs en utilisant la classe de service approprié pour chaque type de dispositif partageant ce lien. L'application demeure ignorante de la topologie de réseau. En même temps, il est possible qu'une application, qui exige l'accès aux dispositifs spécialisés d'un certain dispositif de cheminement, dérive une classe qui communique avec ce type de traqueur. Si cette classe spécialisée était employée avec un traqueur, qui n'a pas compris comment placer son taux de mise à jour, les commandes spécialisées seraient ignorées par ce traqueur. Les types courants de système sont analogues, bouton, cadran, ForceDevice, bruit, texte, et traqueur. Chacun abstrait un ensemble de sémantique pour un certain type de dispositif. Il y a un ou plusieurs serveurs pour chaque type de dispositif, et une classe de client-côté pour lire des valeurs du dispositif et pour commander son opération. [<http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn>]

Performer 2.5 : Gestion de graphique de scène.

OpenGL Performer™ est une interface de programmation puissante et complète pour des réalisateurs créant la simulation visuelle en temps réel et d'autres applications orientées vers la performance professionnelles des graphiques 3D. Le toolkit simplifie le développement des applications utilisées pour la simulation visuelle, la conception de simulation de base, la réalité virtuelle, le divertissement interactif, la vidéo d'émission, et les conceptions architecturales. [<http://www.sgi.com/software/performer>]

libxml2 : Analyseur libre de XML.

Libxml est la bibliothèque de XML en C, développée pour le projet de Gnome. XML lui-même est un métalangage pour concevoir des langues de marge bénéficiaire, i.e. langue des textes où sémantique et structure sont ajoutés au contenu en utilisant l'information « supplémentaire » de marge bénéficiaire jointe entre les équerres. Le HTML est la langue de marge bénéficiaire la plus connue. Libxml2 est connu pour être portable, la bibliothèque devrait construire et travailler sans ennuis sérieux sur une variété des systèmes (Linux, Unix, Windows, CygWin, MacOS, MacOS X, OS de RISC, OS/2, VMS, QNX, MVS...) [Voir <http://www.xmlsoft.org/>]

IV.3 Développement du prototype RVGT

IV.3.1 Architecture du système

L'application RVGT se positionne dans un contexte existant pour mettre en place le référentiel propre aux activités souhaitées. Il est essentiel, donc, d'identifier parfaitement cet environnement pour permettre d'évaluer l'écart entre la situation actuelle et celle souhaitée afin de quantifier l'effort à réaliser sur les actions suivantes : Par exemple, le coût à investir, les nouvelles compétences à acquérir et les techniques informatiques à mettre en place.

Pour commencer à mettre en place une interface, il faut pouvoir répondre à plusieurs questions ergonomiques. Comment pourvoir y accéder à l'information ? et par quel moyen ?

Cette application vise à apporter à chaque acteur une représentation du projet en fonction de son profil d'accès. Les acteurs du patrimoine construit accèdent à des représentations graphiques et alphanumériques du bâtiment qui sont, au préalable, filtrées sur le serveur ou bien via l'interface iGT⁴².

La conception d'une interface complexe pour la gestion technique du patrimoine construit doit prendre en considération des aspects pratiques et applicables. Après avoir montré l'intérêt du monde virtuel et de la 3eme dimension pour accéder aux informations, il faut s'interroger sur son efficacité opérationnelle et sa mise en œuvre. La conception d'un système basé sur la RV nous pousse à étudier et à examiner les choix techniques de représentation et méthodologiques permettant de garantir l'utilisation et l'opérationnalité de l'outil développé.

Notre architecture du système est, alors, formée par 3 pôles (voir la Figure V-3): Moteur de la RV (iRV⁴³), interface iGT⁴⁴ et le SGBD⁴⁵. Afin d'enrichir notre système, il faut introduire 2 types de données : les données géométriques et les données alphanumériques.

Le pôle RV : c'est une interface qui doit nous faire découvrir les environnements virtuels en 3D. Ce monde virtuel doit être représenté par des données géométriques, par des couleurs, et afficher des informations techniques.

Le pôle iGT : c'est une interface qui doit pouvoir gérer la gestion de navigation dans le monde virtuel, manipuler l'affichage des données géométriques dans l'interface RV et afficher les données techniques et les résultats des requêtes lancés pour connaître le patrimoine.

Le BD : c'est un SGBD qui doit pouvoir sélectionner, mettre à jour et sauvegarder toutes les informations alphanumériques liés au patrimoine construit. C'est la partie cachée du système.

⁴² Interface de la Gestion Technique

⁴³ Interface de la Réalité Virtuelle

⁴⁴ Interface de la Gestion Technique

⁴⁵ Système de Gestion de Base de Données

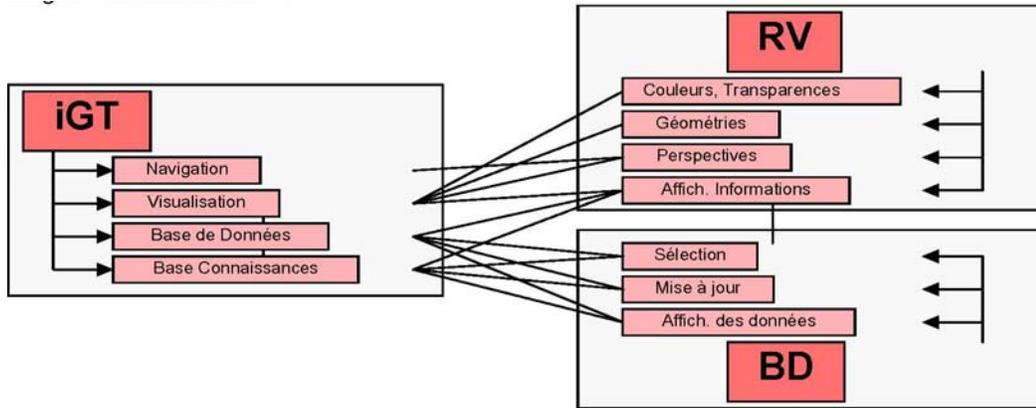
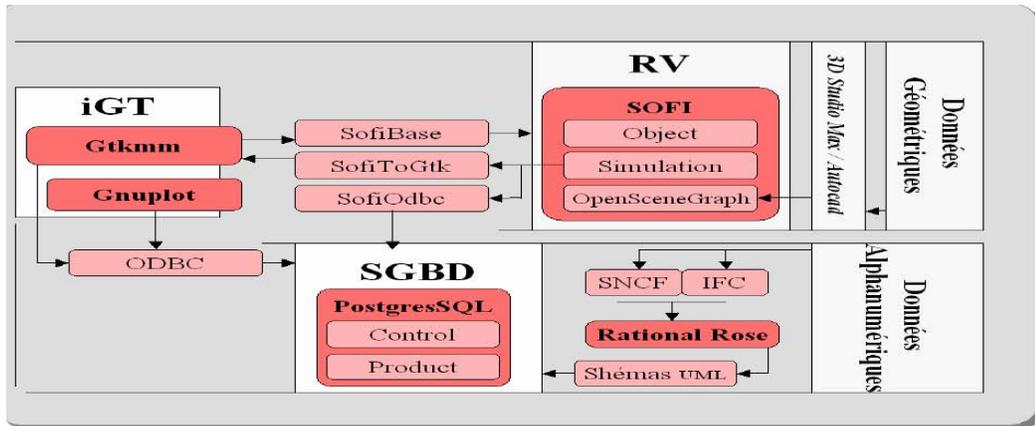


Figure IV-12 : Fonctionnalité du système

Pour formaliser les propositions que nous avons présentées dans le chapitre précédent, nous avons mis en place un système d'information accessible par un ensemble d'experts qui ont fait part de leurs besoins et ont apporté des contributions différentes. Ce système s'appuie sur un environnement virtuel 3D (iRV⁴⁶) et une interface 2D (iGT) qui sont particulièrement adaptés aux échanges des données techniques. Ces échanges permettent de maîtriser et d'adopter une bonne gestion d'accès concurrente. L'architecture de l'application comprend un serveur d'application Postgresql⁴⁷ et une interface de communication basée sur la technologie de GTKmm⁴⁸ développée en C++.

- Pour les données géométriques, notre système peut accueillir n'importe quel format reconnu par notre interpréteur de graphe de scène du moteur de la RV, mais, de préférence le format « .osg⁴⁹ ». Cependant, il existe des scripts dédiés aux modeleurs 3D (3d Studio Max, ...) qui permettent d'exporter sous le format OSG. Néanmoins, la description et la nomenclature des objets 3D doivent être adaptées à une formule déjà définie auparavant. Dans ce cas là, nous pouvons traiter ces données géométriques et les associer aux données alphanumériques requises.



⁴⁶ Interface de la Réalité Virtuelle

⁴⁷ Postgresql : est un système de gestion de base de données relationnelle et objet (SGBDRO). C'est un outil libre disponible selon les termes d'une licence de type BSD (*Berkeley software distribution license*)

⁴⁸ GTKmm est un logiciel multi- plateforme et libre distribué sous la licence GNU LGPL (Licence publique générale limitée) et est l'interface C++ officielle de l'interface graphique GTK+(The GIMP Tool Kit : un ensemble de bibliothèques logicielles,) et GNOME.(GNU Network Object Model Environment : un environnement graphique libre convivial).

⁴⁹ Open Scene Graph

Figure IV-13 : Architecture du système

- Pour les données alphanumériques décrites et basées sur la norme IFC et enrichies par la spécificité de la SNCF, nous pouvons les acquérir manuellement ou bien semi automatiquement. Si le projet est livré sous le format IFC, nous pouvons récupérer les données alphanumériques grâce à leur propre description d'origine. Dans le cas inverse, nous pouvons alimenter notre système d'informations par 2 méthodes manuelles : par l'intermédiaire d'une interface d'accès au système de gestion de base de données PostgreSQL, PhpPgAdmin par exemple, ou bien, par l'intermédiaire de notre interface iGT développée en fonction de chaque acteur.

L'interface iGT et la visualisation iRV (voir la Figure V-4) sont séparées pour plus de flexibilité afin de pouvoir piloter à distance le monde 3D par la même interface graphique. Ainsi, les modules réseaux de Sofi permettent de lancer simultanément la visualisation sur plusieurs machines. Nous pouvons, donc, imaginer des scénarii qui prennent en considération l'immersion totale de l'acteur (utilisateur) dans le monde virtuel avec son PC portable afin de répondre à des

IV.3.2 Gestion d'accès aux informations

L'accès à ces classes d'objets à distance via un portail est permis via une interface GTK. Cette interface est décrite dans GTKmm et permet entre autre d'accéder à un profil d'acteur défini dans un projet. Ainsi, nous pouvons utiliser le même profil dans n'importe quel projet. D'autres développements sont en cours pour utiliser cette possibilité comme moyen d'accéder aux définitions des objets directement depuis un outil de CAO.

Puisqu'on parle de faciliter l'accès à l'information, l'ergonomie doit être simple et bien réfléchi car une quantité importante d'informations doit être gérée par l'utilisateur. Un utilisateur peut avoir différents rôles, dans différents projets, comme la Figure V-14 nous le montre :

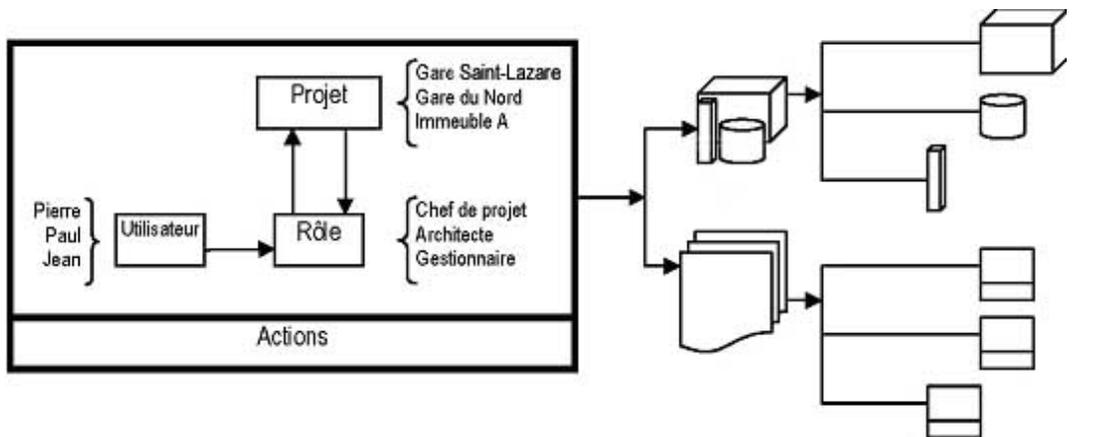


Figure IV-14 : Schéma relationnel Utilisateur/Rôle/Projet avec les données techniques du patrimoine construit

IV.3.2.a Accès à l'application

La page d'accès s'affiche au lancement de l'application avec le monde virtuel. Elle permet de

saisir le nom de l'utilisateur et son mot de passe (voir la Figure V-15), en lui autorisant la connexion au serveur (SGBDRO). Le nom de l'utilisateur détermine le profil (mode) d'utilisation de l'application. Le profil opérationnel, administratif et stratégique.

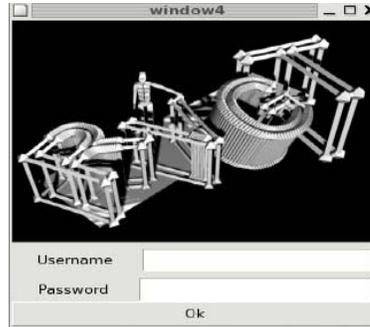


Figure IV-15 : Interface d'accès

Après avoir saisi le nom d'utilisateur et le mot de passe, un clic sur le bouton « ok » permet l'accès au menu « recherche d'un site » et la connexion au serveur.

IV.3.2.b Recherche d'un site

La recherche d'un site peut être commandée à partir d'une « Identité Globale » (code UT, Unité Topographique = site) ou par une recherche basée sur 2 aspects (voir la Figure V-16) :

- chercher par UT, site SNCF
- ou/et chercher par groupe d'acteurs

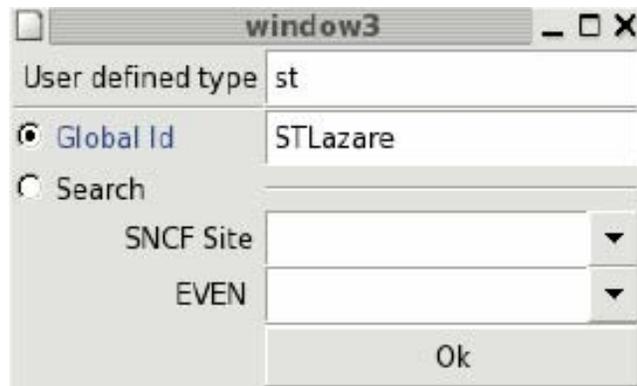


Figure IV-16 : Interface de recherche d'un site du patrimoine construit de la SNCF

Ces données permettent d'identifier un site de manière unique. Si l'utilisateur est connecté avec un profil régional, il pourra effectuer uniquement des recherches sur les édifices de sa région. S'il possède un profil national, il pourra sélectionner, dans un menu déroulant la région sur laquelle sera lancée la recherche.

IV.3.3 Prototype RVGT

Les concepts de description utilisés dans RVGT vont des éléments les plus gros aux plus fins (i.e. du site vers la poignée de la porte, si on a besoin !). Chaque concept supporte son lot d'information et dispose de la possibilité de l'afficher, de le gérer et même de l'éditer.

L'interface suit cette logique en fonction de chaque utilisateur. Comme la Figure V-17 nous le montre, l'application RVGT est divisée en 2 grandes parties : RV (Réalité Virtuelle) et GT (Gestion Technique).

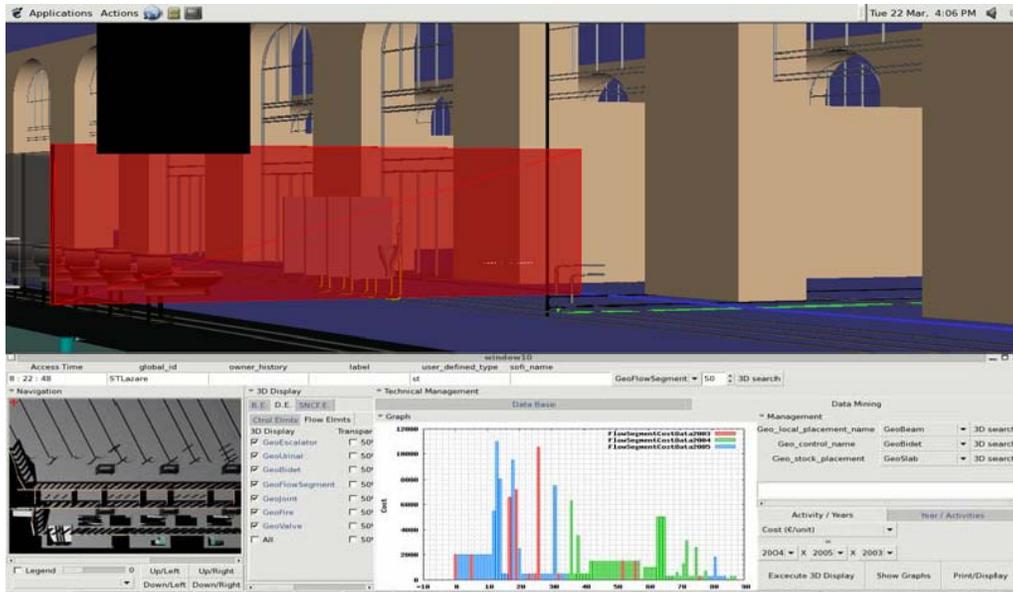


Figure IV-17 : Interface du prototype RVGT (iRV + iGT)

IV.3.3.a Interface de la Gestion Technique des informations (iGT)

La deuxième partie de cette application est l'interface de la Gestion Technique (iGT). iGT va nous permettre de faire le lien entre le Monde Virtuel (MV) et la Base de Données (BD). Ce lien est considéré comme fondamental pour l'activité de l'utilisateur.

Comment observer, se déplacer, agir, et communiquer avec MV et BD ?

iGT est formée par :

- .a. Informations basiques
- .b. Navigation
- .c. Gestion d'affichage 3D :
 - Eléments de Base

- Éléments de distribution
- Éléments spécifiques au patrimoine immobilier de la SNCF

.d. Gestion technique :

- Base de Données
- Base de Connaissances

Nous avons croisé les caractéristiques de chaque interface (iGt et iRV) avec les différents aspects et niveaux des activités du patrimoine construit à la SNCF (voir la Figure V-18).

Interface	Caractéristiques	Acteurs												
		Aspect Financier			Aspect Technique			Aspect Fonctionnel			Aspect Administratif (tactique)			
		St	Ad	Op	St	Ad	Op	St	Ad	Op	St	Ad	Op	
Gestion Technique	Navigation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Gestion d’Affichage 3D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Gestion de Données													
	Consulter	X		X	X	X	X		X	X		X		
	Mettre à jour/Modifier		X	X		X	X		X	X		X	X	
	Valider	X			X			X				X		
Monde Virtuel	Représentation des ouvrages	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Représentation des activités	X	X	X	X			X			X	X	X	

Figure IV-18 : Classification des Acteurs / Interfaces

iGt : Gestion d’informations basiques : les informations de l’utilisateur connecté à la BD sont affichées dans une barre (en haut) de l’application toujours visible à tout moment de l’activité effectuée par l’utilisateur.

Les informations basiques

window10

Access Time	global_id	owner_history	label	user_defined_type	sofi_name
8 : 22 : 48	STLazare			st	GeoFlowSegment 50 3D search

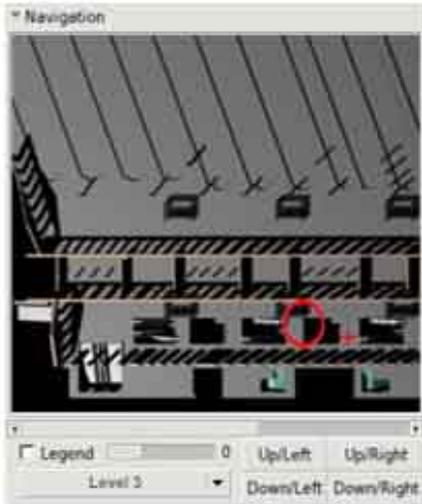
- Temps d’accès
- L’identité globale
- Le propriétaire
- Le label
- L’utilisateur
- Le nom de la géométrie en question

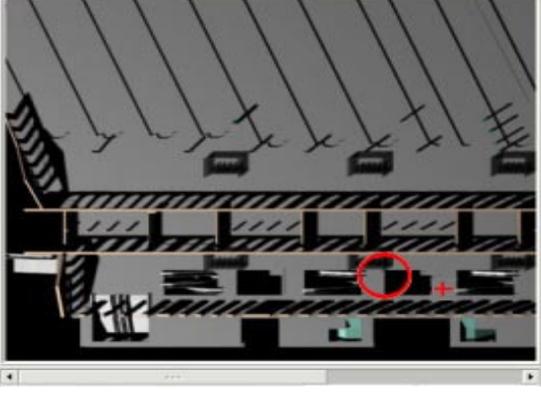
<input type="text" value="global_id"/> <input type="text" value="STLazare"/>	Affichage du Label du Site, ex : gare, habitation, atelier de maintenance...
<input type="text" value="Access Time"/> <input type="text" value="8 : 22 : 48"/>	Affichage du temps d'accès, ex : « 8 : 22 : 48 »
<input type="text" value="label"/>	Affichage du Label du Site, ex : gare, habitation, atelier de maintenance
<input type="text" value="owner_history"/>	Affichage du nom du propriétaire dans la SNCF, ex : DDG, DIMO
<input type="text" value="user_defined_type"/> <input type="text" value="st"/>	Affichage du nom de l'utilisateur, ex : Stratégique.
<input type="text" value="sofi_name"/>	Affichage du nom de l'élément sélectionné, ex : GeoFlowSegment51

iGt : Gestion de Navigation : Afin de manipuler la navigation dans le MV et pour définir les caractéristiques de l'interface, on a recours à la mise en place des interfaçages comportementales et à la reconstruction de la topologie bidimensionnelle de l'espace 3D. Voici une description de cette partie de l'interface qui traite les problèmes de navigation dans un MV :

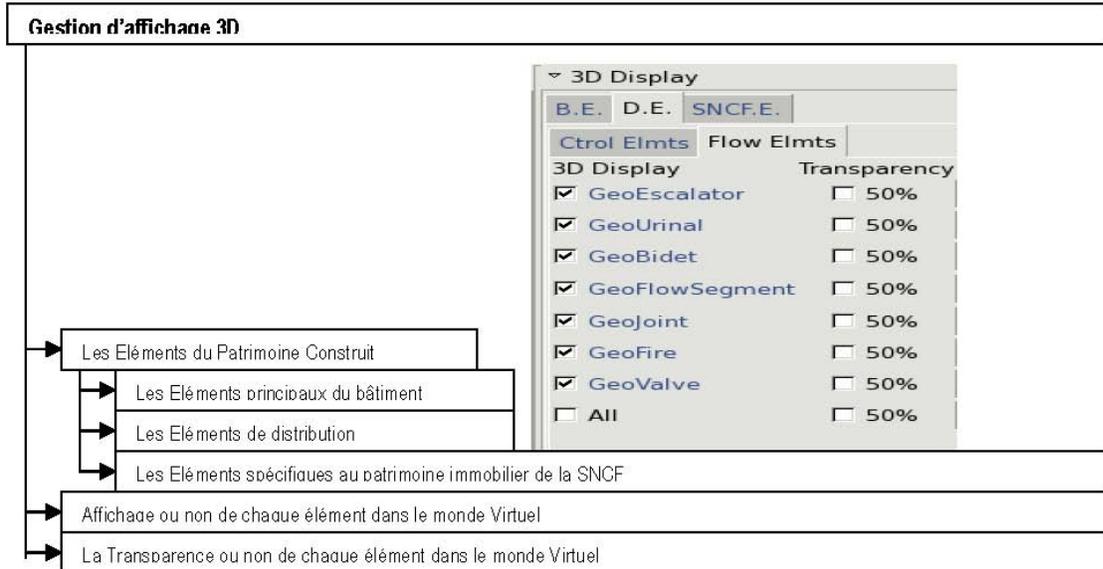
Navigation pour tous les utilisateurs

- La Légende du monde 3D
- Zoomer jusqu'à x6
- Choisir le niveau
- Vues des 4 angles (haut/gauche, ...)
- Une croix sur le plan représentant l'emplacement de l'utilisateur dans le monde 3D
- Cliquer sur le plan pour se mettre automatiquement dans le monde 3D suivant le niveau



	<p>Ce champ permet à l'utilisateur de naviguer dans le MV et connaître sa position (+) et la position de l'objet recherché (O). Pour se déplacer et découvrir une zone spécifique, il suffit de cliquer sur le plan. Ainsi, l'utilisateur se positionne automatiquement dans le MV.</p>																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Temperature</th> <th>Price</th> <th>Company</th> <th>Actor</th> <th>Emergency</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40° a 7°</td> <td>10000€ a P</td> <td>Entreprise01</td> <td>Even A</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>35° a 7° a 40°</td> <td>8000€aP=10000€</td> <td>Entreprise02</td> <td>Even B</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>30° a 7° a 35°</td> <td>6000€aP=8000€</td> <td>Entreprise03</td> <td>Even C</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>25° a 7° a 30°</td> <td>4000€aP=6000€</td> <td>Entreprise04</td> <td>Even D</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>20° a 7° a 25°</td> <td>2000€aP=4000€</td> <td>Entreprise05</td> <td>Even E</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15° a 7° a 20°</td> <td>1000€aP=2000€</td> <td>Entreprise06</td> <td>Even F</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10° a 7° a 15°</td> <td>500€aP=1000€</td> <td>Entreprise07</td> <td>Even G</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5° a 7° a 10°</td> <td>250€aP=500€</td> <td>Entreprise08</td> <td>Even H</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7° a 5°</td> <td>P= 250€</td> <td>Entreprise09</td> <td>Even I</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Temperature	Price	Company	Actor	Emergency	40° a 7°	10000€ a P	Entreprise01	Even A	3	35° a 7° a 40°	8000€aP=10000€	Entreprise02	Even B	2	30° a 7° a 35°	6000€aP=8000€	Entreprise03	Even C	1	25° a 7° a 30°	4000€aP=6000€	Entreprise04	Even D	0	20° a 7° a 25°	2000€aP=4000€	Entreprise05	Even E		15° a 7° a 20°	1000€aP=2000€	Entreprise06	Even F		10° a 7° a 15°	500€aP=1000€	Entreprise07	Even G		5° a 7° a 10°	250€aP=500€	Entreprise08	Even H		7° a 5°	P= 250€	Entreprise09	Even I		<p>Permet d'afficher la légende des couleurs affichées dans le MV en fonctions de chaque activité.</p> <p>Des dégradations de plusieurs couleurs sont communes à toutes les activités pour ne pas compliquer les tâches et bien comparer les résultats et avoir le moins recours à la légende.</p>
Temperature	Price	Company	Actor	Emergency																																															
40° a 7°	10000€ a P	Entreprise01	Even A	3																																															
35° a 7° a 40°	8000€aP=10000€	Entreprise02	Even B	2																																															
30° a 7° a 35°	6000€aP=8000€	Entreprise03	Even C	1																																															
25° a 7° a 30°	4000€aP=6000€	Entreprise04	Even D	0																																															
20° a 7° a 25°	2000€aP=4000€	Entreprise05	Even E																																																
15° a 7° a 20°	1000€aP=2000€	Entreprise06	Even F																																																
10° a 7° a 15°	500€aP=1000€	Entreprise07	Even G																																																
5° a 7° a 10°	250€aP=500€	Entreprise08	Even H																																																
7° a 5°	P= 250€	Entreprise09	Even I																																																
<p><input type="checkbox"/> Legend</p>	<p>Permet d'afficher la légende des couleurs des objets géométriques représentatifs des activités dans le MV.</p>																																																		
<p>... 0</p>	<p>Permet de zoomer dans le MV quelle que soit la position de l'utilisateur.</p>																																																		
<p>Level 3</p>	<p>Permet d'afficher et modifier le niveau de l'utilisateur dans l'édifice.</p>																																																		
<table border="1"> <tr> <td>Up/Left</td> <td>Up/Right</td> </tr> <tr> <td>Down/Left</td> <td>Down/Right</td> </tr> </table>	Up/Left	Up/Right	Down/Left	Down/Right	<p>Permet à l'utilisateur d'avoir une vue globale de tout le site sous les 4 angles.</p>																																														
Up/Left	Up/Right																																																		
Down/Left	Down/Right																																																		

iGT : Gestion d’Affichage 3D : Suivant l’activité de l’utilisateur, les éléments sont affichés. Cependant, à chaque famille d’éléments, on a associé des icônes représentées ci-dessous :



<input checked="" type="checkbox"/> GeoFlowSegment	Permet l’affichage ou non de toute la famille de l’élément sélectionné
<input type="checkbox"/> 50%	Permet de modifier la transparence de toute la famille de l’élément sélectionné

iGT : Gestion Technique :

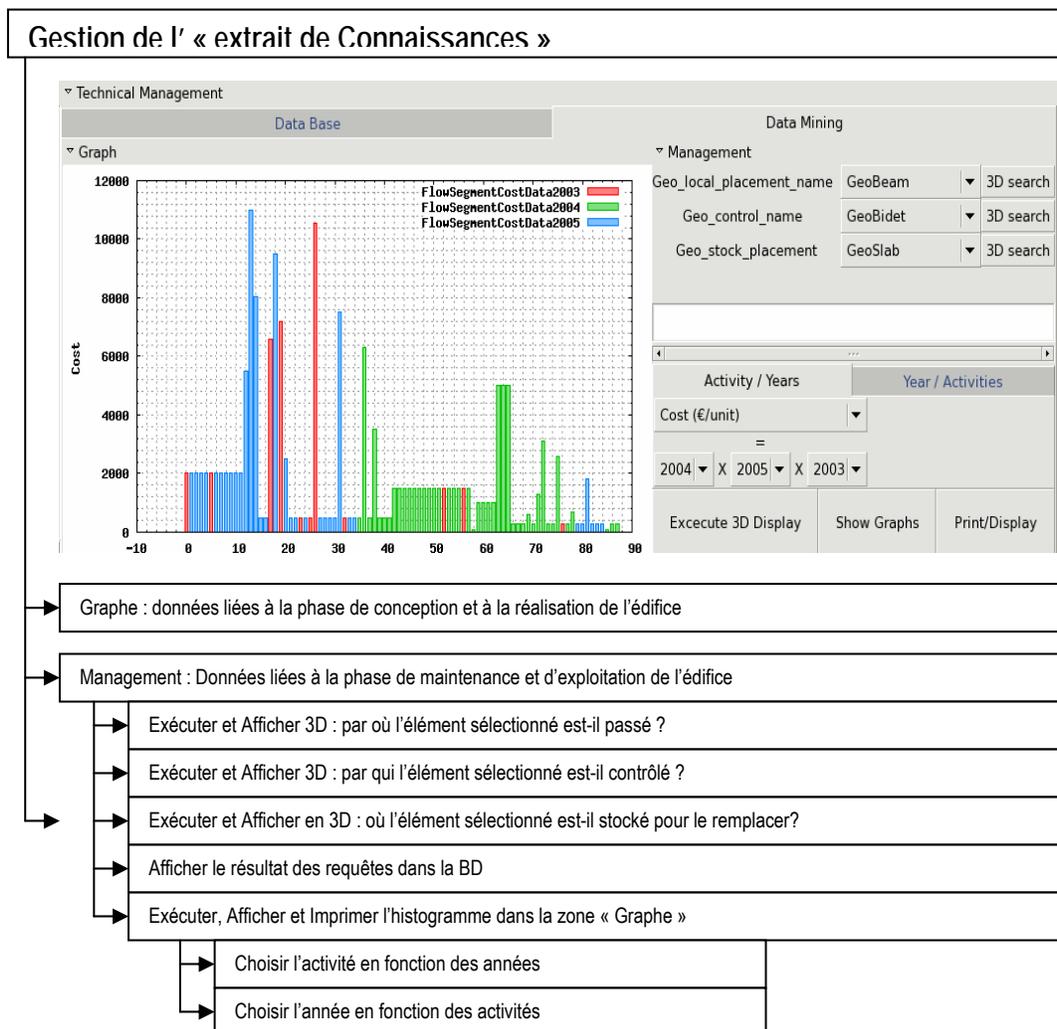
- Base de Données : Les concepts de description de l’interface de la « gestion de la base de données » dans RVGT sont basés sur la description de la norme IFC (Industry Foundation Classes) par l’IAI (International Alliance for Interoperability) et enrichis par le besoin de la SNCF. La typologie de cette BD est établie sur le cycle de vie de l’édifice. Pour bien gérer la maintenance et l’exploitation d’un édifice, il faut bien connaître les données liées à sa conception et à sa réalisation. Les données alphanumériques de cette BD sont donc liées à la « production » et au « contrôle » de l’édifice en fonction de chaque profil d’acteur [Tableau 2, 3, 4, 5] :

→Production : il s’agit de la description de toutes les données alphanumériques livrées avec le bâtiment après la phase de conception et de réalisation d’un édifice, considérée comme des entités physiques, qui participe directement au bâti (au contraire des documents, procédures, informations sur le projet... et autres concepts abstraits). La production se spécialise, ainsi, par la description « des éléments du bâtiment » qui concerne l’essentiel de ce qui est contenu dans un bâtiment. Donc, c’est la partie statique des données alphanumériques

→Contrôle : il s’agit de la description de toutes les données alphanumériques (non-physiques) donc tout ce qui est en rapport avec les documents, procédures, informations sur le

projet et l'édifice. Ainsi, toute méthode, procédure, contrainte s'appliquant à une classe d'objets (élément) du projet. Donc, la partie dynamique des données alphanumériques.

iGt : Extrait de Connaissances : Le traitement des données dans RVGT est fondamental pour comprendre le patrimoine construit. La compréhension des informations est obligatoire pour mettre en place une stratégie flexible et évolutive. Ainsi, la gestion des connaissances aide le gestionnaire du patrimoine à déchiffrer et à appréhender l'évolution de son patrimoine immobilier afin de mettre en place une stratégie à moyen et long terme. Pour guider une stratégie de développement, voici les spécifications techniques de iGT qui traitent la gestion technique des connaissances immobilières.



	<p>Permet d'afficher le résultat des requêtes en fonction du numéro de l'élément choisi.</p>
	<p>Recherche dans le MV par le nom et le numéro de l'élément et extraction des connaissances de la famille d'éléments sélectionnée,</p>
	<p>Permet de choisir la famille d'éléments : par qui l'élément sélectionné est-t-il contrôlé</p>
	<p>Permet de choisir la famille d'éléments : par où l'élément sélectionné passe-t-il ?</p>
	<p>Permet de choisir la famille d'éléments : où l'élément sélectionné est-t-il stocké pour être remplacé?</p>
	<p>Permet de chercher l'élément en question dans le MV.</p>
	<p>Permet de choisir l'activité à étudier ou à comparer.</p>
	<p>Permet de choisir l'année à étudier ou à comparer.</p>
	<p>Permet d'exécuter et d'afficher le résultat de la requête définie dans le MV.</p>
	<p>Permet d'afficher l'histogramme du résultat de la requête exécutée</p>
	<p>Permet d'afficher et d'imprimer l'histogramme du résultat de la requête exécutée</p>

IV.3.4 Scénarii

IV.3.4.a Acteur 'Op'

C'est un technicien de fluides qui intervient sur le site pour localiser les défauts.

Il a besoin :

- de localiser les différentes coupes circuits, de définir le degré d'urgence et les lieux de stockages des pièces de rechange.
- de remplir une fiche d'intervention pour la société mandatée et de faire un rapport de l'intervention.
- de connaître les surfaces et les volumes ainsi que le nom de la canalisation
- de récupérer les températures des tuyaux
- de mettre à jour la base de données

IV.3.4.b Acteur 'St'

C'est un gestionnaire du patrimoine qui contrôle les interventions effectuées par les Acteurs 'Op'.

Il a besoin :

- d'avoir un bilan financier de l'activité des Acteurs 'Op' pour les 3 dernières années et de posséder les prévisions pour l'année 2005.
- de connaître les surfaces des pièces qui ont subies des interventions de maintenance.
- d'avoir une étude comparative des prix d'interventions effectuées par les différentes sociétés.
- d'avoir une fiche récapitulative du travail effectué depuis 2003 jusqu'à 2005.
- connaître le coût de maintenance de chaque produit et élément qui constitue le patrimoine par année.
- de localiser les activités et les produits douteux.
- d'approuver la mise à jour de la Base de Données et des interventions effectuées par chaque acteur.

IV.3.4.c Scénario d'intervention pour une fuite d'eau

Nous avons simulé une intervention pour valider notre travail.

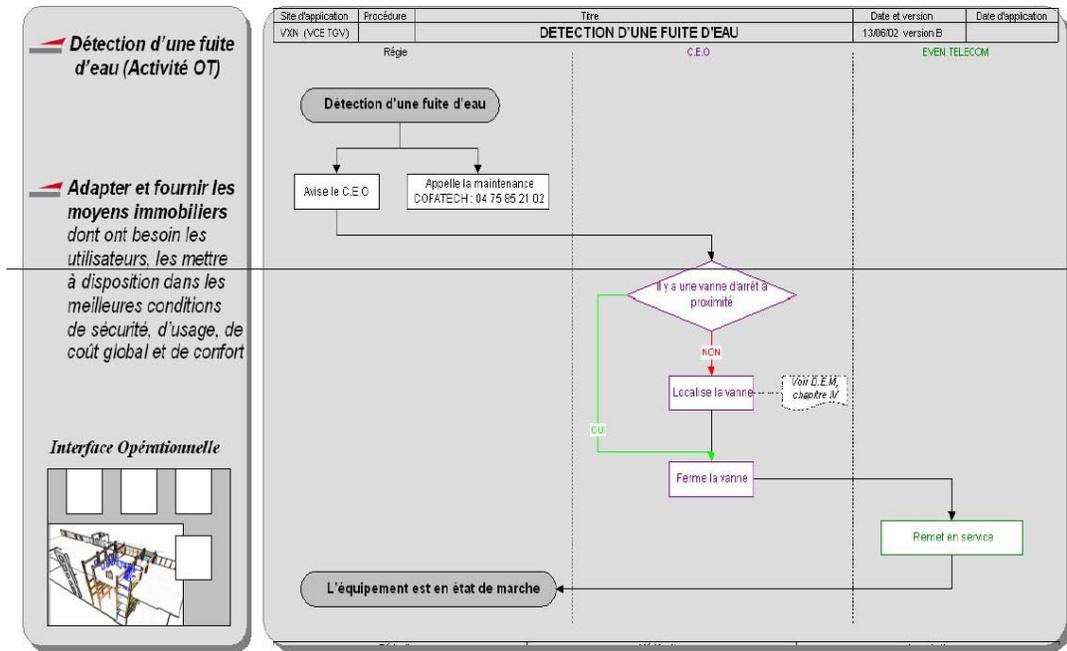
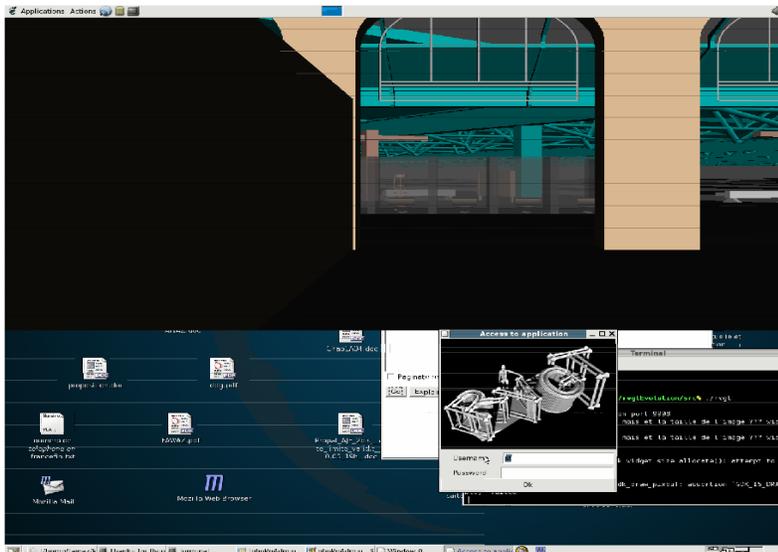


Figure IV-19 : Scénario d'intervention suite à détection d'une fuite d'eau

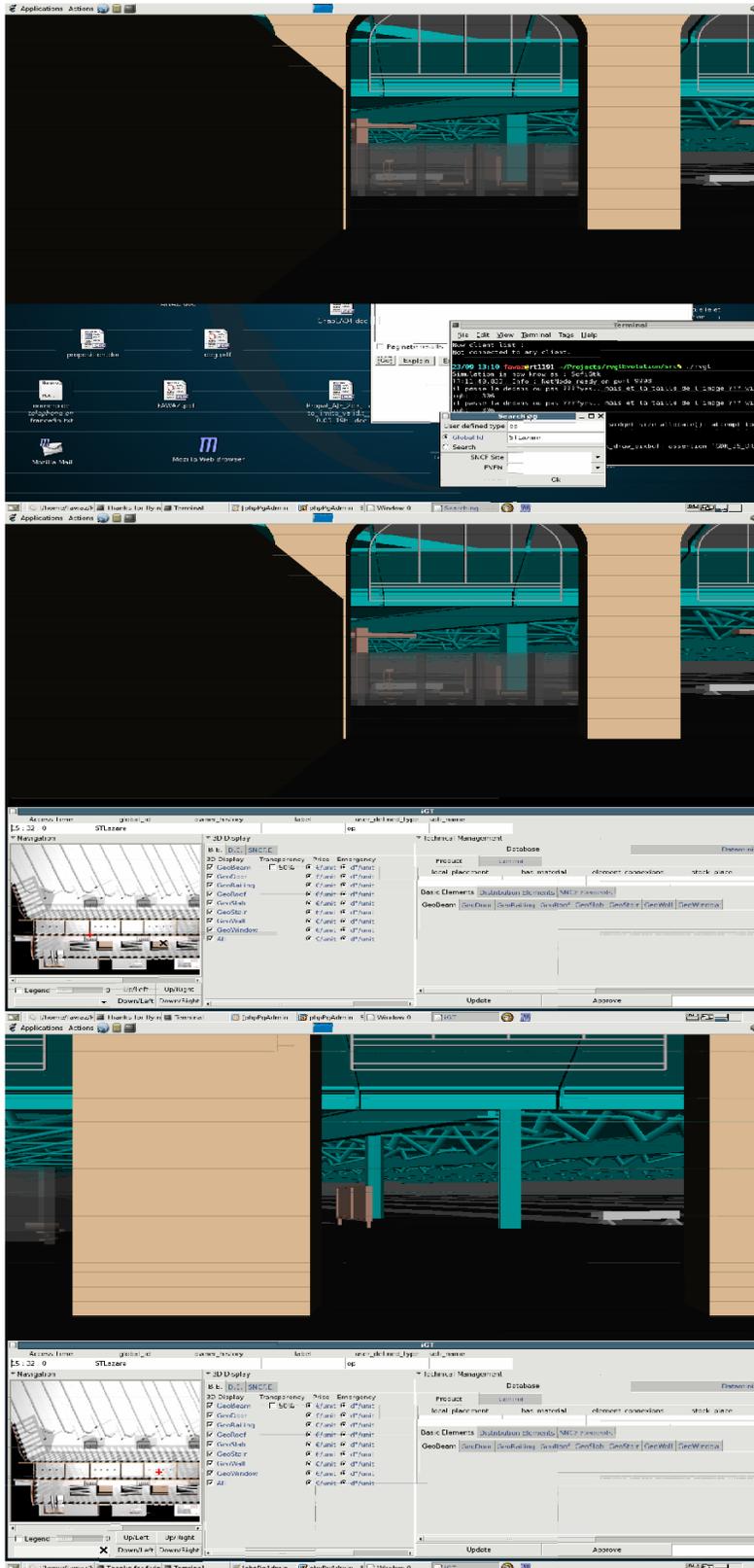
Cette simulation correspond :

1. à une intervention d'un acteur opérationnel (voir la Figure V-19) avec la modification des données,
2. et à la validation postérieure d'un autre acteur stratégique.

Un acteur opérationnel (Op) pour une intervention sur le site:



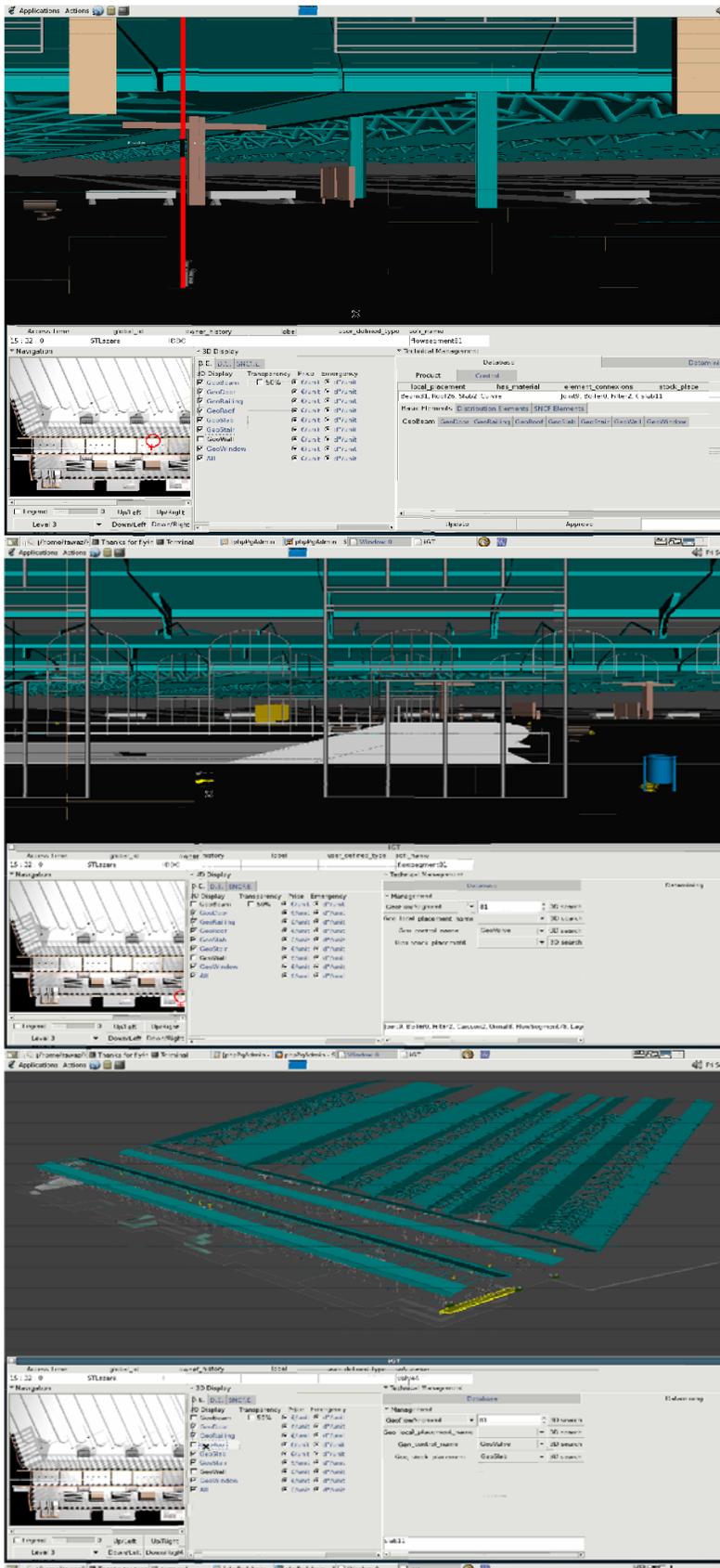
L'acteur 'Op' est sur le site pour une intervention rapide et très technique car la régie de la Gare SNCF vient de lui annoncer une fuite d'eau dans le Hall principal de la Gare. Quand il arrive sur le site avec son PC portable, il se connecte au serveur grâce à son nom d'utilisateur et son mot de passe dans « iAccess to Application ».



Il précise le nom du site et de l'entité EVEN à laquelle il appartient dans « iSearching ».

L'application RVGT démarre sur l'écran. Il précise son emplacement par un clic sur le plan après avoir précisé le niveau dans « iGT/Navigation ». Sur le plan et en temps réel, une croix est toujours affichée pour définir l'emplacement de l'utilisateur dans le MV.

Il compare le Monde Virtuel (MV) et le Monde Réel (MR) pour valider son emplacement. Il essaye de localiser la fuite sur le plan. Il se dirige vers la fuite dans le MR. Quand il arrive, il valide son emplacement (MV/MR).



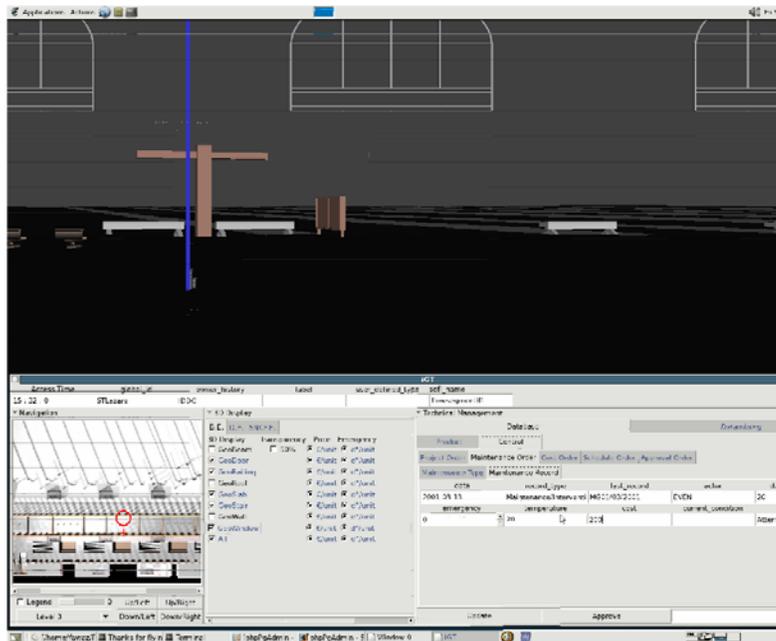
Il suffit de cliquer, dans « iGT/3DDisplay », sur « GeoWall » et tous les murs disparaissent. Ou bien de cliquer sur « Transparency » et tous les murs deviennent transparents. Acteur A clique sur les tuyaux douteux dans le mur (une zone inaccessible dans le MR).

Dans «iGT/DataMining/Geo_control_name », il choisit le type d'éléments de control « Valve » (la vanne) et clique sur « 3D search » pour connaître l'emplacement dans MV

La vanne en question s'affiche avec une couleur différente du reste. Il localise la vanne et il part pour la fermer dans le MR.

Pour changer le « FlowSegment » en question, il faut savoir où se trouve la zone de stockage des « FlowSegments ». Il accède dans « iGT/Data Mining » pour connaître l'emplacement de la zone du stockage dans le MV. Il précise le nom de l'élément et la zone de stockage grâce à « iGT/DataMining/Geo_stock_placement » il choisit le type de zone, «GeoSlab» et il clique «3DSearch».

Dans MV, la dalle s'affiche avec une couleur différente en montrant la zone d'emplacement de cette pièce de rechange.

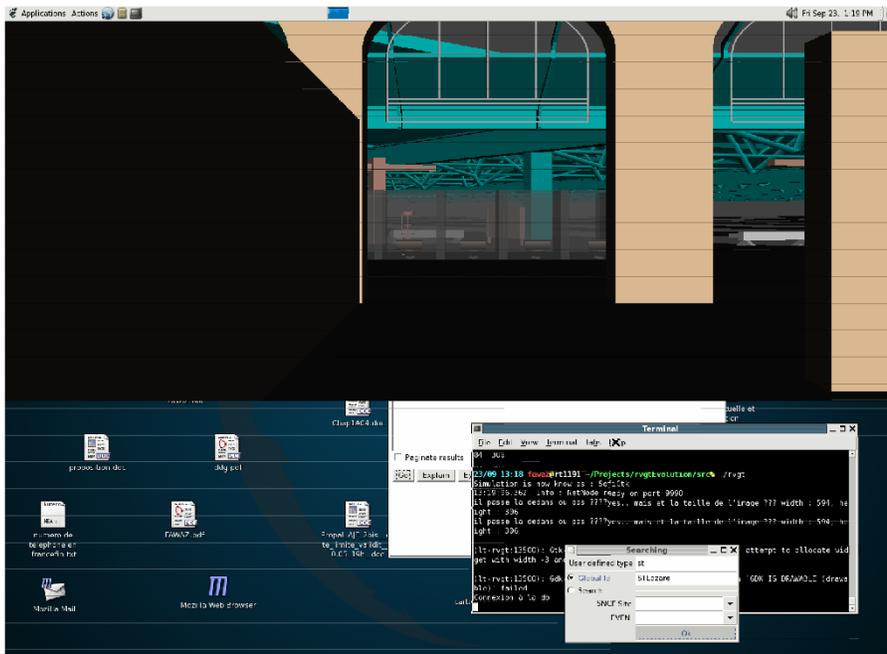


Il récupère, donc, la pièce et effectue le changement. Il met à jour la Base de Données dans « DataBase » par tout type d'information liée à l'intervention et à sa responsabilité : Prix, durée de l'intervention (voir « maintenance type » et « maintenance record »). Il termine l'intervention et il sort de l'application RVGT. (Idem pour un Scénario de degré d'urgence ...)

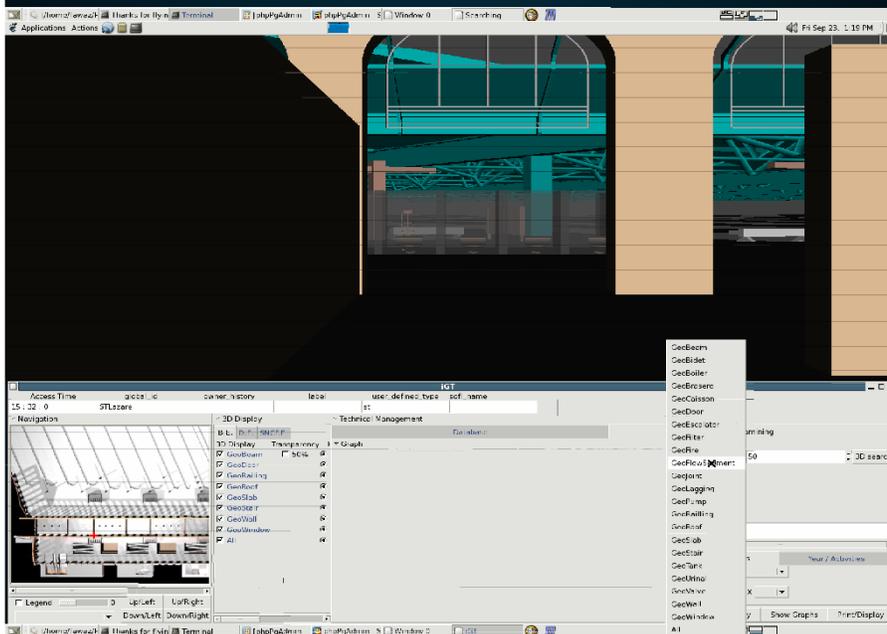
Un acteur Stratégique (St) pour contrôler les interventions de maintenance effectuées.

L'acteur « St » est dans son bureau.

Ils viennent de lui annoncer qu'une intervention de maintenance délicate vient d'être achevée et effectuée par une entreprise01.

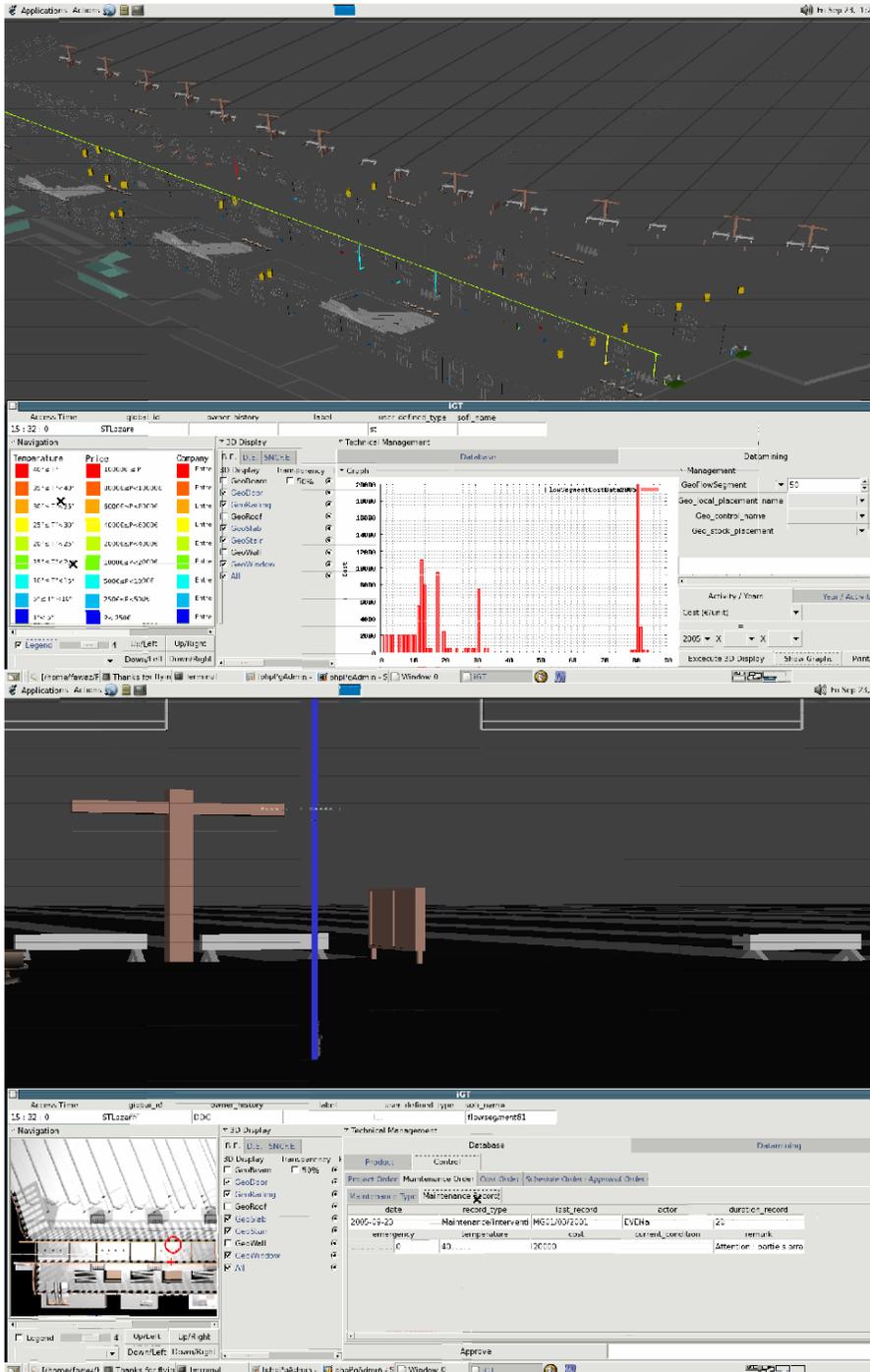


Il se connecte au serveur grâce à son nom d'utilisateur et son mot de passe dans «Access to Application». Il précise le nom du site dans «iSearching».



L'application RVGT démarre sur l'écran. Il veut connaître l'activité de cette entreprise01 sur son patrimoine et précisément, sur les « FlowSegments»

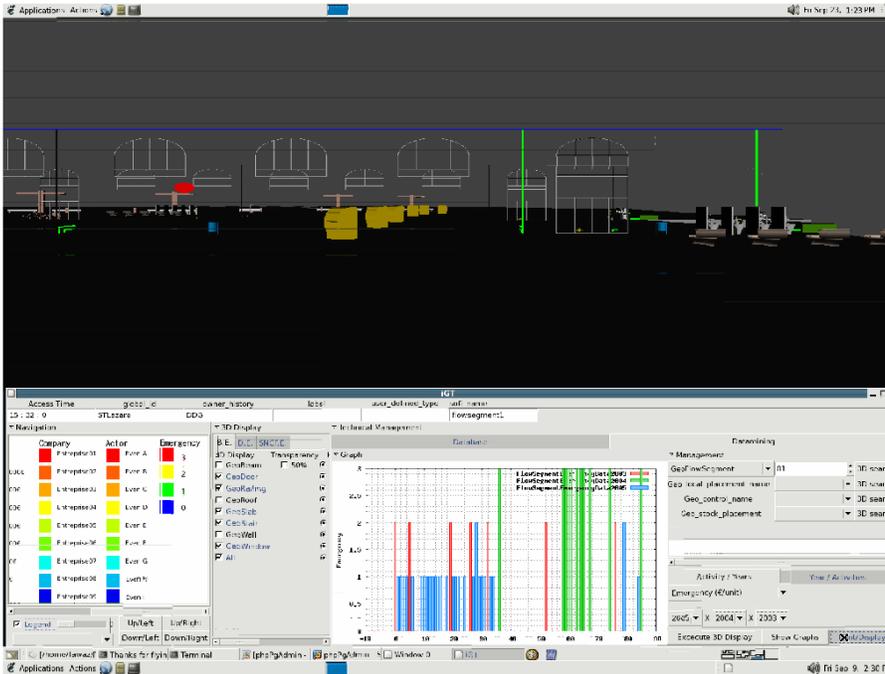
Il accède à «iGT/3DDisplay», et il décrit l'affichage en fonction du nom de l'entreprise, l'année en cours « 2005 » et par rapport à la famille des éléments en question «GeoFlowSegment» (Réseau de Fluide).



Il clique sur « execute » et le MV modifie la couleur des « FlowSegments » en fonction de l'entreprise qui les a livré. La légende précise que la couleur rouge correspond à l'entreprise01.

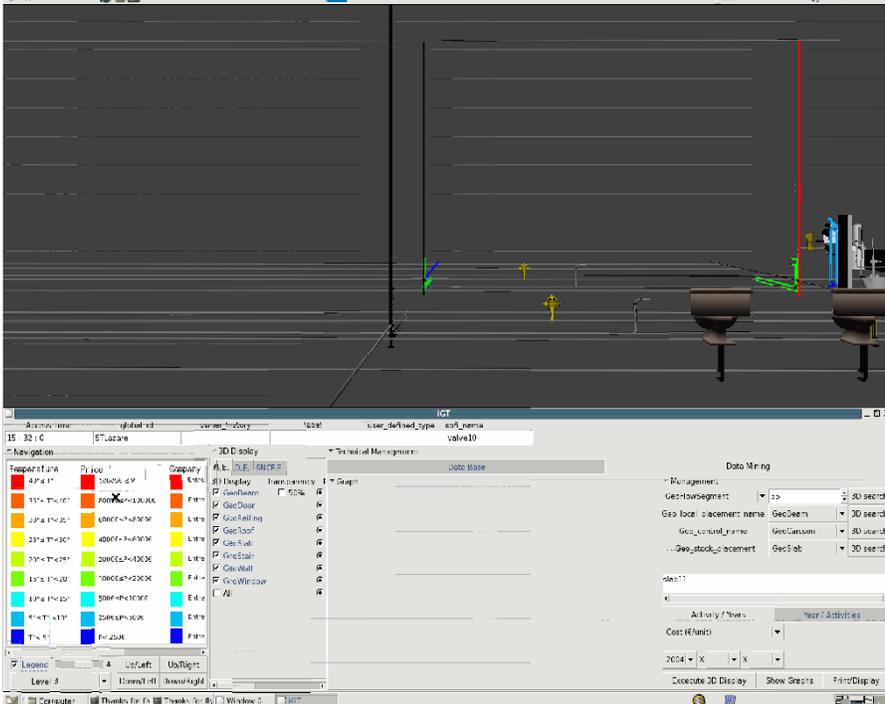
Comment connaître les informations liées à chaque élément livré par cette entreprise?

Dans le MV, Il clique sur n'importe quel élément affiché en rouge, la « iGT/DataBase » affiche toutes les informations liées à l'élément en question. Chaque information est affichée dans sa case correspondante. Il peut, donc, visualiser toutes les informations mise à jour par l'acteur « Op » : le prix, la date de l'intervention... Quand le produit est sélectionné, on peut voir toutes ses informations dans « « iGT/Data Base » ».

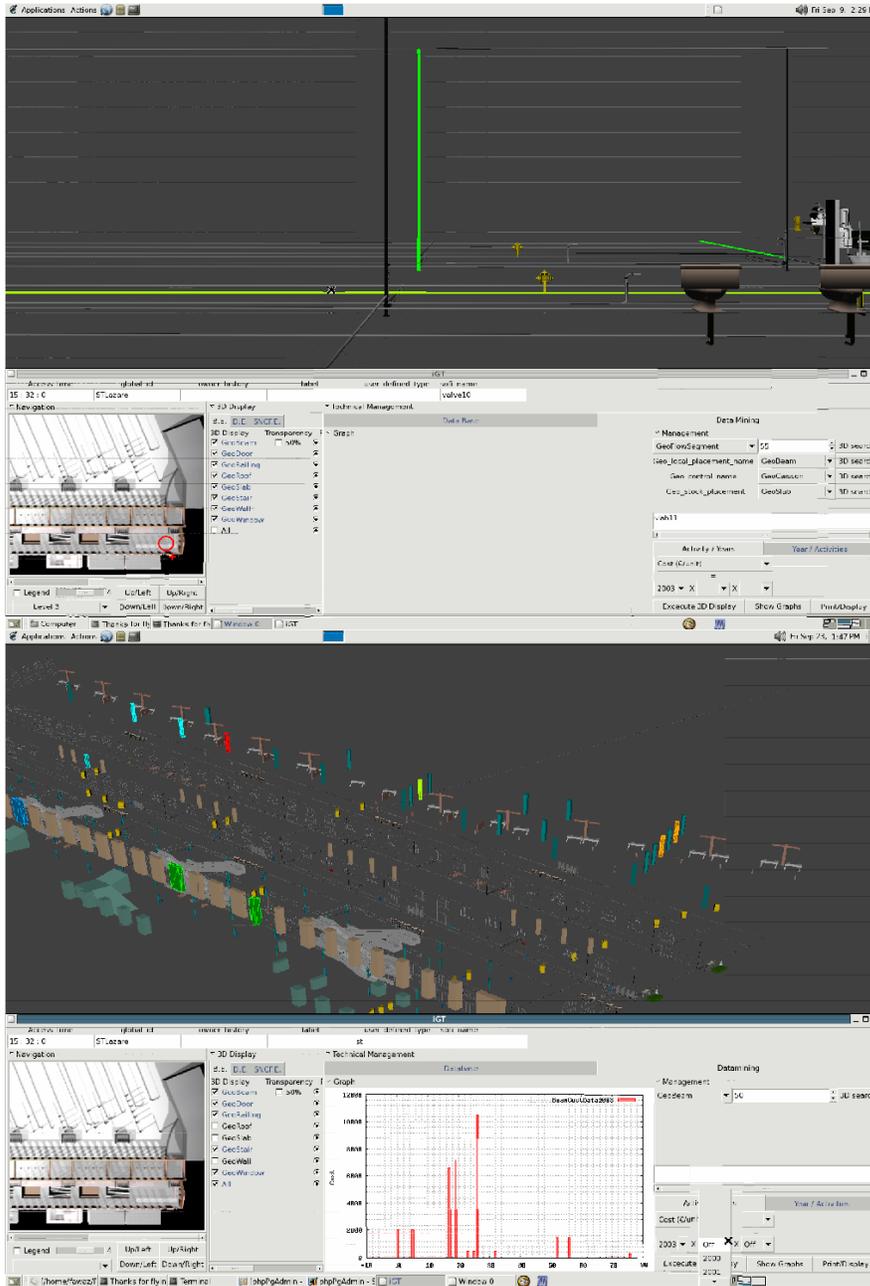


L'acteur peut comparer tout type d'information liée à l'édifice. Par exemple : les activités en fonction des 5 dernières années, les différentes activités par année. (Les activités sont : le coût, l'acteur, l'entreprise, le degré d'urgence, la température, la surface). En fonction de chaque élément sélectionné dans le MV et le profil de l'utilisateur, les activités sont affichées.

Le résultat des comparaisons est affiché sous forme d'un histogramme dans «Graph». Ce graphe montre l'activité de chaque élément dans le MV.

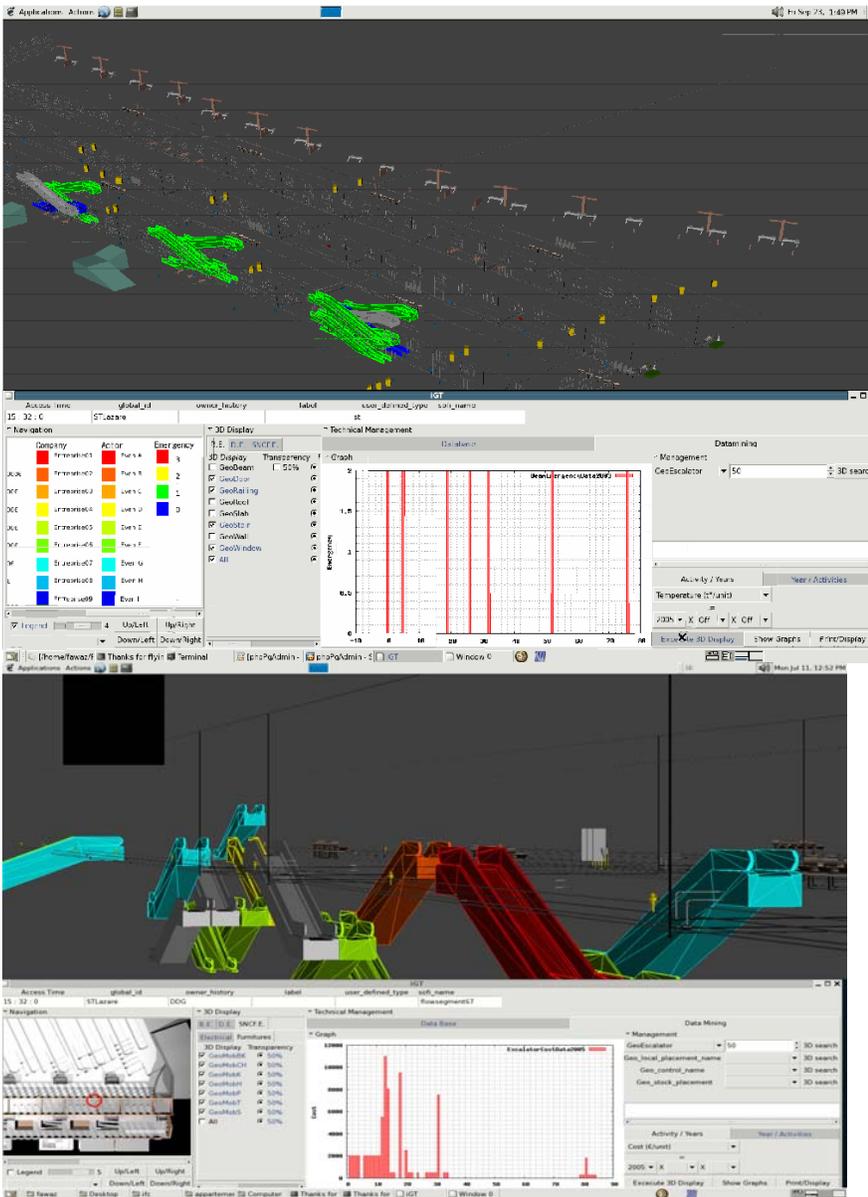


L'acteur 'St', donc, peut comparer les prix des «FlowSegments» et les températures par exemple. Il trouve que le « FlowSegment50 » coûte très cher par rapport aux autres éléments de la même famille. Pour voir les informations liées à cet élément précisément, dans «iGT/DataMining», il choisit « FlowSegment50 » et il clique sur « 3DSearch » pour identifier où il se trouve dans le MV. Une couleur différente s'affiche, ce qui permet à l'acteur de sélectionner l'élément en question.



En fonction du profil de l'utilisateur, il peut approuver les données dans la Base de Données ou non. Pour plus de détails et pour connaître encore le patrimoine immobilier, l'acteur « St » accède à « iGT/Data Mining ».

Dans « iGT/Data Mining », l'utilisateur peut afficher toute famille d'élément de l'édifice, et répondre à toute sorte d'activité technique liée à cet élément affiché. Dans cette figure, on traite les informations techniques liées aux poteaux de l'édifice.



Pour faciliter l'accessibilité à l'information liée aux escalators de l'édifice, l'utilisateur a cliqué, par exemple dans « iGT/3DDisplay », sur « GeoWall » et tous les murs disparaissent. ou bien de cliquer sur « Transparency » et tous les murs deviennent transparents. Et cette manipulation est valable quelque soit le produit ou l'élément de l'édifice qui peut empêcher la compréhension de l'activité en question.

Grâce à la gestion de navigation existante, l'utilisateur peut naviguer à sa façon pour comprendre plus les informations techniques liées à l'édifice.

A noter que l'interaction avec « iGT/Navigation », est toujours la même pour tous les acteurs. Ainsi, il précise son emplacement par un clic sur le plan dans « iGT/Navigation ». Sur le plan et en temps réel, une croix est toujours affichée pour définir l'emplacement de l'utilisateur dans le MV.

Avec ce scénario, on a pu démontrer l'efficacité du MV dans la gestion technique et le contrôle du patrimoine construit. C'est bien de préciser qu'on peut développer et mettre à notre disposition n'importe quelle interface pour répondre aux exigences de n'importe quel scénario.

V Conclusion générale et perspectives

En générale, les grands parcs immobiliers sont souvent anciens. Le maintien des compétences et des connaissances liées à un édifice sont généralement rendus difficiles par sa taille, son utilisation par des activités différentes, géographiquement disjointes mais aussi par des mouvements de personnel et d'usagers importants. La professionnalisation de la gestion et de la maintenance de bâtiments est donc une problématique actuelle à la SNCF. Si la maîtrise et la capitalisation de l'information est importante, sa mise à disposition auprès des acteurs de la gare fait partie intégrante de la gestion de l'information qui ne vaut que s'il est possible de la retrouver, de la comprendre et de l'interpréter correctement.

L'enjeu pour la SNCF est l'utilisation des métaphores 3D pour diffuser cette information. La diversité des besoins et la masse importante des données liées à un bâtiment impliquent une extraction intelligente des données mais surtout une mise en forme compréhensible et naturelle. Cette connaissance du patrimoine va pouvoir répondre aux contraintes liées à l'entretien d'un édifice après construction, à la visualisation de l'édifice et des données qui le composent et de permettre la traçabilité des décisions tout au long du cycle de vie du bâtiment. L'intégration des environnements virtuels aux informations descriptives des gares constitue l'originalité de ce projet. L'objectif final est la maîtrise des coûts, la rationalisation de la gestion de son patrimoine, la normalisation de l'information concernant ce patrimoine, et en définitive, l'amélioration du confort à la clientèle.

Notre premier chantier a consisté en une description géométrique et alphanumérique du bâti, en se basant sur les normes IFC, enrichies des objets spécifiques aux édifices ferroviaires (par exemple, les distributeurs, les composteurs, etc.). Il s'agissait aussi à cette étape de prendre en compte les acteurs liés à la maintenance des édifices, ainsi que les usagers de ces bâtiments: équipes de sécurité, exploitants techniques et acteurs commerciaux. Tous ces acteurs demandent des informations actualisées sur le bâtiment, mais ne disposent pas de compétence technique ou informatique uniforme pour interpréter une documentation technique. La prise en compte du profil de ces utilisateurs et leurs activités au sein des procédures techniques compliquées est donc primordiale.

Le second temps du projet fut consacré au développement d'un système d'information et d'aide à la décision pour la gestion technique et la maintenance de ce patrimoine, en exploitant les nombreuses possibilités offertes par les environnements virtuels et en gérant des profils d'acteurs distincts. Le modèle de données proposé intègre les notions d'historique de conception, d'évolution des ouvrages (vieillessement), de coût d'entretien, de gestion des opérations de fonctionnement et de maintenance des ouvrages par anticipation. L'objectif étant de passer d'une gestion documentaire (existant aujourd'hui sur des bases de données géométriques, GMAO en 2D) à une gestion fondée sur un modèle de données. Cet objectif résout le problème de "vues" sur les objets architecturaux par les différents profils acteurs impliqués dans la réalisation d'une construction ou dans la gestion de son exploitation et de sa maintenance.

Enfin, il s'agissait de réaliser un prototype basé sur un moteur de réalité virtuelle capable d'optimiser la maintenance du patrimoine construit, dont la diffusion serait possible via des interfaces 3D accessibles en fonction de profils sécurisés. Ce prototype permet notamment

d'anticiper les questions liées au vieillissement des ouvrages et à leur entretien, mais aussi la gestion "ordinaire" des activités de maintenance. Les modèles en 3D permettent aussi d'envisager de réaliser des simulations utiles aux évolutions du fonctionnement des grands édifices, telles que la gestion des fluides, de la signalétique, le flux des clients, etc. Ce prototype, désormais opérationnel, est aujourd'hui prêt à être industrialisé.

Nous soulignons combien est désormais centrale dans la maintenance des édifices, la notion de cycle de vie du bâtiment, particulièrement pour les grands ouvrages comme les gares dont les usages rendent difficiles les interventions ultérieures. Les concepts de traçabilité des décisions et d'historique de conception sont bien connus dans le secteur de la production industrielle, ils deviennent fondamentaux dans le secteur du bâtiment. Les applications informatiques de CAO et les réseaux doivent répondre à cette demande, et plus encore, permettre à des profils très variés de devenir les acteurs d'une gestion intelligente du bâtiment.

La 3D est la clef de l'accessibilité aux informations complexes pour le plus grand nombre d'acteurs différents, permettant une mise en forme naturelle de ces informations. Elle permet aussi d'accéder virtuellement à des lieux inaccessibles, virtuels et réels, à découvrir le passé, le présent et l'avenir d'un site et à effectuer des interactions avec un monde Simulé, réel et imaginaire. Pour résumer l'apport de la Réalité virtuelle, qui ne doit pas se réduire à la seule simplicité de visualisation, nous insistons sur le fait qu'elle donne du sens aux objets : une identité, des paramètres et des liens, autorisant leur compréhension et leur exploitation par des profils d'utilisateurs différents et mettant en commun des connaissances pluridisciplinaires.

Au terme de trois années de recherche et de développement, un premier prototype de cette application est opérationnel, à partir d'un exemple concret (la Gare Saint Lazare). Nous avons fait part des étapes de développement et des objectifs du projet.

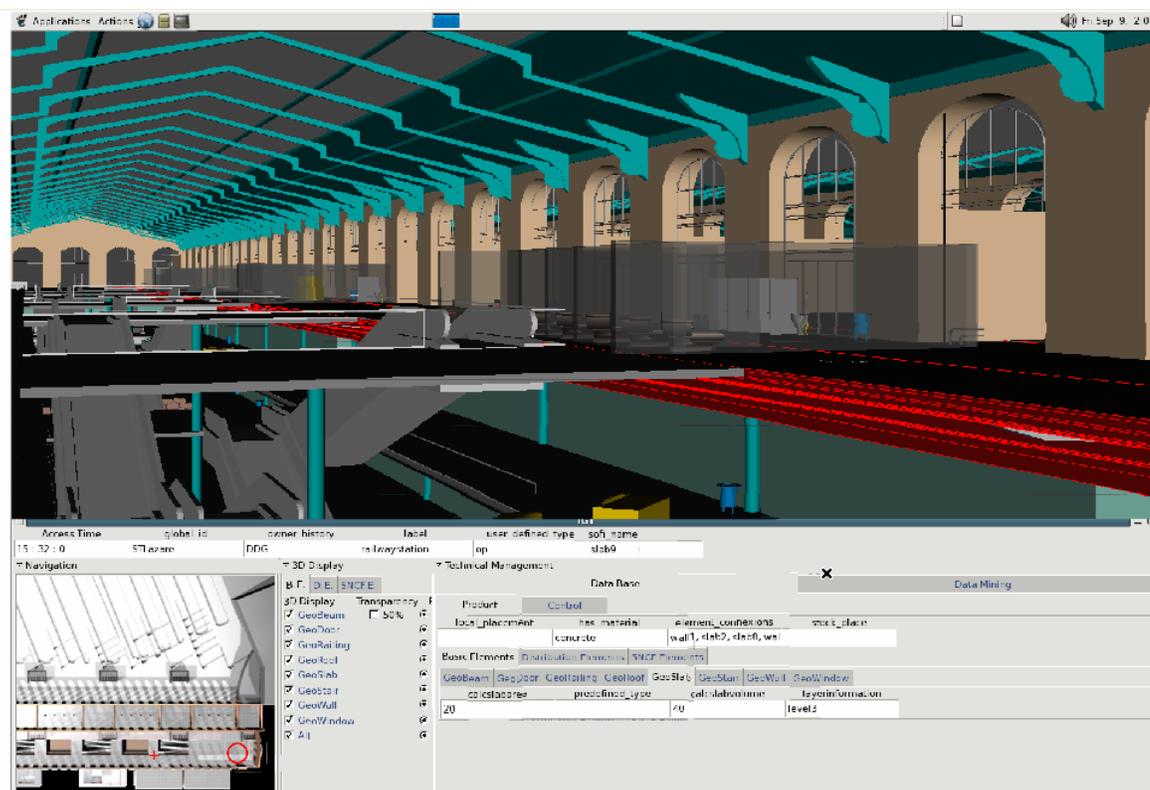


Figure V-1 : Le prototype RVGT

Dans la continuité de ce travail de thèse, nous devons tester l'efficacité des procédures et du système pour que nous puissions atteindre correctement nos objectifs. Ces procédures sont-elles adaptées aux services du patrimoine construit de la SNCF ? et comment rester en phase avec le développement des outils informatiques ?

De nombreuses perspectives de recherche seraient intéressantes à approfondir. Le travail sur le retour d'expérience du système devra tester et approfondir certains concepts sur les nouvelles interfaces comportementales de déplacement, de manipulation et d'observation. Cependant, de nombreux expérimentations doivent être faites sur la satisfaction de l'outil informatique existant ; d'un point de vue fonctionnel, s'il nous permet d'atteindre les objectifs qui lui sont assignés ; d'un point de vu, ergonomique, si nous disposons d'un outil convivial correspondant aux standards ; et d'un point de vu intégration, si l'outil existant se rattache à l'ensemble du système auquel il apporte sa contribution.

Ainsi, nous devons valider l'adéquation des données avec les procédures et savoir si les données disponibles et leur qualité sont en accord avec les niveaux de résultat attendus par les acteurs.

Enfin, la possibilité de filtrer les représentations d'un édifice pour un acteur donné, nous amène naturellement, dans l'avenir, à nous intéresser à des outils embarqués pour améliorer l'échange d'informations et la prise de décision depuis le site du bâtiment, en cours d'élaboration ou de maintenance. Depuis un assistant de type PDA ou d'un ordinateur portable ultra léger, un acteur peut visualiser, produire puis synchroniser une partie des informations de l'édifice, compte tenu

de ses besoins et de sa mission. Ces « interfaces d'accès aux données » pourront s'appuyer sur des contenus personnalisables en fonction du métier et le profil de l'utilisateur/acteur. La maîtrise de ces outils constitue l'enjeu de l'avenir et est essentiel pour maîtriser l'ensemble des informations descriptives des grands édifices sensibles comme ceux de la SNCF.

Bibliographie

- [Ait, 2000] AIT H.. « *Optimisation des flux de production : méthodes et simulation* » l'Usine nouvelle Technique & ingénierie, série gestion industrielle, 304p. 17x24, 2000.
- [Aït-Kadi, 2003], AÏT-KADI D. & RIANE F., « Optimal maintenance for deteriorating systems », Journal of Decision Systems, Vol. 12 n° 1/2003, Paperback 108 pp. 16x24, 2003.
- [Ameziane, 1998] AMEZIANE F., « Structuration et représentation d'information dans un contexte coopératif de production du bâtiment », Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille – France, 1998.
- [Atkinson, 1990] ATKINSON M., BANCILHON F., DITTRICH K., MAIER D., ZOO Nik S. : "The Object-Oriented Database System Manifesto. Deductive and Object-Oriented Databases" – pp. 223-240, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990.
- [Billon,99], BILLON Alain, 1999 : « Comprendre les concepts des IFC, Décrire son projet en vue des échanges », Edition Médi@construct. [Booch, 1994] BOOCH G.: "Object-Oriented Analysis and Design with Applications". Second edition. Editions Addison Wesley, 1994
- [Bouthillon, 1998] BOUTHILLON Guillaume, Gérance immobilière : « Expérimentation et validation d'outils avant génération, S.N.C.F. » Thèse de doctorat, Ecole Spéciale de Travaux Publics du Bâtiment et de l'Industrie, ESTP 1998.
- [Bourdot, 2002] BOULOT P. : « Reconstruction et interaction 3D : Contribution à la Réalité Virtuelle et Augmentée », Habilitation à diriger des recherches, Note et documents, Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur (LIMSI), numéro11, 2002
- [Bowman, 2001] BOWMAN D. & WINGRAVE C., "Design and evaluation of menu systems for immersive virtual environments". In Proceedings of IEEE Virtual Reality, 2001.
- [Budd, 1991] BUDD T. : « La Programmation par objets », Editions Addison-Wesley, 1991
- [Chappell, 1996] Chappell D., : « Au cœur de Active X et OLE », Microsoft Press, 1996
- [Castagna, 1997], CASTAGNA G. : « Object-Oriented Programming – A Unified Foundation », 366p. Birkhaüser, Boston, 1997
- [Coad, 1992], COAD P., YOURDON E. : "Object-Oriented Analysis, Prentice-Hall", EnglewoodCliffs, N.J., 1992
- [Codd, 1970], CODD E.F. : "A Relational Model for Large Shared Data Banks", communications de l'ACM, vol. 13, n°6, , p. 377-387, 1970
- [Codd, 1979], CODD E.F., : "Extending the Relational Model to Capture More Meaning", ACM TODS, vol. 4, n°4, , p. 397-433, 1979
- [Cruz, 2003] CRUZ C., NICOLLE C., NEVEU M., « Management of 3D-Scenes using SQL », , Active3D-Lab, Laboratoire Electronique Informatique et Image (LE2I) UMR CNRS 5158, DIJON – France, 2001.
- [CSTB, 2001] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) : «Bulletin veille sur les facilities management », automne 2001.
- [Date, 1990] DATE C.J. : " An Introduction to Database Systems" , 5e editions, The Systems Programming Series, volumes I et II, Addison Wesley, 1990
- [David, 1998], Ph. DAVID, 1998 « Trois cas d'application de la réalité virtuelle à la SNCF ». 6ème journée du GT-RV.

Paris, France, 1998.

[David, 1999], Ph. DAVID, D. LOURDEAUX, J.N. TEMEM. « Quelques applications de la réalité Virtuelle à la SNCF. Revue générale des Chemins de Fer », numéro 4, Avril 1999.

[Delobel, 91] DELOBEL C., LECLUSE Ch., RICHARD Ph. : « Bases de Données : Des Systèmes Relationnels aux Systèmes à Objets », 460 pages, InterEditions, Paris, 1991.

[Depardieu, 2004] DEPARDIEU Isabelle. « Gestion de patrimoine : pratiques et techniques » 4° Ed., Env. 320p. 15.5x24, 2004.

[Depardieu, 2001] DEPARDIEU Isabelle. « Gestion du patrimoine : développer et gérer un patrimoine » Coll. Patrimoine les classiques. Env. 320p. 15.5x24, 2001.

[Donikian, 1994] DONIKIAN S. : « Les modèles comportementaux pour la génération du mouvement d'objets dans une scène ». Revue internationale de CFAO et d'infographie, numéro spécial AFIG-GROPLAN, , 1994.

[Duplay, 2000] DUPLAY C., « Informatique et Complexité » La Création Architectural et Informatique, 02/00, N°1, pp.40 et 41

[Foley, 1982] FOLEY J. et V.DAM A. : « Fundamentals of Interactive Computer Graphics », Addison wesley publishing company, London, 1982.

[Foley, 1995] FOLEY J., V.DAM A., FEINER S. et HUGUES J. : « Computer graphics principales and practice in C », Addison wesley publishing company, London, 1995.

[Francastel, 2001] FRANCASTEL Jean-Claude. « Externalisation de la maintenance : stratégies, méthodes et contrats », l'Usine nouvelle technique & ingénierie série gestion industrielle, 400p. 17x25, 2001.

[Francastel, 2003] FRANCASTEL Jean-Claude : « Ingénierie de maintenance : De la conception à l'exploitation d'un bien », Technique et ingénierie série Gestion industrielle, 494p. 17x24, 2003.

[Frédéric, 2003] FRÉDÉRIC Marc. « Mettre en œuvre une GMAO, maintenance industrielle, service après-vente, maintenance immobilière, Technique et ingénierie série gestion industrielle, 394p. 17x24, 2003.

[Fuchs, 2003] FUCHS Philippe & MOREAU G., « le traité de la réalité virtuelle Vol.1 fondements et interfaces comportementales », Coll. Sciences mathématiques et informatique, 2° Ed. 514p. 16x23, 2003.

[Fuchs01, 2003] FUCHS Philippe & MOREAU G., « Le traité de la réalité virtuelle Vol.2 création des environnements virtuels et applications », Coll. Sciences mathématiques et informatique, 2° Ed. - 336p. 16x24, 2003.

[Gardarin, 2003] GARDARIN Georges, « Bases de données » Best of, 5° tirage, 788p. 15x20, 2003.

[Gardarin, 2002] GARDARIN Georges. « XML : des bases de données aux services Web » Infopro, 400p.17.5x25, 2002.

[Gauvin, 2001], Y. GAUVIN. « Application Client serveur pour Sofi/Fiacre ». Rapport interne de la Direction de la Recherche et de la Technologie, unité TIC, SNCF, 2001.

[Habrias, 1988] H. HABRIAS, « Le modèle relationnel Binaire », Editions Eyrolles, 1988

[Hégron, 1985] HEGRON G. : « Synthèse d'image : algorithmes élémentaires », Dunod informatique, 1985.

[Hégron, 1992] HEGRON G. et ARNALDI B. : «Computer animation : motion and defomation control» Eurographics Technical Report Series. Eurographics'92 Tutorial Notes, Cambridge, GB, 1992.

[Hégron, 1995] HEGRON G., ARNALDI B. et LECERF C. : « Computer Animation, chapter Dynamic Simulation and Animation ». Prentice Hall, 1995.

[Hendrickx, 2002] HENDRICKX Pascal & PERRET Jean : « Gestion technique de l'immobilier d'entreprise », Editions

Eyrolles 2002.

[Héng, 2002] HÉNG Jean : « Pratique de la maintenance préventive : mécanique, pneumatique, hydraulique, électricité, froid », Technique et ingénierie Série gestion industrielle, 388p. 17x24,2002.

[Jacobson, 1993] JACOBSON I. : « Le Génie logiciel orienté objet », Addison-Wesley, 1993.

[Jacobson, Booch et Rumbaugh, 1999] I. Jacobson, G. Booch and J. Rumbaugh, :The Unified Software Development Process, Addison-Wesley Eds, 1999

[Javel, 2003] JAVEL Georges. « Pratique de la gestion industrielle : organisation, méthodes et outils, Technique et ingénierie Série gestion industrielle, 640p. 17x24, 2003.

[Lasserre, 2004] LASSERRE Stéphane, « Un système d'information pour le bâtiment, Approche métiers », Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 2004.

[Lie, 2003] Lie, A. Marshall-Ponting-Ponting, A.J. Aouad, G. Wu, S. Koh, W. W. I. Fu, C. Cooper, R. Betts, M. Kagioglou, M. et Fisher, M (2003). : "En développant une vision de construction ND-PERMISE, construisez-LA », l'université de Salford, R-U

[Lindeman, 1999] LINDEMAN R., SIBERT J. & HAHN J., "Hand held windows : Towards effective 2d interaction in immersive virtual environments", pages 205-212, Virtual Reality 1999.

[Lourdeaux, 2001] LOURDEAUX D., « Réalité Virtuelle et Formation : Conception d'Environnements Virtuels Pédagogiques», Thèse de doctorat, Ecole de mines de Paris, 2001.

[Maissa, 2003] MAISSA S., « Accès intuitif à l'information technico-réglementaire via une interface immersive – Application au domaine du bâtiment »,Thèse de doctorat, CSTB, 2003.

[Meyer, 1988] MEYER B.: "Object-Oriented Software Construction", Prentice Hall, Hemel Hempstead, UK, 1988.

[Monchy, 2003] MONCHY François. « Maintenance : méthodes et organisations », 2° Ed., Technique et ingénierie Série Gestion industrielle, 512p. 17x24, 2003.

[Muller, 2001] MULLER P-A, GAERTNER N : « Modélisation Objet avec UML », Edition Eyrolles, 2001.

[Noel, 1998] NOEL Marc : « Une nouvelle gestion immobilière à la S.N.C.F. » , Thèse de doctorat, Ecole Spéciale de Travaux Publics du Batiment et de l'Industrie, ESTP, 1998.

[Peroche, 1998] PEROCHE P., GHAZANFARPOUR D., MICHELUCII D. et ROELENS M. : « Informatique graphique, 2ème édition », Hermes, 1998.

[Perret, 1995] PERRET Jean : « Guide de la maintenance des bâtiments », Editions Le moniteur, 1995

[Perret, 1998] PERRET Jean : « La gestion technique immobilière, une activité en devenir » , Edition 1998

[Pimor, 2001] PIMOR Yves. « La logistique : techniques et mise en œuvre », Coll. Technique et ingénierie série gestion industrielle, 2° Ed., Env. 580p. 17x24, 2001.

[Psotka, 1995], PSOTKA. : « Immersive Training Systems : Virtual Reality and Education and Training". Instructional Science, Vol 23, n°5-6, pages 405-431, 1995.

[Quatrani, 2000] QUATRANI T. : « Modélisation UML avec Rational Rose 2000 », Edition Eyrolles, 2000.

[Reeves., 1981] REEVES W. : « Inbetweening for computer animation utilizing moving point constraints, Computer graphics », 15(3) : 263-269, In proceedings of SIGGRAPH'81, 1981.

[Rivière, 1993] RIVIERE Jocelyne : « Préjudices et indemnités lors de travaux RATP : un cas d'actualité, le METEOR ,R.A.T.P. », Thèse de doctorat, Ecole Spéciale de Travaux Publics du Bâtiment et de l'Industrie, ESTP, 1993.

[Rumbaugh, Blaha et Premerlani, 1991] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, W. Lorensen, : «Object Oriented Modelling and Design », Prentice-Hall International Editions, 1991

[Sherman, 2002] SHERMAN W. and CRAIG A. : “Understanding Virtual Reality : Interface, Application, and Design”. Morgan Kaufmann Publishers, September 2002.

[Stanney, 2002] STAYNEY KAY M., editor :”Handbook of Virtual Environment, Design, Implementation, and Applications”. Human factors and ergonomics, 2002.

[Steketee, 1985] STEKETEE S. et BADLER N. : « Parametric keyframe interpolation incorporating kinetic adjustment and phrasing control », Computer graphics 19(3) : 255-262, In Proceedings of SIGGRAPH'85, 1985.

[Stonebraker, 1996], STONEGRAKER M., Moore D. : “Object-Relational DBMSs : The Next Great wave”, Morgan Kaufmann Pub., San Francisco, Ca, 1996.

[Valande, 2004] VALANDE R., CRUZ C., NICOLLE C., « Modélisation sémantique pour la génération dynamique de scènes 3D – Application aux projets architecturaux », SETIT 2004, International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications – Tunisia, SETIT 2004.

[Valduriez, 1999] VALDURIEZ P., OZSU T. : « Principles of Distributed Database Systems », 562 pages, Prentice Hall, 2eme édition, 1999.

Références WEB

- [3DSY], <http://www.3ds.com>- site officiel de Dassault System S.A.
- [AFIM], http://www.afim.asso.fr/Doc_ref/gmao/gmao.asp - Portail Réseau maintenance Association française des ingénieurs et responsables de maintenance
- [ALLS], <http://www.allsystems.fr> – site officiel de AllSystems, société de MIAO (GMAO)
- [AVPU]Les centres de la Réalité Advanced Virtual Prototyping Group, Centre for Virtual Environments, University of Salford - www.avp.nicve.salford.ac.uk
- [Babel] http://babel.alis.com/Web_ml/xml/REC-xml.fr.html
- [CICS], <http://www.cic.cstb.fr> – Propose le : user guide to IFC (Industry Foundation Classes)
- [CONT], <http://www.contrinfor.com> – entreprise spécialisée en maintenance
- [COST], <http://www.costantini-regemba.com> – site officiel de l'architecte Costantini
- [CRGU], UK Virtual Reality Special Interest Group - www.crg.cs.nott.ac.uk/groups/ukvrsig
- [CSRE], <http://www.cs.unc.edu/Research/vrpn> - un site pour un réseau périphérique de Réalité Virtuelle
- [CSTB], <http://www.cstb.fr> – site officiel du Centre Scientifique et Technique du Batiment
- [DIVE], Distributed Interactive Virtual Environment (DIVE) - www.sics.se/dive
- [EMBA], <http://www.emballagesmagazine.com/>-site pour une magazine spécialisée dans les emballages
- [ENCY], http://fr.encyclopédia.yahoo.com/articles/kh/kh_187_p0.html - site d'une encyclopédie
- [ESIL], <http://www.esil.univ-mrs.fr/~elingsys/projets/poo2003/gare/index.htm>-site du laboratoire l'ESIL - Marseille
- [EPLU], <http://www.eplus.usinenouvelle.com/> - site édité par un groupe industrie services info
- [FMSE], <http://www.fmservice.com> - site pour rendre service aux entreprises dans la recherche
- [IAIF],<http://www.iai-France.org> – site officiel de L'International Alliance for Interoperability- France –
- [INDU], <http://www.industrie-technologies.com> – site officiel du journal de l'industrie
- [INGS], Innovative Graphics Solutions - www.inition.co.uk:
- [LARG], <http://www.largusdelassurance.com/> - site d'une magazine spécialisée dans l'assurance des entreprises
- [LOGI], <http://www.logicielsindustrie.com> – site pour chercher tout type de logiciels
- [MAPG], <http://www.map.archi.fr/gamsau/> - site officiel Groupe de recherche pour l'Application de Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme
- [MSQL], <http://www.mysql.com/> - le site officiel du logiciel Mysql
- [NVID], NVIDIA - www.nvidia.com
- [OPEN], Standards OpenGL - www.opengl.org
- [RADI], <http://www.radioss.com> - une entreprise qui traite la simulation industrielle
- [SAM1], http://www.sitealpha.com/cadre_produits.htm- la famille de SAM (Système d'Aide à la Maintenance)
- [SITE], <http://www.sitealpha.com> – entreprise spécialisée en maintenance
- [SGIS], <http://www.sgi.com/software/performer> - un site pour une interface de programmation sous OpenGL
- [SNCF], <http://www.sncf.fr/> - le site officiel de la société nationale des chemins de fer français
- [USIN], <http://www.usinenouvelle.com/> site officiel du journal de l'industrie
- [UNIV], <http://www.univ-st-etienne.fr/preactis/contenu/bisson> – site officiel de l'Université de St Etienne --
- [VIRT], <http://www.virttools.com>- site officiel du logiciel et du développeur Virtools
- [VRCE], Virtual Reality Centre at Teeside Ltd, Teeside University - www.vr-centre.com
- [VRML], Web3D Consortium (VRML) - www.vrml.org
- [VRUC],VR Centre for the Built Environment, University College London - www.vr.ucl.ac.uk :
- [VRWE], Virtual Presence - www.vrweb.com
- [XMLS], <http://www.xmlsoft.org/> - un site pour une bibliothèque de XML en C

PUBLICATIONS

Conférences Internationales, articles avec comité de lecture

- André Fawaz

« Une Application à la gestion du fonctionnement et de la maintenance de grands édifices ferroviaires ».

Les pratiques des technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement 5TICE) du secteur de la Construction. 4ème conférence rencontre entre les enseignants et les professionnels de la Construction sur le thème de l'interopérabilité dans le projet.

9 Novembre 2005, Salon BATIMAT, Porte de Versailles, Paris.

- André Fawaz,

"Réalité Virtuelle et Gestion Technique, RVGT"

La nuit des doctorants numériques, Finaliste du concours de projets de recherche sur l'art technologique, les cultures numériques et l'informatisation du patrimoine, ICHIM2005

23 Septembre 2005, Paris, France

- André Fawaz , Co-chairman de la session « Virtual Engineering »

« For a technical management of the built patrimony via a virtual environment”

The 8th World Multi-Conference on SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS - SCI 2004

18-21 Juillet 2004, Orlando, Florida, USA.

- André Fawaz, Farid Ameziane, Jean-Michel Olive

« La recherche architecturale et les enjeux professionnels, le cas de la gestion technique de patrimoine construit»

Journées Européennes de la Recherche Architecturale et Urbaine – EURAU'04

Ecole d'architecture de Marseille-Luminy - Ministère de la Communication et de la Culture

12-14 Mai 2004, Marseille, France.

- Stéphane Lasserre, Farid Ameziane, Dalil Hamani, André Fawaz,

« Un système d'aide à la prescription des ouvrages dans un contexte de production de bâtiment ».

5e Congrès International de Génie Industriel,

26-29 octobre 2003, Québec, Canada.

- André Fawaz, Farid Ameziane, Philippe David

« Virtual Environment for large scale building maintenance – State of the art »

International Conference on industrial Engineering and Production Management - IEPM'03

26-28 Mai 2003, Porto, Portugal.

- Dalil Hamani, Farid Ameziane, Stéphane Lasserre, André Fawaz

« Outils numériques en réseau et aide à la décision dans le secteur de la production architecturale ».

Sciences Electroniques, Technologies de l'Information et des Télécommunications - SETIT 2003, le laboratoire d'Electronique et des Technologies de l'information, Tunisie - LETI, Le département Image et Traitement de l'Information, Bretagne, France – ENST,

17-21 Mars 2003, Sousse, Tunisie.

Glossaire

Système d'information: Combinaison de composants fonctionnant ensemble dans un but de rassembler, de traiter, de manipuler et de fournir les informations nécessaires à certaines activités.

NIAM : Méthode de modélisation de systèmes d'informations

Base de connaissances : Partie d'un système expert ou d'un programme d'intelligence artificielle, contenant l'ensemble des connaissances spécialisées (expérience, savoir-faire, stratégie...) introduites par l'expert du domaine ou déduites de la structure du système sur lequel porte l'expertise.

Base de données : Ensemble d'informations exhaustives et non redondantes nécessaires à une série d'applications automatisées et connues par un système logiciel qui assure la gestion.

Environnement généré par ordinateur. L'environnement 3D graphique généré par ordinateur est le composant principal de la RV. Cet environnement est mentionné comme un environnement virtuel de ce guide. L'environnement virtuel peut présenter des données scientifiques sous une forme visuelle dans des applications scientifiques, machinant des modèles de DAO dans des applications de technologie, des modèles de DAO des bâtiments dans des applications de construction ou un monde d'imagination dans le cas du divertissement. Les objets dans cet environnement virtuel peuvent être programmés pour décrire certain comportement. Un tel comportement peut changer des ventilateurs tournants et des horloges en temps réel, à une voiture avec une exécution de conduite réaliste.

Visualisation et interaction. La capacité de visualiser et agir l'un sur l'autre directement avec des objets dans l'environnement virtuel est un dispositif puissant de la RV. Le type d'interaction que l'utilisateur veut effectuer dans l'environnement virtuel change selon l'application. Une telle interaction peut changer d'une promenade simple jusqu'à effectuer des opérations complexes de technologie telles que des tâches de démontage d'assemblée.

Temps réel. L'utilisateur change son point de vue ou interagit avec les objets virtuels, le monde virtuel doit être sans interruption mis à jour pour donner un sens de mouvement continu à l'utilisateur. Il est important de noter qu'une telle interaction en temps réel différencie la RV vrai des « fly-throughs » pré-enregistrés, cela dépeint le monde virtuel d'un point fixe ou d'un chemin.

Canaux sensoriels humains. Les canaux sensoriels actuellement utilisés dans des applications de la RV sont visuels, tactiles et auditifs. Bien que les chercheurs également parlent de la future utilisation de l'odeur et goûtent, la technologie pour ceci n'est pas encore disponible.

La réalité augmentée (RA). Un paradigme qui devient plus commun dans la plupart des domaines de la RV est la réalité augmentée (RA). La RA travaille aux mêmes principes que la RV. Cependant, la différence entre la RV et la RA est dans leur traitement du vrai monde. La RV immerge un utilisateur à l'intérieur d'un monde virtuel qui remplace complètement le vrai monde extérieur. En revanche, la RA laisse l'utilisateur voir le vrai monde autour d'eux et augmenter la vue de l'utilisateur du vrai monde en recouvrant ou en composant les objets virtuels tridimensionnels avec leurs vraies contre-parties du monde. Dans le meilleur des cas, il semblerait à l'utilisateur que les objets virtuels et vrais ont coexisté.

Annexes

Organisation des informations techniques dans une GMAO

Structure des données. Les éléments techniques :

- . →Les équipements : Ascenseur, Centrale de traitement d'air...
- . →Les composants : revêtements murs..., lustrerie ...
- . →Les articles : pièces détachées ...
- . →La notion de réseau : lien de distribution, desserte... Une description géographique (espace) structurée sur 4 niveaux de décomposition :
- . →Site
- . →Bâtiment
- . →Zone
- . →Local Des descriptions volumiques et techniques :
- . →Les Localisations
- . →Les dessertes

Gestion des interventions

- . →Une organisation du correctif pour prendre facilement en compte les petites opérations qui constituent le quotidien de la gestion du bâtiment.
- . →Une transmission automatique des demandes vers les portables GSM des intervenants remplace avantageusement la fonction de dispatcher
- . →Une mise en place de la maintenance préventive
- . →Fonctionnalités de maintenance préventive adaptées au bâtiment :

Gestion des stocks

- . →Simplicité et efficacité
- . →Le multi magasin
- . →La notion d'interchangeables
- . →Les catalogues fournisseurs
- . →L'assistance au réapprovisionnement
- . →Le lien avec la gestion des commandes
- . →La préparation automatique de bons de réception Magasin

Gestion documentaire technique. Grâce à l'armoire multimédia :

- . →Intégrer les données dans le logiciel lui-même
- . →Accéder directement aux différentes informations provenant d'autres logiciels.
- . →Les compteurs et mesures, ratios de consommations
- . →Un lien avec la maintenance préventive
- . →La fonction Patrimoine
- . →Prévoir les travaux de renouvellement a moyen et long terme
- . →La gestion des clefs et des badges

Gestion budgétaire. Les prévisions budgétaires :

- . →La définition des budgets par lignes budgétaire
- . →Le suivi des commandes
- . →Le suivi des factures

Ergonomie. Le principe d'organisation de chaque écran se décompose en 3 étapes :

- . →Filtrer, Lister, Zoomer en 2D
- . →Des menus et des commandes exprimées en clair
- . →L'appel automatique des listes d'aides
- . →Une aide en ligne
- . →la possibilité de créer ses propres rapports La possibilité d'exporter tous types de données.

Rôles et responsabilités des acteurs durant les visites techniques

la SNCF constitue de 115 000 hectares et 14 millions de mètres carrés de bâtiments construits situés sur 11000 communes et classés comme le 2^{ème} patrimoine en France après l'état (voir l'état de l'art). Pour modéliser cette base de données (BD) sous Oracle (SQL), nous avons défini les rôles et les responsabilités de chaque acteurs intervenants à cette BD durant le cycle de maintenance. Les rôles et responsabilités des principaux acteurs (voir Figure V-1 : ensemble des acteurs avec leurs interactions durant les visites techniques des édifices.):

- . →l'établissement occupant (EO),
- . →la Direction Déléguée à l'Aménagement et au Patrimoine (AP),
- . →l'Agence Immobilière Régionale (AIR),
- . →l'Etablissement Gérant des Installations de l'Infrastructure (EVEN), prestataire.

A la SNCF, chaque directeur d'établissement a la responsabilité d'assurer cette maintenance et ces visites ont bien été effectuées dans les délais prescrits et par les personnes répondant aux critères fixés par la réglementation.

. →Le patrimoine immobilier, mis à disposition de la clientèle, du public et du personnel, est placé sous la responsabilité du directeur d'établissement occupant. Il lui appartient de signaler à l'AIR, à l'établissement gérant les installations de l'Infrastructure toute anomalie perceptible de nature à générer des risques pour les personnes et les biens, ou à générer des dépenses inutiles (fuite, début de dégradation, vétusté, etc...).

. →AP a pour mission de constituer un centre d'expertise et de mise en œuvre, pour le compte des activités et domaines prestataires et pour celui de RFF, en matière de patrimoine immobilier et notamment d'exploitation et de maintenance. AP est secrétaire du CNGP (Comité National de Gestion du Patrimoine).

. →La direction régionale dispose d'une entité chargée de la gérance immobilière régionale : l'AIR Les missions de l'agence immobilière régionale sont définies dans les référentiels suivants :

Dans le cadre de ces missions, l'agence immobilière régionale mandatée par les activités et domaines prestataires et les établissements occupants, qui lui fournissent les moyens correspondants, est chargée de veiller à la pérennité du patrimoine immobilier concerné selon la politique exprimée par ces activités et domaines.

Par contractualisation avec l'agence immobilière régionale, les travaux de maintenance courante et les grosses réparations (maintenance de niveaux 2, 3, 4, 5 de la norme NF 60 010)(voir l'état de l'art) sont exécutés sous la maîtrise d'œuvre exécution des établissements gérant les installations de l'infrastructure sauf exception, pour les travaux dits à la charge du propriétaire et pour les travaux relevant des charges locatives communes, ainsi que pour les visites périodiques et la maintenance, rendues obligatoires par la réglementation.

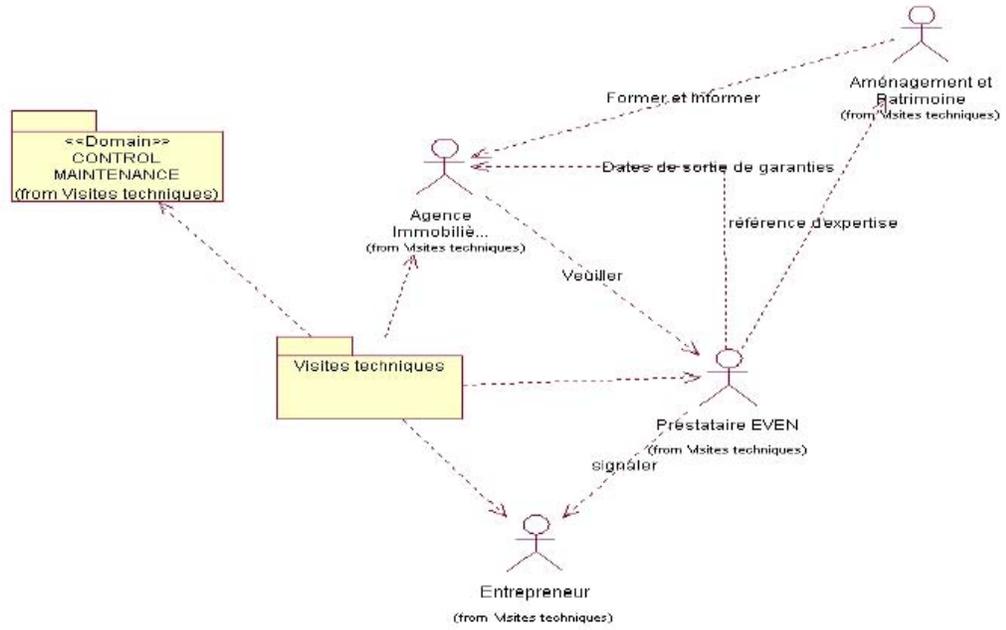


Figure V-1 : ensemble des acteurs avec leurs interactions durant les visites techniques des édifices.

Les visites techniques des bâtiments, de leurs équipements et des VRD

Dans le cadre de la mise en place de la gérance immobilière, l'agence immobilière régionale mandatée par les activités et domaines prestataires et les établissements occupants, qui lui fournissent les moyens correspondants, est chargée de veiller à la pérennité du Patrimoine Immobilier concerné selon la politique exprimée par ces activités et ces domaines. Pour ce faire, dans le cadre de ce mandat, elle met en place des visites techniques périodiques du patrimoine immobilier qui sont de deux natures (voir Figure I-2 : Arborescence des visites techniques) :

- les visites périodiques réglementaires Elles visent généralement à détecter ou prévenir toute défaillance pouvant mettre en cause la sécurité des personnes et des biens. La responsabilité incombe réglementairement au directeur de l'établissement occupant les locaux utilisés par le personnel placé sous son autorité, ou par la clientèle SNCF.
- les visites périodiques rendues nécessaires par le souci d'une gestion optimisée

Ces dernières comprennent :

- les visites annuelles de gestion des bâtiments,

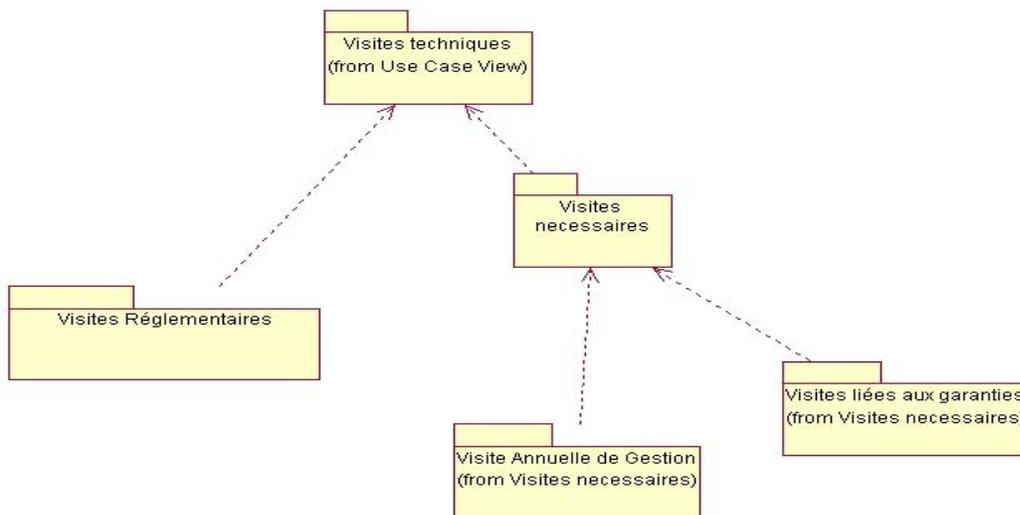


Figure I-2 : Arborescence des visites techniques

- les visites liées aux garanties après réalisation de travaux.

→Définitions et processus Les établissements gérant les installations de l'infrastructure sont chargés de la réalisation des visites techniques périodiques. Ils peuvent soit les effectuer par leurs propres moyens, soit les sous-traiter. Ces visites sont réalisées selon les trois schémas.

Les visites annuelles de gestion

Elles concernent tous les bâtiments et leurs équipements et ont pour objet la détection des désordres pouvant exister (voir la Figure I-3 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant les visites annuelles de gestion). Une liste de contrôles permet de déclencher les travaux nécessaires ou une visite détaillée. Plusieurs cas sont donc possibles :

→ Il n'y a pas de désordres constatés

L'EVER établit un rapport de visite qu'il envoie à l'AIR de sa région. L'objet de ce rapport est de permettre une traçabilité des visites effectuées.

→ Il existe des désordres importants :

Le péril est imminent :

En cas de découverte de ce type de désordre, le directeur de l'établissement gérant les installations de l'infrastructure avise sans délai le directeur de l'établissement occupant pour qu'il puisse prendre les mesures d'urgence qui s'imposent, notamment celles relatives à l'utilisation de cet ouvrage. Le directeur de l'établissement gérant les installations de l'infrastructure prend les mesures conservatoires immédiates et avise le gestionnaire technique de l'AIR.

Autres cas

La découverte de ces désordres conduit :

- . → soit à la proposition de travaux correctifs si l'EVER est en mesure d'assurer le diagnostic, la définition des travaux et leur évaluation financière,
- . → soit à la proposition d'une expertise approfondie dans le cas contraire.

Dans l'un et l'autre cas : s'il s'agit de travaux relevant du forfait maintenance, l'établissement gérant les installations de l'infrastructure les réalise en tenant informée l'AIR, s'il s'agit de travaux relevant des opérations localisées (OLR, OLN), ils entrent dans le cadre du cycle de gestion. s'il s'agit de travaux relevant d'un investissement, ils font l'objet d'un dossier d'initialisation.

Il y a des désordres : soit techniquement peu importants, mais dont il convient de contrôler l'évolution, soit qui portent atteinte à l'image de marque de la SNCF, un rapport de visite est établi, ainsi qu'un calendrier de contrôle de l'évolution si la périodicité doit être inférieure à 1 an. Sauf travaux relevant du forfait de maintenance, la remise en état est décidée en AGR par les activités propriétaires ou co-propriétaires.

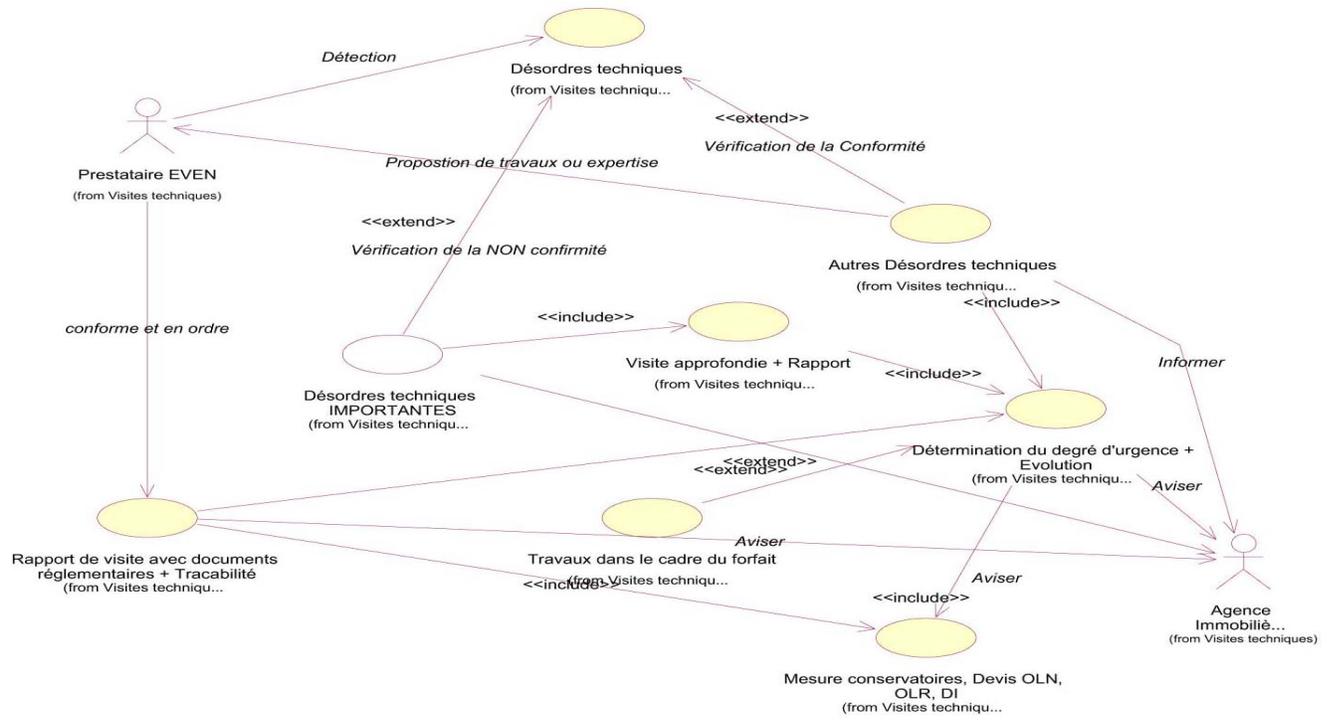


Figure I-3 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant les visites annuelles de gestion

Les visites liées au suivi des garanties après travaux

Elles concernent les bâtiments ou parties d'ouvrages neufs au titre des garanties de parfait achèvement, de bon fonctionnement ou décennale au sens des articles 1792 et suivants et 2270 du Code civil, et les bâtiments anciens ayant bénéficié de travaux de réfection relevant de la garantie décennale (loi du 4 janvier 1978). Elles portent donc sur un nombre plus limité de bâtiments ou installations, et supposent l'élaboration d'un calendrier prévisionnel par l'EVEN, cohérent avec les dates de sortie de garanties. L'A.I.R. tient le registre des dates de sortie de garanties qui lui sont communiquées par l'EVEN et veille à la réalisation effective par l'EVEN des visites correspondantes (voir la Figure I-4 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant Les visites liées au suivi des garanties après travaux).

→La garantie de parfait achèvement à laquelle l'entrepreneur est tenu pendant un délai d'un an à compter de la réception s'étend à la réparation de tous les désordres signalés par le maître d'ouvrage, soit au moyen de réserves mentionnées au procès verbal de réception, soit par voie de notification écrite pour ceux révélés postérieurement à la réception.

Lorsque la réception a fait l'objet de réserves au procès verbal, une visite détaillée ultérieure doit être faite contradictoirement avec l'entrepreneur, aux fins de constatation de la levée des réserves dans un procès verbal. De même, en cas de notification écrite de désordres révélés postérieurement à la réception, une visite détaillée doit être réalisée contradictoirement avec l'entrepreneur, aux fins de constatation dans un procès verbal de l'exécution des travaux de réfection.

→La garantie de bon fonctionnement est d'une durée minimale de deux ans pour les éléments d'équipement du bâtiment qui ne forment pas indissociablement corps avec les ouvrages de viabilité, de fondation, d'ossature, de clos ou de couvert.

Un élément d'équipement est considéré comme formant indissociablement corps avec l'un des ouvrages cités ci-dessus lorsque sa dépose, son démontage ou son remplacement ne peut s'effectuer sans détérioration ou enlèvement de matière de cet ouvrage. Les éléments d'équipement soumis à la garantie de bon fonctionnement biennale doivent faire l'objet d'une visite détaillée 3 mois avant l'expiration du délai de garantie. Cette visite fait l'objet d'un procès-verbal de visite mentionnant les éventuels défauts constatés.

→La garantie décennale s'applique aux dommages qui compromettent la solidité de l'ouvrage ou le rendent impropre à sa destination que la cause s'en trouve dans un élément constitutif ou un élément d'équipement.

La même garantie s'étend aux dommages qui affectent la solidité des équipements d'un bâtiment, mais seulement lorsque ceux-ci font indissociablement corps avec les ouvrages de viabilité, de fondation, d'ossature, de clos ou de couvert. Une visite des ouvrages bénéficiant de la garantie décennale doit être faite en même temps que la visite de fin de la garantie de bon fonctionnement.

Les autres visites auront lieu :

- . →en milieu de période de garantie, dans la cinquième année.
- . →moins de 6 mois avant l'expiration du délai de 10 ans

La procédure à mettre en place en cas de désordre est liée à l'assurance souscrite par

l'entreprise au moment de la réalisation des travaux. Afin de pouvoir engager le recours à l'assurance, il faut s'assurer que :

- . →l'historique des travaux de réaménagement et d'entretien existe,
- . →les procès-verbaux de réception sont à disposition,
- . →la maintenance a été correctement effectuée. A l'occasion de ces visites, l'établissement gérant les installations de l'infrastructure saisit l'AIR pour suites à donner de concert.

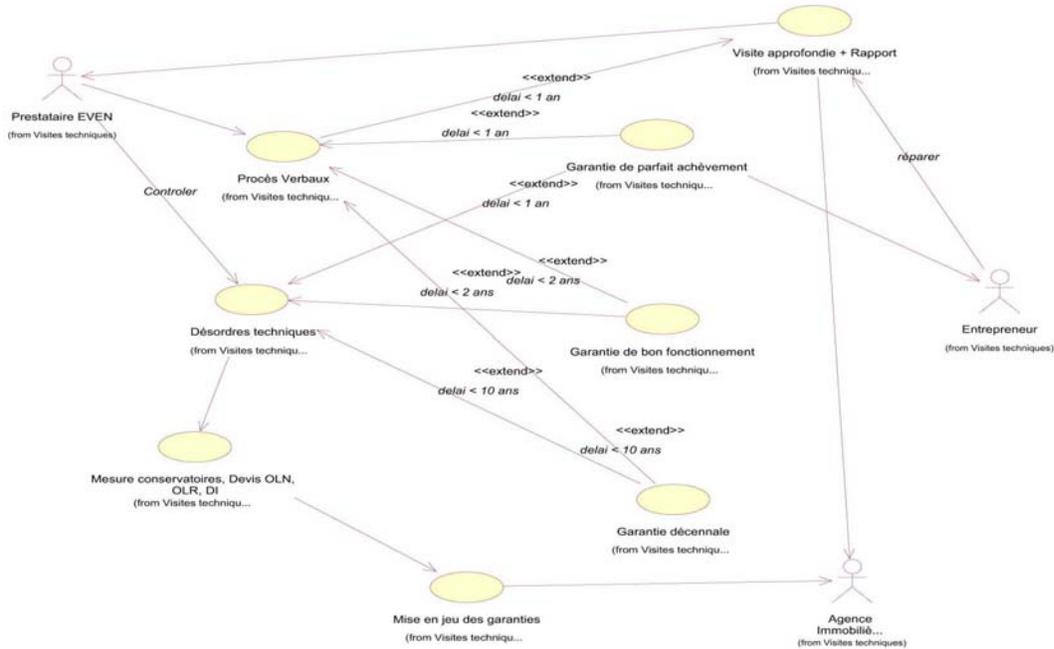


Figure I-4 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant Les visites liées au suivi des garanties après travaux

Les visites réglementaires

Ces visites périodiques techniques relèvent d'un caractère obligatoire de par le droit français (et européen). C'est le cas par exemple pour les vérifications des installations électriques, des installations de lutte contre les incendies, des installations thermiques, des ascenseurs ou des escaliers mécaniques. Elles concernent donc un nombre plus limité d'équipements du bâtiment que les visites annuelles de gestion (voir Figure I-5 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant les visites réglementaires). Les obligations concernant ces équipements techniques sont encadrées par divers textes dont les référentiels RH reprenant généralement des articles du code du travail, ou le Code de la Construction et de l'Habitation, par exemple. Le non-respect de ces obligations peut avoir des conséquences pénales. Ce type de visites nécessitant une habilitation et des connaissances techniques spécialisées, les EVEN, selon les cas, réalisent ces visites avec leurs moyens propres, ou les sous-traitent à des organismes spécialisés et se chargent de vérifier leur bonne exécution. Les documents certifiant la conformité sont transmis au directeur d'établissement occupant avec copie aux A.I.R. En cas de non-conformité, les mesures de rattrapage sont prises en fonction du degré d'urgence.

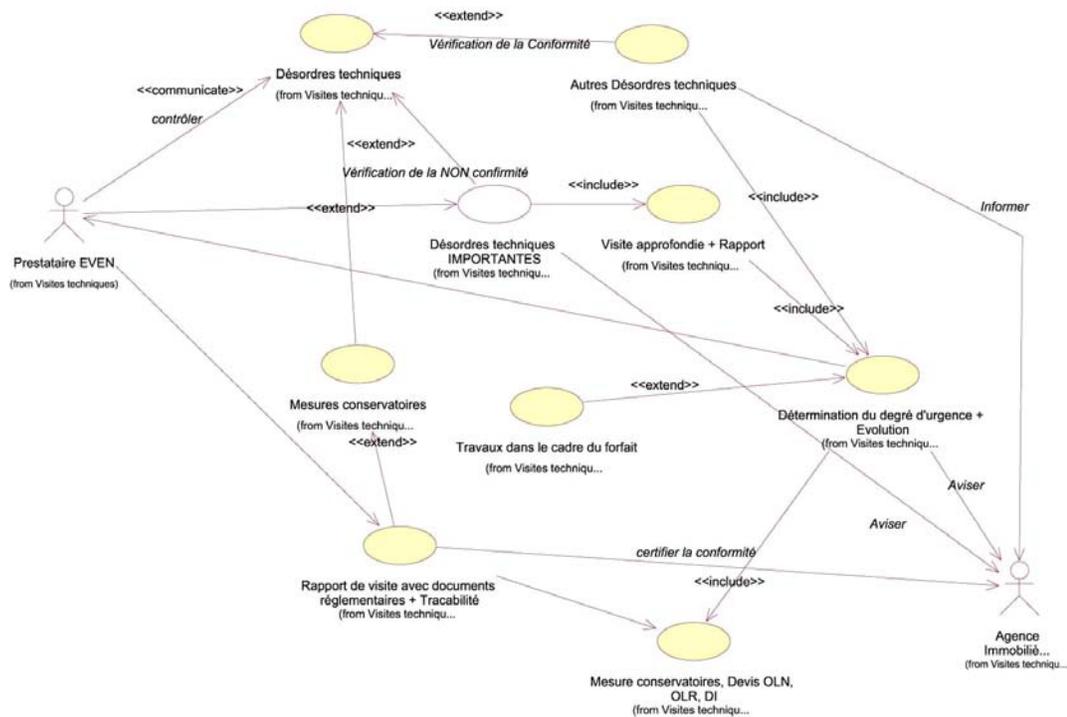


Figure I-5 : ensemble des cas d'utilisations avec les acteurs du projet durant les visites réglementaires

REALITE VIRTUELLE ET GESTION TECHNIQUE DU PATRIMOINE CONSTRUIT

UNE APPLICATION A LA GESTION DU FONCTIONNEMENT ET DE LA MAINTENANCE DE GRANDS EDIFICES FERROVIAIRES

RESUME: Dans le secteur de la gestion technique de maintenance des grands parcs immobiliers, les premières solutions techniques mises en place depuis quelques années sont basées sur des logiciels totalement dédiés à chaque métier. Le partage de l'information est manuel et limité grâce à une interface graphique basée sur des schémas 2D et des photos qui sont sujets à une fausse interprétation par des personnes moins accoutumées à les interpréter. Ces solutions atteignent vite leurs limites d'utilisation. L'organisation de tous les membres des équipes techniques pour conduire des études d'intervention devient longue et coûteuse pour les organismes.

Pour répondre à cette problématique, le manuscrit de cette thèse s'articule dans la technologie de l'information et de la communication appliquée à l'architecture afin de développer un nouveau mode opérationnel qui s'appuie sur la Réalité Virtuelle, le traitement et la gestion des informations techniques durant tout le cycle de vie de l'édifice. Ainsi, les objectifs de notre travail sont :

- de proposer une description du bâtiment géométrique et alphanumérique en tenant compte des spécificités des grands édifices ferroviaires,
- de mettre en place un système d'information et d'aide à la décision pour la gestion technique et pour la maintenance des édifices, en exploitant les nombreuses possibilités offertes par la Réalité Virtuelle et en gérant des profils d'acteurs distincts.
- et de réaliser un prototype basé sur un moteur 3D capable d'exploiter et de valoriser les dispositifs de la Réalité Virtuelle pour la maintenance du patrimoine construit.

Mots-clés: *GMAO, Réalité Virtuelle, Maintenance, SGBD, Patrimoine immobilier*

VIRTUAL REALITY AND TECHNICAL MANAGEMENT OF THE REAL ESTATE HOLDING

AN APPLICATION FOR THE LARGE SCALE BUILDING MAINTENANCE AND FUNCTIONAL MANAGEMENT

ABSTRACT: In the technical maintenance management sector of the large real estate company, the first technical solutions, for a few years, have been based on software completely dedicated to each skill. The information management was manual and limited because the graphic interface based on 2D diagrams and some pictures which they was a false interpretation by accustomed technical people. These solutions reach their limits quickly and the technical member team interventions became unlimited and expensive for the organizations. the answers to these problems is articulated in the communication and information technology applied to the building design in order to develop an operational model which is based on Virtual Reality, the treatment and the technical information management during all the building lifecycle. Thus, our work aim is:

- to carry out a the geometrical and alphanumeric building description by the large railway buildings specificities,
- to set up an information system for technical and the maintenance buildings management, by using many possibilities offered by Virtual Reality and by managing distinct actors profiles.
- and to produce a prototype based on a 3D engine able to use and develop the Virtual Reality devices for the real estate holding maintenance.

Keywords: *CMMS, Virtual Reality, Maintenance, DBMS, real estate holding*