

# LA SECURITE INTEGREE AU BIM



**Rapport final de projet d'année 2014—2015**

BRUYERE Cynthia  
DE TROY Kévin  
FAURE Grégory  
GOUFFAULT Fanny



## Remerciements

Dans le cadre du déroulement de ce projet et de nos prises de contact nous tenons particulièrement à remercier les personnes suivantes pour le temps qu'elles ont bien voulu nous accorder et les éléments importants qu'elles ont pu partager avec nous :

- **M. AMARA François**, Délégué Général BIM-France, architecte, BIM manager, directeur BIM développement SYNTETIC XD & GEXPERTISE Groupe, Paris ;
- **M. ARDELLIER Luc**, Président OREKA Sud, Nîmes ;
- **M. CHEVALIER David**, Chargé d'opération, Nantes-Habitat, Nantes ;
- **M. CRAVEUR Jean-Charles**, Professeur responsable du Mastère Spécialisé Ingénierie de la Sécurité Incendie, ISMANS, Le Mans ;
- **M. FERRUJA Matthieu**, Gérant et Directeur du bureau d'études SYNTETIC XD, Paris ;
- **M. VERVANDIER Benoit**, Directeur Général Groupe Archimen – Active3D, Auxerre.

Sans oublier notre encadrement au sein de l'université d'Angers avec en particulier :

- **M. LOPEZ Serge**, Responsable pédagogique du Master 2 GRESPII ;
- **Me. SOYER Isabelle**, Professeur référent de notre sujet.

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>P.6</b>
<b>1. Etude des utilités visées au regard des attentes</b>	<b>P.10</b>
<i>A. Prévention des risques professionnels</i>	<i>P.10</i>
<i>B. Sécurité incendie</i>	<i>P.13</i>
<i>C. Sûreté</i>	<i>P.15</i>
<i>D. Suivi de la santé d'un patrimoine bâti</i>	<i>P.16</i>
<i>E. Cas particulier des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement</i>	<i>P.18</i>
<i>F. Synthèse</i>	<i>P.19</i>
<b>2. Le BIM comme base de travail ou point de départ</b>	<b>P.20</b>
<i>A. Le « Dynamised BIM » : de la simulation simple à l'intégration du facteur humain</i>	<i>P.20</i>
<i>B. BIM et sécurité dans le futur : le bâtiment devient intelligent</i>	<i>P.25</i>
<i>C. Synthèse</i>	<i>P.27</i>
<b>Conclusion</b>	<b>P.28</b>

# Introduction

Les technologies de l'information et de la communication ont, depuis une dizaine d'années, subi une évolution majeure se traduisant par la dématérialisation des supports (films, musique, livres, etc.). Le numérique est par conséquent de plus en plus présent dans notre vie, aussi bien dans le domaine privé que dans le domaine professionnel.

*« Les échanges d'informations se numérisent ».*

Dans le domaine de la construction, des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) permettent aux architectes, depuis plusieurs décennies (Années 1970-1980) de travailler sur des plans dématérialisés 2D au lieu des versions papier. Ces dix dernières années l'utilisation de la modélisation 3D, a connu un fort développement grâce aux avantages qu'elle offre en termes de présentation et de visualisation du rendu final d'un projet.

Dans le secteur industriel (aéronautique ou automobile), l'utilisation de la modélisation 3D date déjà de plusieurs décennies. Outre la présentation de l'aspect final d'un produit, les plans 3D sont ici de véritables outils d'aide à la conception, construction d'éléments, à leur assemblage et à la simulation de scénario de fonctionnement en mode normal ou dégradé.

Des acteurs du bâtiment ont commencé à s'inspirer des outils de modélisation 3D utilisés dans le domaine industriel pour les adapter à leur secteur. Ces outils sont capables d'optimiser la qualité et la durabilité des constructions par la mise en corrélation des données relatives aux matériaux, à leur mode d'assemblage et à leur comportement prévisible en fonctionnement. L'objectif initial était de limiter la consommation d'énergie, en raison des impacts qu'elle génère sur l'environnement (réchauffement climatique), répondant ainsi à l'une des grandes préoccupations de notre société. En effet de multiples études réalisées dans différents pays se rejoignent sur le fait que le secteur du bâtiment contribue de manière importante à cette consommation énergétique.

En France, le patrimoine immobilier est responsable d'environ 40% de la consommation d'énergie et de 25% des émissions de gaz à effet de serre (*Source : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie d'après une étude du Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie d'Énergie*). Des normes de constructions durables (RT 2005 ; RT 2012 et prochainement RT 2016 ; Grenelle 1 et 2) et de performance énergétique ont donc été créées. Les nouvelles constructions se veulent donc plus écologiques et moins énergivores. Ces normes restent orientées sur la qualité globale d'un ouvrage construit sans remettre en cause les divers processus en amont de la construction. Le même constat pourrait être établi sur le plan économique.

Face à une telle évolution et à des types de matériaux et des techniques de construction de plus en plus complexes, la maquette numérique et le BIM (Building Information Modeling) ont fait leur apparition pour la première fois aux Etats-Unis à partir de 2002. Leur objectif est de permettre aux différents acteurs de travailler sur une base commune, d'échanger les informations simplement et de prévoir des coûts, des quantitatifs, des impacts de modifications de paramètres, etc. Ainsi, nous pouvons définir ces outils de la manière suivante : *« le **BIM** est une **méthode de travail** basée sur la **collaboration** autour d'une **maquette numérique**. La maquette numérique est une maquette 3D comportant des renseignements sur la nature des objets utilisés. Par exemple, un mur n'est plus simplement l'extrusion d'un ensemble de lignes en deux dimensions mais un objet, fait de couches de différents matériaux avec des propriétés structurelles, thermiques, acoustiques,... »*. Cette définition, tirée du rapport de décembre 2014 de la mission numérique du bâtiment, nous présente de manière simple et concrète le BIM et la maquette numérique.

Dans le sillage des Etats-Unis, où les premiers retours d'expériences sur ces outils mettent en évidence les gains réalisés, plusieurs autres pays les ont adoptés. Ainsi, en Finlande, Senate Properties, organisme public qui gère une partie du patrimoine de l'Etat a rendu le BIM obligatoire depuis 2007. La même démarche a été lancée en Norvège en 2010 par Statsbygg, entreprise gouvernementale. L'union européenne, dans ce contexte, a diffusé en janvier 2014 la directive 2014/24/UE liée à la passation des marchés publics. Ce texte autorise les Etats à exiger l'utilisation des outils de modélisation électronique, sous-entendus le BIM notamment, dans le cadre des réponses aux appels d'offres de marchés publics, à condition de donner les moyens à toute entités d'y répondre. Les états membres ont jusqu'à fin 2016 pour traduire cette directive en droit national. En France, face à une perte d'activité dans le secteur de la construction, la Ministre de l'égalité des territoires, du Logement et de la Ruralité, Sylvia Pinel, a défini en mai 2014 un plan de relance du logement visant à construire plus de logements, de meilleure qualité environnementale et à moindre coût. Elle a ainsi confié la rédaction d'une feuille de route opérationnelle sur le numérique appliqué au bâtiment à M. DELCAMBRE, nommé à la tête de la « Mission Numérique du Bâtiment ». Ce travail devra aboutir à la généralisation du recours aux outils numériques par l'ensemble des acteurs du bâtiment à l'horizon 2017.

Le BIM, à l'heure actuelle, est utilisé principalement par des grands groupes de construction (Vinci, Bouygues, etc.), des bureaux d'études, des cabinets d'architectes et des gestionnaires d'importants patrimoines immobiliers (Conseil Régional de Bourgogne). Tous s'accordent sur le fait que c'est un outil qui permet d'améliorer la précision des dossiers et d'anticiper les problèmes à résoudre tout au long de la vie de l'ouvrage. Ainsi, au-delà de la phase de construction, le BIM se révèle être un outil d'aide à l'exploitation et d'accompagnement à la gestion d'un patrimoine immobilier tout au long de sa vie. Diverses applications, utilisant la maquette numérique comme support se développent. Aujourd'hui, surtout orientées vers la performance énergétique, on peut imaginer que demain elles puissent nous servir à modéliser d'autres aspects et d'autres paramètres de nos bâtiments en relation avec l'activité réalisée à l'intérieur. C'est donc par définition un outil capable de faire interagir des éléments de construction ou d'aménagement paramétrables, en opposition avec les outils de CAO 2D ou 3D. Ces derniers sont utilisés principalement à des fins visuelles et incapables de simuler des interactions entre les éléments.

Le déploiement du BIM se pose donc comme un enjeu important dans les années à venir dans le secteur du bâtiment. Les problématiques actuelles sont :

### **Le BIM peut-il faire évoluer le monde de la sécurité ?**

#### **La sécurité a-t-elle sa place dans le BIM ?**

La société dans laquelle nous vivons actuellement est une société qui éprouve de plus en plus le besoin d'anticiper et de prévoir, en particulier dans le domaine de la gestion des risques, de quelques natures qu'ils soient. Nous pouvons illustrer ce propos par les deux premiers des neuf principes de prévention (Article L.4121-2 du Code du Travail) qui sont « Eviter les risques » et « Evaluer les risques qui ne peuvent être évités ». Visiter un bâtiment avant qu'il ne sorte de terre ou y simuler un incendie pour en observer les conséquences pourraient être des actions rendues possibles grâce à l'utilisation du BIM et qui répondraient totalement à d'éventuels besoins des acteurs de la gestion des risques.

Le travail de recherches bibliographiques réalisé en première phase de ce projet nous a permis de mettre en évidence quelques débuts de réponses. Dans le cadre de la mission numérique du bâtiment M. DELCAMBRE a fait appel aux volontaires, concernés de près ou de loin par le BIM, afin qu'ils fassent part de leurs attentes et de leurs propositions en vue de son déploiement. A partir de ces contributions les attentes de la part des acteurs concernés par le BIM peuvent être rassemblées de la manière suivante :

- **Maîtres d'œuvres :**
  - ↳ Permettre dès la conception du projet une vérification du respect des règles constructives (incendie, etc.) ;
  - ↳ Faciliter la communication entre les différents acteurs de la construction ;
  - ↳ Limiter les erreurs d'écriture et réécriture avec l'utilisation d'une base de données commune aux intervenants.
  
- **Entreprises de construction :**
  - ↳ Permettre la préfabrication d'éléments de construction en usine et éviter ainsi certains risques sur le chantier (utilisation de machines-outils, etc.) ;
  - ↳ Faciliter l'accès sur le terrain aux informations de localisation des réseaux enterrés (plans DICT 3D).
  
- **Maîtres d'ouvrages (hors propriétaire ou exploitant) :**
  - ↳ Suivre en temps réel les avancées de la maîtrise d'œuvre dans ses phases de conception et de construction, permettant une analyse a priori des risques ;
  - ↳ Transférer un outil de suivi complet, à jour et simple aux propriétaires ;
  - ↳ Fournir une meilleure connaissance du patrimoine, entraînant une meilleure connaissance des risques et donc une meilleure anticipation dans le choix des protection.
  
- **Propriétaires et exploitants :**
  - ↳ Impliquer l'exploitant dès la phase de conception (lui permettant par exemple de visualiser des locaux et d'évaluer certains risques qui lui sont propres) ;
  - ↳ Gérer un patrimoine immobilier dans tous ses aspects (suivi des vérifications périodiques, centralisation des rapports de diagnostics obligatoires, etc.) ;
  - ↳ Interfacer le BIM avec d'autres applicatifs (GMAO, UAE, GTC, simulation, etc.) ;
  - ↳ Faciliter l'accès aux fiches techniques (matériels, Fiche de Données de Sécurité, etc.) ;
  - ↳ Améliorer la prise en compte de la sécurité durant les interventions techniques (DIUO) ;
  - ↳ Visualiser facilement le bâtiment grâce à une interface ergonomique facile à utiliser et visuelle ;
  - ↳ Rédiger et mettre à jour un carnet de santé du bâtiment.
  
- **Assureurs :**
  - ↳ Maitriser les risques bâtimentaires grâce à une meilleure connaissance et un meilleur suivi.
  
- **Editeurs de logiciels :**
  - ↳ Connaître les attentes des utilisateurs afin de développer des applicatifs spécifiques interfacés avec le BIM (comme les outils de simulation de performance énergétique).

Ces différentes attentes peuvent être regroupées dans 4 sous-domaines de la sécurité qui sont :

- La prévention des risques professionnels ;
- La sécurité incendie ;
- La sûreté ;
- Le suivi de la santé d'un patrimoine bâti.

Cependant les diverses publications montrent aussi que ces attentes se heurtent à un certain nombre de limites qui s'opposent pour le moment au déploiement du BIM, en particulier :

- **Le manque de confiance en le numérique** : donner de la confiance dans l'utilisation du BIM ;
- **L'investissement nécessaire tant financier qu'humain** : se doter du matériel et des logiciels et posséder les compétences pour les utiliser ;
- **L'aspect technique** : développer des solutions informatiques accessibles à toutes les tailles d'entreprises ;

- **L'aspect juridique** : assurer la validité des données inscrites pour les acteurs et la traçabilité des modifications apportées.

L'ensemble de ces données nous permettent maintenant de nous poser des questions plus précises et ainsi d'orienter notre travail :

**Le BIM peut-il répondre aux différentes attentes des acteurs en matière de sécurité et comment ?**

**Techniquement, est-ce possible ou envisageable ?**

**Est-ce que le BIM peut permettre d'améliorer l'état actuel des méthodes de travail concernant la sécurité ?**

La finalité de ce projet sera donc d'apporter des éléments de réponses à ces questionnements d'une part, par la réalisation d'un document à destination des utilisateurs de BIM afin de leur exposer tout ce qu'il pourrait permettre de faire dans le domaine de la sécurité et d'autre part par la mise à disposition d'un document à destination des développeurs proposant la création d'applicatifs spécialisés ou l'interfaçage entre BIM et applicatifs existants.

Notre projet portera donc sur la recherche et la définition de l'ensemble des risques propres à chaque sous-domaine de la sécurité cités ci-dessus et ce pour chacune des phases de vie d'un bâtiment. L'objectif est, ici, de déterminer si le BIM pourrait nous aider à traiter ces risques et comment il pourrait le faire.

Ensuite, nous présenterons comment le BIM peut constituer un outil de base sur lequel pourront venir se greffer divers applicatifs capables d'exploiter les données (depuis la base de données du BIM). Nous verrons également que grâce au BIM, dans le futur, les bâtiments seront capables d'interagir avec leur environnement et les usagers. Nous verrons particulièrement les apports de ces évolutions en terme de sécurité. Cette phase de travail a été rendue possible grâce aux contacts que nous avons pu développer avec les professionnels du secteur.

# 1. Etude des utilités visées au regard des attentes

Le tableau ci-après est le point central de notre projet. Son objectif est, à partir des risques identifiés ou des problématiques en lien avec la sécurité, de proposer des solutions et d'envisager comment elles pourraient être intégrées au BIM. Ces exigences ont été mises en avant à la suite de nos recherches bibliographiques et se sont précisées lors des discussions et rencontres avec nos contacts.

## Présentation du tableau :

- 1<sup>ère</sup> colonne « **Risques / Problématiques** » : reprend le constat que nous avons fait à la fin de nos recherches bibliographiques ;
- 2<sup>ème</sup> colonne « **Utilité(s) visée(s)** » : caractérise nos exigences par rapport à l'attente exprimée. Cette dernière est en lien direct avec la 3<sup>ème</sup> colonne ;
- 3<sup>ème</sup> colonne « **Comment nous souhaitons faire** » : caractérise les méthodes et moyens à mettre à place afin de répondre à l'attente ;
- 4<sup>ème</sup> colonne « **Le réalisable** » : présente ce qui est possible actuellement grâce aux solutions logiciels existantes ;
- 5<sup>ème</sup> colonne « **Qui le fait déjà** » : donne des exemples de manière non exhaustive d'applications existantes.

Ce tableau est divisé en quatre sous-domaines selon notre constat des attentes (A- Prévention des risques professionnels ; B- Sécurité incendie ; C- Sûreté et D- Suivi de la santé d'un patrimoine bâti). Chacun de ces sous-domaines est segmenté par phases de vie d'un bâtiment (conception, construction, exploitation, évolution et déconstruction).

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>A. PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS</b>				
<b>Phase conception</b>				
<b>Analyse préliminaire des risques</b>	- Aide, en amont, à l'évaluation des risques professionnels et des risques que présente l'ouvrage.	- Comparaison du projet (configuration des locaux, éclairage, etc.) avec des règles enregistrées dans la base de données.	- Calcul automatique des surfaces, des hauteurs, etc.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D ; - Prototype d'outil CoSMoS, objet d'une étude menée par The National University of Sciences and Technology à Islamabad.
<b>Zones à risques (Atex, bruit, espace confiné, chambre froide)</b>	- Identification et mise en évidence des zones à réglementation spécifique ; - Indication des seuils de sécurité / réglementaires.	- Comparaison du projet avec des règles enregistrées dans la base de données.	- Mise en évidence des zones à risques ; - Indication des seuils de sécurité/réglementaires avec lien objet base de données.	
<b>Risques lors des interventions ultérieures sur l'ouvrage</b>	- Aide à la création DIUO Conception ; - Caractérisation des postes d'intervention ultérieure, de maintenance ; - Mise en évidence des risques et proposition de solution de sécurité.	- Comparaison du projet avec les fiches techniques des équipements installés afin de déterminer les besoins en maintenance et mise en relation avec les zones à risques mises en évidence ci-dessus.	- Proposition de solutions de sécurité pour les risques détectés (exemple : risque de chute de hauteur en trémies = proposition de garde-corps).	- Etude publiée dans Science Direct : « BIM-Based fall hazard identification and prevention in construction safety planning » ;

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Disposition des postes de travail</b>	- Aide à l'optimisation des postes de travail (ergonomie).	- Simulation, dès la conception des postes de travail, des positions qui devront être adoptées par les opérateurs.	- Calcul d'apport en luminosité nécessaire par rapport au taux d'ensoleillement théorique et à la surface des vitres prévues ; - Simulation de situations de travail.	- Principe de Climawin appliqué à l'installation d'éclairage ; - Bureau d'études Syntetic XD (évaluation du passage nécessaire aux opérateurs pour fixation des verrières de la fondation Louis Vuitton) ; - Airbus, construction de l'A350 ; - Programme Majorelle III sur l'anticipation des aménagements intérieurs.
<b>Phase construction</b>				
<b>Chute de hauteur</b>	- Mise en évidence des postes présentant un risque de chute de hauteur ; - Proposition de solution.	- Comparaison du projet avec la base de données.	- Proposition de solutions de sécurité pour les risques détectés (exemple : risque de chute de hauteur en trémies = proposition de garde-corps).	- Etude publiée dans Science Direct : « BIM-Based fall hazard identification and prevention in construction safety planning ».
<b>Co-activité (travaux simultanés, successifs et superposés)</b>	- Création d'un planning limitant les situations co-activité ; - Mise en évidence des points de contrôle entre chaque phase.	- Comparaison du projet avec la base de données et avertissement des phases présentant a priori différentes "tâches non associables".	- Interface avec logiciels de planification (Gantt, PERT, etc.), solutions BIM 4D (maquette 3D avec intégration de la notion de temps) ; - Numérisation et modélisation 3D des PPSPS des entreprises.	- Possibilités offertes par plusieurs solutions BIM actuelles (Revit, Bentley, ACTIVE3D, etc.) ; - Bureau d'études Syntetic XD.
<b>Mauvaise organisation du chantier (circuit de manutention)</b>	- Prévision des zones de circulation et de stockage ; - Proposition de la disposition optimale du chantier, favorisant les espaces sécurisés et limitant les zones de croisement ; - Indication sur plan de ces zones.	- Comparaison du projet avec des règles de sécurité et de chantier enregistrées dans la base de données.	- Représentation graphique en lien avec les plannings (après évaluation des quantitatifs = calcul de la zone de stockage nécessaire et mise en évidence des lieux).	- Solutions BIM 4D en lien avec les PPSPS et simulations 3D réalisées par le bureau d'étude Syntetic XD.
<b>Evolution des règles de sécurité en fonction des étapes du chantier</b>	- Identification et avertissement des dates clé (points de contrôle) et des moments de changement de règles (exemple : passage aux protections collectives devenue possible donc les comportements changent).	- Mise en place d'une application "suivi des étapes" tel que cela est réalisable avec Microsoft Access.	- Précision des dates et points de contrôle en fonction de l'évolution des plannings en lien avec les données de la BDD.	

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Détection des réseaux enterrés sur chantier</b>	- Fournir la visualisation précise des réseaux enterrés aux entreprises de TP.	- Remplacer les plans 2D approximatifs par des visualisation 3D précises (réalisées grâce à de la géo-détection) visualisables sur Smartphone ou tablette tactile.	- Détection dans le sous-sol des passages de réseaux grâce aux systèmes de géo-détection et modélisation sur plan 3D.	- Bureaux d'études spécialisés tels que BlexDiag, Gexpertise-Conseil, etc.
<b>Phase d'exploitation</b>				
<b>Risques professionnels</b>	- Aide à la réalisation du Document Unique ; - Définition des Unités de Travail et aide à l'évaluation des risques professionnels ; - Analyse des accidents (statistiques, rendu sous forme de CR avec mémoire des faits).	- Détermination et modélisation de la Fréquence et de la Gravité (zone du bâtiment les plus concernées) assisté par le BIM selon sa base de données.	- Dématérialisation du DU par unité de travail défini sur la maquette 3D avec liaison aux fiches AT.	
<b>Situation d'urgence</b>	- Simulation de procédures d'urgence.	- Même méthode que pour l'ISI (Ingénierie de la Sécurité Incendie), soit ISU (Ingénierie de la sécurité de l'Urgence).	- Exercice d'application de procédure d'urgence en réalité virtuelle.	- Solution DEMPlus de la société OREKA.
<b>Zone à risque (Atex, bruit, espace confiné, chambre froide)</b>	- Disposition et suivi des capteurs en temps réel (espace confiné) ; - Contrôler les seuils de sécurité.	- Principe de la GTC.	- Connection de détecteurs.	- Prototype d'outil CoSMoS, objet d'une étude menée par The National University of Sciences and Technology à Islamabad.
<b>Intervention Entreprise Extérieure</b>	- Aide à la réalisation des Plans de Prévention.	- Comparaison de travaux prévus (que l'on renseigne) avec la zone de travail et la base de données.	- Mise en relation avec les zones à risques, identifiées en phase conception.	
<b>Modalités d'accès aux documents de sécurité</b>	- Faciliter l'accès aux documents de sécurité ; - Mémoire et accès direct à partir des objets.	- Intégration des documents de sécurité à la base de données.	- Dématérialisation des documents de sécurité associés à chaque objet.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Phase d'évolution</b>				
<b>Évolution des postes de travail, UT</b>	- Mise à jour des postes de travail et UT dans le DU.	- Comparaison des évolutions avec les risques renseignés dans la base de données.	- Alerte pour toutes modifications de la maquette 3D ; - Aide au maintien du DU à jour.	
<b>Phase de déconstruction</b>				
<b>Gestion des risques particuliers (amiante, plomb)</b>	- Assurer le suivi et nouveau diagnostic.	- Analyse du diagnostic initiale ; - Enregistrements complémentaires (travaux, changement d'exploitation, etc.).	- Signalisation en couleur des objets soumis aux diagnostics.	- Solution DEMPlus de la société OREKA, initialement adaptée pour le démantèlement

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Risques santé, sécurité dus aux déchets</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des caractéristiques des déchets ;</li> <li>- Proposition de traitement / indication des filières de traitement à envisager.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des déchets de la démolition envisagée en fonction des renseignements rentrés dans la BDD au cours de la vie du bâtiment et des différents diagnostics réalisés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Liaisons objets avec diagnostics déjà réalisés et avec procédures de démolition et de traitement des déchets.</li> </ul>	d'installations nucléaires, cet outil peut s'appliquer à tout secteur industriel.

## B. SECURITE INCENDIE

### Phase conception

<b>Charge calorifique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul des potentiels calorifiques ;</li> <li>- Somme des PC du revêtement intérieur et du mobilier de chacune des pièces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul informatique en fonction des descriptions de la base de données.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enregistrement des pouvoirs calorifiques de chacun des objets dans la base de données.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programme Majorelle III : création de fiches produits, matières, locaux, etc.</li> </ul>
<b>Effectif admissible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination de l'effectif admissible ;</li> <li>- Calcul automatique en fonction du type et du règlement de sécurité (exemple par m<sup>2</sup> ou par lit, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Règle de calcul en fonction du règlement de sécurité incendie ;</li> <li>- Dimensionnement des sorties et des Unités de Passage.</li> </ul>	
<b>Conformité de l'évacuation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul des dégagements et unités de passage ;</li> <li>- Calcul du nombre et des largeurs des dégagements en fonction du public ;</li> <li>- Avertissement des issues non-conformes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul du nombre de grandeur des dégagements et d'unité de passage ;</li> <li>- Simulation des conditions d'évacuation d'un bâtiment.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Logiciel FDS de l'éditeur CYPE.</li> </ul>
<b>Respect des règles de construction</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aide au respect des règles constructives ;</li> <li>- Vérification des forces, de la stabilité, des degrés de résistance au feu, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification des erreurs et écarts dans la construction par rapport au modèle BIM de conception et aux réglementations rentrées dans la base de données.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.</li> </ul>
<b>Visite de la commission de sécurité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité d'effectuer une visite préalable virtuelle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En modélisation 3D, se déplacer dans le bâtiment pour relever les écarts, en ayant accès à toutes les données caractérisant les objets.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation du bâtiment en virtuel via le BIM ;</li> <li>- Anticipation des erreurs dès la stade projet (outil virtuel permettant de se déplacer dans le bâtiment avant qu'il soit construit).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Divers « Viewer » simples et gratuits comme NavisWork Freedom de l'éditeur Autodesk permettent une visite virtuelle d'un bâtiment 3D.</li> </ul>

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Incendie et évacuation</b>	- Simulation de l'incendie avec rendu visuel pour savoir le comportement au feu du bâtiment ; - Simulation de l'évacuation avec des personnages à caractéristiques différentes (PMR ou non).	- ISI interfacé au BIM.	- Ingénierie de la Sécurité Incendie ; - Interface du BIM avec un logiciel de simulation qui utiliserait nativement les données renseignées dans le BIM.	- Projet Scorch lancé par Autodesk permettant une interface de la maquette numérique avec le logiciel de simulation d'incendie FDS.
<b>Dimensionnement des moyens de secours</b>	- Calcul en nombre des Moyens de Secours ; - Proposition des emplacements judicieux.	- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.).	- Règle de calcul en fonction du règlement de sécurité.	
<b>Phase construction</b>				
<b>Travaux par points chauds</b>	- Aide à l'établissement du Permis de Feu ; - Avertissement des situations présentant un risque (travaux par points chaud à proximité direct de combustibles) ; - Alarme pour réalisation des rondes.	- Comparaison avec des règles de sécurité incendie pré-enregistrées.	- Aperçu de la zone d'intervention et mise en évidence des matériaux combustibles (en fonction de la pouvoir calorifique) ; - Simulation de la conduction de la chaleur à travers une paroi ou le long d'une canalisation.	- Simulation de la conduction de chaleur sur le même principe de fonctionnement que le logiciel Climawin qui simulation la performance énergétique.
<b>Phase d'exploitation</b>				
<b>Travaux par points chauds</b>	- Aide à l'établissement du Permis de Feu ; - Avertissement des situations présentant un risque (travaux par points chaud à proximité direct de combustibles).	- Comparaison avec des règles de sécurité incendie pré-enregistrées.	- Idem ci-dessus.	
<b>Gestions des vérifications périodiques</b>	- Alarme signalant les vérifications périodiques à effectuer ; - Suivi des vérifications périodiques.	- Mise en place d'une application "calendaire" tel que cela est réalisable avec Microsoft Access.	- Suivi des périodicités.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Gestion du SSI (si existant)</b>	- Couplage du BIM au Système de Sécurité Incendie.	- Afficher les informations des systèmes de sécurité incendie directement sur la maquette numérique, par le biais d'un viewer simple d'utilisation.	- Lien avec les Système de Sécurité Incendie sur le principe de la remontée d'info de l'Unité d'Aide à l'Exploitation.	- Serveur « TAMAT » du fabricant MWS : remonté d'info depuis les SSI et leur affichage sur des fonds de plans 2D ou 3D.
<b>Adaptation des moyens de secours</b>	- Vérification de l'adéquation des Moyens de Secours : avec nouvelle(s) proposition(s) si nécessaire.	- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.) renseignées dans la base de données.	- Règle de calcul en fonction du règlement de sécurité.	- Fonctionnement basé sur le principe de l'étude dans Science Direct : « BIM-Based fall hazard identification and prevention in construction safety planning ».
<b>Phase d'évolution</b>				

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Incohérence(s) projet et l'existant</b>	- Prise en compte de l'existant dans la conception de l'évolution.	- Identification des erreurs et écarts dans la construction ; - Export des caractéristiques mécaniques nécessaires des éléments porteurs du bâtiment vers un logiciel de calcul ; - Simulations pour étudier le comportement mécanique de la structure porteuse et déterminer son dimensionnement.	- Suivi des mouvements du bâtiment grâce à la numérisation par nuage de points ; - Réalisation de scan laser 3D réguliers pour un suivi précis de la structure.	- Les scanners laser 3D de marque Leica permettent, grâce à leur extrême précision de remplacer les systèmes de théodolites.
<b>Adaptation des moyens de secours</b>	- Vérification de l'adéquation des Moyens de Secours ; - Nouvelle(s) proposition(s) si nécessaire.	- Comparaison avec des règles de sécurité incendie (Règlement de Sécurité, Loi, Recommandation, etc.).	- Règle de calcul en fonction du règlement de sécurité ; - Simulation des conséquences d'un changement de cloisonnement.	- Voir étude ci-dessus diffusée dans Science Direct.
<b>Phase de déconstruction</b>				

### C. SURETE

#### Phase conception

<b>Nécessité de protections mécaniques</b>	- Aide à la mise en place des protections mécaniques ; - Mise en évidence des points judicieux.	- Comparaison du projet (activité, locaux, biens, accès, etc.) avec la base de données recensant des règles de protection mécaniques des locaux classés par famille.		
<b>Disposition des détecteurs anti-intrusion et de la vidéo-protection</b>	- S'assurer que la zone à surveiller est couverte soit par la détection soit par la vidéo ; - S'assurer de l'absence d'effet masque ; - Mise en évidence des points judicieux.	- Modélisation sur la maquette numérique des cônes de détection ou de vision.	- Modélisation des cônes de vision, de détection, des caméras et des détecteurs en fonction des données constructeurs.	- Tous bureaux d'études spécialisés comme Syntetic XD.

#### Phase construction

<b>Matériaux de valeur à attention particulière</b>	- Mise en évidence des points judicieux pour emplacement des matériaux de valeur.	- Comparaison du projet (activité, locaux, biens, accès, etc.) avec la base de données recensant des règles de protection mécaniques des locaux classés par famille.		
---	---	--	--	--

#### Phase d'exploitation

<b>Gestion des systèmes de sûreté</b>	- Couplage des systèmes de sûreté au BIM (vidéo surveillance, capteur volumétrique, etc.).	- Visualisation sur le fond de la maquette 3D des informations transmises par les détecteurs anti-intrusion ou les système de vidéo-protection.	- Même principe que pour le Système de Sécurité Incendie.	
---------------------------------------	--	---	---	--

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Gestion des flux et contrôle d'accès</b>	- S'assurer en permanence de l'absence de personnes non autorisée dans certaines zones.	- Lier un système de reconnaissance facial à la maquette numérique afin d'appliquer les droits qu'une personne possède ou non dans l'accès à certains locaux.		
<b>Simulation des mouvements de foule en cas d'événement particulier</b>	- Simuler plusieurs hypothèses de mouvements de foule dans des situations de crise (attentats, accidents, etc.) et apporter une aide aux prises de décision des acteurs de la gestion de crise.	- Réalisation de simulation sur fond de maquette numérique et par le biais d'un logiciel d'aide à la simulation ; - Modélisation de plusieurs types de comportements de personnes.	- Certains logiciels permettent de réaliser ces types de simulation mais sans avoir forcément de lien avec un BIM.	- La Société Thales a mené des études à partir de simulations informatiques de mouvements de foule. Travaux du Dr. Meyer Christophe ; - Ingénierie de la sécurité incendie, simulation grâce au logiciel FDS.
<b>Phase d'évolution</b>				
<b>Recalibrage des systèmes de protection</b>	- Aide à l'adaptation des systèmes de protection en fonction de l'évolution des bâtiments et de la vétusté des systèmes.	- Application "calendaire" ; - Comparaison des descriptions d'un équipement avec la base de données.		
<b>Phase de déconstruction</b>				

## D. SUIVI DE LA SANTE D'UN PATRIMOINE BATI

<b>Phase conception</b>				
<b>Vie future du bâtiment</b>	- Ouverture d'un carnet de santé du bâtiment comprenant diverses informations relatives aux matériaux de construction, aux contrôles de construction (solidité,...).	- Mémoire des informations avec accès direct par un glossaire.	- Carnet de santé du bâtiment ; - Module Audits-Diagnostics liées à des logiciels BIM.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Gestion des incompatibilités des réseaux</b>	- Aide à la gestion des réseaux (courant fort, faible, gaz, etc.) ; - Mise en évidence des zones de passage, des manques d'espaces ou des distances non respectées entre différents types de réseaux.	- Grâce à la modélisation 3D de l'ensemble des réseaux dès la phase de conception mise en évidence des points critiques.		
<b>Phase construction</b>				
<b>Gestion des incompatibilités des réseaux</b>	- Aide à l'établissement des DICT ; - Conservation de l'ensemble des informations relatives aux réseaux durant la vie du bâtiment.	- Voir ci-dessus section A « Prévention des risques professionnels ».	- Voir ci-dessus section A « Prévention des risques professionnels ».	- Voir ci-dessus section A « Prévention des risques professionnels ».
<b>Phase d'exploitation</b>				

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable aujourd'hui	Qui le fait déjà
<b>Modification réglementations</b>	- Veille réglementaire automatique.	- Création d'un système de maintien à jour des règles applicables au type de bâtiment concerné.	- A partir des textes réglementaires, la base de données est tenue à jour et adapte par exemple les périodicités des vérifications périodiques, etc.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Vieillessement du matériel</b>	- Avertissement des éléments défectueux, en fin de vie, obsolètes, etc. ; - Proposition(s) d'amélioration.	- A partir des données constructeurs, créer des règles d'alerte de vétusté de certains équipements.	- Les informations des équipements sont rentrées dans des fiches techniques stockées dans la base de données du BIM.	- Fiches du programme Majorelle III ; - Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Registre unique de sécurité</b>	- Support électronique du registre unique de sécurité ; - Introduction de la signature numérique.	- Informations collectées et enregistrées au fur et à mesure des vérifications, opérations d'entretien, etc. dans la base de données.		
<b>Gestions des vérifications périodiques</b>	- Alarme signalant les vérifications à effectuer ; - Aide au suivi des vérifications périodiques.	- Mise en place d'une application "calendaire" tel que cela est réalisable avec Microsoft Access.	- Les périodicités de vérification périodiques sont inscrites dans les fiches de chaque équipement concernés et stockées dans la base de données.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D.
<b>Gestion des risques particuliers (amiante, plomb)</b>	- Mémoire des caractéristiques des matériaux ; - Possibilité de Compte Rendu diagnostic.	- Enregistrement des résultats de diagnostics dans la base de données (carnet de santé).	- Modélisation des zones contenant des matériaux à risques sur la maquette 3D ; - Modélisation des niveaux de radioactivités (dosimétries) dans certaines installations.	- Groupe Archimen et sa solution logicielle ACTIVE3D ; - Solution DEMPlus de la société OREKA, initialement adaptée pour le démantèlement d'installations nucléaires, cet outil peut s'appliquer à tout secteur industriel.
<b>Phase d'évolution</b>				
<b>Gestion des risques particuliers (amiante, plomb)</b>	- Idem ci-dessus.	- Idem ci-dessus.	- Idem ci-dessus.	- Idem ci-dessus.
<b>Phase de déconstruction</b>				
<b>Risques santé, sécurité dus aux déchets</b>	- Analyse des caractéristiques des déchets ; - Proposition de traitement / indication des filières de traitement à envisager ; - Information sur les quantités de déchets par types et par destination.	- Comparaison des caractéristiques des déchets aux éléments enregistrés dans la base de données et dans le carnet de santé.	- Quantification précise de chaque type de matériaux présents dans les zones concernées ; - Simulation des opérations de déconstruction sensibles.	- Solution DEMPlus de la société OREKA, initialement adaptée pour le démantèlement d'installations nucléaires, cet outil peut s'appliquer à tout secteur industriel.

**E. CAS PARTICULIER DES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT :**

Risques / Problématiques	Utilité(s) visée(s)	Comment nous souhaitons faire	Le réalisable	QUI le fait déjà
<b>Phase conception</b>				
<b>Réalisation de l'étude d'impact</b>	- Utilisation de la maquette 3D pour une meilleure visualisation du site ; - Modélisation des différents types de rejets (eau, air, déchets, etc.) ; - Modélisation des zones concernées par le bruit.	- Simulation du fonctionnement et des différents types de rejets prévisibles.	- Représentation 3D des zonages ; - Repérage des zones de rejets sur plans.	
<b>Réalisation de l'étude de danger</b>	- Idem ci-dessus : meilleure visualisation du site, modélisation sur maquette 3D des conséquences (effets thermiques, effets de surpression, etc.).	- Simulation des effets thermiques en cas d'explosion ou des dispersions atmosphériques en cas de fuite ou de pollution accidentelle.	- Représentation 3D des zonages.	
<b>Rédaction de la notice Hygiène et Sécurité</b>	- Faciliter l'analyse des futures conditions d'hygiène et de sécurité pour les salariés.	- Simulation de phases de travail et observation d'effets sur l'opérateur.	- Réaliser une analyse plus précise à partir de la maquette 3D (plutôt qu'à partir de plans 2D).	
<b>Phase construction</b>				
<b>Simulation 3D des phases critiques de construction</b>	- Anticiper les phases de construction présentant des difficultés ou des risques particuliers.		- Simulation des phases critiques pour validation de processus de construction.	
<b>Phase d'exploitation</b>				
<b>Analyse des risques Simulations d'aléas</b>	- Mise à jour de l'étude de danger par rapport à l'existant.	- Simulation d'aléas avec modélisation de leurs effets internes et externes.	- Représentation 3D des zonages ; - Repérage des zones de rejets sur plans.	
<b>Formation des opérateurs / Exercices</b>	- Entraînement des opérateurs aux conduites à tenir en cas d'accidents.		- Utilisation d'outils de réalité virtuelle ou de serious game.	- Oreka Solutions : Demplus for nuclear.
<b>Phases d'évolution et de déconstruction</b>				
<b>Anticipation</b>	- Simulation en amont, des phases critiques ; - Catégorisation des déchets et réalisation de leur cartographie précise.		- Utilisation d'outils de réalité virtuelle ou de serious game.	- Oreka Solutions : Demplus for nuclear.

## F. SYNTHESE

L'ensemble des recherches réalisées depuis le démarrage de ce projet nous a conduit à recenser un certain nombre d'attentes et de problématiques sur lesquels nous pensons que l'usage du BIM peut apporter des éléments de réponse. Au gré des contacts obtenus et du réseau que nous avons réussi à constituer nous avons pu proposer grâce au tableau ci-dessus des solutions ou des réflexions quant aux différentes manières d'utiliser un BIM autour de certaines thématiques.

Ce tableau constitue la base de notre travail, c'est l'élément central qui nous a permis de réaliser les documents présentés en annexe à ce rapport :

- Le mode d'emploi, destiné aux utilisateurs de BIM, afin que ces derniers prennent conscience des domaines de la sécurité pouvant être pris en compte dans le BIM ;
- Le cahier des charges, destiné aux développeurs et programmeurs de logiciels, afin qu'ils étoffent leurs solutions et qu'ils puissent innover dans le but de répondre aux demandes.

Au fil des prises de contact, nous nous sommes rendu compte que beaucoup de sociétés, bureaux d'études, etc. ont développé leurs propres outils interfacés avec leur BIM et répondant à leurs problématiques spécifiques.

Nous pouvons donc conclure que le BIM est un outil, une couche de base, formées d'une maquette numérique 3D et d'une base de données, sur laquelle en fonction des besoins, des modules pourront venir se greffer et ajouter des dimensions nouvelles. Ainsi de la 3D, il est possible maintenant d'envisager :

- La 4D : maquette 3D + données temporelles, délais ;
- La 5D : maquette 4D + données de coûts ;
- La 6D : maquette 4D + données liées à l'exploitation (protocoles, consignes, etc.).

Autant d'applications envisageables, de possibilités de simulations, qui viendront compléter ce tableau au fil de l'avancée de futurs travaux de recherches de professionnels ou d'étudiants,...

## 2. Le BIM comme base de travail ou point de départ

Le BIM (pour rappel, c'est la maquette numérique et sa base de données), est un élément qui révolutionne les méthodes de travail qui reposaient jusqu'ici sur les plans informatiques 2D ou 3D accompagnés des données au format papier (fiches techniques, DOE, etc.). Aujourd'hui le BIM permet l'interaction entre ces données et le plan 3D d'un bâtiment et de l'ensemble des éléments qu'il abrite y compris les occupants. Ces interactions ne sont rendues possibles que grâce à des moteurs de calcul, petits logiciels qui viennent se greffer au BIM pour y collecter les renseignements dont ils ont besoin pour faire leurs calculs et en fin de chaîne pour y illustrer en 3D les résultats obtenus. Le BIM permet en quelque sorte de faire vivre virtuellement un bâtiment, il en est son avatar. Ce point est d'autant plus intéressant en terme de sécurité que des conditions extrêmement proches de la réalité peuvent être recréées. Le réseau d'acteurs qui gravitent autour du BIM et de la sécurité assure le développement continu d'applications et de méthodes ce qui permet d'apporter des réponses aux problématiques abordées en première partie de ce dossier.

### A. LE « DYNAMISED BIM » : DE LA SIMULATION SIMPLE A L'INTEGRATION DU FACTEUR HUMAIN

La simulation est une plus value encore méconnue et sous-estimée du BIM et des applicatifs qui viennent s'y ajouter. Elle intervient dans plusieurs domaines et en particulier ceux liés à la sécurité comme la simulation d'incendie, de mouvements de foule ou encore de démantèlement d'installations à risques. L'environnement créé est **la réalité virtuelle**. Ces simulations sont utilisées afin d'atteindre plusieurs objectifs :

- Modélisation des risques a priori ;
- Retour d'expérience et analyse des causes ;
- Formation ;
- Aide à la gestion de crise.

#### Le projet Scorch - Autodesk :



Le premier exemple présenté dans cette partie est issu d'un projet lancé par l'éditeur de logiciel Autodesk. L'objectif de ce projet est de permettre à des utilisateurs de simuler les effets d'un incendie et la propagation des fumées au sein d'un bâtiment modélisé en 3D. Il s'agit d'une version Beta (En cours de développement). C'est à dire qu'elle est mise à disposition des utilisateurs pour que ces derniers fassent part de leurs observations afin de faire évoluer le logiciel.

Le moteur de calcul utilisé est « Fire Dynamics Simulator » (FDS) développé par le « National Institute of Standards and Technology » (NIST) aux USA. Ce moteur de calcul est également utilisé par un éditeur de logiciel français Cype dans sa solution logiciel « Simulation dynamique des incendies ».

L'intérêt de ce projet tient dans le fait qu'il intègre directement les données du bâtiment déjà renseignées dans la base de données du BIM comme par exemple le degré de résistance au feu des planchers, parois et portes ou encore le degré de réaction au feu des divers matériaux de construction et d'aménagement utilisés. En travaillant directement à partir de FDS il est possible d'importer un fond de plan de bâtiment en 3D mais sans les informations qui l'accompagnent. L'ingénieur doit donc renseigner l'ensemble des éléments dont il aura besoin pour réaliser sa simulation :

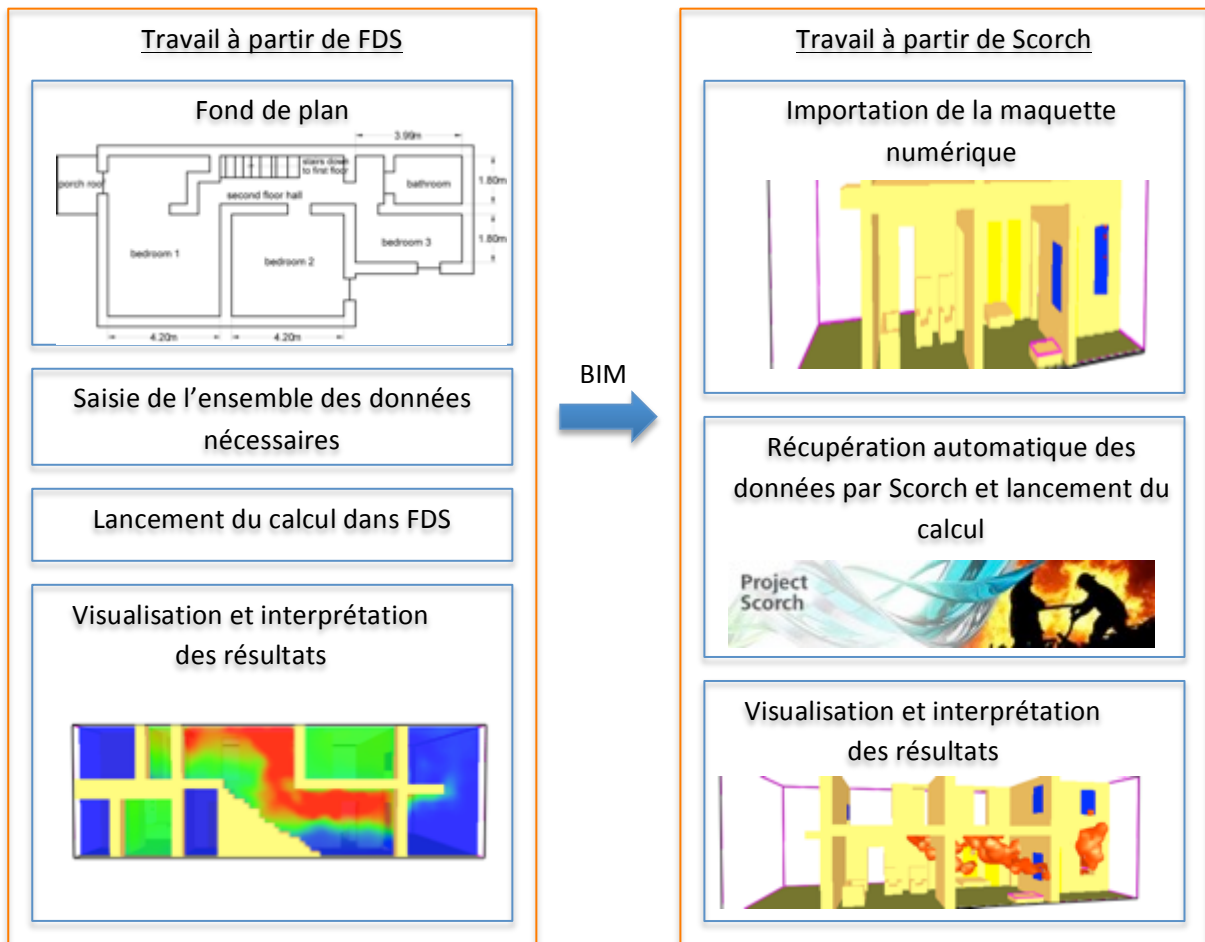


Figure 1 – Comparatif des principes de travail à partir de FDS et à partir de Scorch

L'objectif de Scorch est donc de faciliter le travail de l'Ingénierie de Sécurité Incendie en permettant de démarrer directement la simulation à partir de la maquette 3D. Il est ainsi possible de simuler :

- La propagation des flammes ;
- La propagation des fumées ;
- L'action des systèmes d'extinction automatiques à eau ;
- L'action du désenfumage ;
- Etc.

Pendant l'ultime étape d'interprétation des résultats doit être nécessairement réalisée par un spécialiste. En effet, il ne suffit pas de regarder le « film » de la simulation car de nombreux paramètres doivent être pris en compte et manipulés finement afin d'avoir un résultat précis.

Ce type d'application prend toute son importance dans les styles d'architectures au sein desquels il est impossible d'appliquer les règles de construction telles qu'elles sont prévues par les textes, comme avec l'exemple ci-contre de la Fondation Louis Vuitton à Paris ou encore au sein de monuments historiques.



Figure 2 - Vue aérienne de la fondation Louis Vuitton à Paris

Le Dr. Meyer Christophe a présenté en 2012 des résultats d'études de sûreté-sécurité réalisées pour la branche transport et sécurité du groupe Thales. L'objectif de ces études est l'anticipation du comportement des équipements et du public dans une situation donnée. Elles ont été réalisées autour du socle constitué par le BIM et de l'ensemble des données relatives à la vie d'un établissement qui viennent s'y greffer.

C'est lui qui introduit la notion de « **Dynamised BIM** » pour illustrer le fait que le BIM soit rendu dynamique par :

- La **simulation des équipements** (leur fonctionnement normal ou en mode dégradé, informations issues de capteurs, détecteurs, etc.) ;
- La **simulation des processus métiers et humains** régissant le fonctionnement de l'établissement (les horaires, procédures d'exploitation, règles de sécurité, etc.) ;
- La **simulation du peuplement du bâtiment** par des avatars capables d'adopter des comportements autonomes et réalistes.



**THALES**

*Figure 3 - Captures d'écran réalisées à partir de l'outil de simulation utilisé par le Dr. Meyer*

Il s'agit donc d'insérer l'aspect biomimétique dans une situation donnée simulée et d'observer comment une personne ou la foule est susceptible de réagir.

L'outil de simulation ainsi développé par Thales, SE-Star, permet de former les opérateurs à des situations les plus proches possibles de la réalité. Ils constituent en ce sens une aide à la décision et aux choix dans le cadre d'une gestion de crise. Il peut être envisagé, par exemple, qu'en cas de départ de feu, le système soit capable d'orienter automatiquement une caméra vers le lieu concerné.

Les différentes utilisations envisageables du D-BIM sont :

- La réalisation d'études de conception des infrastructures et des procédures d'exploitation :
  - Modélisation d'infrastructures à des fins de conception et de communication ;
  - Choix et optimisation du déploiement des équipements (caméras, système information voyages, portillons, machines de vente...) ;
  - Informatisation, test, validation des procédures d'exploitation (dont sécurité/sûreté) ;
  - Conformité avec de nouvelles réglementations (sûreté, sécurité, équipements, énergie...).
- La formation et l'entraînement des opérateurs :
  - Outils pour l'entraînement des exploitants sur leur environnement de travail habituel ;
  - Capacité donnée aux instructeurs de générer dynamiquement des situations/scenarii ;
  - Qualification des exploitants.

- L'aide et le support à la décision :
  - Meilleure « connaissance de la situation par l'usage de la réalité augmentée ;
  - Aide à la décision par usage de simulation « what if ».

Ces travaux dépassent le cadre strict de la représentation graphique d'un établissement, ils intègrent la notion d'intelligence artificielle, où chaque personne gérée possède des motivations : aller travailler, satisfaire sa faim, séduire... et celles-ci se déclinent en comportements susceptibles de les satisfaire. Une grande variété d'acteurs peut être créée : « *un homme d'affaires japonais ne réagira pas comme une femme des Emirats Arabes !* ».

Le D-BIM peut donc se résumer au fait de donner vie à un établissement dans un monde virtuel capable de reproduire le monde réel, voir même de l'anticiper. Cette prise en compte du facteur humain peut permettre de tester diverses procédures d'évacuation en cas de sinistre à l'intérieur d'un établissement (Ex. : évacuation d'une maison de retraite, etc.).

## Les applications industrielles d'Oreka solution : DEMPLUS



La société OREKA est spécialisée dans la simulation d'opérations de démantèlement d'installations nucléaires. Elle s'appuie, entre autre, sur un outil d'aide à la décision, DEMplus. C'est un logiciel de simulation interactive 3D permettant de :

- Simuler en 3D des projets de maintenance ou de démantèlement d'installations afin d'en renforcer la sécurité ;
- Prendre en compte la performance de l'opération tout en réduisant son coût, améliorant sa sécurité et optimisant la gestion des déchets ;
- Mettre à disposition une expertise face à la complexité des projets.



Figure 5 - Capture d'écran à partir de DEMplus : calcul de dose reçue en temps réel

Ainsi, DEMplus permet aux opérateurs de vivre une opération en amont afin d'en acquérir les techniques et gestes mais aussi de créer les phasages temporels nécessaires en fonction des paramètres d'exposition (prise en compte de la dosimétrie réel dans l'espace et dans le temps).

Il devient donc possible de tester plusieurs scénarii, de les comparer et de choisir le plus adapté en fonction des objectifs donnés.

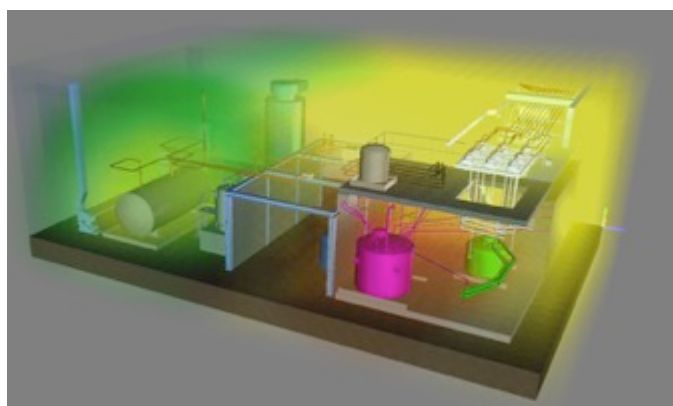


Figure 5 - Capture d'écran à partir de DEMplus : modélisation du rayonnement émis par des sources radioactives

Ce logiciel est une application concrète de D-BIM qui permet de prendre en compte à la fois les caractéristiques évolutives des lieux d'intervention mais aussi les spécificités des opérateurs.

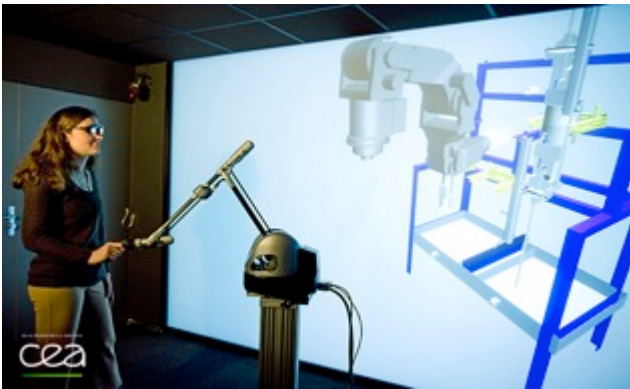


Figure 6 - Salle immersive PRESAGE, OREKA Solution en partenariat avec le CEA

Pour permettre aux opérateurs de s'immerger au maximum dans la simulation, Oreka a conçu une salle immersive. Elle permet de réduire les coûts des projets de démantèlement en simulant certains types d'opérations, afin de vérifier leur faisabilité et d'adapter les scénarii en fonction des contraintes mises en évidence lors des simulations.

L'environnement du chantier à simuler est reproduit virtuellement et projeté en 3D sur un mur d'images et des dispositifs permettent d'interagir en temps réel avec la simulation.

L'utilisateur est ainsi immergé dans une représentation virtuelle de son chantier et peut piloter un certain nombre d'opérations, tout en ayant un retour d'informations direct sur ses actions.

Grâce à cette salle, il devient possible de valider dès les phases de conception l'accessibilité d'outillages et de systèmes télé-opérés. Elle permet également de faire prendre conscience aux opérateurs de la présence de certains risques en leur présentant leur futur environnement de travail sous différents angles.

Au final, toutes ces technologies permettent de préparer les chantiers dans des conditions réalistes, notamment de sécurité, avec une connaissance très fine d'un environnement complexe et hostile.

#### **Le réalisme poussé à son paroxysme :**

La salle rassemble l'ensemble des technologies permettant à l'utilisateur une immersion dans un **environnement virtuel** et une **interaction** avec celui-ci :

- Système de visualisation stéréoscopique passive, muni d'un mur d'image de 3.7m x 2.3m grâce auquel l'utilisateur a une vision en relief de l'environnement virtuel ;
- Système de tracking de mouvement permettant de capturer les mouvements de l'utilisateur à travers des caméras. Des lunettes équipées de cibles réfléchissantes permettent l'interactivité en adaptant le point de vue à celui de l'utilisateur. Le flystick équipé de cibles propose les atouts d'un joystick classique permettant de se déplacer dans la scène ;
- Bras haptique à retour d'effort. Grâce à cette interface, il est possible de manipuler un objet dans une scène 3D et de ressentir les collisions et les frottements lorsque cet objet entre en contact avec un autre objet de la scène ;
- Système sonore stéréo permettant un retour d'information supplémentaire à l'utilisateur, par exemple lorsque deux objets rentrent en collision.

Cet outil de serious game, très complet, s'adresse en premier lieu au secteur nucléaire, cependant, nous pouvons imaginer une multitude d'autres applications en réponse aux problématiques présentées en première partie de ce dossier :

- Simulation d'évènements accidentels et de leurs effets ;
- Test de procédures d'urgence dans l'industrie ;
- Formation spécifique des sapeurs-pompiers aux risques NRBC ;
- Aide à la décision en phase de gestion de crise en temps réel ;
- Etc.

## B. BIM ET SECURITE DANS LE FUTUR : LE BATIMENT DEVIENT INTELLIGENT

Nous pouvons constater, à la vue de ce qui précède, que le BIM devient en fait une base graphique renseignée, à partir de laquelle il est possible de développer de nombreuses applications d'analyse ou de simulation. Grâce à la base de données, ces applications permettent de recréer des situations proches de la réalité. Dans ces situations, hormis les actions possibles d'opérateurs par le biais des outils de serious-game, il n'existe pas de lien ou d'interaction avec la réalité elle-même. L'évolution logique dans le futur consisterait donc à créer des applications qui évoluent sur les plans spatiaux et temporels en même temps qu'évolue un opérateur dans le bâtiment. On parle ici de **réalité augmentée**. Grâce au développement des Smartphones et tablettes tactiles il devient possible d'envisager d'interagir en permanence et en temps réel avec un bâtiment. Ce dernier devient capable de nous envoyer des informations mais aussi d'en recevoir de notre part. Nous rentrons là dans l'ère du bâtiment 2.0 ou bâtiment intelligent.



Figure 7 - Visualisation de réseaux masqués sur tablette



Figure 8 - Visualisation de l'état futur du bâtiment (Source Javelin Reality)

### L'exemple du projet U-BIM lancé par le groupe Archimen



Dans le cadre du Concours Mondial de l'Innovation 2030, la société Active3D (issue du groupe Archimen), en collaboration avec l'université de Bourgogne, a présenté son projet U-BIM, pour Urban and Building Information Model. Il porte sur le traitement de données dans le domaine du bâtiment et des environnements bâtis. Il vise à coordonner au sein d'un même environnement les informations et processus hétérogènes liés à l'ensemble des étapes du cycle de vie d'un bâtiment (calcul thermique, conception d'architecture, etc.).

Les données massives collectées sur chacun des objets qui composent un établissement représentent des informations tellement volumineuses qu'elles nécessitent la création de nouveaux outils pour les stocker et les traiter. Aujourd'hui, par exemple, la solution BIM Active3D dispose d'informations sur plus de 20 millions d'objets connectés pour 70 millions de m<sup>2</sup> de bâtiment. L'enjeu est donc de trouver la meilleure solution pour fournir la bonne information au bon moment et en fonction du profil de la personne qui la demande. Cette démarche permet la mise en relation plus étroite des acteurs avec le bâtiment ou des édifices entre eux.

Concrètement, dans un bâtiment, des éléments sont mis en place sans que l'on ait accès à leur connaissance. Par exemple, dans un immeuble, nous savons que des extincteurs sont présents mais pas où se situe le plus pertinent dans notre situation (le plus accessible, le plus adapté au type de feu, etc.). Grâce à la maquette numérique, ACTIVE3D permet de disposer d'une mémoire et d'un référentiel technique et de gestion pour chaque objet du bâtiment. Au travers du projet U-BIM, ACTIVE3D va maintenant permettre de créer une plateforme d'échanges de ces informations en interaction avec les usagers des bâtiments et de l'environnement urbain.

Cette évolution, déjà engagée, permettra d'offrir aux opérateurs les informations dont ils auront besoin en temps réel. Voici quelques exemples d'applications en lien avec la sécurité :

- **Le technicien de maintenance** : sur sa tablette tactile, en pointant sur une Centrale de Traitement d'Air, il aura accès au suivi de la maintenance, aux fiches techniques, à la visualisation du réseau aéraulique relié à cet centrale, les équipements (EPI et outillage) nécessaires pour en réaliser la maintenance, etc. Il aura la possibilité de commander à distance la centrale, en fonction des données remontant de capteurs situés dans les locaux (taux de CO<sub>2</sub>, températures, etc.) ;



*Figure 7 – Exemple d'une application de réalité augmentée sur tablette tactile*

- **L'agent de sécurité** : pourra être informé en permanence de la présence de personnes non autorisées dans certaines zones de l'établissement, ou du nombre de personnes présentes dans une zone donnée, grâce au repérage en temps réel par les systèmes GPS et vidéosurveillance ;
- **L'opérateur sur site industriel** : en fonction des paramètres qui remontent depuis des capteurs placés sur des chaînes de production, il aura la possibilité de visualiser des actions à réaliser (vannes à fermer, débits à augmenter, etc.) ;
- **Les services de secours** : les plans de secours (plans d'interventions, plans d'établissements répertoriés, etc.) seront visualisés en temps réel et le système aidera à la prise de décision (Ex. fuite sur canalisation : indication de la vannes à fermer). En cas d'intervention dans un bâtiment ERP, visualisation des cheminements jusqu'à l'incendie, visualisation des organes de coupures des fluides, mise en évidence des points critiques, etc. seront quelques unes des fonctionnalités possibles ;
- **Les usagers** : en fonction de leur déplacement, de leur physiologie (personnes à mobilité réduite) le système indiquera les cheminements les plus adaptés pour se rendre à un lieu donné. En cas d'événement, les indications nécessaires seront fournies par message d'alerte. Le réglage de paramètres tels que la ventilation, le chauffage, la luminosité, etc. sera accessible directement sur Smartphone ou la tablette, etc.

## C. SYNTHESE

Ici l'objectif était de montrer comment, grâce au BIM, nous pouvons recréer dans un premier temps un monde virtuel dans lequel des simulations de toutes natures sont possibles. L'usage de cette réalité virtuelle permet :

- La modélisation des risques a priori et de divers scénarii ;
- La réalisation de retours d'expériences et d'analyses des causes de sinistres ;
- La formation des opérateurs ;
- L'aide à la gestion de crise.

La réalité virtuelle devient, dans un deuxième temps, une réalité augmentée lorsqu'elle commence à interagir avec le monde réel qui entoure le bâtiment. A ce stade nous ne sommes plus dans la simulation mais dans l'accompagnement en temps réel des acteurs qui entrent dans la vie du bâtiment.

Ces évolutions autorisent aujourd'hui des conceptions et constructions d'ouvrages qui auraient été impossibles à imaginer il y a quelques années. Le meilleur exemple actuel est la construction de la fondation Louis Vuitton à Paris qui aurait été impossible sans BIM. En effet les simulations de résistance de structures ou de fonctionnement des équipements de sécurité devenant très complexes seuls des outils puissants de simulation peuvent donner des résultats exploitables. Dans l'exemple ci-dessus, la simulation a même été jusqu'à contrôler que les opérateurs auraient bien accès à tous les boulons de fixation des verrières du bâtiment.

L'autre apport de ces évolutions est la pérennisation de la connaissance d'un bâtiment et des équipements qui le composent. Toutes les informations des bâtiments seront stockées et les acteurs pourront accéder simplement aux informations qui les concernent en vue de les consulter, de les compléter ou de les modifier.

## Conclusion

Les engagements pris par Me Pinel, en mai 2014, relatifs au plan de relance du logement, confirment l'entrée du secteur du bâtiment dans l'ère numérique dans un futur relativement proche. Cette mutation, dont le BIM et sa maquette numérique sont les éléments centraux, bouleversera les méthodes de travail actuelles. Il s'agit donc d'un enjeu important pour lequel l'adhésion des acteurs est un point de passage incontournable. Cette adhésion peut être favorisée en élargissant l'éventail des fonctionnalités et des avantages offerts par ces outils.

L'idée générale qui peut être résumée à ce stade du projet est que le BIM est un outil encore très méconnu d'un grand nombre de professionnels du secteur du BTP et de professionnels de la sécurité, d'où l'importance d'être clair dans sa définition et dans la démonstration des possibilités qu'il peut offrir à la gestion des risques.

Notre projet nous a permis de découvrir ce qu'est réellement un BIM et de prendre conscience du changement potentiel qu'il va générer dans la vie de tous les jours. En effet au tout début, comme la plupart des personnes, nous ne connaissions pas le BIM ou juste par son nom. Au fil de nos recherches nous avons constaté que le model BIM paraissait très intéressant mais que les professionnels qui ne connaissaient guère cet outil, n'avaient pas d'attentes envers lui.

Ce premier constat effectué, nous avons orienté notre projet sur la création d'un réseau pour discuter du BIM avec plusieurs personnes, sachant ou non. C'est lors de cette étape et grâce aux différents professionnels rencontrés que nous avons réalisé l'opportunité qu'offre le BIM. Les professionnels du BIM sont intéressés pour intégrer la sécurité dans le BIM, de nombreuses applications sont d'ailleurs existantes ou en cours de développement.

Nous pouvons ainsi répondre à la question formulée dans notre conclusion du rapport intermédiaire qui était : « **est-ce que le BIM pourrait faciliter la préparation des visites de la commission de sécurité ?** » La réponse est oui, mais il faut avant cela promouvoir le BIM pour que tous les acteurs puissent interagir sur ce modèle et y avoir confiance. Dans le but de développer cette culture de la sécurité dans le BIM, nous proposons deux documents aux professionnels :

- **Un mode d'emploi :** destiné aux utilisateurs actuels ou futurs de solutions BIM. Ce document présente les utilités que le BIM peut avoir en termes de sécurité. Ces utilités peuvent être exploitées dès maintenant en utilisant des outils informatiques tels que des tableurs ou des logiciels de génération de bases de données ;
- **Un cahier des charges :** destiné aux développeurs ou éditeurs de logiciel BIM. Ce document reprend nos idées, validées dans l'ensemble avec les professionnels du milieu. Il est ainsi une source d'idées pour les développeurs avec la description du but recherché.

Ces deux documents seront transmis aux professionnels ayant participé à notre projet, notamment à l'association BIM-France, qui en assurera sa diffusion et au groupe Archimen.

Pour finir, nous pouvons affirmer que le BIM présente une réelle avancée en direction de l'ère numérique et parallèlement paraît représenter une réelle avancée en termes de sécurité, de gestion globales des risques et ce quelle que soit la phase de vie d'un bâtiment. Néanmoins dans la phase d'exploitation, le bâtiment devenant « intelligent » grâce à ses capacités de reconnaissance faciale et de suivi des personnes notamment, des questions, relatives au respect de la vie privée et à l'informatique et les libertés, devront se poser. De même, sur le fait que temps que ces outils resteront des outils d'aide à la décision, la responsabilité des actions restera à la charge des opérateurs, mais on peut se demander qui endossera demain la responsabilité des décisions prises par le bâtiment lui-même ?