

Décryptage

CONCEPTION DES LOCAUX DE TRAVAIL EN « BIM » : QUELS ENJEUX POUR LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS ?

L'émergence d'outils numériques liés au BIM (de l'anglais *Building information modelling* : modélisation des informations du bâtiment) induit des changements profonds dans la manière d'appréhender un projet de conception architecturale. Ce décryptage éclaire ce qu'est le BIM et les évolutions qu'il induit en matière de pratiques de conception afin d'en comprendre les enjeux pour la prévention des risques professionnels. Des opportunités pour mieux identifier, traiter et maîtriser les risques et, plus globalement, pour intégrer efficacement les exigences de santé et de sécurité dès la conception d'un local recevant des travailleurs, sont également mises en lumière.

BUSINESS INFORMATION MODELLING IN WORKPLACE DESIGN: WHAT ARE THE CHALLENGES FOR OCCUPATIONAL RISK PREVENTION? – The emergence of digital tools such as building information modelling (BIM) is significantly changing the way in which architectural design projects are undertaken. This paper explains what BIM is today and presents methodological approaches in order to take into account workers' health and safety. This paper also presents opportunities to better identify, manage and mitigate occupational risks so as to effectively integrate safety requirements as from the design stage.

MAHENINA
REMIEL
FENO,
ADRIANA
SAVESCU
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

ÉRIC
LIEHRMANN,
EMANUELLE
RICCI
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Le BIM : de quoi parle-t-on ?

L'acronyme BIM recouvre trois notions distinctes et complémentaires :

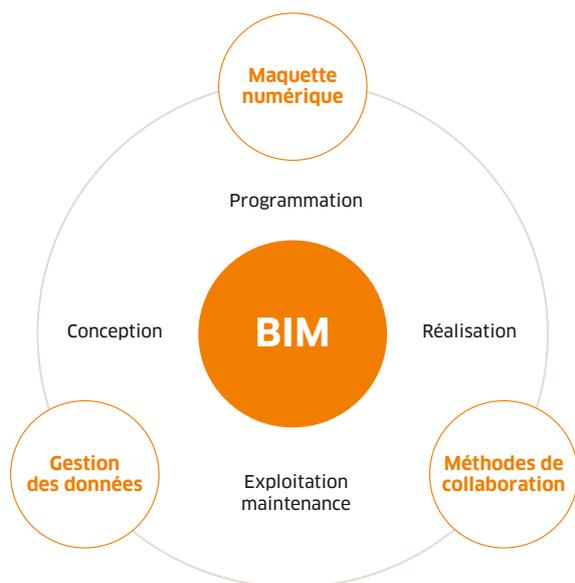
- la maquette numérique du bâtiment (*Building information model*) ;
- les méthodes de travail pour concevoir un bâtiment avec des outils numériques de manière collaborative, en partageant les données (*Building information modelling*) ;
- la gestion des échanges et des données concernant le bâtiment modélisé (*Building information management*).

Le BIM sert donc à concevoir, construire et exploiter un bâtiment, à l'aide de maquettes numériques, en constituant une base de données structurée de ce bâtiment. Cette maquette numérique s'enrichit tout au long du projet et permet de garder en mémoire les informations importantes du projet (Cf. Figure 1 et Encadré 1).

Historique et chiffres clés

Étroitement lié au développement de l'informatique, c'est au début des années 1990 que le BIM commence réellement à se développer avec d'une part, l'apparition de logiciels dédiés et d'autre part, la définition d'un format de fichier permettant les échanges de données entre ces logiciels : le format IFC (*Industry Foundation Classes* ; Cf. Encadré 2). Aujourd'hui, l'usage du BIM s'est largement diffusé, à tel point que, dans plusieurs pays, une maquette numérique conforme au format IFC est exigée pour répondre à tout appel d'offres d'un projet de construction. La transposition en droit français de la directive sur la passation des marchés publics (n° 2014/24/UE du 26 février 2014, art. 22.4 ; Cf. *Pour en savoir plus*) ne fait pas mention d'une telle obligation. Il est toutefois observé une tendance à l'intégration du BIM dans les concours de maîtrise d'œuvre sur les marchés privés et publics.





↑ FIGURE 1
Les composantes
du BIM.

La proportion des projets de construction utilisant le BIM était d'environ 5 % en 2014 ; 12 % en 2016 ; et 15 % en 2018¹. Une enquête menée auprès de plusieurs agences d'architecture montre que 29 % travaillent avec le « BIM stade 1 », 12 % travaillent avec le « BIM stade 2 » et que la pratique du BIM n'est pas liée à la taille des agences (enquête menée au laboratoire CRAI² de l'École d'architecture de Nancy en 2020). Le stade 3 n'est pas encore une pratique courante, seuls des projets expérimentaux le mettent en place.

La France s'est dotée d'une charte d'engagement

volontaire, intitulée « Objectif BIM 2022 » pour la construction numérique ; cette charte a été élaborée en 2017 dans le cadre du plan « Transition numérique du bâtiment ». Elle engage l'ensemble de ses signataires à :

- concevoir en BIM les projets de construction ;
 - accélérer la transformation digitale et généraliser la conception et la construction à l'aide du BIM en 2022 ;
 - constituer un écosystème innovant d'émulation autour du BIM ;
 - accompagner les TPE et PME par la mise à disposition, d'ici 2022, d'une plateforme collaborative et interactive permettant de pratiquer le BIM de manière volontaire et adaptée à son projet ;
 - capitaliser, diffuser et généraliser les actions initiées par le plan Transition numérique du bâtiment.
- Un plan « BIM 2022 » destiné à généraliser l'utilisation du numérique dans le bâtiment d'ici 2022 a été élaboré pour la mise en œuvre de cette charte d'engagement volontaire.

Le BIM et la maquette numérique

Le BIM est indissociable de l'utilisation des maquettes numériques tout au long du cycle de vie d'un bâtiment.

En phase de programmation, une maquette numérique est utile pour définir les étapes du projet. Elle est élaborée par le maître d'ouvrage (MOA) et contient les contraintes programmatiques et réglementaires du projet. Elle peut servir à la consultation qui consiste à choisir un maître d'œuvre (MOE).

En phase de conception, la maquette numérique globale est enrichie par la maîtrise d'œuvre. Elle regroupe les maquettes numériques élémentaires provenant des différents acteurs du projet selon un processus de collaboration (*Building information management*). Elle permet d'élaborer les plans et les documents définis dans le contrat de maîtrise d'œuvre et peut ainsi constituer le dossier de consultation des entreprises (DCE). Cet environnement numérique favorise également le recours à des simulations et des analyses dans différents domaines : mécanique, acoustique, thermique ou éclairage. Il est ainsi possible de procéder par itération à la définition de spécifications et de vérifier à chaque étape l'adéquation entre les choix de conception, les objectifs et les contraintes du projet.

Par ailleurs, dans le cadre de la mise en œuvre de phases participatives visant à simuler le travail avec les opérateurs pour en évaluer l'intégration dans les choix de conception, la visualisation d'une maquette numérique en 3D (plus que l'utilisation de plans 2D) permet aux futurs utilisateurs des locaux de mieux se projeter dans leur futur environnement de travail et d'avoir une meilleure compréhension du projet.

En phase de construction, la maquette numérique facilite la planification des différentes étapes du

ENCADRÉ 1 STADES DE MATURITÉ DU BIM

Les entreprises qui travaillent sur un même projet n'ont pas toujours le même niveau de déploiement et d'utilisation des outils BIM. Leur manière de gérer les informations est classée selon des « stades de maturité » (selon la norme NF EN ISO 19650-1 ; Cf. *Pour en savoir plus*) indiquant le niveau de collaboration dans un projet :

- le stade 1 correspond à la manipulation des outils de CAO (conception assistée par ordinateur) de manière isolée et sans mise en commun des maquettes numériques 3D avec les partenaires externes. La plupart des entreprises du bâtiment évoluent aujourd'hui à ce stade de maturité ;
- le stade 2 ajoute à cela l'utilisation de modèles d'informations fédérés qui permettent de combiner en une seule maquette les différents modèles 3D créés par tous les acteurs du projet ;
- le stade 3 correspond au déploiement des modèles d'informations sur un serveur centralisé avec l'IFC* comme seul format d'échange de fichiers, pour le partage de maquette 3D.

* IFC : Industry Foundation Classes (*Classes d'objets pour la construction*).
Format de fichier permettant l'échange de données.

chantier. Elle est gérée par la maîtrise d'œuvre et mise à jour par l'ensemble des acteurs du projet. Les processus de travail associés au BIM permettent de coordonner dans le temps et dans l'espace l'intervention des différentes entreprises.

En phase d'exploitation, la maquette numérique est gérée par l'exploitant ou le gestionnaire du bâtiment. Sa mise à jour est nécessaire pour préparer les travaux ultérieurs ou les interventions de maintenance. Les données issues du BIM peuvent être capitalisées pour intégrer d'autres systèmes d'information, tels que la GMAO (Gestion de la maintenance assistée par ordinateur).

Dans cet écosystème, les processus de travail et les échanges entre les acteurs sont formalisés dans une « convention BIM » : un document qui détaille la démarche d'échange de données, auquel les acteurs du projet doivent adhérer, et dont ils conviennent du contenu.

En conséquence, le BIM induit une évolution des rôles et des responsabilités des acteurs du projet. On voit notamment apparaître le rôle de « BIM manager ». Contrairement aux idées reçues, le BIM manager n'est pas un nouveau métier, ni un acteur unique. Cette fonction consiste à piloter et coordonner la construction de la maquette numérique à partir des données provenant de l'ensemble des acteurs du projet. Selon les étapes du projet, ce rôle peut être tenu par l'architecte, le bureau d'études, ou bien le maître d'ouvrage.

Apports du BIM pour la prévention des risques professionnels

Afin d'améliorer les collaborations entre les acteurs du projet dans le secteur du bâtiment, les organismes de normalisation ont développé plusieurs standards dont : le modèle de données IFC, des processus d'échanges de données et des dictionnaires de données (Cf. Figure 2). Ces éléments permettent de structurer la maquette numérique ainsi que les informations associées. Il est donc pertinent de s'appuyer sur ces standards pour mettre en évidence les méthodes permettant d'identifier, de traiter, de maîtriser les risques et, plus généralement, d'intégrer des exigences de santé et de sécurité, dès la conception des lieux et des situations de travail.

Exploiter la maquette numérique au format IFC

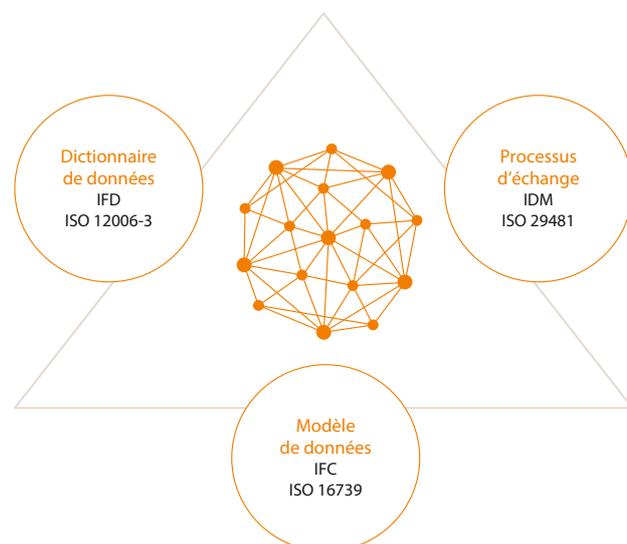
Au-delà de l'intérêt d'utiliser une maquette numérique pour visualiser et partager les différents espaces de travail, le modèle IFC offre des possibilités d'intégrer la sécurité des futurs occupants, en traduisant les caractéristiques de l'activité et des situations de travail comme attributs ou relations entre les objets utilisés pour concevoir le local. Quatre grandes familles d'objets IFC sont distinguées :

- les éléments spatiaux qui permettent de définir la volumétrie générale à travers des entités espaces (IfcSpace) pour matérialiser l'encombrement des zones de travail ;
- les éléments de construction qui regroupent les éléments d'ouvrage du bâtiment tels que des garde-corps ou des rampes d'accès (Cf. Figure 3) ;
- les objets de contrôle qui sont utilisés pour relier, évaluer, calculer et organiser les composants du local, tels que l'organisation spatiale, le plan d'occupation des locaux ou le planning de travail ;
- l'environnement de modélisation qui regroupe tous les objets qui participent à l'explication de la représentation d'un objet BIM. Il peut s'agir de contraintes qualitatives ou métriques comme les dimensions ou la position d'un objet.

L'organisation du projet selon cette structure, en familles d'objets, est principalement gérée par les logiciels de conception. Cela permet aux concepteurs de :

- filtrer les informations à visualiser, pour afficher par exemple uniquement les éléments de circulation, repérer les zones de coactivité ou les zones à risque ;
- détecter des interférences entre les équipements ou les éléments d'ouvrage ;
- vérifier un paramètre (exemple : largeur d'allée) et valider les choix de conception avec des règles de sécurité : accessibilité, évacuation incendie... ;
- enrichir les informations du projet. Par exemple si l'on souhaite définir une zone où existe un risque incendie-explosion, il est facile de délimiter cette zone et d'indiquer les éléments qui en font partie. Il sera ensuite possible d'associer à cette zone un ensemble de propriétés correspondant à des exigences de prévention Atex (Atmosphères explosives) ;
- rassembler différents modèles pour avoir une vue d'ensemble du projet, mieux comprendre les

↓ FIGURE 2
Trois axes
de normalisation
des projets
en BIM
(Source :
BuildingSmart
France).



ENCADRÉ 2
LE BIM ET LE FORMAT IFC

Afin de faciliter les échanges de fichiers entre différents logiciels, le BIM repose sur un format de données standard IFC (*Industry Foundation Classes*), décrit par la norme EN ISO 16739.

Le format IFC contient une structure (un bâtiment) organisée en composants (murs, fenêtres, portes, escaliers...) ayant chacun des caractéristiques (géométrie, propriétés, liens avec un autre composant...) et des propriétés (matériaux, dimensions...) bien définies. L'organisation et la numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil sont régies par la norme NF EN ISO 19650 (Cf. *Pour en savoir plus*).

différentes situations de travail, et réaliser des simulations du déroulement des tâches. La Figure 3 ci-dessous montre un exemple de modélisation d'une situation de travail pour une intervention de maintenance en hauteur. Cette maquette permet de dérouler une analyse d'activité pour aider à choisir les équipements techniques, définir les modes opératoires, prévoir les équipements de sécurité et de protection adaptés.

↓ FIGURE 3
Exemple de maquette numérique dans une interface type d'un outil BIM.

Se baser sur les processus d'échange de données
Il existe différents protocoles pour échanger des données entre les acteurs du projet (MOA, MOE, CSPS³, contrôleurs de sécurité, ergonomes...). Ces protocoles

définissent les informations à intégrer à la maquette (IDM : *Information Delivery Manual*). Le résultat est une vue extraite du modèle IFC qui ne contient que les éléments nécessaires au destinataire (MVD : *Model View Definition*). Certains protocoles sont normalisés, notamment le processus d'extraction du modèle architectural pour l'analyse de la sécurité liée à la circulation ou le protocole de livraison du modèle du bâtiment à destination de l'exploitant. L'intégration des acteurs de la prévention dans ces processus d'échange de données devrait être spécifiée dans la convention BIM. Ils seront en effet amenés à devenir des acteurs du processus BIM dès lors que les outils logiciels leur permettront de s'appuyer sur la maquette numérique et les informations associées pour remplir leurs missions.

Une des évolutions à venir du BIM est d'arriver à intégrer les exigences et les besoins d'exploitation. L'enjeu pour la prévention est alors de définir l'ensemble des paramètres d'exploitation et des critères vérifiables pour les valider lors de revues de projet. Il peut s'agir de repérage de zones à risque, de localisation d'équipements pour des interventions de maintenance ou de réalisation de plan d'évacuation pour la sécurité des personnes. La maquette « BIM exploitation » résultant de ces processus d'échange facilitera donc la rédaction et la mise à jour du DIUO (Dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage).

Enrichir les informations des « objets BIM »⁴
Chaque « objet BIM » contenu dans la maquette est

Arborescence du projet

- Projet
 - Building
 - 1er étage
 - WallTrace
 - Mur
 - Espace
 - Escalier
 - Structure
 - Toiture
 - Space

Maquette numérique

Outils d'analyse

- 1 Vérifier les surfaces
- 4 Vérification de l'éclairage
- 5 Réinitialiser la vue DEF
- 6 Vérifier Accessibilité DEF
- 7 Vérifier proximité DEF
- 8 Vérifier Contiguïté DEF

Propriétés d'objet

| Propriété | Valeur |
|----------------|---------------|
| Area | 10000,00 mm^2 |
| Auto Power | false |
| Conditioning | Unconditioned |
| Equipment ... | 0,00 |
| Finish Ceiling | |
| Finish Floor | |
| Finish Walls | |
| Floor Thick... | 0,00 mm |
| Group | |
| Lighting Po... | 0,00 |
| Number Of ... | 0 |
| Space Type | Undefined |
| Zone | |

Différentes vues du projet

Résultats d'analyse

| | | | |
|---------------|----------------------|------|---|
| Conflict #506 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #507 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #508 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #509 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #510 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #511 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #512 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #513 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #514 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #515 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #516 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |
| Conflict #517 | BuildingElementPr... | None | ⚡ |

constitué de propriétés géométriques, descriptives, de localisation ou de liaison avec d'autres objets. Pour répondre aux exigences définies par le MOA, le MOE spécifie des valeurs associées aux propriétés des objets BIM. La plupart de ces objets sont fournis par des fabricants (par exemple : portes, fenêtres...). Au cours du projet, un objet BIM peut être défini comme un « modèle d'objet » qui représente un ensemble de propriétés (par exemple : ouvrant de largeur L et de hauteur H), comme un « modèle générique » auquel on associe des valeurs pour certaines propriétés (par exemple : porte coupe-feu à deux vantaux de dimensions : L = 160 x H = 200 cm), ou bien comme un « objet manufacturé » dont les valeurs des propriétés sont proposées par un fabricant.

Un dictionnaire de données IFD (*International Framework for Dictionaries*) permet d'effectuer la correspondance entre l'ensemble de ces propriétés et facilite la recherche d'un objet en fonction des valeurs qui répondent aux exigences définies par le MOA.

Enrichir les informations concernant les objets BIM d'attributs en lien avec la prévention des risques professionnels offre ainsi l'opportunité de mieux les prendre en compte tout au long du projet. À titre d'exemples, suivent quelques données techniques en lien avec la santé et sécurité au travail pouvant être intégrées comme attributs d'objets BIM :

- longueur, largeur, hauteur et débattement maximum d'équipements, pour que des chariots ou plateformes élévatrices puissent accéder aux zones de travail ;
- coefficient de frottement d'un type de sol, pour aider à choisir les matériaux adaptés à l'usage prévu et éviter les risques de chute (glissade) ou des efforts de manutention trop importants (résistance au roulement des chariots manuels) ;
- valeur de pente d'une rampe d'accès, pour vérifier l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR) ;

- coefficient d'absorption sonore de chaque paroi, pour estimer l'acoustique prévisionnelle d'un local ;
- niveau d'émission de bruit ou de pollution d'un équipement, pour mettre en place les mesures de prévention ou de moyens de protection adaptés.

Conclusions

Le BIM représente un ensemble d'outils permettant de concevoir un bâtiment de manière collaborative, en fédérant différents métiers autour d'une même maquette numérique, basé sur un format de données standard et qui facilite les échanges entre les acteurs du projet. Cette démarche pluridisciplinaire, globale et itérative, pourrait faciliter l'intégration de la prévention des risques professionnels très en amont, dès la phase de conception des lieux et situations de travail – ce qui intéresse évidemment les spécialistes de la santé et de la sécurité au travail, autour de tout projet de construction et/ou de rénovation.

L'environnement numérique permet notamment d'avoir une vision précise du résultat, d'anticiper les questions de santé et de sécurité et de réduire les erreurs de conception qui sont difficiles et coûteuses à corriger par la suite.

Un point de vigilance lié aux limites de l'usage du BIM est toutefois à relever. Comme d'autres technologies, le BIM ne remplace pas l'expérience et la connaissance des personnels impliqués dans le projet. Cet ensemble d'outils améliore la capacité à gérer collectivement des projets complexes, en introduisant les principes de prévention dès le stade de la conception. ●

1. Source : Conseil national de l'ordre des architectes.
2. CRAI : Centre de recherche en architecture et ingénierie.
3. MOA : Maître d'ouvrage. MOE : Maître d'œuvre. CSPS : Coordinateur de sécurité et de protection de la santé.
4. Les éléments tels que gaines d'aération, câblage électrique, électricité, chauffage, réseaux informatiques, placards, etc., font partie des « objets BIM ».

POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Conception des lieux et des situations de travail - Santé et sécurité : démarche, méthode et connaissances techniques*. ED 950, 2021. Accessible sur : www.inrs.fr.
- INRS – *Mavimplant, un outil d'aide à la conception 3D des lieux de travail*. 2021. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil57.
- *Le BIM et la transformation numérique du secteur de la construction*. BuildingSmart France, 2019.
- *BIM : un outil prometteur pour la prévention*. Perspectives, OPPBTP, 2019.

- *Conduite de projets en BIM. Le BIM pour la sécurité sur les chantiers*. Entreprises générales de France (EGF-BTP), 2019.
- *Plan « BIM 2022 »*. Ministère de la Cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.
- NF EN ISO 16739 – *Classes de fondation d'industrie (IFC) pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations*. Afnor, 2016.
- NF EN ISO 19650-1 – *Organisation et numérisation des informations*

relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM). Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction – Partie 1 : Concepts et principes. Afnor, 2018.

- Directive 2014/24/UE du parlement européen et du conseil du 26 février 2014, sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive n° 2004/18/CE. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/>.