



Montréal, Québec
May 29 to June 1, 2013 / 29 mai au 1 juin 2013

La complémentarité entre le *Building Information Modeling* (BIM) et le *Product LifeCycle Management* (PLM) en passant par le *Lean Construction* (LC)

Abdelhak Bouguessa¹; Daniel Forgues²; et Sylvie Doré³

Résumé : L'interaction entre le processus BIM et l'approche LC a enrichi le BIM en lui transférant de meilleures pratiques de cette dernière. L'interaction a dévoilé des synergies potentielles, mais certaines de ces dernières ne sont pas encore définies. Ce sont des éléments qui entrent dans le volet de la gestion des flux d'information, un volet peu exploré dans le domaine de la construction. Cependant cette piste est déjà exploitée dans le domaine du design de produit par le *Product LifeCycle Management* (PLM). Une approche qui applique un système couvrant les fonctionnalités BIM et offre davantage d'autres qui facilitent la gestion des flux d'information (GFI).

Cet article explore des possibilités d'une complémentarité entre le BIM et le PLM via une modélisation d'une esquisse préliminaire d'un méta-modèle qui ordonne les possibilités d'intégration du BIM dans le PLM dans le but de l'exploitation de la GFI. Le résultat de cette ébauche est un nouveau concept, fruit d'interaction entre le BIM et le PLM. Ce concept nous l'avons désigné par le *Building LifeCycle Modeling*.

1. Introduction

Dans le milieu de la construction, deux développements majeurs s'opèrent avec comme objectifs ambitieux l'amélioration de la productivité, la diminution de la durée du projet, la réduction des coûts et l'élimination du gaspillage. Le premier développement est une approche de gestion de projet de construction — *Lean Construction* (LC) (Sacks *et al*, 2010) — prenant appui sur plusieurs concepts qui facilitent la gestion des flux physiques pour éliminer le gaspillage. Le deuxième est un processus de modélisation et d'analyse qui s'appuie sur des technologies orientées objet (objets intelligents et paramétrés) — *Building Information Modeling* (BIM) (Forgues, 2013). Toutefois, Eastman (2011 : 13) définit le BIM comme une technologie de modélisation qui associe des processus pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction.

La force du BIM demeure dans les fonctions de calculs, d'analyse des interactions entre les structures et de la visualisation. Cependant, la force du LC demeure dans ses concepts qui pilotent la gestion des flux physiques. Parmi ces concepts, nous retrouvons : *MUDA*⁴ (éliminer tout ce qui n'ajoute pas de valeur), *MURI* (éliminer les surcharges et le travail hors standard), *MURA* (diminuer la variation de charge et les imprévus). Cependant, ces concepts ne concernent pas la gestion du flux de l'information (Denis Debaecker, 2009 : 10).

Plusieurs auteurs ont essayé de trouver une façon qui permet l'implantation du LC et du BIM conjointement afin d'éliminer le gaspillage et bonifier les pratiques BIM. Notamment, Sacks *et al* (2010) ont compilé des principes du LC afin d'analyser l'interaction entre cette approche et le BIM. Leur analyse des interactions entre les fonctionnalités BIM et les principes LC a dévoilé cinquante-six interactions

¹ Abdelhak Bouguessa, étudiant au doctorat, Département de génie de la construction, École de technologie supérieure (ÉTS). abdelhak.bouguessa.1@ens.etsmtl.ca

² Daniel Forgues, professeur, Département de génie de la construction, ÉTS. daniel.forgues@etsmtl.ca

³ Sylvie Doré, professeure, Département de génie mécanique, ÉTS. sylvie.dore@etsmtl.ca

⁴ MUDA; MURI;MURA : ce sont des termes japonais. L'ensemble de ces concepts forme la démarche des 3M. « C'est une démarche de lutte contre le gaspillage qui d'une part identifie trois formes de gaspillage et d'autre part, propose pour chacune d'elle des voies pour les éliminer [...] Cette méthode japonaise vise à augmenter la productivité par une élimination progressive des gaspillages » (<http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Methodes-optimisation/3M-muda-mura-muri.htm> , consulté 2013-04-04)

synergiques. Parmi ces interactions, huit qui ne sont pas encore définies. Ce sont des interactions qui peuvent bonifier les pratiques BIM. Cependant, les auteurs n'ont pas pu définir leur opérabilité en les intégrant dans le BIM. Donc, nous avons analysé ces huit interactions et constaté que ces dernières entrent dans le volet de la gestion des flux d'information à l'aide des technologies de l'information (TI) (tableau 1).

D'après cette analyse qui est basée sur le suivi des particularités issues de l'interaction BIM-LC pour dévoiler les limites du BIM, nous avons induit que le BIM tel structuré ne prend pas en charge le volet de la gestion d'information. Par exemple, l'absence d'une interface BIM qui peut fournir les rapports des états en temps réel (Sacks *et al*, 2010). Cependant, l'échantillon est encore minime pour généraliser ces lacunes du BIM. Alors, une deuxième analyse d'interaction entre le BIM et autre approche qui exploite le volet de GFI est requise.

Pour autant que nous sachions, la gestion des flux d'information (GFI) à l'aide des TI est un volet peu exploré dans le domaine de la construction. Cependant, son exploitation dans le domaine du design de produit à travers l'approche *Product LifeCycle Management* (PLM) a mené des entreprises à réaliser les mêmes objectifs ciblés par le BIM et le LC. Prévoyant, l'amélioration de la productivité, la diminution de la durée du projet, la réduction des coûts et proportionnellement⁵ l'élimination du gaspillage. Le PLM assure à la fois la GFI et facilite la réalisation des maquettes virtuelles intelligentes grâce aux outils de la conception assistée par ordinateur (CAO). Selon nous, l'association de ces deux volets (GFI et CAO) tout au long le cycle de vie du bâtiment offrira aux différents acteurs de la construction une bonne maîtrise de la modélisation et de la gestion du cycle de vie du bâtiment.

La GFI⁶ se réalise à travers la gestion de la documentation technique qui est généralement stockée dans des serveurs centraux, parfois appelés coffre-fort, elle est accessible par les différents acteurs participant au projet et elle est gérée par des droits d'accès selon des rôles bien définis. Aussi, la GFI est articulée principalement sur l'automatisation des flux de travail (workflows) les plus importants en cours de projet; soit les demandes de modifications, ou soit la réalisation de ces dernières.

Partant de cette idée, cet article démontre comment les fonctionnalités PLM et plus particulièrement celles liées à la GFI peuvent combler les huit lacunes (interaction BIM-LC) non définies par Sachs et al (tableau 1). Ainsi, il explore la complémentarité entre le BIM et le PLM par la modélisation d'une esquisse préliminaire d'un méta-modèle que nous avons nommé *Building LifeCycle Modeling* (BLM). Enfin, il examine l'interaction entre les fonctionnalités BIM et PLM.

Comme point départ, nous allons présenter l'approche PLM en termes de définitions et de fonctionnalités, puis nous ferons la même chose avec le BIM avant de survoler les travaux d'interactions BIM-LC de Sacks *et al* (2010). Nous allons présenter les huit interactions non définies et nous proposerons les possibilités qui mènent à définir ces dernières via l'exploitation des fonctionnalités PLM. À la fin, nous allons discuter la complémentarité BIM-PLM selon notre méta-modèle et nous expérimenterons un test d'interaction entre les fonctionnalités de ces deux développements.

2. Product LifeCycle Management (PLM)

Le processus PLM est une inspiration d'un système adapté à la société « *American Motors Corporation* » (AMC), un ancien constructeur automobile américain. En 1985, AMC a développé de nouvelles méthodes afin de répondre aux exigences concurrentielles, l'idée de base était de concevoir un nouveau modèle. Donc, le système était construit sur deux actions. La première était le recrutement de la technologie « *computer-aided design* » (CAD) afin de faciliter les étapes de la conception et la deuxième fut la nouvelle plateforme de communication et de stockage central d'information. Cette dernière a permis de résoudre les conflits plus rapidement, ainsi que d'assurer une meilleure gestion des modifications techniques coûteuses.

Du point de vue de la technologie d'information Garetti *et al* (2005) ont assimilé le PLM à un « tissu conjonctif » qui permet la connexion des logiciels de design aux logiciels de la production et la gestion de la chaîne d'approvisionnement en tenant compte la nature dispersée de l'entreprise étendue.

⁵ On dit proportionnellement parce que l'élimination du gaspillage est réalisée par l'approche *Lean Construction* grâce à l'optimisation de la gestion des flux physiques. Le PLM ne gère pas la production et la fabrication.

⁶ La GFI est un volet très vaste, pour des fins d'analyse nous utiliserons cette définition. C'est une description basée sur l'exploitation de la GFI comme concept clé dans la structure de l'approche PLM.

Donc, les auteurs ont décomposé les différentes opérations des entreprises manufacturières en trois importants flux de travail (figure 1) :

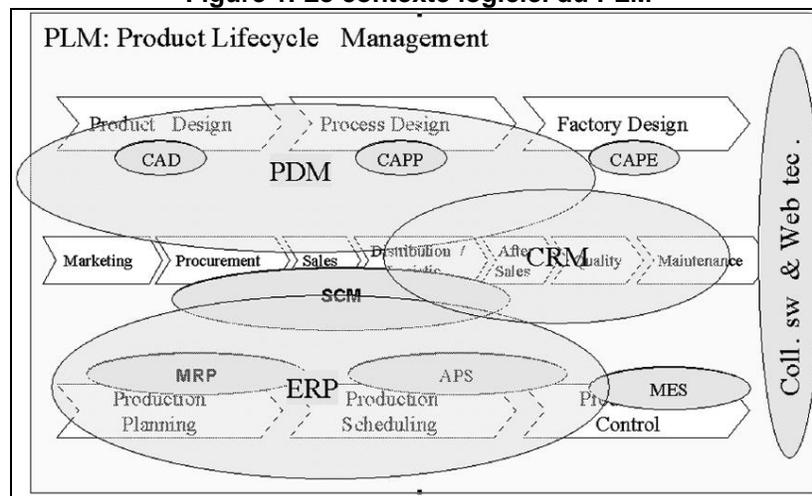
1) Le flux des macroprocessus de la conception, composé de la conception du produit, la conception des processus et la conception du système de production. Par exemple : la chaîne des processus d'ingénierie.

2) Le flux des macroprocessus opérationnels, composé principalement de la planification de la production (calendrier et contrôle). Par exemple, les processus de la gestion de la chaîne de production.

3) Le flux des processus de service, composé par les opérations de marketing, approvisionnement, service après-vente, maintenance et l'assurance qualité.

Dans la figure 1, Garetti *et al* (2005) expliquent la connexion des trois flux via les logiciels. Alors, la chaîne des processus d'ingénierie est supportée par les logiciels suivants : CAD « Computer Aided Design », CAPP « Computer Aided process Planing » et CAPE « Computer Aided Production Engineering ».

Figure 1. Le contexte logiciel du PLM



Auteur : Garetti *et al*, 2005, p 46.

Tandis que, la chaîne des processus de gestion de la production est supportée par les outils suivant : MRP «Material Requirement Planning», APS «Advanced Planning and Scheduling», SCM «Supply Chain Management» et MES «Manufacturing Execution System».

Deux grands outils de relation : le premier est le PDM « Product Data Management », assure la connexion entre le premier flux et le deuxième (CAD, CAPE et le CAPE). Cependant, l'ERP « Enterprise Resource Planning » est l'outil de connexion qui connecte le MRP, APS, SCM et MES sous le même toit.

Dès lors, dans le contexte de la technologie de l'information, l'approche PLM peut être vue comme une stratégie en vue d'une intégration complète de tous les outils logiciels qui participent à des activités de conception, production et gestion d'exploitation au cours du cycle de vie d'un produit.

Pour notre cadre d'analyse, notre compréhension du PLM est la suivante : une stratégie d'entreprise, basée principalement sur une gestion opérée par la totalité des acteurs impliqués dans la création d'un produit. Il s'agit d'une gestion de toutes les informations assignées à un produit sur l'étendue de son cycle de vie. Le PLM comprend aussi la définition des moyens de production, les différents services liés au produit (fonctionnement, maintenance, etc.) et les outils de la technologie d'information utilisés dans tous les processus. Ainsi, le PLM est un des supports du système d'information qui s'adapte aux besoins et aux modes de fonctionnement de l'entreprise; composé de différents logiciels qui stockent, vérifient et organisent les informations sorties des applications métier (cluster de recherche gospi, 2012).

Comment fonctionne un système PLM? Dix fonctionnalités principales structurent le PLM :

1) **Le coffre-fort** : c'est un serveur qui stocke les données et les informations. Les données sont stockées dans une base de données orientée objet ou relationnelle; quant aux informations, elles sont

structurées selon un modèle de données ajustées dans la base de données. Enfin, les documents produits seront sauvegardés sur le même serveur. Quand un utilisateur ouvre un document, celui-ci est recopié sur son poste d'une façon temporaire.

2) La gestion des droits d'accès : chaque utilisateur doit avoir les droits nécessaires pour accéder aux informations qu'il lui convient, l'accès est limité. Cette fonctionnalité est assurée par deux entités, les rôles et les groupes. Le rôle est un ensemble de droits prédéfinis que l'administrateur donne à des utilisateurs. Le groupe est une entité d'utilisateurs qui auront les mêmes droits. La création de ces deux entités facilite la gestion des droits d'accès.

3) Les vues : est une méthode de représentation qui a une fin à faciliter la compréhension de l'utilisateur. Le produit lui sera représenté dans son « langage naturel » (juste ce qu'il faut), dans un système produit avec des éléments de son métier. Salu (1995, cité par Le Duigou, 2010) et Blanco (1998, cité par Le Duigou, 2010) ont décomposés les vues en trois catégories attachées aux métiers : la vue fonctionnelle, la vue structurelle et la vue fabrication. Donc, les vues sur les objets et les liens sont dissimulées jusqu'à une activation volontaire ou automatique selon le profil et le rôle d'un utilisateur.

4) La visualisation des documents : il s'agit d'un affichage de l'aperçue d'un document avec ses détails sous forme d'une image sans l'ouvrir. Cela permet de voir le document aussi sans une nécessité d'installer le programme compatible avec l'extension réelle du document.

5) La réservation et la libération du document : il s'agit d'un « check out » sur un document, ce dernier figure chez les autres utilisateurs en mode utilisé par un autre. Quand la modification est terminée, le modificateur fait un « check in » pour activer la disponibilité du document. Cela optimise la coordination, et diminue les conflits.

6) la gestion des versions des documents : c'est l'historisation, trace de vie du document « qui a fait quoi » et le suivi de la maturité des données pendant leur cycle de vie. Tout cela, se résume dans le concept de la traçabilité. On utilise cette gestion pour gérer les versions dans le cas de corrections mineures et les révisions dans les cas de corrections majeures.

7) Les notifications : l'utilisateur peut créer une série de notifications ou un abonnement dans le but de suivre les changements de dossiers du projet ou les documents reliés à un objet. En créant un abonnement sur un dossier projet; l'utilisateur recevra un courriel contenant un lien hypertexte vers un document changé ou validé.

8) Les workflows : ce sont des moteurs informatiques qui permettent de modéliser les processus (une suite de tâches) ou les opérations effectuées par un ou plusieurs acteurs impliqués dans le cycle de vie du produit. Ainsi, le workflow aidera à décrire le processus et sa construction.

9) Les états : ce sont les conditions de maturité actuelles d'un document. Par exemple, état validé, état en cours de validation, en cours de création, caduc et vis vers ça.

10) Les web-conférences : un outil de communication permet le partage de l'écran le contrôle à distance du poste de l'émetteur, la vision (webcam) et la messagerie instantanées. Par exemple, le PLM 2.0, une description rapprochée au concept Web 2.0 basé sur la simplicité du fonctionnement, la facilité d'utilisation et l'interactivité des utilisateurs. PLM 2.0 est un système qui exploite la gestion de la connaissance collective de plusieurs utilisateurs en ligne. En utilisant des modèles 3D, les membres d'une équipe peuvent partager, imaginer et expérimenter des produits dans un langage standard.

3. Le Building Information Modeling (BIM)

Les glossaires actuels du BIM le définissent comme une technologie de modélisation qui associe des processus pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction. Une bonne implantation du BIM facilite le déroulement d'une approche intégrée toute en intégrant les processus de conception, l'ingénierie de détails et la construction. Par conséquent, une meilleure qualité du bâtiment, une réduction des coûts et une bonne maîtrise des délais de construction (Eastman, 2011).

Cependant, Sakcs *et al* (2010) distinguent entre le processus BIM et son résultat, d'après ces auteurs, le BIM est une série d'actions assurées par des outils et guidées par des processus de la technologie numérique qui facilite la documentation sur le bâtiment, soit sur sa performance, sa planification, sa construction et son fonctionnement. Bien que le résultat est *Building Information Model*.

Dans ce sens, nous saisissons que la cible du BIM est dedans la cible de l'approche PLM. Le BIM vise l'intégration des équipes à l'aide des logiciels interopérables tout en assurant un savoir de communication et de partage des données et des résultats des travaux sous forme des fichiers informatiques. De la sorte que la standardisation et l'échange d'information sont au cœur des principes BIM. Cette collaboration a

vu le jour grâce à l'IFC « *Industry Foundation Classes* », un format de fichier orienté objet assure l'échange des informations entre logiciels. Tout simplement Le BIM offre une plate-forme collaborative entre les différents acteurs du bâtiment, assurant une documentation intelligente, une analyse performante et une coordination multidisciplinaire.

Du point de vue de la technologie de l'information et selon la vision de Sakcs *et al* (2010) nous allons aborder les fonctionnalités BIM. Donc, le BIM autant qu'une technologie, ses fonctionnalités permet la compilation, l'édition, l'évaluation et la communication de l'information sur le projet de construction. Ces fonctionnalités sont basées sur la modélisation paramétrique en appliquant des contraintes paramétriques. Par exemple, le déplacement d'un mur dans un outil de conception BIM se suit automatiquement par un déplacement des fenêtres et les portes dans le mur édité.

3.1 Les fonctionnalités BIM

1) Visualisation de la forme : cette fonctionnalité permet grâce aux logiciels de rendu, d'évaluer l'esthétique et le fonctionnement du bâtiment. L'outil permet une visualisation plus au moins réelle sur l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

2) Génération rapide des multiples changements de la conception : grâce à la modélisation paramétrique, le concepteur peut manipuler les modifications géométriques, voire même dans une étape avancée dans la conception. Le modèle devient « intelligent » en appliquant un enchaînement des modifications liées aux autres parties intégrantes du modèle. Cela était impossible avec les anciens systèmes CAD.

3) Réutilisation du modèle pour une analyse prédictive de la performance du bâtiment : il s'agit de l'utilisation du modèle du bâtiment pour des analyses énergétiques et des simulations de calculs pour dimensionner la structure. Cette fonctionnalité comprend aussi l'automatisation de l'estimation des coûts en reliant le modèle du bâtiment avec le système de la gestion des ressources de l'entreprise. Ainsi, l'automatisation de suivi de conformité du modèle par apport aux programmes spatiaux dimensionnels et aux règles de la construction.

4) L'entretien de l'information et la conception de l'intégrité du modèle : il s'agit de conserver l'information générée sous forme de dessin (plan, coupe, façades et volumétrie) une seule fois et sans répétition. Quant à l'intégrité du modèle, elle est améliorée grâce à la fonction automatique de détection des collisions entre les composants du modèle.

5) L'automatisation de la génération des dessins et les documents : il s'agit de créer un objet en 3D puis grâce à la base de données on lui donne une définition; automatiquement, le logiciel va générer les détails de cet objet selon la définition attribuée à ce dernier.

6) Collaboration dans la conception et la construction : elle se réalise en deux temps : « intérieurement » quand plusieurs utilisateurs de la même organisation éditent le modèle simultanément, et « extérieurement » quand de multiples modélisateurs visualisent simultanément le modèle fusionné ou séparé selon la coordination de la conception. Cependant, la collaboration est assurée à l'aide des échanges des fichiers interopérables, mais non pas à l'aide d'un affichage qui permet de voir les versions, les états, les notifications et validation des workflows.

7) Évaluation et génération rapide du plan de la construction : cette fonctionnalité se concrétise via la modélisation 4D, une simulation progressive du projet dans son cycle de vie tout en modélisant son échéancier. Elle offre la capacité de visualiser en instantané les différents impacts à chaque variation du projet.

8) Transfère de l'information vers les automates de fabrication : il s'agit de transférer la maquette 3D aux ordinateurs qui contrôlent la fabrication. On pourra fabriquer plusieurs composants du bâtiment tels que les barres d'armature, éléments structuraux en acier, etc.

9) Communication électronique en linge « object-based » : en réalité, cette fonctionnalité est une inspiration des systèmes PLM, elle n'existe pas encore dans les processus BIM. Quoique Sacks *et al* (2010), ont pris des exemples Bentley (ConstructionSim) et KanBIM qui sont des solutions issues des résultats de l'interaction entre BIM et Lean construction.

4. L'interaction entre Lean Construction et le BIM

Le (BIM) et le Lean Construction (LC) sont deux processus qui ont beaucoup influencé les pratiques en architecture, en ingénierie et dans l'industrie de la construction. En matière conceptuelle et structurelle, ils sont séparés, mais l'interaction entre les deux accomplit une synergie (Sacks *et al*, 2010).

Sacks *et al* (2010), expliquent que la combinaison entre les deux processus (BIM, LC) peut être exploitée dans l'amélioration du processus de la construction au-delà d'une utilisation séparée entre les deux. En utilisant une matrice qui juxtapose les différentes fonctionnalités BIM avec les principales perspectives du LC, les auteurs ont trouvé cinquante-six interactions. Cependant, la matrice n'est pas complète, elle se présente comme un « construit conceptuel partiel » qui peut aider les différentes parties prenantes qui participent dans le processus de la construction à connaître les synergies potentielles pendant l'adoption stratégique du BIM et LC.

Sacks *et al* (2010) ont fait un travail remarquable en sortant les 56 interactions entre BIM et LC. Cependant, nous étions captivés par les interactions qui ne sont pas encore disponibles. Nous allons présenter ces interactions tout en donnant des suggestions de complémentarités via le PLM ainsi les faisabilités de leur réalisation.

Tableau 1. La solution complémentaire PLM des interactions non active entre BIM-LEAN

Fonctionnalités BIM	Principes LEAN	Interaction BIM-LEAN, cible de recherche	La complémentarité via les fonctionnalités PLM	Réalisabilité
collaboration dans la conception et la construction	le choix approprié de l'approche du contrôle de la production et conception du système de la production	Plusieurs utilisateurs travaillent sur le même modèle simultanément en partageant le travail d'une manière équitable	les fonctionnalités de la gestion de l'information (workflow, les versions, les notifications et les états) et solution web la possibilité de travail simultanément sur le même modèle.	PLM réalise l'interaction via des logiciels
communication électronique en linge	l'amélioration continue	Une interface BIM qui peut fournir les rapports des états en temps réel	En plus ce que le PLM possède en termes d'interface qui assure la notification; la capitalisation du savoir-faire est le remède par excellence qui assure l'amélioration continue.	PLM réalise l'interaction via des logiciels
Évaluation et génération rapide du plan de la construction	conception du système de la production	La planification détaillée augmente la complexité au lieu de la simplification de la gestion	La gestion des vues et nomenclatures peut faciliter la modélisation de la complexité	PLM réalise l'interaction via des logiciels
communication électronique en linge	instruit un réseau étendu de partenaires	L'intégration des différentes compagnies de logistique via les systèmes d'information	Le PLM assure cette intégration via les solutions web.	PLM réalise l'interaction via des logiciels
réutilisation du modèle pour une analyse prédictive de la performance du bâtiment	Augmenter la flexibilité	La réutilisation des modèles afin d'optimiser le temps et formaliser les phases de la conception	serveur « coffre-fort » et la capitalisation des connaissances facilite cette tâche de recyclage de l'information.	Idem, mais dépend à l'expérience des employés
l'automatisation de la génération des dessins et les documents	réduire le temps des cycles	Éliminer les stocks inutiles des dessins ou la prolifération de l'information non utilisable ou réutilisable	les fonctionnalités de la gestion de l'information (workflow, les versions, les notifications et les états)	PLM réalise l'interaction via des logiciels
l'automatisation de la génération des dessins et les documents	réduire la taille des lots	L'automatisation de la génération des dessins spéciale pour les ateliers de fabrication (acier et béton précontraint) selon la demande des automates des machines	La gestion des vues et nomenclatures peut faciliter la transformation des vues design en vues fabrication	Idem, mais dépend à l'expérience des employés

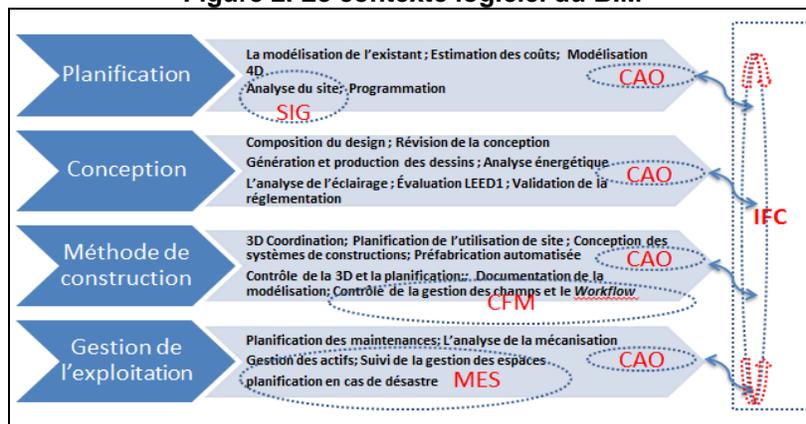
collaboration dans la conception et la construction	assurer l'écoulement des exigences vers le bas	Le partage des modèles entre les utilisateurs (l'équipe de projet) améliore la communication dans les phases de conception sans générer beaucoup de dessin et assure une bonne compréhension des exigences	La formalisation des phases en amont est un principe clé dans l'approche PLM	PLM réalise l'interaction via l'intégration des KBS
---	--	--	--	---

Auteur : Bouguessa, 2013

5. La complémentarité PLM-BIM

Les travaux de Sacks *et al* (2010) nous ont beaucoup aidés afin de comprendre les lacunes actuelles du BIM. Ces lacunes sont exprimées par les huit interactions entre le BIM et LC non actives. Ainsi, elles ne sont pas encore traitées ou comblées dans les différents projets de recherche. Donc, nous avons bien compris que le BIM assure à ses utilisateurs quelques pratiques PLM, il vise l'intégration d'une série de logiciels interopérables tout en assurant un savoir de communication et de partage des données et des résultats des travaux sous forme des fichiers informatiques. Le BIM offre une plate-forme interopérable (IFC) utilisable par différents acteurs du bâtiment. La figure 2 nous montre le contexte logiciel du BIM. En comparant ce contexte à son homologue PLM (figure 1), nous constatons facilement les potentiels de contributions du PLM vers le BIM. Le PLM dispose une tendance d'intégration de tous les logiciels qui prennent une part des activités de conception et d'exploitation tout au long le cycle de vie du produit d'une manière distribuée (Garetti *et al*, 2005). Par contre, le BIM penche seulement vers la modélisation paramétrique via les logiciels CAO. Nous avons trouvé, parmi les vingt-cinq utilisations BIM de Messner *et al* (2010;2012), seulement cinq utilisations qui opèrent par d'autres logiciels incluant l'analyse du site qui se réalise à l'aide des systèmes d'informations géographiques (SIG), le contrôle de la gestion des champs à l'aide des logiciels de type « *Construction Field Management* » (CFM). Et les trois dernières utilisations de la gestion de l'exploitation opèrent grâce aux logiciels « *Manufacturing Execution System* » (MES). L'interopérabilité entre ces outils est assurée à l'aide au format fichiers IFC (figure 2).

Figure 2. Le contexte logiciel du BIM



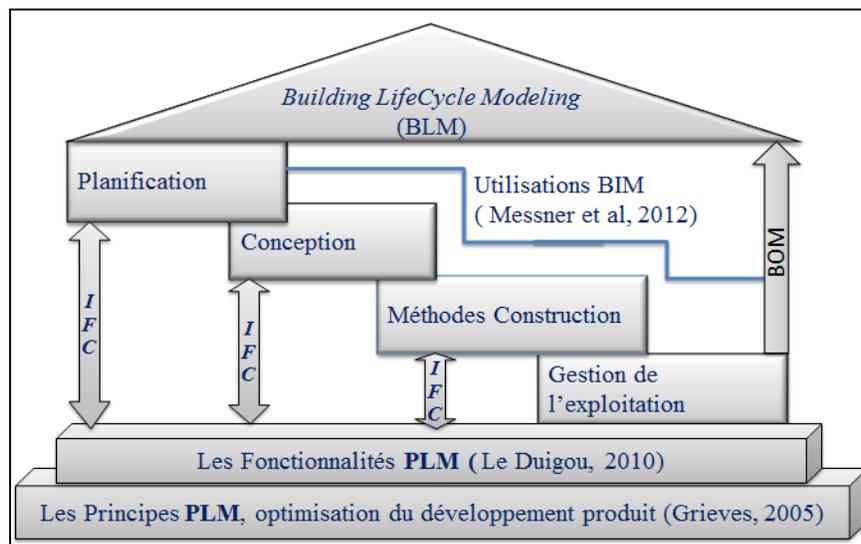
Auteur : Bouguessa, 2013.

D'après cette analyse, nous pouvons déjà donner naissance à notre métamodèle PLM-BIM désigné par *Building LifeCycle Modeling* (BLM). Ce modèle (figure 3) repose sur une base PLM, cette dernière se divise en deux : un fondement et un mur porteur, le fondement sera bâti selon les principes PLM de Grives (2005) afin d'assurer une fondation solide au mur porteur qui se concrétise par les fonctionnalités PLM (Le Duigou, 2010). Les principes de Grives (2005) sont des axes fondamentaux de développement de produit qui étaient repris dans les fonctionnalités des éditeurs de logiciels PLM.

Ces principes PLM sont : exploration des modèles numériques à l'aide de la technologie CAO; développement de produit collaboratif en intégrant la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise étendue; gestion des données numériques en prévoyant un travail simultané entre les différents acteurs; la gestion

des configurations en assurant une planification des versions, la relation et la structure entre les informations venant de sources différentes; la communication à l'aide de la publication dynamique et le suivi par les workflows et la capitalisation des savoir-faire afin de faciliter le recyclage des connaissances et maîtriser les coûts.

Figure 3. Métamodèle PLM-BIM



Auteur : Bouguessa, 2013.

Notre base BLM reçoit le modèle BIM tel que décortiqué par Messner *et al* (2012). Quatre catégories représenteront le cycle global de du bâtiment de la planification jusqu'à la gestion de l'exploitation. Le BIM assure la modélisation 3D, les calculs et l'analyse d'ingénierie. L'interopérabilité grâce à nos colonnes IFC, assure l'articulation entre le BIM et le PLM. Quant à la réception des fichiers IFC par le mur porteur (fonctionnalités PLM), le PLM opère par ces fonctionnalités (le coffre-fort; la gestion des droits d'accès; les vues; la visualisation des documents; la réservation et la libération du document; la gestion des versions et des documents; les notifications; les workflows; les états; et les web-conférences) afin de permettre une modélisation des processus de validation, d'échange et de modification, ainsi il assure une gestion des documents y compris leurs versions et leurs états. Cette approche d'intégration du BIM dans le PLM est initiée par CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), LASCOR (éditeur PLM) et d'autres centres de recherches, mais malheureusement aucune publication scientifique n'a été produite sur ces travaux à ce jour. Par contre, ce que nous sommes en train de modéliser (*Building LifeCycle Modeling*) est notre concept selon notre compréhension et notre analyse sur le BIM, LC et le PLM. Toutefois, le dernier pli désigné par « *Bill of materials* » (BOM) consiste une portion très importante du métamodèle. Ce dernier opère via trois modèles l'« *As built* », l'« *As purchase* », et l'« *As maintain* ». Nous allons évoquer ce volet dans de prochaines publications.

À ce stade, nous avons bien compris que la relation entre BIM et PLM est de type « inclusion ». Le BIM est un sous-ensemble de l'approche PLM, et le PLM est un sur-ensemble du processus BIM. Quant au BLM, c'est le modèle qui assure cette inclusion. Ce modèle (BLM) assure à la fois : une gestion globale du cycle de vie du bâtiment à l'aide du modèle 3D issue du BIM, la cohérence entre les formats de fichiers, la simplification des interfaces métiers afin que chaque utilisateur ait des tâches bien précises avec les fichiers IFC qui lui concerne et l'identification des conflits causés par les modifications.

Le tableau 2 montre les possibilités d'interaction entre le BIM et le PLM. Les couleurs expriment les correspondances. La visualisation de la forme du BIM constitue une synergie avec la fonctionnalité « vues » du PLM. Le BIM nous suggère quatre vues : la vue du modèle 3D architectural; la vue 3D sur la structure; la vue 3D mécaniques, électricités et plomberies (MEP); et la vue civile avec le modèle numérique du terrain y compris les travaux des terrassements. Ainsi, le PLM complète en structurant

l'arborescence des modèles selon les vues métier. Le PLM distingue entre les vues d'ingénierie, les vues méthodes d'assemblage et les vues manufacturières.

Tableau 2. Interaction entre les fonctionnalités du PLM et les fonctionnalités du BIM

Fonctionnalités BIM	Fonctionnalités PLM	Nature de l'interaction	Maturité dans le domaine de la construction
Visualisation de la forme	Les vues	Une synergie Complémentarité PLM vues métiers BIM (MEP, ARC,STR,CIVIL)	Non mesurable
Collaboration dans la conception et la construction IFC	La visualisation des documents Images, PDF des exécutables (EXE), où tu peux visionner, prendre des mesures et générer des vues sans recourir aux logiciels de modélisation.	Une synergie BIM plus standard avec IFC	IFC est une norme ISO, mais avec le EXE, le futur est au PLM
Génération rapide des multiples changements de la conception	Pour le PLM. toutes ces fonctionnalités sont comprises dans les outils CAO 2D/3D, de calcul et de simulation.	Offert par PLM et BIM, mais PLM plus puissant dans la gestion des changements	En terme CAO pas de différence. Mais en terme base de données les outils BIM plus matures
Utilisation du modèle pour une analyse prédictive de la performance du bâtiment	La réservation et la libération du document Le coffre-fort	PLM plus puissant dans la gestion de l'information. Ces fonctions PLM peuvent encapsuler les fonctions BIM =synergie	Non existante
L'automatisation de la génération des dessins et les documents	La gestion des droits d'accès		Non existante
Évaluation et génération rapide du plan de la construction	La gestion des versions et des documents		Non existante
Transfère de l'information vers les automates de fabrication	Les notifications		Non existante
L'entretien de l'information et la conception de l'intégralité du modèle	Les workflows		Non existante
Communication électronique en linge	Les états		Non existante
	Les web-conférences		PLM plus mature

Auteur : Bouguessa, 2013

Toutefois, la collaboration dans la conception et la construction grâce aux fichiers IFC est une démarche collaborative par excellence. Cependant, son efficacité reste au niveau de la collaboration entre l'équipe professionnelle, ce qui a été démontré par Sacks *et al* (2010) par une collaboration intérieure. Quant à la collaboration extérieure qui est basée sur la visualisation des modèles fusionnés ou séparés, la visualisation des documents avec un système PLM est assurée grâce la standardisation des fichiers sous formes PDF ou image est plus efficace. Dernièrement, le PLM procède par des exécutable (EXE), où tu peux visionner, prendre de mesure et générer des vues sans recourir aux logiciels de modélisation.

Tout ce qui est représenté avec la couleur jaune représente la force des outils CAO qui offrent des fonctionnalités puissantes de calcul, analyse et simulation. Malgré la divergence des outils utilisés par le BIM et le PLM, les logiciels répondent aux exigences des concepteurs. La différence demeure dans les basses données et l'orientation de l'intelligence artificielle de chaque outil.

Le reste en couleur orange, se sont des fonctionnalités PLM qui n'existe pas actuellement dans le BIM, voir même « communication électronique en ligne ». Sacks *et al* (2010) ont ajouté cette fonctionnalité parce qu'ils sont en cours de développements d'une plateforme collaborative sous le nom KanBIM™, issue de l'interaction entre BIM et LC. Cependant, ce dernier est structuré pour gérer les différentes tâches de la réalisation et de contrôle technique au niveau du chantier.

6. Conclusion

Pour conclure, les possibilités d'arrimage entre le BIM et le PLM sont fécondes, une simple analyse des interactions entre les fonctionnalités nous a permis d'identifier les éléments qui peuvent produire des synergies et modéliser une esquisse préliminaire d'un méta-modèle (BLM). Ce dernier ordonne les possibilités d'arrimage entre le BIM et le PLM. Ce méta-modèle est le fruit de notre analyse fondée sur la lecture détaillée de la littérature. L'analyse est pilotée par notre objectif de trouver les liens d'ancrage entre le BIM et le PLM. Quatre étapes ont guidé notre analyse (Thoma, 2006 cité par Blais et Martineau, 2006) : nous avons extrait les différentes fonctionnalités, utilisations et principes des trois concepts (BIM, Lean et PLM). Ensuite, une analyse nous a permis d'identifier des catégories et de les rassembler dans un tableau afin de tester la complémentarité et le degré de la réalisabilité (tableau1). De la même manière, nous avons modélisé le contexte logiciel du BIM. À la fin, la révision et le raffinement des résultats préliminaire (tableau 1 et figure 2) nous ont permis de proposer un méta-modèle. Nous tenant à souligner que ce travail ce n'est qu'une ébauche sur ce nouveau concept *Building LifeCycle Modeling* (BLM).

Références

- BLAIS, M., & MARTINEAU, S. (2006). L'analyse inductive générale: description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches qualitatives*, 26(2), 1-18.
- COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION (CIC) RESEARCH PROGRAM AT PENN STATE. (2010). *Building Information Modeling Execution Planning Guide*. Penn State: The Computer Integrated Construction Research Group.
- DEBAECKER, D. (2009, Septembre). *Lean Product Development & PLM Spécificités & contributions mutuelles.*, (p. 45). Curitiba.
- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., & LISTON, K. (2011). *BIM HANDBOOK. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, New Jersey USA: John Wiley & Sons, Inc.
- GARETTI, M., TERZI, S., BERTACCI, N., & BRIANZA, M. (2005). Organisational change and knowledge management in PLM implementation. *Int. J. Product Lifecycle Management*, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 1-9.
- GRIEVES, M. (2005). *Product LifeCycle Management : Driving The Next Generation Of Lean Thinking* (McGraw-Hill ed.). New York: McGraw-Hill.
- LE DUIGOU, J. (2010). *CADRE DE MODELISATION POUR LES SYSTEMES PLM EN ENTREPRISE ETENDUE APPLICATION AUX PME MECANICIENNES*. Nantes. France: École Centrale de Nantes.
- MESSNER, J., ANUMBA, C., LEICHT, R., KREIDER, R., RAMESH, A., & NULTON, E. (2012). *BIM Planning Guide for Facility Owners*. Pennsylvania. USA: The Computer Integrated Construction Research Program.
- SACKS, R., KOSKELA, L., DAVE, B. A., & OWEN, A. R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 136(9), 1-13.