



Laval (Greater Montreal)

June 12 - 15, 2019

REVENIR AUX FONDEMENTS DU LEAN DANS L'USAGE DU PDVSM EN CONSTRUCTION

Côté, J.^{1,2}, Doré, S.^{1,3}, and Forgues, D.^{1,4}

¹ École de Technologie Supérieure, Canada

² cc-jean-francois.cote@etsmtl.ca

³ sylvie.dore@etsmtl.ca

⁴ daniel.forgues@etsmtl.ca

Résumé : Le domaine de la construction a évolué grâce entre autres à l'adoption des pratiques du *Lean* et des outils de modélisation. Malgré tout, les résultats escomptés n'ont pas été atteints : le degré d'application du *Lean [construction]* reste subjectif, la modélisation fait toujours face à des enjeux d'intégration, l'ingénierie reste séquentielle, la gestion de projet, traditionnelle. Dans l'industrie manufacturière, il est courant que le cycle de vie des maquettes numériques intégrées, paramétriques et contextuelles soient utilisés comme extrant principal du processus de conception, dont l'évolution marque le niveau de complétion du projet. Le processus de conception est aussi axé sur la fluidité des informations constituant le bien à produire en ingénierie simultanée au lieu d'essayer de suivre l'évolution des tâches de chacune des disciplines. Pour parvenir à cette fluidité, il est essentiel d'observer le processus de conception dans son ensemble. Plusieurs outils, comme le *Product Development Value Stream Mapping* (PDVSM), servent à représenter graphiquement les processus de conception. Le PDVSM est une adaptation du VSM, utilisé pour visualiser les processus de fabrication dans l'industrie manufacturière. Cependant, les différences de contextes entre la conception et la production ainsi que la nature des projets de construction n'ont pas été remises en cause lors de la transposition du VSM en PDVSM. Ce projet de recherche questionne et améliore l'usage du PDVSM en fonction du contexte de la conception d'un ouvrage d'art complexe modélisé en trois dimensions.

1 INTRODUCTION

L'industrie manufacturière a connu un essor fulgurant tant en matière de productivité qu'en termes d'amélioration de la qualité, grâce entre autres à la conception assistée par ordinateur en trois dimensions (CAO3D) et le principe de la personnification de masse (Koskela, 2000; Morgan et Liker, 2006). Ces changements de vision ont forcé certains manufacturiers à restructurer leurs processus de production de façon à améliorer considérablement la qualité et la productivité ainsi qu'à considérer l'ensemble des interactions entre les tâches du processus, qui se situent autant du côté des relations sociales, qu'entre les documents (Morgan et Liker, 2006).

Le domaine de la construction a indéniablement évolué technologiquement, tant du côté de la production que de la conception. Pourtant, certains auteurs parlent de piètres résultats en ce qui concerne l'efficacité et l'amélioration de la qualité des ouvrages d'art, contrairement au domaine manufacturier (Crotty, 2013; Koskela, 2000; Tilley, 2005). Le domaine de la construction est pourtant forcé à s'adapter, à évoluer plus rapidement et à être plus performant que par le passé (Brown, Schmitt et Schonberger, 2015), entre autres dans l'utilisation de méthodes de travail comme le *Building Information Modelling* (BIM) et la CAO3D.

Dans l'industrie manufacturière, l'introduction de la CAO3D a particulièrement transformée le processus de conception, contrairement au domaine de la construction (Crotty, 2013; Staub-French et Khanzode, 2007). Depuis 1980, la CAO est passée de la simple définition géométrique des objets, similaire à du dessin 2D, à la gestion du cycle de vie (*Product lifecycle management* ou PLM) de maquettes numériques contextuelles et paramétriques (*Knowledge-Based Engineering* ou KBE), évoluant dans un contexte d'ingénierie simultanée peu après l'an 2000 (Mas et al., 2015). Le KBE est une méthode de travail impliquant une interrelation automatisée entre les composants d'une maquette numérique centralisée. Ces documents réagissent ainsi ensemble, automatiquement, à la variabilité des informations contenues dans chacun des composants de la maquette numérique à travers des formules mathématiques, des surfaces, objets et variables (Zhang et Chen, 2016). Ces interrelations forment un flux d'informations constituant un processus de conception, dont il est essentiel de le visualiser dans son ensemble (Rother et Shook, 2003).

Des outils tels que le *Value Stream Mapping* ont été développés pour visualiser les processus manufacturiers et pour identifier les sources de gaspillage qui s'y trouvent (Karen et Mike, 2013; Morgan et Liker, 2006; Rother et Shook, 2003). En conception, cet outil a été transposé en *Product Development Value Stream Mapping* (PDVSM), outil menant à la visualisation du flux d'informations constituant le bien à produire (Ballard et Koskela, 2009; Reinertsen, 1997). Cependant, un processus de conception est complexe, multidisciplinaire, variable, multidocumentaire (documents, rapports, 2D, 3D). Certains auteurs simplifient la représentation du processus une discipline à la fois (Karen et Mike, 2013). Simplifier ainsi crée des îlots de connaissance entre les disciplines, ce qui est totalement contraire aux principes Lean, où l'on cherche à identifier les interactions et les sources potentielles de gaspillage (Rother et Shook, 2003), entre les tâches et les documents du processus en entier. Malgré cela, le succès de cette transposition a représenté une réduction allant jusqu'à 50 % du temps et des coûts des projets (Tyagi et al., 2015).

Le domaine de la construction a donc avantage à adopter certains principes et outils du domaine manufacturier, tel que le PDVSM, pour reformuler le processus de projet dans le but de le rendre plus flexible et plus apte à répondre à des exigences grandissantes (Brown, Schmitt et Schonberger, 2015). Toutefois, l'usage même du PDVSM, ou du VSM, mérite d'être revisité, surtout considérant l'évolution de la technologie, comme la CAO3D ou le BIM et le contexte particulier du domaine de la construction. Considérant le cas d'un processus de conception multidocumentaire, multidisciplinaire et CAO3D d'un ouvrage d'art, quelles seraient les adaptations à apporter au PDVSM de façon à augmenter les bénéfices de cet outil et, de surcroît, ceux du Lean Construction?

L'objectif principal de cette recherche-action est d'adapter efficacement le PDVSM au contexte particulier de la conception en construction. Certains paramètres supplémentaires sont nécessaires pour adapter l'outil PDVSM. Ces paramètres tiennent compte de la globalité des interrelations entre la séquence des tâches, leurs descriptions (verbe d'action utilisé), leurs intrants/extrants (documents, modèles, cartes, dessins, etc.) et les individus qui réalisent les tâches. C'est avec ces paramètres qu'il sera possible de visualiser l'ensemble des sources potentielles de gaspillage dans les interactions multidisciplinaires et multidocumentaires d'un processus réel de conception d'un ouvrage d'art ainsi que le degré d'intégration de la CAO3D dans les tâches de ce même processus.

2 REVENIR AUX FONDEMENTS DU LEAN DANS L'USAGE DU PDVSM EN CONSTRUCTION

Cette section décrit le fondement théorique de cette recherche-action. Elle revient aux fondements du *Lean manufacturing*, comme la réduction des sources potentielles de gaspillage et comment le PDVSM permet d'y parvenir. C'est sur ce point que repose ce projet de recherche.

2.1 La philosophie du Lean et l'élimination du gaspillage

La philosophie du *Lean manufacturing* et le Système de développement de produit de Toyota (SDPT) ont été élaborés à partir du Système de production de Toyota (SPT), qui, dans une recherche d'amélioration continue de la qualité des produits sortants de la chaîne de fabrication, prône la correction immédiate des erreurs et l'élimination du gaspillage des ressources, du temps et des matières premières (Morgan et Liker, 2006). Dans cette optique, trois classes de gaspillage pouvant découler l'une de l'autre ont été identifiées (Morgan et Liker, 2006) : la surcharge de travail (*Muri*), la variabilité dans la production (*Mura*) et l'action qui ne crée pas de valeur dans le processus de fabrication (*Muda*). Le *Muri* correspond aux conditions dans lesquelles les tâches sont effectuées, c'est-à-dire la qualité de la formation, la motivation, l'entretien des machines, la communication (Morgan et Liker, 2006). Le *Mura* concerne la variabilité de la production. Le *Muda* représente sept sources de gaspillage découlant des tâches d'un processus manufacturier (attente, transport, processus excessif, stocks, mouvement, non-qualité, surproduction). Koskela (2004) en a ajouté une huitième, le *to make-do*, qui considère les conditions des intrants d'une tâche du processus de fabrication ou de conception. Le SDPT, autant que le SPT, mise alors sur l'élimination de ces gaspillages via les principes suivants : la coordination interdépartementale (Tilley, 2005); la responsabilisation de tous les individus à tous les niveaux et à toutes les fonctions (Morgan et Liker, 2006); l'ingénierie simultanée (Staub-French et Khanzode, 2007); la centralisation de l'information via la CAO, le BIM ou le Product Lifecycle Management (PLM) (Crotty, 2013; Mas et al., 2015; Morgan et Liker, 2006); la multidisciplinarité et la formation continue de chaque individu pour mieux comprendre les interrelations entre les tâches (Koskela, 2000).

En construction, l'intégration des principes de coordination interdépartementale, d'ingénierie simultanée, de formation continue multidisciplinaire et du BIM permet d'assurer un flux ininterrompu de tâches dont les résultats sont conformes aux exigences du client (Koskela, 2000). Les requis et les besoins de l'ensemble des individus, autant ceux de la conception que de la constructibilité du projet lors du chantier, sont identifiés le plus en amont possible dans le processus de conception (Morgan et Liker, 2006). Ce déplacement en amont des requis et besoins des disciplines, ainsi que la centralisation des informations de la conception à même la maquette numérique, diminue les coûts potentiels des problèmes de conception détectés tardivement, comme sur le chantier de construction ou lors de la mise en service du bâtiment, tout en assurant un maximum de valeur aux besoins exprimés par les clients. Cependant, l'effet positif de l'adoption du principe de l'ingénierie simultanée peut être amenuisé substantiellement par l'influence d'une gestion de projet traditionnelle, où la séquence des tâches est divisée par discipline/département et non en fonction d'une séquence de besoins à concevoir dans un ordre logique (Tilley, 2005).

Le degré d'application du *Lean Construction* étant somme toute subjectif, ce domaine souffre toujours de lacunes importantes provenant d'une ingénierie séquentielle et d'une gestion de projet traditionnelle. En ce sens, l'atteinte des objectifs de conception est singulière à la tâche, exclut les besoins potentiels des autres tâches et diminue la qualité des transactions informationnelles entre les tâches (Morgan et Liker, 2006). La structure organisationnelle est formée verticalement selon une hiérarchie rigide, et transversalement par des îlots de fonctions ou de disciplines (Ballard et Koskela, 2009; Koskela, 2000). La direction des interrelations entre les niveaux hiérarchiques est unidirectionnelle et descendante. Les ouvriers, les concepteurs ainsi que les gestionnaires ont des tâches prédéterminées, cloisonnées et gérées par les cadres supérieurs (Morgan et Liker, 2006) et travaillent en silo (Koskela, 2000) tout en étant sous-formés

(Koskela, 2000). Cette séparation des rôles et la surspécialisation des disciplines contribueraient à la fragmentation des connaissances, à la déconnexion interdisciplinaire en plus d'être à l'origine de nombreuses sources de gaspillage et de contribuer au syndrome « en cascade ». Dans ce type de fonctionnement, répandue dans l'industrie de la construction, l'amélioration du processus ne peut se faire qu'à l'intérieur de sa propre discipline, étant donné le peu ou même l'absence de liens avec les autres individus, ce qui est contraire aux principes fondamentaux du *Lean*, où l'on cherche à améliorer globalement le processus (Morgan et Liker, 2006). Il est donc impératif d'employer un moyen efficace pour détecter toutes ces sources de gaspillage.

2.2 Les ornières du PDVSM

La représentation des tâches du processus de conception est parfois limitée, même avec le PDVSM (Figure 1). Le grand nombre et la complexité des tâches de conception deviennent une barrière à la représentation graphique de ce processus dans son ensemble, particulièrement dans un contexte multidocumentaire et multidisciplinaire. La représentation est alors simplifiée en n'affichant qu'un point de vue à la fois, soit celui de la gestion du projet (tâches et responsabilités managériales), soit celui de la conception (tâches de l'ingénierie) (Karen et Mike, 2013). Cette méthodologie peut masquer le manque de coordination interdisciplinaire ou interdocumentaire (Morgan et Liker, 2006), comparativement aux projets de construction traditionnellement faits en 2D où la validation de la conception s'effectuait en superposant les dessins 2D des disciplines (Crotty, 2013). Il devient impératif d'identifier, dans le détail, l'entièreté des interactions entre les niveaux hiérarchiques, les disciplines et les informations découlant des tâches (Ballard et Koskela, 2009).

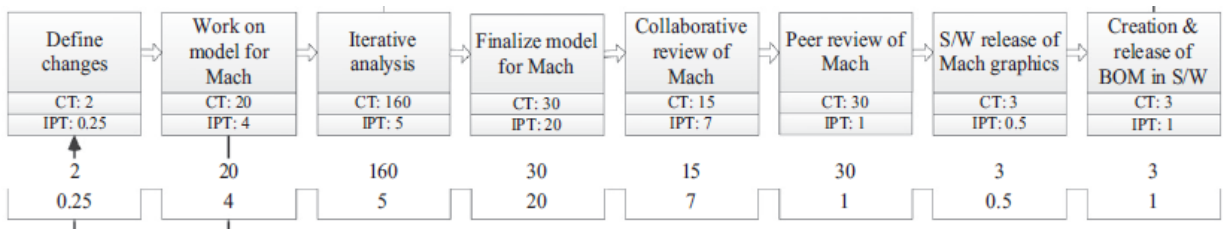


Figure 1 - Exemple de PDVSM, tiré de Tyagi et al. (2015)

Un degré élevé de détails du processus permet de bien percevoir l'ensemble des sources de gaspillage, que ce soit au niveau de la tâche, entre les tâches et entre leurs intrants/extrants, ainsi qu'entre les niveaux hiérarchiques/fonctions, sans avoir besoin d'interpréter les liens d'interdépendance. Dans le cadre d'un processus de fabrication, le lieu de la tâche (la machine) implique la raison, le type de tâche effectuée associée à un (des) opérateur(s) générique(s), pour un seul type de produit. En conception, peu importe le domaine par ailleurs, le processus évolue à travers une multitude de disciplines, de départements, de fonctions (gestion, conception, modélisation) et de documents (rapports, modèles, dessins, courriels). Pour être en mesure d'identifier pleinement les interactions entre les tâches d'un processus, ainsi que les sources de gaspillages, la représentation graphique du processus devrait donc comprendre un niveau élevé de détails étalé sur l'ensemble des fonctions, disciplines, documents et départements, en plus de permettre l'identification du type de document centralisant toute l'information.

Dans l'industrie manufacturière, le flux d'information est centralisé à l'aide d'une maquette numérique intégrée contextuelle et paramétrique (Crotty, 2013; Morgan et Liker, 2006) et plus d'utiliser un logiciel PLM pour la gestion du cycle de vie du processus de conception (Mas et al., 2015). La maquette numérique est alors un ensemble dynamique, dont chaque changement se répercute automatiquement sur l'ensemble du processus et donc des individus, le rendant apte à absorber la variabilité (Reinertsen, 1997). En construction, un processus de conception fluide, où le *Building information modeling* BIM est bien intégré, devrait évoluer de façon ininterrompue autour d'une maquette numérique CAO3D.

Le processus de conception en construction est difficile à suivre (Karen et Mike, 2013), étant donné le morcellement et la sursimplification des processus de conception (Liker et Trachilis, 2014), même représentés à l'aide du PDVSM. L'utilisation d'un PDVSM plus détaillée permettrait d'identifier plus efficacement 1) les sources de gaspillage, particulièrement entre les disciplines et 2) le degré d'intégration de la CAO3D dans un processus de conception d'un ouvrage d'art.

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Méthodologie de la recherche

Ce projet de recherche-action vise l'identification de paramètres permettant d'augmenter les bénéfices du PDVSM quant au *Lean Construction*. En ce sens, la modification du PDVSM passe par un cycle itératif *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), utilisé pour : 1) *Plan* : identifier les paramètres du PDVSM, 2) *Do* : cartographier un processus de conception à l'aide du PDVSM et de ses nouveaux paramètres 3) *Check* : Vérifier la capacité du PDVSM modifié à identifier les sources de gaspillage et le degré d'intégration de la CAO3D dans le processus et 4) *Act* : Identifier les paramètres supplémentaires à apporter au PDVSM et généralisation de la méthodologie de modification du PDVSM en fonction d'un contexte ou d'un domaine spécifique. Ce projet de recherche est effectué dans le cadre du projet de conception d'un complexe de bâtiments de la compagnie ABC, à sa demande. Ce projet, estimé à plus de deux milliards de dollars, comprend la conception et la réalisation d'une multitude de bâtiments répartis sur une superficie de terrain de plusieurs kilomètres carrés, dont un centre de contrôle, l'objet d'étude de ce projet. La majeure partie de ces bâtiments sont situés sous le niveau du sol. La gestion du projet a été effectuée en mode *Fast Track* afin de réduire la durée du processus de conception et de réalisation du complexe de bâtiments. Aussi, bien qu'il s'agisse d'un projet d'AEC, un logiciel CAO3D et une plateforme *Product Data Management* (PDM) généralement associés à l'industrie manufacturière, plutôt qu'un outil du BIM, ont été retenus pour ce projet, en raison de leurs capacités de gestion des maquettes numériques, de paramétrisation et de contextualisation de la modélisation des bâtiments. La compagnie ABC cherche donc à vérifier son degré de performance au niveau de la conception, ainsi que le degré d'intégration des pratiques du BIM, ici la CAO3D.

4 Résultats

4.1 *Plan* : identifier les paramètres du PDVSM

L'objectif principal est d'adapter le PDVSM (Figure 1) au contexte de la conception en construction (Figure 3). La méthodologie choisie pour identifier ces paramètres est le diagramme Ishikawa, qui décrit l'évolution d'une tâche (l'action) vers son extrant (documents), en fonction des éléments constitutifs de cette tâche. Selon Peter et Nick (1997), l'identification des paramètres d'une tâche provient de la technique 5W1H [du diagramme Ishikawa] (*Why does an activity occur? Who does it? On which machine? Where? When? and How?*). Ils sont par la suite représentés sous forme de pictogrammes (Figure 2).

Le processus de conception comprend un grand nombre de types de documents, de disciplines et de fonctions. Un code de couleur des frontières du pictogramme des tâches, identifiant des parties spécifiques de la conception, a donc été nécessaire. Une frontière brune correspond aux modifications du territoire (ex. : excavation, route, remblais). Le gris correspondant à la structure et à la valeur principale du bâtiment. L'orange, pour l'architecture. Finalement, le bleu, pour la plomberie, l'électricité, la ventilation et la communication. Aussi, la largeur de la boîte de la tâche correspond à sa durée. Une icône, située dans le coin inférieur droit de la tâche, indique son (ses) type(s) d'exrant(s) (CAO3D, rapport, calcul, relevé au terrain, dessin 2D, STL, 3D surfacique).

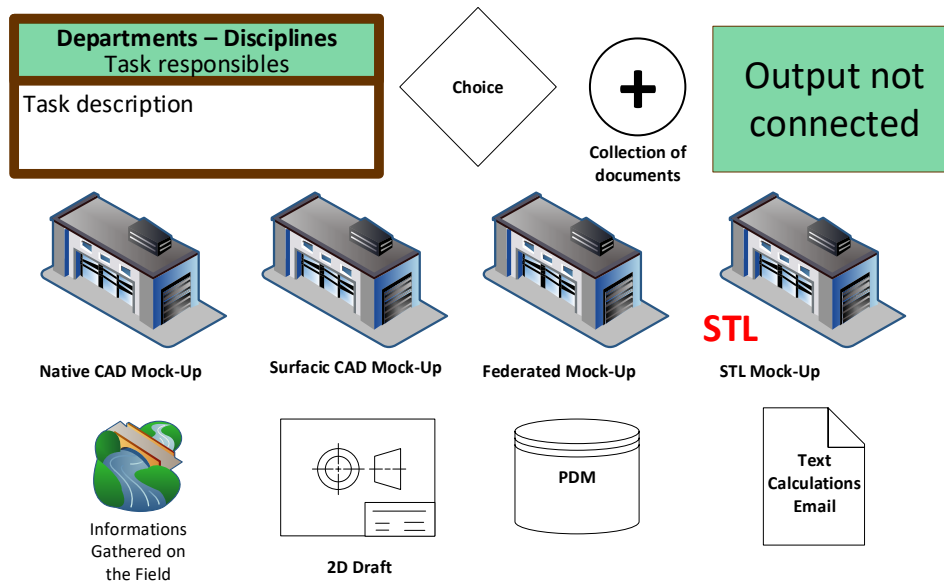


Figure 2 - Pictogrammes utilisés avec le PDVSM

4.2 Do : cartographier un processus de conception des nouveaux paramètres du PDVSM

Ces pictogrammes du PDVSM (Figure 2) ont été utilisés pour représenter graphiquement le processus de conception du centre de contrôle du complexe de bâtiments. Le niveau de détail de la carte est élevé et comprend l'identification, pour chaque tâche, des fonctions (gestion, ingénieurs, technicien), du département, sa description, les intrants/extrants, ainsi que les interactions entre les tâches (voir exemple à la Figure 3).

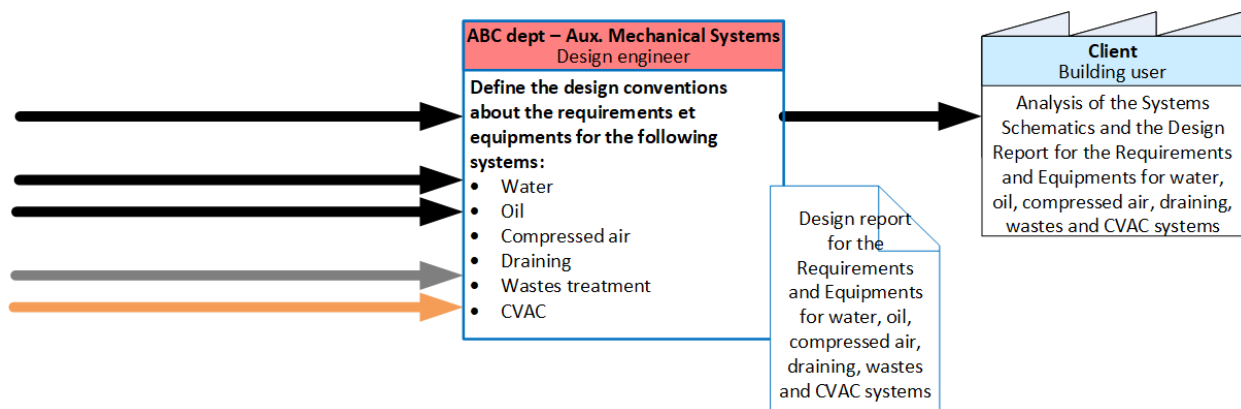
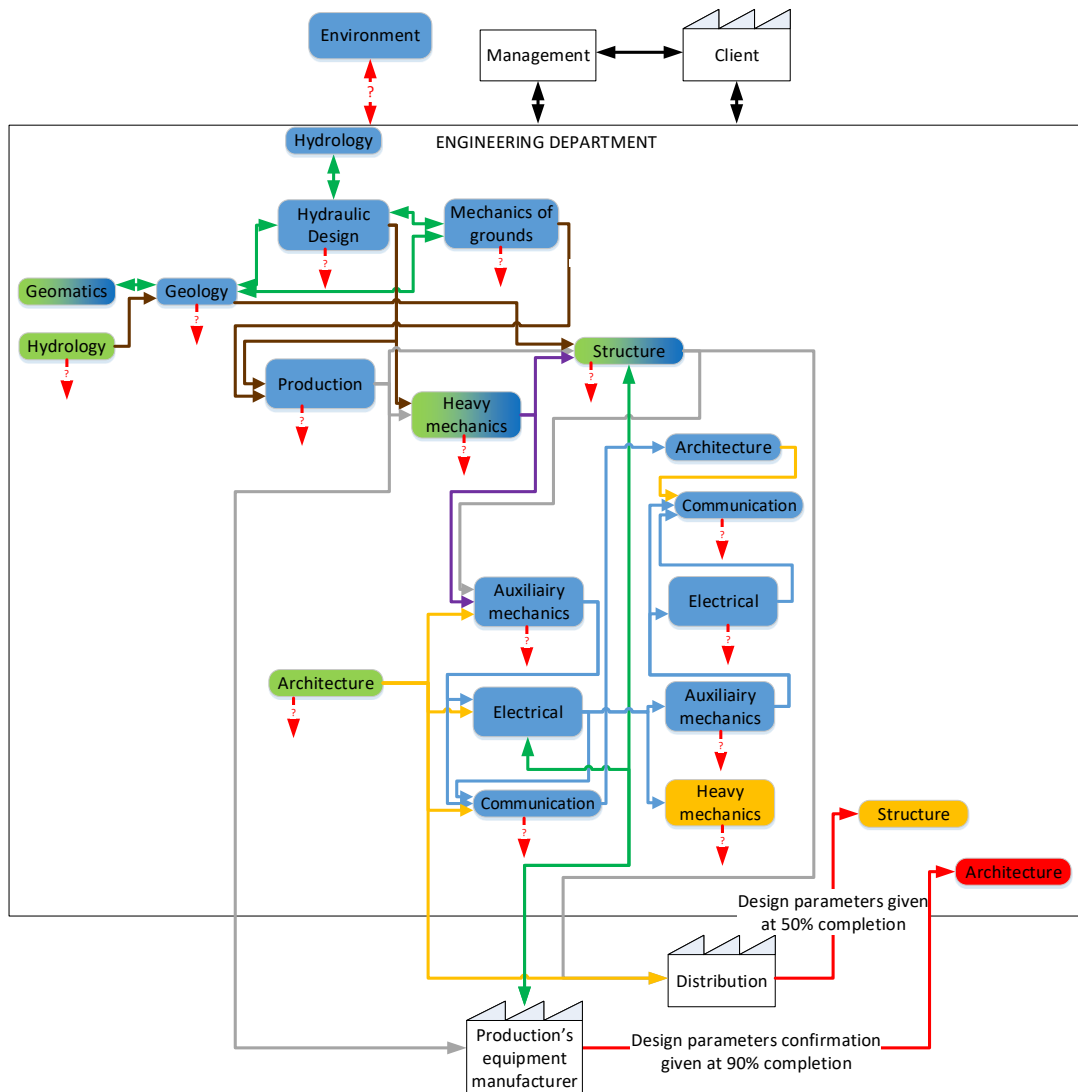


Figure 3 – Exemple de tâche définie à l'aide du PDVSM

4.3 Check : vérifier la capacité du PDVSM modifié

Une fois la carte détaillée effectuée, une simplification des résultats, telle que prônée par Karen et Mike (2013), peut dès lors être effectuée. La carte suivante (Figure 4) représente le sommaire de la carte du PDVSM. Les flèches indiquent la direction du flux des documents évoluant au fur et à mesure des tâches.



TIMELINE OF THE PROJECT PER MILESTONES
(30%, 50%, 70%, 90% AND 100% COMPLETION OF THE DESIGN)

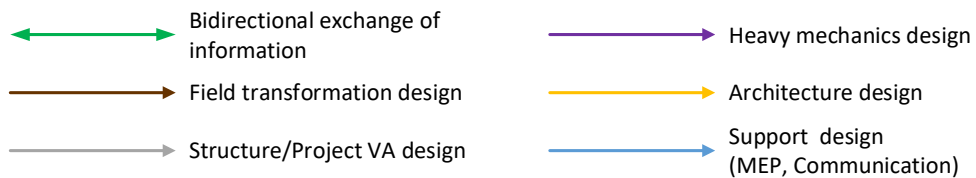
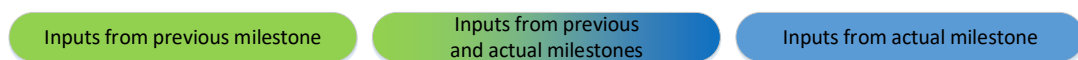


Figure 4 – Carte du sommaire du PDVSM

La carte du sommaire du PDVSM (Figure 4) met en lumière le caractère séquentiel de l'ingénierie, ainsi que le mode de gestion traditionnelle du projet. Chaque case correspond à un groupe de tâches effectuées séquentiellement par une seule et unique discipline. Une fois le groupe de tâches d'une discipline complétées, les informations créées par ce groupe sont ensuite transmises à un autre groupe de tâches d'une discipline. Les premières tâches du processus concernent l'étude et la transformation du terrain. Par la suite vient la structure, où l'on retrouve aussi la discipline consacrée à la conception de la valeur principale définissant l'existence du projet. La performance de cette valeur principale est dépendante de sa position sur le terrain, indépendamment des travaux d'excavations nécessaires. Troisièmement vient l'architecture, ainsi qu'une séquence faisant intervenir à la fois les éléments de supports (ventilation, électricité, commande). Un groupe de disciplines et de fonctions ont aussi été identifiées, nommément les externes (gestionnaires, client, fournisseurs, concepteurs d'autres bâtiments qui peuvent avoir un lien physique, structurel, avec le centre le contrôle).

Le processus de conception contient donc un nombre important de cycles itératifs qualifiés par Ballard (2000) de négatifs, étant donné qu'ils évoluent majoritairement sur des hypothèses, des données manquantes ou même obsolètes entre les disciplines. De plus, une grande quantité d'extraits de tâches n'ont pas pu être connectés à d'autres tâches. Les ingénieurs, gestionnaires et techniciens, qui ont participé à la validation des résultats de ce projet de recherche, ont par ailleurs questionnés les raisons d'être de certains de ces extraits.

Un autre résultat identifié est le peu de liens reliant le groupe des externes à l'ensemble des tâches d'ingénierie, à l'exception du fournisseur de produits manufacturiers. Cette déconnexion entre les tâches indique un défaut de coordination interdisciplinaire. Les ingénieurs, gestionnaires et techniciens qui ont participé à la validation des résultats de ce projet de recherche ont par ailleurs confirmé ce manque de coordination. Il est particulièrement difficile pour les tâches managériales pouvant générer des demandes de modification de la conception, puisqu'elles peuvent survenir à tout moment comme une épée de Damoclès. Ces demandes de modification provoquent un stress supplémentaire chez les employés qui doivent alors travailler dans l'urgence afin de respecter les échéanciers initiaux (Lallement et al., 2011), considérant un processus de conception complexe ayant une faible capacité d'absorber la variabilité.

Un processus de conception efficace implique une fluidité du flux d'informations entre les tâches. Dans ce cas-ci, le projet évolue autour d'une maquette numérique CAO3D contextuelle et paramétrique et d'une plateforme PDM. Cependant, le faible niveau d'intégration de la CAO3D parmi les travailleurs fait que la maquette numérique n'est pas utilisée pour centraliser l'information. Les tâches évoluent selon une succession de types de documents, de formats différents. Par exemple, la modélisation CAO3D et le dessin 2D sont des tâches restreintes aux techniciens, les calculs aux ingénieurs, les gestionnaires aux rapports. Chaque tâche implique un risque de surproduction d'informations, de déplacements de personnel ou de transport d'information. Ces sources de gaspillage augmentent significativement le risque d'erreur interdocumentaire et interdisciplinaire.

La dernière source majeure de gaspillage est la personnification des tâches et concerne la majorité de celles-ci. Le processus de conception est très sensible à la variabilité de production d'information causée par de l'absentéisme du personnel, ou éventuellement par un échéancier géré de façon traditionnelle combiné à une ingénierie séquentielle, forçant le personnel à fonder leurs tâches sur des hypothèses.

En somme, presque tout le processus de conception est affecté par les trois classes de gaspillage : le *Muri*, le *Mura* et le *Muda*. La portion *Muri* observée comprend le décalage des échéanciers des disciplines, la démotivation, la faible intégration de la CAO3D et l'absentéisme. La portion *Mura* identifiée concerne la variabilité de la production, notamment due à l'épée de Damoclès provenant du lien requis entre l'interdisciplinaire et l'interdocumentaire, de l'absentéisme et de la personnification des tâches. Enfin, le

processus est affecté surtout par des sources de gaspillage de type *Mura*, entre autres de l'attente (absentéisme, échéanciers non coordonnés, transport (d'informations, transferts de format de données), de non-qualité (causé par du *to make-do*), de la surproduction d'information (types de documents trop nombreux, données du processus décentralisées de la maquette numérique) et du *to make-do* (exécution des tâches fondées sur des hypothèses).

4.4 Act : identifier les paramètres supplémentaires à apporter au PDVSM et généralisation de l'usage du PDVSM en fonction du Lean

Le fait d'augmenter le niveau de détails, assujetti au contexte précis d'un projet, permet d'identifier non seulement des sources de gaspillage à l'intérieur d'une discipline, mais entre les disciplines, les fonctions et les documents. De plus, le PDVSM modifié a aussi permis de mesurer le niveau d'intégration de la CAO3D parmi les fonctions et les tâches du processus de conception. Dans le cas présent, les résultats de l'usage du PDVSM selon le contexte d'un projet de conception en construction sont concluants et doivent être généralisés et externalisés afin d'extrapoler correctement, en fonction des principes du *Lean*, le PDVSM à tout autre contexte (Figure 5).

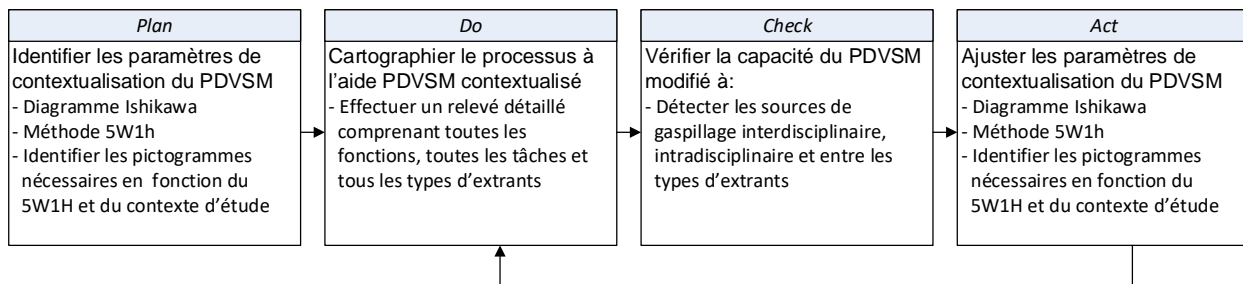


Figure 5 - Généralisation de l'usage du PDVSM.

5 CONCLUSION

La principale contribution de ce projet est la transposition du PDVSM initialement destiné au domaine manufacturier, dans le contexte de la conception dans le domaine de la construction. Ce PDVSM, utilisé selon une approche globale, permettrait d'identifier efficacement des sources potentielles de gaspillage indétectables autrement en plus de mesurer le niveau d'intégration de la CAO3D dans un processus de conception multidocumentaire et multidisciplinaire.

Éventuellement, cet outil pourrait être utilisé pour faciliter la restructuration en profondeur du processus selon une approche d'ingénierie simultanée (Morgan et Liker, 2006), en gestion de projet combinée (Reinertsen, 1997; Tilley, 2005), axée sur la génération d'information (Morgan et Liker, 2006; Reinertsen, 1997), et sur la mesure des besoins conçus et à concevoir (Tilley, 2005), le tout selon une approche plus intégrationniste et collaboratrice (Chiocchio et al., 2011), ainsi qu'ascendante (Morgan et Liker, 2006). Il est à noter que la caractéristique principale de ce PDVSM modifié n'a pu être utilisée dans ce projet, soit la durée des tâches, étant donné le degré de sensibilité qu'aurait pu occasionner la divulgation de ces informations. Il serait cependant primordial de l'employer lors de recherches futures pour mieux bénéficier des avantages d'un processus *Lean*, sans gaspillage.

REFERENCES

- Ballard, Glenn. 2000. « Positive vs negative iteration in design ». In Proceedings Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-6, Brighton, UK. p. 17-19.
- Ballard, Glenn, et LJ Koskela. 2009. « Design should be managed as a physical process, too ». In International Conference on Engineering Design, ICED'09. p. 251-261. University of Stanford.
- Brown, Karen A, Thomas G Schmitt et Richard J Schonberger. 2015. « ASP, The Art and Science of Practice: Three Challenges for a Lean Enterprise in Turbulent Times ». *Interfaces*, vol. 45, no 3, p. 260-270.
- Chiocchio, François, Daniel Forgues, David Paradis et Ivanka Jordanova. 2011. « Teamwork in integrated design projects: Understanding the effects of trust, conflict, and collaboration on performance ». *Project Management Journal*, vol. 42, no 6, p. 78-91.
- Crotty, Ray. 2013. *The Impact of Building Information Modelling : Transforming Construction*. Abingdon, Oxon, US: Routledge.
- Karen, Martin, et Osterling Mike. 2013. *Value Stream Mapping: How to Visualize Work and Align Leadership for Organizational Transformation*. doi:10.1036/9780071828949. McGraw-Hill, -1 p.
- Koskela, L. 2004. « Making do the eighth category of waste ». In 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. (Denmark). Salford University. < <http://usir.salford.ac.uk/9386/> >.
- Koskela, Lauri. 2000. « An exploration towards prod theory for construction ». VTT publications, Helsinki, 296 p. < <http://urn.fi/urn:nbn:fi:tkk-001187> >.
- Lallement, Michel, Catherine Marry, Marc Loriol, Pascale Molinier, Michel Gollac, Pascal Marichalar et Emmanuel Martin. 2011. « Maux du travail : dégradation, recomposition ou illusion ? ». *Sociologie du Travail*, vol. 53, no 1, p. 3-36.
- Liker, J.K., et G. Trachilis. 2014. *Developing Lean Leaders at All Levels: A Practical Guide*. Lean Leadership Institute Publications.
- Mas, F., R. Arista, M. Oliva, B. Hiebert, I. Gilkerson et J. Rios. 2015. « A Review of PLM Impact on US and EU Aerospace Industry ». *Procedia Engineering*, vol. 132, p. 1053-1060.
- Morgan, J., et J.K. Liker. 2006. *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process, and Technology*. Taylor & Francis.
- Peter, Hines, et Rich Nick. 1997. « The seven value stream mapping tools ». *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 17, no 1, p. 46-64.
- Reinertsen, Donald G. 1997. *Managing the design factory : a product developer's toolkit (1997)*. New York, N.Y.: Free Press, 269 p. p.
- Rother, Mike, et John Shook. 2003. *Learning to see : value stream mapping to create value and eliminate muda (2003), Version 1.3*. Cambridge, Mass.: Lean Enterprise Institute, [112] p. p.
- Staub-French, Sheryl, et Anul Khanzode. 2007. « 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned ». *ITcon*, vol. 12, p. 381-407.
- Tilley, Paul A. 2005. « Lean Design Management: A New Paradigm for Managing the Design and Documentation Process to Improve Quality? ». In 13th International Group for Lean Construction Conference: Proceedings. p. 283. International Group on Lean Construction.
- Tyagi, Satish, Alok Choudhary, Xianming Cai et Kai Yang. 2015. « Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process ». *International Journal of Production Economics*, vol. 160, p. 202-212.
- Zhang, Lianying, et Xi Chen. 2016. « Role of Lean Tools in Supporting Knowledge Creation and Performance in Lean Construction ». *Procedia Engineering*, vol. 145, p. 1267-1274.