



**HAL**  
open science

# Etude comparative des outils et méthodes du Lean Construction avec les méthodes traditionnelles de planification projet et produit

Florent Castanedo

► **To cite this version:**

Florent Castanedo. Etude comparative des outils et méthodes du Lean Construction avec les méthodes traditionnelles de planification projet et produit. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2015. hal-01834298

**HAL Id: hal-01834298**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01834298>**

Submitted on 10 Jul 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

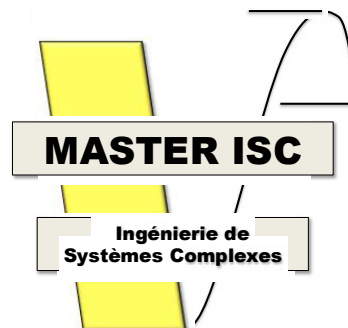
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**Rapport de Projet Tuteuré  
- Promo 2015 -**

**Etude comparative des outils et méthodes du  
Lean Construction avec les méthodes  
traditionnelles de planification projet et produit.**



**CASTANEDO Florent  
2014 / 2015**

**Enseignant(s) responsable(s) : Hind BRIL-EL HAOUZI**



# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Les outils Classiques</b> .....	<b>2</b>
I. Les concepts de production : .....	2
1. <i>Production en flux poussés</i> : .....	2
2. <i>Production en flux tirés</i> : .....	2
II. Les outils de planification [1]: .....	3
1. <i>Diagramme de Gantt</i> : .....	3
2. <i>Les plannings en réseaux</i> : .....	4
a. CPM : .....	4
a. PERT : .....	5
b. PDM: .....	6
III. Les outils de gestion : .....	7
1. <i>MRP II</i> : .....	7
<b>Du Lean au LPS</b> .....	<b>11</b>
I. La philosophie du Lean.....	11
1. <i>Définition du Lean Management [3]</i> : .....	11
2. <i>Les gaspillages</i> : .....	14
3. <i>Du Lean au Lean Construction</i> .....	17
b. Historique : .....	17
c. Définition du Lean Construction.....	18
II. Le LPS .....	20
1. <i>Principe théorique : Transformation Flow-Value (TFV)</i> .....	20
2. <i>Gestion de chantier en flux poussé</i> : .....	21
3. <i>Application du LPS</i> : .....	23
a. Phase 1 : Master Schedule.....	23
b. Phase 2 : Phase Scheduling.....	23
c. Phase 3 : Look-Ahead Planning.....	25
a. Phase 4 : Production Planning : .....	28
4. <i>Gestion en flux tiré</i> : .....	31
III. Analyse et mesure des performances du Lean Construction. ....	34
1. <i>Le LPS, un outil autocontrôlé</i> : .....	34
2. <i>Analyse des erreurs</i> : .....	35
3. <i>Analyse du PPC</i> : .....	36
<b>Améliorations du LPS</b> .....	<b>38</b>
1. <i>La formation et l'information</i> : .....	38
2. <i>La gestion des goulots</i> : .....	40
3. <i>Gestion interne des ressources</i> : .....	40
<b>Conclusion</b> .....	<b>41</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>42</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>44</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>44</b>



---

# INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet de fin d'étude réalisé en troisième année de cycle ingénieur à l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques et Industries du Bois (ENSTIB) à Epinal en double cursus avec le Master Ingénierie de Systèmes Complexes (ISC) de Nancy, il m'a été proposé de réaliser une étude comparative entre les outils de planification traditionnels de gestion de production et l'outil LPS spécifique au Lean Construction.

De nos jours, l'optimisation des flux est un challenge incontournable pour les entreprises. Le Lean est l'une des approches qui permet ce changement au sein des sociétés en favorisant l'implication de tous et la réduction du gaspillage. Fortement développé dans le domaine manufacturier, avec des méthodes relativement bien connues et maîtrisées par la majeure partie des entreprises, cette approche tend à s'étendre au bâtiment du fait des possibilités de préfabrication et de la forte demande d'industrialisation. C'est ainsi, dans les années 90 que le terme Lean Construction est apparu. En plus, des outils de base du Lean Manufacturing : 5S, Kanban, VSM, Takt time...etc, le Lean Construction apporte un outil novateur qui est le LPS. Le LPS (Last Planner System) est un système de planification et de contrôle de la production dans lequel le dernier planificateur (Last Planner) correspond à la personne qui réalise le travail à une étape donnée. Il est le mieux placé pour communiquer sur le travail et pour l'exécuter. Cet outil particulièrement bien adapté au domaine constructif repose sur plusieurs niveaux de planification à différents horizons.

Nous sommes donc en mesure de nous demander si l'utilisation des méthodes classiques d'optimisation des flux est possible dans le domaine constructif et comment le LPS peut devenir un réel avantage dans ce domaine? Afin de répondre à ces questions, ce rapport présente une étude comparative entre le LPS et les méthodes de gestion de projets classiques d'optimisation des flux.

Le présent rapport est structuré en trois parties, dans un premier temps une étude relative aux méthodes dites « classiques » de planification et de gestion de production orientée vers leur possible utilisation sur chantier de construction. Une deuxième étude cette fois-ci bibliographique appuyée par différents travaux et recherches présente les sujets principaux à savoir le Lean et l'outil LPS. Enfin, selon les analyses effectuées, des solutions d'amélioration et d'évolution du LPS seront proposées.

Remarque :

Il est important de noter que l'application de la méthode LPS est libre de droit dans la mesure où les idées et principes sont suivis. Sinon, il conviendra d'appeler le système « planning collaboratif ».

## LES OUTILS CLASSIQUES

Cette partie permet de lister exhaustivement quelques méthodes et outils courants de gestion et de production afin de trouver leurs inconvénients ou avantages quant à leur application dans le domaine constructif. Ces outils, dits « Classiques » sont largement connus dans le domaine de la production surtout en milieu manufacturier.

### I. Les concepts de production :

#### 1. Production en flux poussés :

La production en flux poussé est une production où l'on fabrique les produits à partir des prévisions de ventes (d'après une étude de marché), ou des commandes fermes (commandes validées et signées par le client). Les ordres concernant la fabrication sont transmis de façon à réaliser progressivement les produits. La production en flux poussé peut entraîner des ruptures de flux volontaires ou accidentelles (dus à des retards, au manque de matière...) qui peuvent avoir des répercussions sur la date de livraison finale. De manière générale, dans ce type de production, le travail est effectué avec une marge de manœuvre finale permettant d'absorber les défauts rencontrés tout au long de la chaîne de production.

Le système traditionnel de production dans le domaine constructif fonctionne actuellement de cette manière. Un ouvrage (qui est ici le produit) est commandé pour une date précise et c'est au maître d'œuvre qu'incombe l'établissement d'un planning regroupant l'ensemble des opérations nécessaire à la fabrication. Le planning sert de lanceur d'ordre, il commande les différentes entreprises leur indiquant le début et la durée de réalisation des tâches qui leur sont attribuées. Le chantier est entièrement planifier, l'expérience du maître d'œuvre va lui permettre de définir le séquençage et le temps à affecter à chaque tâche de la fabrication.

#### 2. Production en flux tirés :

Dans une production en flux tiré en industrie, on fabrique les produits en remplacement de ceux qui ont été vendus. Les ordres concernant la fabrication sont transmis de façon à terminer les produits ou les sous-ensembles déjà en cours de fabrication en fonction de la demande réelle. On se base donc sur le besoin du client et non plus sur les prévisions de vente.

Assimiler le flux tiré au domaine constructif reviendrait à dire que lorsqu'une tâche est terminée, ou sur le point de l'être, la ou les entreprises suivantes sont informées pour prendre directement le relais: le but final étant de répondre exactement aux attentes du client dans le délai souhaité. La production en flux tirés, comme démontré dans la suite du rapport est principalement fondée sur l'entente et la collaboration des acteurs de la construction.



## II. Les outils de planification [1]:

### 1. Diagramme de Gantt :

Introduit par H-L. Gantt (1861 –1919) aux USA sous l'influence de F. Taylor, cette méthode a pour priorité l'organisation du projet en plusieurs étapes successives. Très souvent utilisée dans le domaine constructif comme Planning Directeur de Production (PDP) du fait de son approche globale du projet (division par macro-tâches) elle présente une situation générale et synthétique du projet.

Le diagramme de Gantt peut également être utilisé pour la planification des ressources. Il s'agit d'un procédé, simple d'utilisation et réalisable à la main ou informatiquement. Il est cependant limité par le nombre de tâches à réaliser car les contraintes augmentent avec le nombre de tâches: ce qui peut poser problème si l'on se place dans un délai très court.

Pour utiliser le Gantt, il faut dans un premier temps définir :

- Une échelle de temps (mensuelle, journalière, horaire...) pour toutes les tâches suivant le type de projet et le détail souhaité.
- Définir les tâches principales avec leurs contraintes d'antériorité, contraintes techniques, durée...

Une fois ce travail réalisé, le tableau permet par la juxtaposition des tâches, d'avoir les dates de début et de fin au plus tôt et au plus tard pour chaque tâche. De cette manière, l'évolution du projet est planifiée selon les estimations et contraintes énoncées précédemment. Il s'agit d'une méthode de travail à flux poussé: le maître d'œuvre, premier acteur du système, va planifier l'ensemble jusqu'à arriver à la dernière étape : la réception client.

Avantages de l'outil :

- Simple, visuel et très largement utilisé dans la construction.
- Possibilité de compléter les informations données par le diagramme avec le responsable, la zone d'action, le nombre d'hommes...
- Permet de déceler les problèmes majeurs de planification.

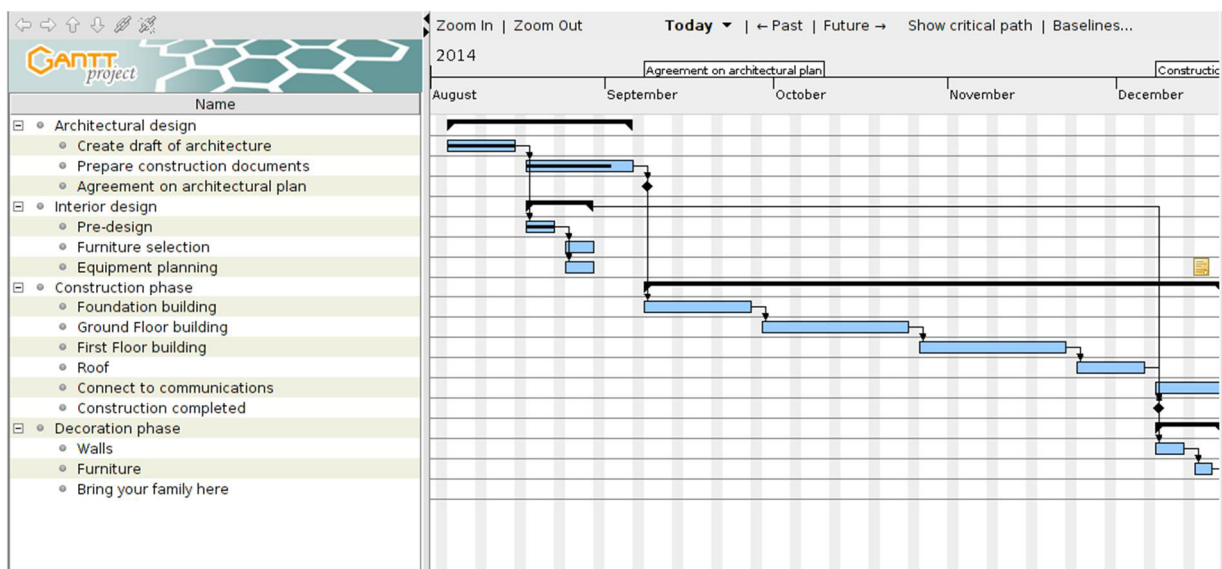


Figure 1: Diagramme de Gantt informatisé - Programme GanttProject.

- L'un des avantages le plus apprécié concernant le système Gantt est la possibilité de programmer la réalisation du diagramme. En effet, des programmes comme GanttProject par exemple, permettent par l'entrée des contraintes d'antériorité et de durée des tâches, de réaliser un diagramme de Gantt parfaitement fiable. Cela permet un gain de temps considérable afin de trouver la meilleure solution de planification, ce qui est d'autant plus long que le nombre de tâches est important.

Inconvénients de l'outil :

- Les tâches doivent être identifiées et quantifiées (durées, ressources...).
- Contraintes des tâches à connaître à l'avance (antériorités, moyens...).
- Planning à re-moduler en cas de retard d'une tâche. Le retard se répercute petit à petit sur les tâches suivantes. Si plusieurs retards sont observés, ces temps de retard seront cumulés ayant pour effet de repousser l'échéance du chantier. Les retards sur chantier sont un sujet très sensible puisqu'ils peuvent être la source de conflit entre entreprises. En effet, si une société a déjà planifié la location de moyens techniques coûteux et/ou lourds elle va reporter la faute sur l'entreprise à l'origine des retards.
- Cette pratique peut être source de stress et d'anxiété pour l'ensemble des entreprises, qu'elles soient en retard ou non.
- Gestion en flux poussé qui ne peut être optimale qu'en fonction de l'expérience et du travail d'analyse du maître d'œuvre.

## 2. Les plannings en réseaux :

Les plannings en réseaux servent à représenter l'enchaînement des tâches avec leurs liaisons de dépendance (représentation graphique) et les dates limites de début et fin d'opération. Ces méthodes répondent à une approche de planification de type micro-tâche, elles sont donc d'avantage détaillées. Ces plannings permettent de gérer toutes les tâches du projet. Les plannings en réseaux sont complexes à interpréter mais ils permettent de représenter un projet dans sa globalité, en mettant en avant les liens entre tâches.

Il existe plusieurs méthodes de planning en réseaux:

### a. CPM :

Le CPM (Critical Path Method), aussi appelé « Méthode du chemin critique », a été mis au point en 1954 par la société Dupont de Nemours. C'est une technique de planification qui consiste à préparer un réseau d'opérations qui est défini de telle sorte que si l'une d'elles prend du retard, l'ensemble du projet sera retardé. D'ailleurs cette succession de tâches critiques s'appelle : le chemin critique.

Cette technique est souvent utilisée dans la méthode PERT mais sans prendre en compte les différentes subtilités telles que les dates au plus tôt et au plus tard, les marges totales, les marges libres, etc... (cf. Figure 2: Représentation PERT et CPM (en rouge)).

a. PERT :

Le PERT (Program of Evaluation and Review Technique ou Program Evaluation and Review Task) a été implémenté pour la première fois en 1958 par la NAVY. Cette méthode utilise des liaisons directes avec les dates de début, dates de fin, début au plus tôt et au plus tard, fin au plus tôt et au plus tard. Il est représenté graphiquement par un diagramme fléché.

Grâce à cette technique de planification, il est possible de calculer la durée de déroulement de projet la plus courte possible. Les réseaux PERT permettent de mettre en évidence les liens entre les tâches, il est donc plus facile d'analyser tout retard et la possibilité de rattrapage. Cette méthode a pour but de représenter l'imbrication des différentes tâches du projet avec leurs contraintes d'antériorité par un chemin qui va d'une opération à une autre.

La méthode PERT possède ses propres conventions de représentation (Cercle d'étape, durée de l'étape, début au plus tard au plus tôt...). Toutes ces étapes mises bout à bout forment un réseau. Son fonctionnement reste néanmoins relativement simple, les flèches représentent les actions ainsi que leur durée. Les cercles ou « boîtes » permettent de définir suivant la légende : le début ou la fin au plus tôt et au plus tard de la tâche.

Avantages :

- Méthode visuelle.
- Très souvent utilisé de nos jours car synthétise un projet dans sa globalité.

Inconvénients :

- Demande pour sa réalisation une connaissance de la sémantique du PERT.
- Peut être relativement compliqué si l'on utilise des tâches fictives, ce qui devient un outil difficile lire pour les personnes non initiées.
- Système de gestion en flux poussés, qui peut se révéler être dangereux si les marges de sécurité ne sont pas correctement estimées.

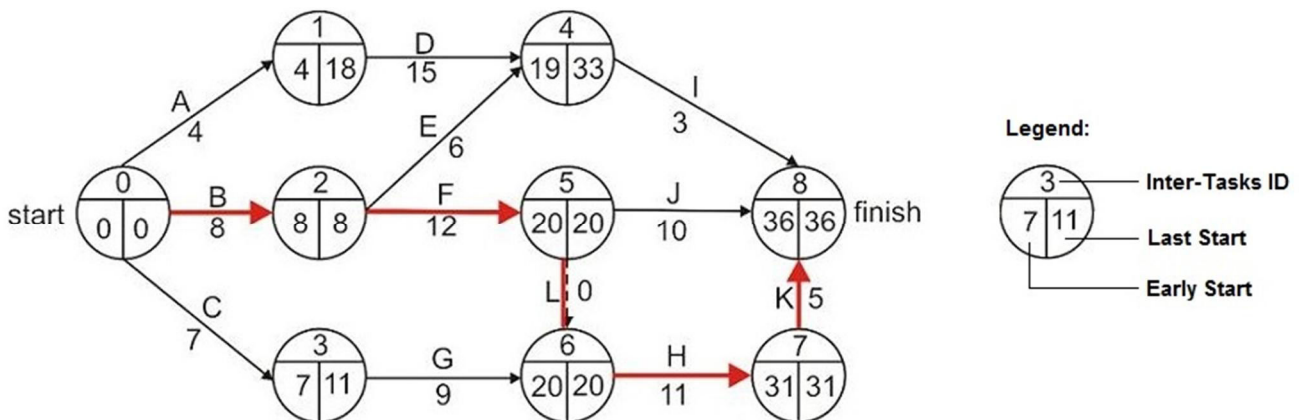


Figure 2: Représentation PERT et CPM (en rouge)

## b. PDM:

La PDM (Precedence Diagram Method) ou méthode des antécédents est basée sur la méthode des potentiels tâches. Elle prend en compte les liaisons « fin-début », les différentes tâches du projet ne peuvent être commencées qu'une fois les activités précédentes terminées. Dans cette logique de réseau, chaque activité est représentée par une boîte contrairement aux réseaux PERT où ce sont les flèches qui représentent des activités. Quant au PDM, les flèches représentent les dépendances entre les activités.

Avantages :

- Comme pour le PERT : visuel, synthétique.
- Plus simple que le PERT.
- Courant car souvent utilisé pour les programmes de gestion de projet.

Inconvénients :

- Les contraintes et antériorités doivent être connues.
- Gestion en flux poussés.

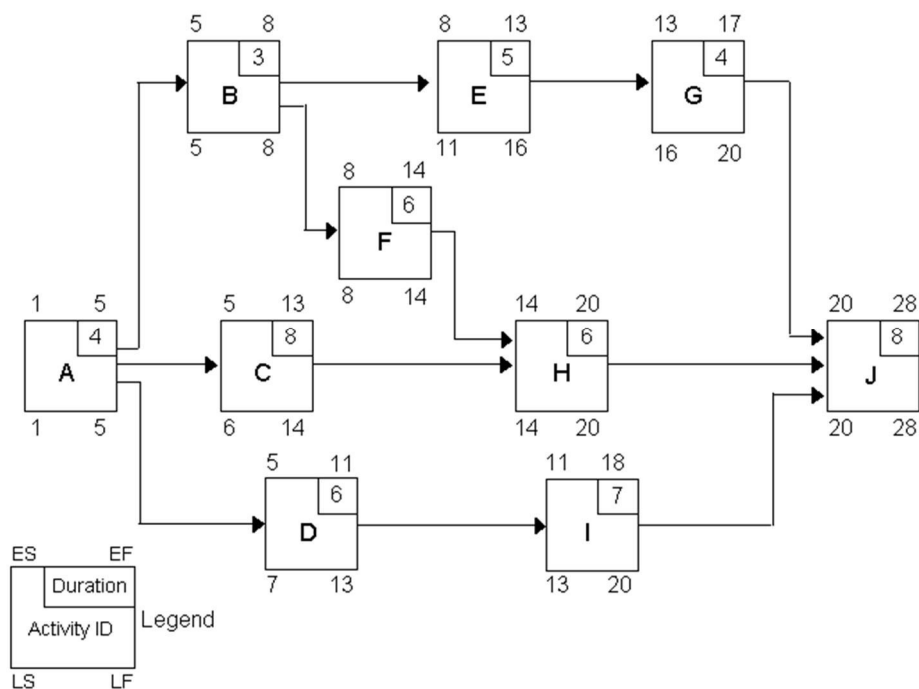


Figure 3: Représentation diagramme PDM

### III. Les outils de gestion :

#### 1. MRP II :

D'abord appelé MRP (Material Requirements Planning), cette méthode, après plusieurs évolutions, a abouti au MRPII (Manufacturing Resource Planning). Elle permet de planifier les ordres de fabrication ou de commande.

MRP 0 :

Planification des besoins en composants à l'aide d'une nomenclature (1965).

MRP I :

Planification des besoins en composants avec prise en compte des capacités (1971).

MRP II :

La dernière méthode apparue en 1979 reprend le MRP1 mais intègre en supplément les données financières permettant de définir des priorités de fabrication.

Un MRP est en réalité un simulateur de fonctionnement d'entreprise, ayant pour objectif de définir les quantités suffisantes de produits à approvisionner et à acheter dans un contexte de Juste à Temps (JIT : Just In Time). Dans son développement, le MRP est passé d'une simple méthode de réapprovisionnement à un système complet, du Plan Industriel jusqu'à l'atelier.

Selon la Figure 4: Architecture d'un MRP, il est possible de décrire le MRP II de la manière suivante :

Le Business Plan, ou plan Stratégique d'entreprise se focalise sur la direction de développement de l'entreprise à long terme (sur un, deux trimestres, voire un an). Il permet de fixer les orientations stratégiques que l'entreprise va suivre telles que : le marché à pénétrer, la technologie à maîtriser...

Le Sales and Opération Plan (Plan Industriel et Commercial : PIC) permet de planifier mois par mois les prévisions de production et de vente ainsi que le niveau de stock par famille de produits. Il définit de ce fait, suivant les indications du Business Plan, le cap de l'entreprise sur du moyen terme.

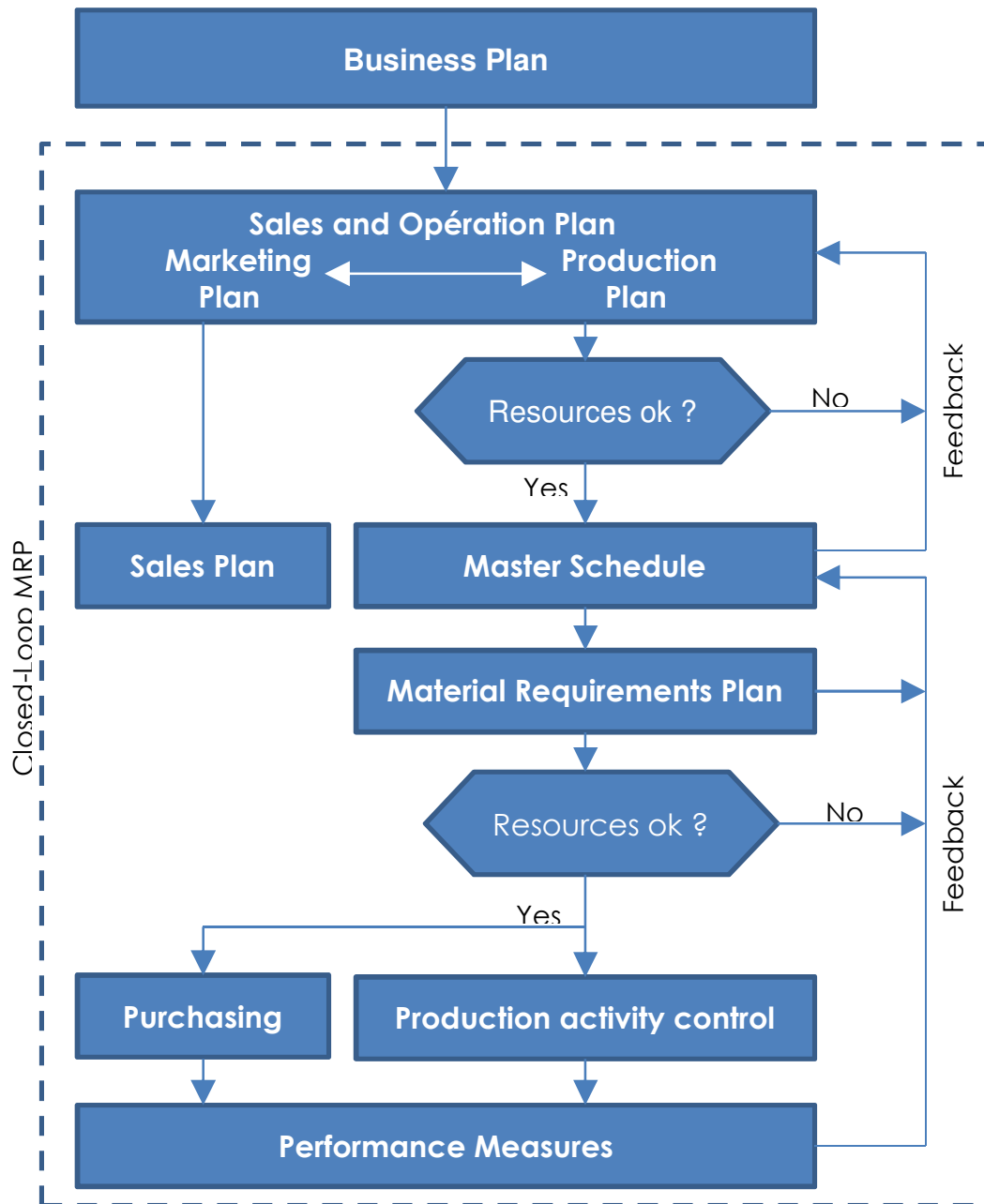


Figure 4: Architecture d'un MRP [2]

Le Master Production Shedule (MPS) est le lien entre le Production Planning et ce qui sera réellement fabriqué. Il est à la base des calculs de capacité de l'entreprise et des calculs des ressources nécessaires. De ce fait il permet de piloter le MRP qui suit. Le MPS a l'avantage de connaître les produits à fabriquer en priorité et pourra les transmettre au MRP.

Le Material Requirement Plan (MRP 0) correspond au premier MRP créé. Il va permettre à partir d'un plan de production des produits finis, des nomenclatures de chaque produit et de leur délai d'obtention, d'effectuer un calcul des besoins en composants, échancé dans le temps. Il va donc éditer un planning de fabrication à court terme et une feuille de besoin. Cette dernière indique le contenu, la quantité de la commande et la date à laquelle il faut la transmettre, afin de pouvoir fabriquer en temps et en nombre le produit fini souhaité.

Le Planning Activity Control est responsable du contrôle des plannings. Il permet de contrôler le flux de travail qui traverse l'entreprise pour chaque pièce ou produit fini. Il ne faut pas oublier que le MRP II est un programme de simulation, capable de calculer une solution optimale suivant les contraintes entrées, pour ensuite proposer à l'opérateur de l'appliquer pour gérer l'usine. De ce fait, il est indispensable de pouvoir mesurer le bon fonctionnement du système.

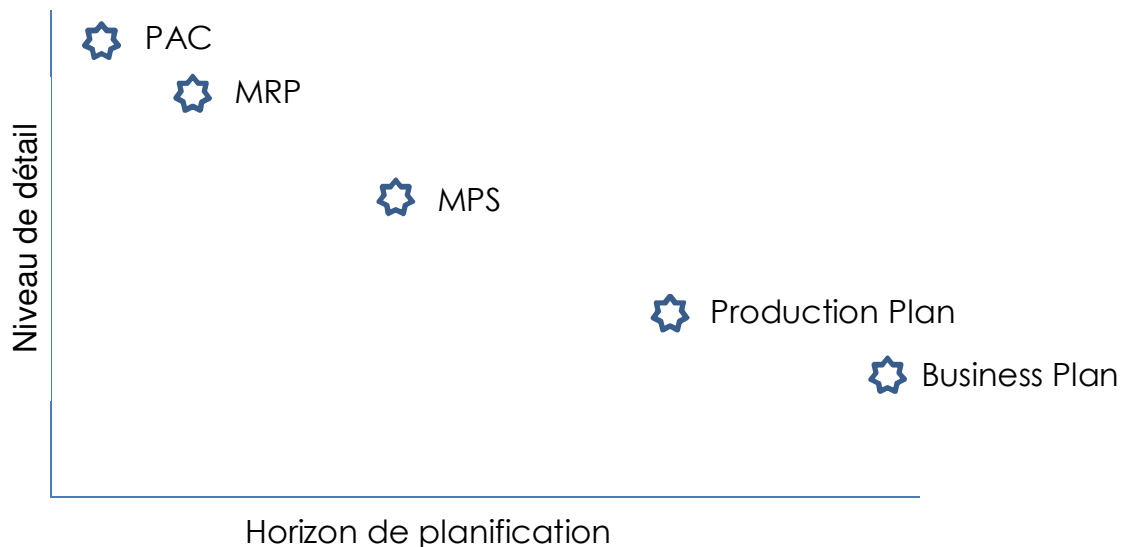


Figure 5: Niveau de détail pour le MRP II selon l'horizon [2]

L'horizon du planning en usine peut se révéler être très court, généralement de un jour à un mois, mais également très long : jusqu'à un an (pour le Business Plan). Le niveau de détail devient élevé dès que l'on parle d'un seul objet, d'un seul poste de travail ou d'une commande. Ce niveau de détail est possible étant donné qu'il s'agit de la production de produits connus, au processus maîtrisé et fabriqués en grande série.

Dans le domaine de la construction, l'utilisation de MRP II serait d'assimiler un chantier à une usine produisant un produit à valeur ajoutée. Cette vision est correcte, mais la mise en pratique peut s'avérer difficile puisqu'un chantier est constamment changeant, de même que les risques. Toutes les données ne sont pas maîtrisables. Le plus grand changement vient du produit en lui-même, en effet traditionnellement une usine achète des produits qui sont transformés et/ou assemblés par machines dans ses locaux. En sortie d'usine, on obtient un produit fini que l'on achemine vers les clients.

Dans notre cas, l'usine se déplace chez le client, les produits achetés sont livrés sur le chantier et sont assemblés entre eux pour créer un seul produit fixe, lourd et définitif. De plus le produit final se trouve dans un environnement non maîtrisable (Condition météorologiques, humidité, gèle...), ce qui a pour effet d'ajouter de la variabilité au processus en comparaison de celui de la production manufacturière en usine.

Pour accentuer l'effet de variabilité, chaque tâche effectuée sur un chantier peut être assimilée à un poste en usine. Néanmoins, dans une usine, tous les postes ont un même objectif : produire vite (pour ne pas affecter la chaîne de flux) et bien (pour éviter les pertes de non qualité) le tout pour que l'entreprise respecte ses contacts et

soit prospère. Sur chantier, l'objectif est différent, il faut produire vite (pour commencer rapidement un autre chantier) et bien (juste assez pour l'action réalisée réponde à sa fonction). La motivation est la même, mais l'interprétation différente. Sur chantier, chaque tâche est réalisée par UNE entreprise différente (plombier, maçon, charpentier,...etc.) ce qui divise encore l'intérêt quant à la (bonne) réalisation d'une tâche. Sur chantier, la collaboration entre entreprises n'est pas innée, seuls les intérêts et les gains réalisables pour chaque entreprise sont importants. La collaboration existe tout de même lorsque les entreprises sont locales ou/et ont l'habitude de cohabiter sur les chantiers, mais il s'agit principalement d'entraide ou de prêt de matériel, il n'y a pas de collaboration au sens Lean du terme (cf. La philosophie du Lean).

L'utilisation du MRP II implique souvent pour les grosses entreprises l'utilisation d'un ERP (Enterprise Resource Planning) ou PGI (Progiciel de Gestion Intégré). Pour simplifier, il s'agit en réalité d'une interface graphique servant à la communication homme/MRP. Dans le domaine de la construction, il existe des programmes ayant la même fonction: visualiser « l'usine » (le chantier) dans sa totalité : on parle alors de BIM (Building Information Modeling). Outil indispensable au regroupement des données et informations entre les différents acteurs de la construction, le BIM n'est actuellement qu'en phase de développement en France, mais a largement fait ses preuves dans le reste du monde, notamment en Amérique du Nord, Suède, Chine... (CF Projet PJT6 2015 Bernard BARBARA). De la même manière qu'un ERP, le BIM va permettre aux différents acteurs d'un chantier de visualiser a priori l'ensemble du chantier grâce à la maquette numérique qui est un travail de centralisation des connaissances de chaque acteur. Elle permet de visualiser informatiquement et en 3D le projet entier. Durant l'élaboration de la maquette, les différents corps de métiers modélisent les éléments et structures qu'ils vont assembler ou fabriquer. Il est donc possible par cette méthode d'appréhender les éventuels défauts, de les traiter, et les corriger durant la conception, au lieu de le faire sur chantier pendant la construction (ce qui a un coût plus élevé pour entreprise).

#### Avantages :

- Permet de gérer des milliers « d'articles » en même temps dans le milieu manufacturier.
- Gere automatiquement les OF (Ordre de Fabrication) et OP (Ordre de Production) suivant des commandes et attentes clients.
- Possibilité de travailler en flux tiré et en JIT, cela permet de générer d'avantage de gains (stock, gestion...) et de répondre aux attentes clients.

#### Inconvénients :

- Long et contraignant à la mise en place.
- Demande une formation des utilisateurs.
- Non adapté à une « usine » dynamique qui change souvent dans le temps (de produit et de forme).
- Investissement lourd.



## DU LEAN AU LPS

Cette partie a pour but de présenter les origines et les idées apportées par la méthode LPS. S'il est indéniable que le LPS représente le lien entre les entreprises de construction et la philosophie du Lean, il est en revanche plus difficile d'être certain des idées et de ce qu'implique le Lean.

Cette partie se compose de trois sous-parties, une première présentant le Lean qui permet de positionner les bases de la méthode, de manière à permettre au lecteur de comprendre les enjeux réels. Une seconde sous-partie présente l'outil Last Planner System en particulier puisque devenu incontournable pour le management des chantiers Lean Construction. Pour finir, la troisième sous-partie développe les moyens de contrôle et de vérification de la méthode

### I. La philosophie du Lean

La partie suivante a pour vocation d'établir les connaissances fondamentales à la compréhension du Lean Construction et en particulier du Last Planner System.

#### 1. Définition du Lean Management [3] :

Lean signifie en anglais « sans gras / maigre », ce qui est interprété en français comme « sans gaspillage ». Le Lean Management est donc l'art de produire et gérer la production sans gaspillage.

Le Lean est en réalité l'adaptation occidentale du Toyota Production Système (TPS) élaboré au sein de l'entreprise Toyota Motors Corporation au Japon à la reconstruction en 1945. Le TPS est le résultat d'une succession d'améliorations et d'innovations basées sur le Just In Time (JIT, Juste à temps) et un haut niveau d'implication des employés. Ces évolutions conduites par Shingo et Ohno ont fait l'objet de nombreux écrits dans la communauté scientifique mondiale du fait de leur impressionnante capacité de production et de respect de la qualité. Ce système novateur a permis à Toyota de détrôner en seulement 15 ans le géant automobile American : Général Motors.

Le terme « Lean » apparaît en 1980, et est attribué au MIT (Massachusetts Institute of Technology) qui a traduit le TPS par « Lean ».

Le Just In Time (JIT) en anglais est un principe de gestion d'amélioration d'entreprise ayant pour but, comme son nom l'indique, de fabriquer/approvisionner des produits juste à temps. C'est-à-dire ni trop tôt, ni trop tard. Il faut donc obtenir à temps le produit voulu, au moment voulu, dans la quantité et la qualité voulues. Le JIT, dans l'entreprise de production, a pour effet de réduire les coûts de stock et de management.

Pour mener à bien le concept du JIT, il existe différents outils, le Kanban est l'un de ces outils et le plus utilisé. « Kanban » qui signifie « étiquette » en japonais est un outil de gestion et de management de la production. Comme tout système industriel, on peut considérer l'entreprise comme une succession de postes de travail qui s'enchaînent de façon à élaborer progressivement un produit.

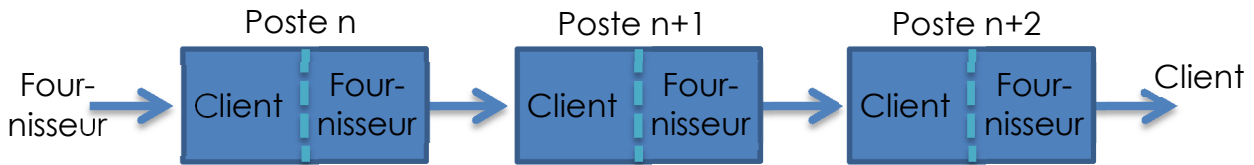


Figure 6 : Postes de travail en ligne.

Chaque poste fabrique un composant, ou une partie du produit, qui sera à son tour utilisé par le poste suivant. Chaque poste joue donc simultanément le rôle de fournisseur pour le(s) poste(s) suivant(s) et un rôle de client pour le(s) poste(s) précédent(s). La particularité de la méthode Kanban réside dans la relation client / fournisseur : le client passe commande à un fournisseur par l'intermédiaire de bons (ou étiquettes) de commande (BC). Dans notre exemple, un bon de commande correspond à un produit. Le fournisseur analyse le bon, fabrique le produit et livre le client, l'envoi est accompagné d'un Bon de Livraison (BL). Le client valide la réception et transforme le BL en BC qu'il utilisera pour passer sa prochaine commande et ainsi de suite.

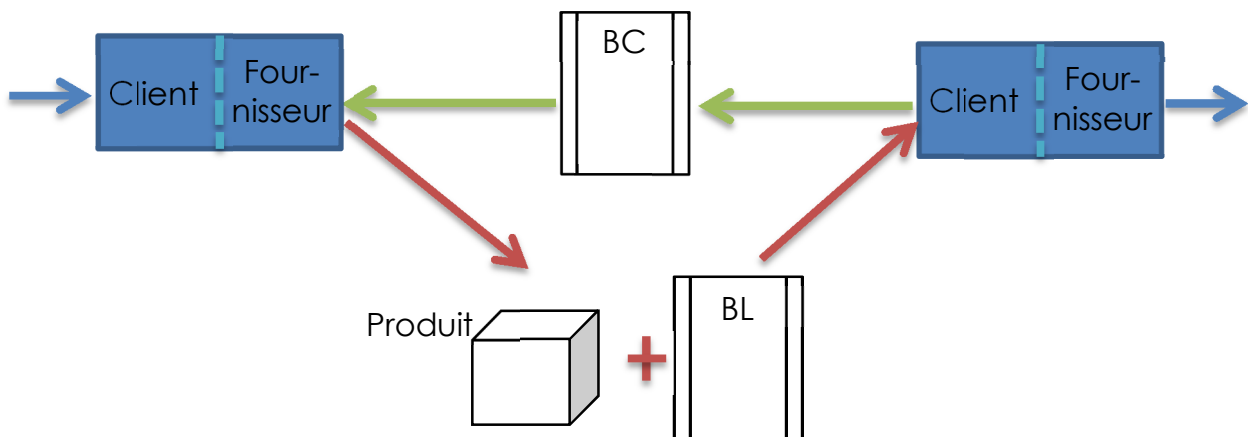


Figure 7: Relation client / fournisseur Kanban.

En résumé, dès que le fournisseur reçoit une étiquette il fabrique pour le client qui se trouve sur le poste suivant. Il s'agit donc d'une méthode à flux tiré, le client final en bout de circuit étant celui qui achète la marchandise, son action de commander va entraîner des échanges de bons des postes les plus en amont vers ceux en fin de production.

Le principe du JIT est un des piliers de la philosophie Lean. Le lean n'a aucun intérêt si le délai n'est pas respecté pour le client. Or le JIT permet de réaliser des économies considérables en ce qui concerne les stocks de produits finis. Cela présente un réel avantage économique pour l'entreprise qui fabrique quand il faut à la quantité souhaitée. De plus, les outils du JIT comme le kanban, takt time...etc, permettent un gain de production et de management. Le JIT de par ses avantages est un principe qui permet d'assurer à l'entreprise des gains et une haute satisfaction client, ce qui correspond parfaitement à la philosophie du Lean.

Le lean englobe en réalité plusieurs idées et méthodes complémentaires, qui permettent la mise en place d'un système complet et indépendant. Le lean est en fait une manière de penser les choses, une philosophie de gestion et de planification de production. Il existe à l'intérieur de cette méthode deux niveaux : Stratégique et Opérationnel.

- Le niveau Stratégique va permettre de penser le Lean, c'est ce qui se fait en amont. On définit ici les marches à suivre, l'organisation physique de l'entreprise, les analyses des indicateurs, les possibilités d'amélioration (PDCA)...etc.
- Le niveau Opérationnel quant à lui comprend les outils dont on dispose pour pouvoir mesurer ces fameux indicateurs de production et suivre le bon fonctionnement du Lean dans l'entreprise.

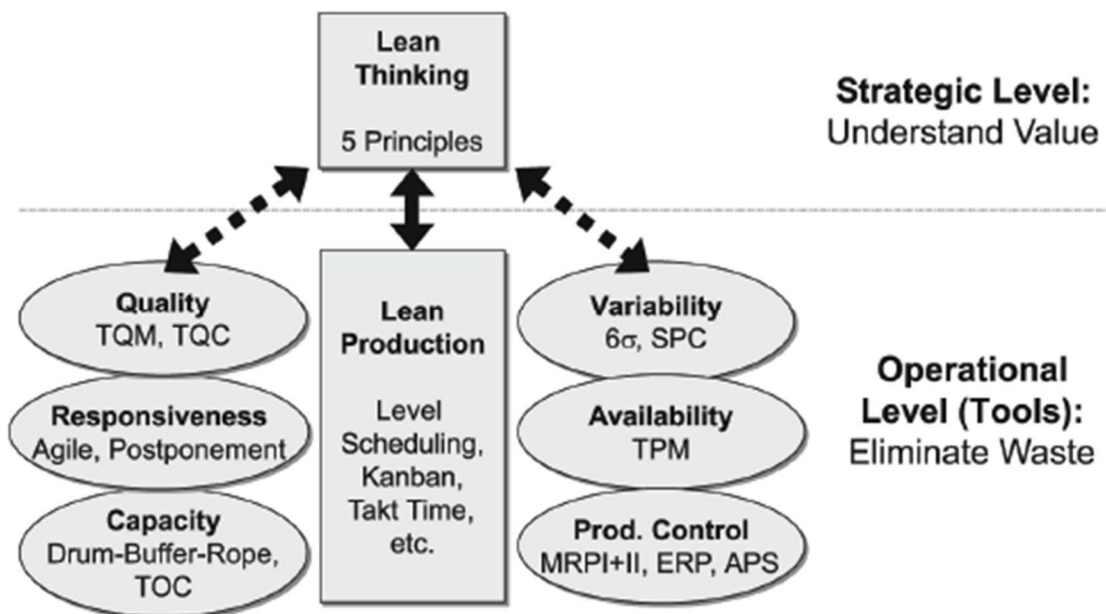


Figure 8: Niveaux stratégiques et outils industriels du Lean

Après de nombreuses analyses du système japonais, il en ressort que le lean de manière générale répond à certains principes décrits par JP. Womack [4] qui sont au nombre de 5 :

- Créer de la Valeur, ce qui inclut d'identifier les postes à Valeur Ajoutée (VA) qui vont être primordiaux, les autres devront être minimisés voire supprimés.
- Connaître sa chaîne de valeur pour mettre en évidence les gaspillages et les éliminer.
- Créer un flux pour réduire la taille des lots et des encours : des tailles de lots plus petits permettront une meilleure circulation du flux dans l'entreprise.
- Travailler en flux tiré, produire seulement ce que le client demande.
- Rechercher perpétuellement la perfection (PDCA). La notion de valeur reste la plus importante dans le Lean, car il permet en finalité de connaître les coûts et/ou les gains engendrés par les actions réalisées.

Quel que soit son domaine d'application le Lean est un principe de gestion des flux basé sur la maximisation de la valeur client tout en minimisant le gaspillage. Il

s'agit donc, par le biais d'un processus de fabrication et de création avec zéro gaspillage, de fournir au client un produit ayant toutes les qualités requises par ce dernier.

Le lean est avant tout une philosophie de gestion des flux, il peut être adapté à la taille de l'entreprise et des projets, mais également aux moyens et méthodes qui y sont mis en œuvre. Un artisan seul peut s'il le souhaite utiliser des outils lean comme une grande entreprise multinationale, en adaptant ses moyens, besoins et ressources.

### 2. Les gaspillages :

Le Lean doit mettre à contribution tous les acteurs pour éliminer les gaspillages qui réduisent l'efficacité et la performance d'une entreprise ou d'une unité de production :

Pour cela, il faut éliminer les opérations qui n'apportent pas de valeur aux yeux du client.

7 formes de gaspillages ont été identifiées :

- Le transport:

Dû à des tailles de lots trop grands, à des déchargements et chargements répétés, à une mauvaise organisation de l'entreprise...

- Le stockage :

Principalement du stockage de matière première ou produit fini coûteux, présence de nombreux stocks de sécurité, stock de surproduction...

- Les mouvements inutiles :

Généralement opérés par les travailleurs sur le poste de travail, correspondent à un déplacement répétitif pour prendre des pièces, un déballage de pièce...

- L'attente :

Il peut être lié à une mauvaise synchronisation ou préparation des pièces, à des pannes...

- La surproduction :

Produit par un sureffectif, une sur capacité de production, ou une mauvaise gestion des commandes (flux tiré).

- Le traitement et le suivi de processus devenus obsolètes :

Ce qui peut entraîner généralement des défauts ou des mises au rebut.

- La fabrication :

La complexité d'un processus peut entraîner des pertes de temps au niveau de la préparation, du changement d'outil...

A partir de là, suivant le projet, il est possible de définir d'autres gaspillages relatifs au projet en question. Il est relativement courant de trouver 7+1 ou 7+2 gaspillages. On peut retrouver en complément : la débrouille, potentiel humain non utilisé, les temps de latences...etc

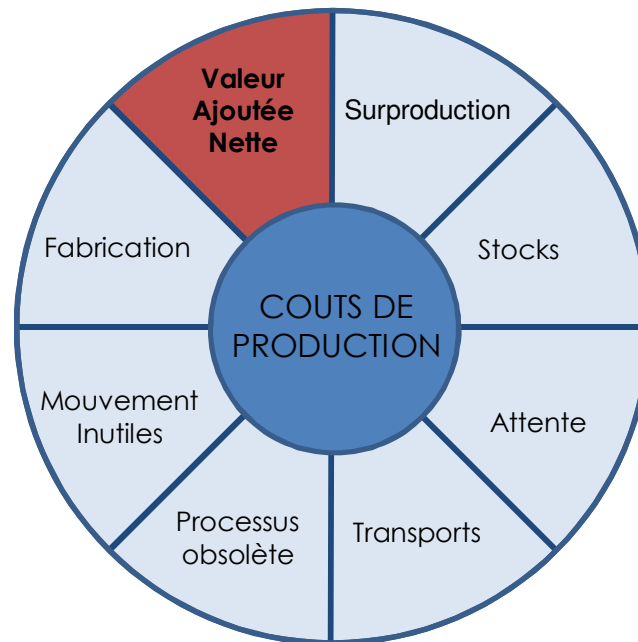


Figure 9: Répartition des coûts d'un produit [1]

Comme présenté sur la Figure 9: Répartition des coûts d'un produit, les coûts de fabrications d'un produits se composent principalement des coûts de production (salaire, locaux, machine, matière), des pertes liées aux gaspillages ainsi que des coûts de VA nette (finalité recherchée par le client dans le produit). On remarque que les gaspillages coûtent à la fabrication du produit autant voire plus que les coûts de production et de VA nette combinés. Il est donc possible de réduire d'une part le coût final du produit mais aussi les temps de fabrication la diminution voire l'élimination des gaspillages. Selon la politique adoptée par l'entreprise cela aurait pour effet soit d'avoir une marge plus importante, soit diminuer le prix du produit pour mieux se placer sur le marché face à la concurrence.

Pour obtenir des résultats stables et durables, le Lean s'appuie sur forte implication de tout le personnel et une amélioration continue appelée Kaizen ou méthode « pas à pas ». Pour le mettre en œuvre on utilise généralement l'application du PDCA, outil indispensable à l'amélioration continue. Le PDCA est l'acronyme anglais de :

- Plan : phase de préparation de l'objectif et des indicateurs mesurables de progrès.
- Do : phase de déroulement du plan d'action défini précédemment.
- Check : phase de contrôle de la réalisation et des effets. C'est également la phase de détection des écarts éventuels par rapport aux objectifs définis.
- Act : phase de mise à jour du standard si le résultat est atteint et de définition de nouveaux objectifs. Sinon c'est la phase de recherche des causes racines et de définition d'un nouveau plan d'action correctif.

Grace à la roue de Deming qui met visuellement en pratique le PDCA, on obtient un système d'amélioration continue, une remise en question perpétuelle de méthodes, moyennes et indicatrices utilisés qui permettent de tendre vers une production « parfaite ». L'expérience et la connaissance permettent de prendre les décisions permettant une avancée, une amélioration du système.

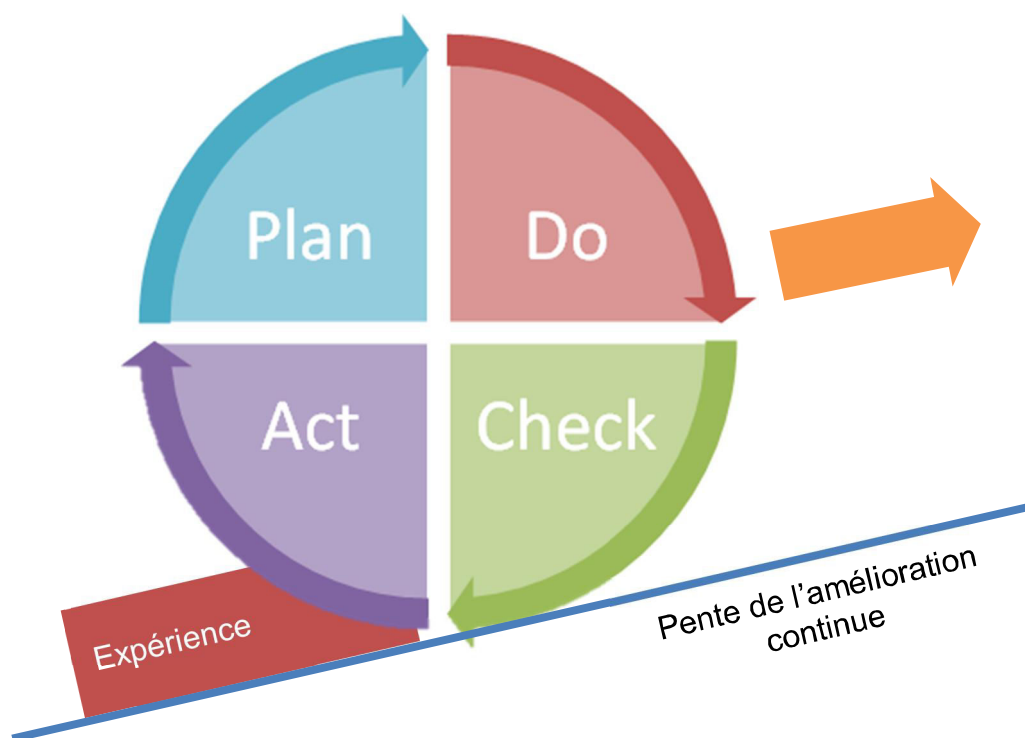


Figure 10: Roue de Deming

### 3. Du Lean au Lean Construction

#### b. Historique :

La philosophie du Lean a petit à petit « dérivé » vers des applications industrielles autres que celles du secteur automobile. En effet, le concept a par exemple été appliqué aux établissements de santé, au secteur public ou autres entreprises de services...

Aux Etats Unis dans les années 1990, L. Koskela cherche à montrer les parallèles possibles entre le secteur manufacturier, où le Lean est déjà bien implanté, et le secteur de la construction. Son étude l'amène à conclure que la méthode la plus efficace pour le domaine constructif doit être basée sur la philosophie du JIT (Just In Time). Il analyse également les actions à non-valeur ajoutée sur un chantier et les attribue à l'ignorance, à la conception du chantier ou à sa nature [5].

En 1992, G. Ballard met au point un nouvel outil, le LPS (Last Planner System) qui a pour effet de transférer une partie du pouvoir de planification aux chefs de chantier pour qu'ils gèrent au mieux les ressources disponibles dans les prévisions hebdomadaires.

En 1993, la collaboration de L. Koskela et de G. Ballard aboutit à la première conférence autour du Lean Construction à Helsinki. C'est lors de cette première conférence que le terme « Lean Construction » a été reconnu par l'ensemble de la communauté scientifique.

En 1997 G. Ballard et G. Howell ont fondé le Lean Construction Institute (LCI). Cet institut a pour vocation de promouvoir le Lean Construction et aider les entreprises désireuses d'adopter cette méthode. Devant une demande grandissant, l'institut s'est vu rapidement contraint de déployer de nombreuses antennes nationales à travers le monde.

Le Lean est reconnu mondialement comme étant un moyen d'accroître la productivité des projets dans les secteurs de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Pour preuve, dès 1998, le rapport d'EGAN « Rethinking Construction » au Royaume-Unis fait état des techniques nouvelles pouvant permettre une amélioration de la production dans la construction. S'appuyant principalement sur les méthodes utilisées en milieu manufacturier, le Lean fait partie des pistes d'amélioration citées dans ce rapport.

Le Lean Consulting, c'est-à-dire l'art d'implémenter des systèmes Lean par le biais d'entreprises de consulting, amène de son côté, après adaptation au domaine constructif, 5 grandes idées qui se révèlent être relativement efficace pour les projets de grande ampleur [6] :

- La collaboration est primordiale :

Il faut tirer le meilleur parti de chacun, une connaissance des individus permet une collaboration étroite, des prises de décision rapides, des compromis... Un haut niveau de collaboration maximise les chances de réussite du chantier.

- Augmenter les relations entre tous les participants du projet :  
Les personnes travaillant sur un projet doivent se connaître. L'ouverture d'esprit, le développement de relations professionnelles humaines et respectueuses contribuent à établir la confiance : fondations nécessaires pour l'efficacité d'un projet.
- Les projets sont des réseaux d'engagements :  
Notion la plus importante, chaque personne peut et doit exprimer sa créativité et sa fiabilité par le biais de l'innovation et le respect de ses engagements.
- Optimiser le projet dans sa globalité, sans morceler :  
Dans un schéma lean, dès le départ un projet doit être pensé dans sa totalité. Les intérêts personnels doivent être mis de côté et les gains vus sur le moyen terme.
- Coupler l'action avec l'apprentissage :  
Lorsque les systèmes sont en place, la continuité d'amélioration doit être possible grâce à la prise de mesures systématiques et régulières.

Les performances évidentes du Lean Construction ont créé un intérêt certain pour cette méthode de la part des grandes entreprises nationales et internationales. En effet, le Lean Construction seul est avantageux, mais peut être complété par d'autres outils qui eux permettent l'application des idées du lean à un réseau complet d'entreprises et non pas à une seule (cf. Le BIM dans le Lean Construction. PFE B. Barbara (Enstib 2015)). Du fait de leur développement récent, ces outils restent onéreux et ne peuvent être acquis par toutes les entreprises.

Néanmoins, pour démontrer les possibilités d'organisation et d'adaptation de la philosophie Lean Construction, de nombreuses recherches et discussions ont permis l'application du Lean Construction et du LPS sur différents projets à travers le monde. Ainsi, on trouve différents articles scientifiques qui appliquent ces méthodes comme au Nigéria selon Adamu et Hamid [7], en Egypte de Issa [8], en Equateur de Fiallo et Revelo [9], au Chili de Alrcón [10], ou en Malaisie de Marhani [11].

De cette manière, grâce à ces écrits qui font état des méthodes, moyens et problèmes rencontrés, la communauté scientifique peut s'appuyer sur ces exemples pour développer la méthode, voire permettre l'implémentation en entreprise.

### c. Définition du Lean Construction.

Au sein du Lean management, on distingue par une appellation différente les divers domaines d'application de la méthode Lean. De manière générale, le Lean Management concerne tous les domaines de l'entreprise (productifs et non productifs). À ce titre, le Lean Management se décline en Lean Manufacturing (optimisation des secteurs productifs en industrie), le Lean Development (Optimisation du développement des nouveaux produits), et le Lean Administration (Optimisation des autres secteurs non productifs), Ce n'est que récemment que l'on entend parler en France de Lean Construction (Optimisation des chantiers de construction). Quant au Lean Consulting il s'agit d'un domaine à part puisqu'il permet l'implantation des idées du Lean quel que soit le secteur visé (après adaptation au domaine).



Le lean construction ne possède pas de définition propre inscrite dans la littérature étant donné que le processus est récent et évolue continuellement parallèlement aux recherches (principalement doctorales : [12], [13]) réalisées sur le sujet. Il est donc nécessaire de citer plusieurs sources pour avoir un aperçu global de la chose :

Le LCI définit le lean construction comme :

*« Une nouvelle manière d'organiser la gestion des projets de construction ».*

Selon le CII (Construction Industry Institute), le lean construction est :

*« Un processus d'élimination des gaspillages, atteignant ou dépassant tous les besoins du client, se focalisant sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur et cherchant la perfection dans l'exécution d'un projet de construction ».*

Lauri Koskela [14] décrit le lean construction comme :

*« Une façon de concevoir le système de production pour minimiser les gaspillages de matériel, de temps et d'efforts, afin de générer le maximum de valeur possible ».*

La définition la plus générale mais également la plus complète au niveau idéologique est celle écrite par Patrick Dupin (doctorant à Nottingham Trent University) qui le définit comme [6]:

*« Une **philosophie** visant à la **création de valeurs** pour le client par **l'élimination des gaspillages**, soutenue par des **outils collaboratifs** de gestions de projet, s'inscrivant dans le cadre d'une **démarche systématique et rigoureuse d'amélioration continue** ».*

## II. Le LPS

Le Last Planner System est l'outil qui fait le lien entre la philosophie du Lean management et l'industrie de la construction.

### 1. Principe théorique : Transformation Flow-Value (TFV).

Koskela a donc été le premier à conceptualiser l'idée du Lean, à le développer et à tester un système de production en JIT utilisable dans le domaine de la construction [5]. Il a argumenté ces recherches de manière à prouver l'existence de deux types d'activités différentes liées à la construction/production : la transformation et les flux.

Bien que toutes les activités coûtent et consomment du temps, seules les activités de transformation ajoutent de la valeur à la matière pour concevoir un produit. Ainsi, les activités de flux doivent être améliorées pour réduire voire éliminer les flux, alors que celles qui concernent les activités de transformation doivent être renforcées pour les rendre plus efficaces. Il est donc important de prendre en considération ces deux principes et de les exécuter dans un même temps.

Or, selon L. Koskela, le système de management actuel de la construction ne prend en considération que les activités de transformations. Ce type de gestion a conduit à la création de flux qui n'ont pas été contrôlés ou améliorés de façon ordonnée. Cette méthode a conduit à des processus complexes, incertains, confus et au développement d'activités à non-valeur ajoutées.

Pour pallier aux différents problèmes rencontrés dans la construction, L. Koskela développe une nouvelle méthode de production couvrant toutes les fonctions importantes qui faisaient défaut dans le système traditionnel. La méthode qu'il a mise au point s'appelle de Transformation Flow-Value (TFV).

Il convient néanmoins de présenter le développement suivi [5]:

*« La production est un flux de matériau et/ou d'informations qui part de la matière première jusqu'au produit final. Dans ce flux, le matériau est traité (après transformation), il est inspecté, il est mis en attente ou bien déplacé. Ces activités sont intrinsèquement différentes. Le traitement représente la transformation. L'inspection, le déplacement et l'attente sont considérés comme l'écoulement du flux dans la production. Le processus d'écoulement est caractérisé par le temps, le coût et la valeur. La valeur se réfère à l'accomplissement des exigences du client. Dans la plupart des cas, seules les activités de traitement sont des activités à valeur ajoutée. Pour les flux de matières, les activités de transformation sont des altérations de forme ou de fond, de montage ou de démontage. »*

Selon la méthode du TFV, il est proposé de gérer les trois éléments que sont La transformation, le flux et la valeur de manière simultanée. Koskela propose dans un tableau récapitulatif la vision de chacun des éléments par rapport aux autres :

	<b>Point de vue de la transformation</b>	<b>Point de vue du flux</b>	<b>Point de vue de la génération de valeur</b>
<b>Visualisation de la production :</b>	<i>Comme une transformation de produits entrants en produits sortants.</i>	<i>Comme un flux de matériaux composé de transformation, inspection, déplacement et attente.</i>	<i>Comme un processus où la valeur pour le client est créée par l'accomplissement de ses exigences.</i>
<b>But :</b>	<i>Faire que la production soit organisée de manière à être efficace.</i>	<i>Eliminer les gaspillages. (Activités à non-valeur ajoutées).</i>	<i>Eliminer la perte de valeur (Valeur obtenue par rapport à la meilleure valeur possible).</i>
<b>Méthodes et applications :</b>	<i>Work Breakdown Structure, MRP, tableau organisationnel.</i>	<i>Flux continu, amélioration continue, production tirée.</i>	<i>Quality Function Deployment (QFD), la maison de la qualité.</i>
<b>Contribution pratique :</b>	<i>Pendre connaissance de ce qui doit être fait.</i>	<i>Minimiser les actions inutiles (gaspillages).</i>	<i>Prendre soin des exigences client et faire en sorte de les remplir de la meilleure manière.</i>
<b>Suggestion d'appellation des applications de chaque point de vue :</b>	<i>Task Management</i>	<i>Flow Management</i>	<i>Value Management</i>

Tableau 1: intégration du TFV, point de vue de production.

Les travaux de L. Koskela ont fortement contribué au développement de la philosophie du Lean Construction. Ses propositions ont été vérifiées et adoptées par la communauté scientifique. Sur la base de ces recherches, Howell et Ballard ont observé que sur une semaine, seule la moitié des tâches planifiées était réalisée.

Howell et Ballard, après de nombreuses recherches et de travaux expérimentaux, présentent à Koskela en 1992 une nouvelle approche de contrôle de production en construction basée sur les propositions théoriques de ce dernier. Ce nouvel outil appelé Lasr Planner System (LPS) se révèle être l'outil manquant permettant le contrôle d'un chantier selon la théorie du TFV.

## 2. Gestion de chantier en flux poussé :

Selon Howel et Ballard, les fonctions principales des systèmes de gestions de la production sont : la planification et le contrôle.

- La planification établit les objectifs et permet un séquençage des évènements pour atteindre l'objectif.
- Le contrôle permet de provoquer les évènements de manière à répondre au séquençage établi.

Le problème de ce couplage planification/contrôle réside dans l'implication de la planification dans le contrôle. En effet, lorsqu'une séquence ou une tâche est retardée, supprimée ou déplacée, il faut alors recommencer la planification puisque les événements ne correspondent plus aux plans initialement établis. Ballard et Howell, ont fait valoir que dans un environnement dynamique tel qu'un chantier, les systèmes de planification traditionnels sont très peu représentatifs du comportement réel d'un chantier (cf. Figure 11: Système de planning traditionnel (à flux poussé) ). De ce fait, une planification fiable ne peut être établie en détail longtemps à l'avance. Par conséquent, décider de comment doit être fait le travail ou de la quantité de travail à fournir sur la tâche suivante dépend rarement de la planification établie.

Le système du planning utilisé traditionnellement (cf. Figure 11: Système de planning traditionnel (à flux poussé) ) en construction a un effet épouvantail : au début tous les acteurs d'un chantier vont tâcher de respecter les délais imposés. Mais rapidement plus personne n'y prête attention, les délais ne sont plus respectés (malgré les pénalités) et/ou les opérations sur chantier sont réalisées de manière hâtive pour limiter les frais engagés et les amendes possibles sur les réceptions de chantier.

Comme expliqué ci-dessus, le flux peut être interrompu ou ralenti. Comme énoncé dans les principes de Koskela avec le TFV, le fait de se concentrer uniquement sur la transformation (les tâches à accomplir) a pour effet de négliger la gestion des flux et de ce fait engendre la perte de contrôle du projet de construction.

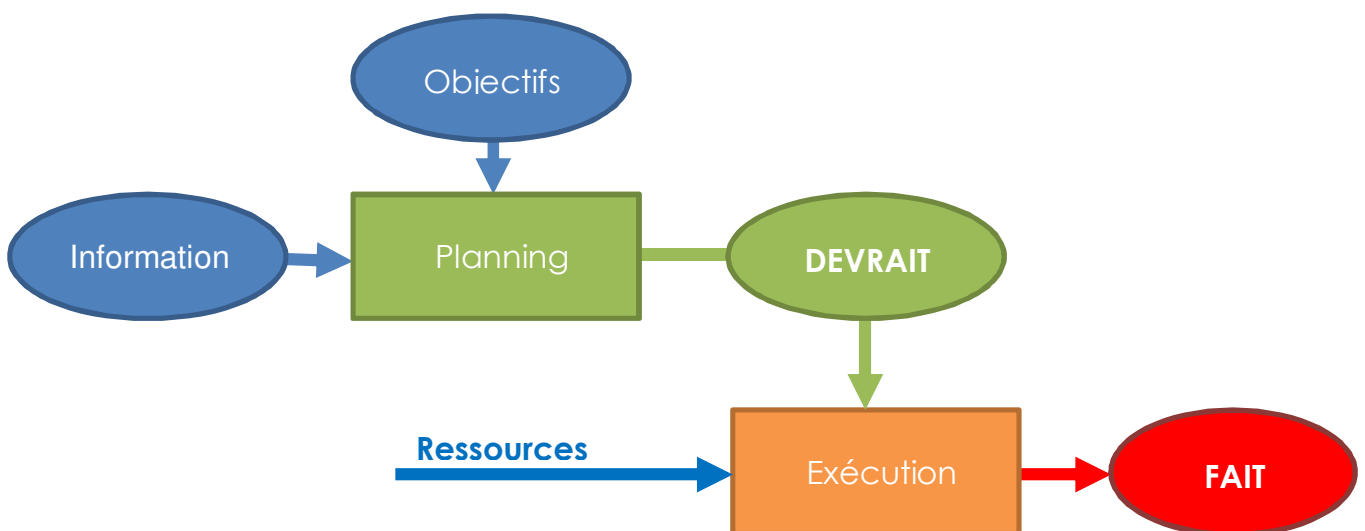


Figure 11: Système de planning traditionnel (à flux poussé) [12]

La figure précédente permet de visualiser le système actuel de production sur chantier. Suivant les informations connues (terrain, date de réception, prix...) et les objectifs définis par le client (cahier des charges, code d'urbanisme, réglementation technique...), un planning de chantier est établi par le maître d'œuvre, il définit les enchaînements internes à chaque lot, la durée des tâches et indique les liens prédécesseur/successeur. Ce document se présente sous la forme d'un Gant. Les entreprises sont ensuite convoquées les unes après les autres pour signer le document, ce qui les engage dans les prestations et les délais. Lors de ce rendez-vous, les pénalités pour le non-respect des délais sont rappelées et les dates d'exécutions passées en revue.

C'est ainsi, armées d'un planning non représentatif de la réalité d'un chantier que les entreprises contractuelles travaillent de nos jours. Il est très rare en fin de chantier d'observer que tout le planning s'est déroulé exactement comme prévu et que le produit fini corresponde à 100% aux attentes clients. Avec cette méthode, nous observerons obligatoirement une différence entre ce qui était prévu et ce qui sera fait.

Il faut donc se poser la question : comment la planification et le contrôle peuvent-ils être réalisés correctement alors que nous nous trouvons dans un environnement dynamique avec des processus de production variables et influençables ?

### 3. Application du LPS :

C'est à cette question que Ballard et Howell ont essayé de répondre. Ils proposent en finalité le Last Planner System (LPS) qui est à la fois un planning et un outil de contrôle, permettant de corriger les lacunes de la planification traditionnelle dans le milieu de la construction. Le LPS s'applique en 4 phases distinctes :

#### a. Phase 1 : Master Schedule.

La première étape du LPS réside en la réalisation d'un planning général (Master Schedule). Proche des plannings traditionnels élaborés en Gantt, le Master Schedule planifie seulement les lots génériques (pas de macro-lot ou sous-lots), les données d'entrée demeurant volontairement grossières. Le but est de visualiser les grands ensembles, les principaux acteurs et de placer le chantier dans le temps (donner un début et une fin) pour amorcer le système.

Le Master Schedule peut prendre l'aspect d'un Gantt, il est réalisé par l'équipe encadrante du chantier, chacun pouvant intervenir et apporter ses connaissances, estimations et ressentis sur les activités planifiées pour rendre le document le plus pertinent possible.

#### b. Phase 2 : Phase Scheduling.

Cette partie peut être réalisée dès les premiers travaux commencés, s'agissant généralement du coulage des fondations et dalles qui nécessitent un temps de séchage long avant d'en permettre l'utilisation. Le but est de réaliser un planning de manière collaborative. Les idées du Lean Consulting prennent ici tous leur sens puisque la communication est à ce point primordiale (cf. Du Lean au Lean

Construction). Idéalement, lors de l'élaboration du planning toutes les parties prenantes devraient être représentées (entreprises, architecte, maître d'ouvrage, bureau d'étude...). Il est préférable pour les entreprises qu'elles soient représentées par la ou les personnes les plus proches du chantier (responsables, conducteur de travaux...), si les personnes directement impliquées durant le chantier peuvent être présentes, cela permettra une meilleure vision pour l'entreprise et au finale une meilleure justesse des prévisions.

P. Dupin propose pour cette partie d'utiliser des post-it de différentes couleurs pour simplifier le processus et établir visuellement le planning. En effet, c'est en présence de tous les membres, que l'on attribue à chaque représentant une couleur et les post-it correspondants. Il est alors demandé à chaque personnes d'indiquer sur son post-it et pour chaque tâche fondamentale de son lot : le nom, les contraintes d'exécution (temps de séchage...) et contrainte d'antériorités (travaux pré-requis).

Un post-it correspond à une semaine (suivant le détail souhaité), donc si une entreprise prévoit de réaliser une tâche sur 3 semaines, elle devra préparer 3 post-it. Pendant ce temps, l'animateur LPS doit réaliser un tableau avec en abscisse l'axe du temps échelonné par semaine (ou autre) de x à 0 et en ordonné les différents lots. La semaine 1 étant la dernière semaine avant la réception du projet et x le nombre de semaines nécessaires pour réaliser chantier.

Les entreprises ayant préparé leurs post-it, les règles sont expliquées par l'animateur :

- Un post-it en biais représente une réception planifiée.
- Seules les entreprises peuvent placer et déplacer les post-it dont elle sont responsables.
- La communication est primordiale : « Non, je ne peux pas » est une réponse tout aussi valable que « oui, je peux », mais il faut en être sûr !

A partir de là, l'animateur pose de premier post-it en commençant par la fin, soit généralement la réception du projet final en semaine 0. Il lit alors à haute voix l'ensemble des travaux prérequis identifiés pour cette tâche, par exemple :

- Nettoyage du chantier

Le responsable du nettoyage du chantier vient donc poser son post-it correspondant à la tâche « Nettoyage du chantier » à la semaine 1 et énonce à son tour les contraintes d'antériorités qu'il aura lui-même identifiées :

- Pose des appareillages.

Dans ce cas, l'électricien vient donc apposer son post-it en semaine 2 ... etc.

Le processus se répète jusqu'à arriver positionnement du dernier post-it qui indique le nombre non optimisé, de semaines utiles au projet. Pour les petits chantiers, un simple tableau suffit, mais il n'est pas rare pour les projets de plus grande ampleur d'utiliser tous les murs d'une pièce pour parvenir au dernier post-it. De plus, pour chaque lot, plusieurs travaux/lignes peuvent être affectés.

Ces post-it collés aux murs représentent les barres de Gantt à la différence qu'ils ne sont pas imposés aux entreprises. Dans le schéma LPS, ce sont les entreprises

qui déterminent la durée de leurs interventions ainsi que les contraintes d'antériorités qui leurs semblent indispensables.

En règle générale, à ce niveau-là, la durée totale du projet dépasse la durée prévue par le maître d'ouvrage. La phase de compression peut donc commencer.

Dans la phase de compression, les entreprises sont appelées à se challenger elles-mêmes. Chaque entreprise va donc tester, critiquer (constructivement) et défier les idées, principes et hypothèses des autres entreprises. Le but étant de trouver des recouvrements de tâche, de diminuer les marges contenues dans certaines tâches et de parvenir au final à diminuer la durée du projet.

Les règles doivent être respectées avec rigueur... En effet, même s'il est facile pour le plombier de déplacer le post-it de l'électricien, dans la pratique il devra rencontrer l'électricien lui expliquer la situation et trouver avec lui un compromis acceptable.

A l'issue de la phase de compression, le Planning des Phases (Phase Schedule) obtenu est un planning plus fiable puisque tout a été planifié par chacun des acteurs et qu'ils se seront arrangés en eux directement et de vive voix. Il sera d'autant plus aisé de respecter ce planning que les durées tiennent compte de la réalité telle que chaque entreprise la perçoit.

Le planning final compressé sera retranscrit avec un outil de planification pour être édité et servir de base à la démarche du LPS.

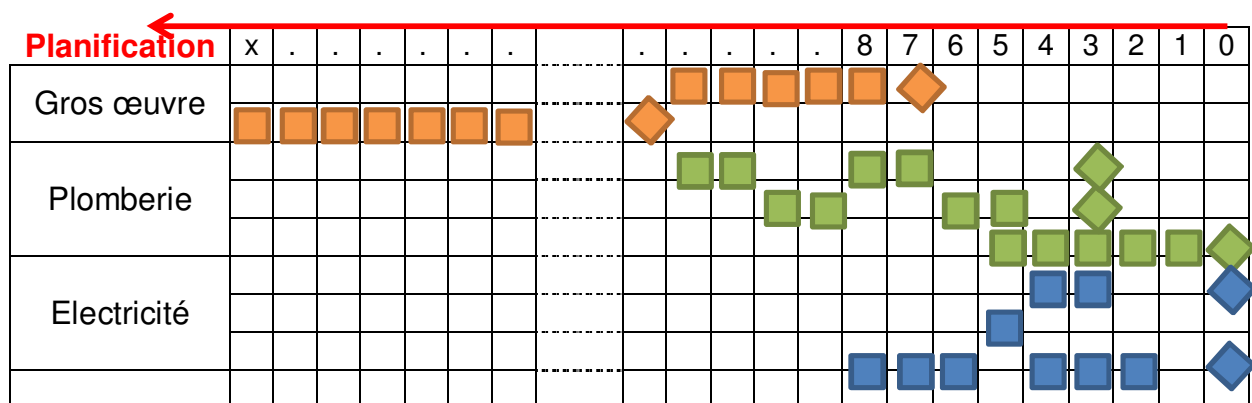


Figure 12: Représentation du planning - Phase Scheduling

### c. Phase 3 : Look-Ahead Planning.

A ce stade-là, il sera demandé aux participants de suivre au moins une fois par semaine l'avancement des levées des contraintes et prérequis. Le look-ahead planning qui signifie « regarder devant soi » est l'outil principal amené par Ballard à la construction. Il s'agit sans aucun doute de la phase la plus importante puisqu'à la base du contrôle de la méthode [15].

Durant cette étape, chaque entreprise doit annoncer l'avancement de ses travaux pour assurer la continuité des tâches suivantes.

Pour être sûres de lancer les tâches sans avoir de problème, les entreprises remplissent un Planning d'Avancement des tâches.

Ce tableau est réalisé sur une fenêtre glissante de 6 à 8 semaines pour toutes les tâches présentes dans cet intervalle. Pour chaque tâche il faut pouvoir répondre à différentes questions. Selon Ballard, seulement 7 questions sont suffisantes, mais il est possible de moduler ces questions pour les adapter au chantier.

Ci-dessous les 7 points selon Ballard et les 10 questions selon Dupin [6].

Ballard	Dupin
1. Travail préalable ?	1. Réalisé par un contractuel ?
2. Surface prête ?	2. Réalisable en sécurité ?
3. Main d'œuvre disponible ?	3. Tache budgétée ?
4. Matériel Disponible ?	4. Plans d'exécution disponibles ?
5. Matériaux disponibles ?	5. Plans d'exécution validés ?
6. Plans disponibles ?	6. Main d'œuvre disponible ?
7. Conditions extérieurs favorables ?	7. Matériel disponible ?
	8. Matériaux disponibles ?
	9. Travail préalable ?
	10. Surface prête ?

Tableau 2: Questions de validation des tâches.

Après analyse des deux colonnes, les questions proposées par Ballard restent générales. Dupin qui a travaillé sur le LPS avec une entreprise de consulting (Delta Partner) durant sa thèse, a pu affiner les questions qui permettent grâce à la lecture du tableau de savoir où se trouvent les points bloquants et où en sont les différents éléments. De cette manière, si l'on possède les plans d'exécution fournis par l'architecte, on sait qu'ils ne seront pas complets ou valides; néanmoins, ils sont utiles à la compréhension des plans d'exécution donnés par le bureau d'études. Il est déconseillé de commencer les travaux sans avoir les deux plans en sa possession. La question de Ballard concernant les conditions extérieures paraît à mon avis être importante. Dans le domaine de construction enseigné au sein de l'ENSTIB à savoir la construction en structure bois, la météo peut influencer sur l'ordre de pose. Par exemple, si la structure à ossature bois est montée avec le voile travaillant en intérieur, bien que le bâtiment soit hors d'eau (toiture et étanchéité réalisées), dans de mauvaises conditions météorologiques, l'entreprise devra soit prévoir soit prévoir du temps supplémentaire pour placer du pare-pluie sur les murs pour minimiser la pénétration de l'eau dans le bois des murs, soit prévoir un temps de séchage avant la pose de l'isolant pour prévenir de toute moisissure, si la météo s'y prête. Autre exemple, le montage et l'assemblage des murs préfabriqués sur chantier implique l'utilisation d'une grue. Les murs étant relativement longs et hauts (jusqu'à 13m x 5m), la prise au vent est un facteur à ne pas négliger. Les conditions pose en hauteur impliquent d'avantage de contraintes, la construction actuelle la plus haute en panneaux bois se trouve en Norvège à Bergen et mesure 50 mètres, pour 14 étages.

Néanmoins, les questions sont à adapter suivant le type de chantier et les contraintes géographiques (proche de la mer ou dans un couloir pour le vent, en montage pour la neige...). Les questions sont posées pour l'ensemble des tâches réalisées dans la fenêtre puis consignées dans un tableau d'anticipation. Seules les tâches seines, celles dont tous les points sont validés, peuvent prétendre à être exécutées.



<b>Anticipation Systématique</b>				Contrat	Sécurité	Budget	Plans Archi	Plans Exé BPE	Main d'œuvre	Matériel	Matériaux	Txv Prérequis	Surface prête
<b>Points bloquants à 2 mois</b>													
Activité	Début	Fin											
Tirant Supérieur	21-févr	01-mars	X	1	1	1	1	1		1	1	1	1
Reprise paroi existante	27-févr	02-mars	X	1	1	1	1	1		1	1	1	1
Démolition contreforts	05-mars	07-mars	X	1	1	1	1	1	1	1		1	
Terrassement initial rampe	12-mars	12-mars	X	1	1	1	1	1					
Gunitage	21-févr	21-mars	V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Terrassement complémentaire	05-mars	23-mars	V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gunitage et clouage	10-mars	03-avr	V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fosse ascenseur	04-avr	04-avr	X	1	1				1		1		1
Tirant inférieur	12-mars	12-mars	X	1	1	1	1		1	1	1		1

Figure 13: Représentation d'un planning d'avancement.

Le planning par anticipation systématique et binaire (0 ou 1). Il peut et doit être automatisé (sur Excel par exemple). Les couleurs sont des indicateurs importants qui visuellement sont plus parlant qu'un texte. Suivant le projet, on peut se retrouver avec des tableaux comportant 200 lignes voire plus, pour la période étudiée. Dans l'exemple donné les dates de début en rouge sont les tâches importantes qui doivent être réalisées et validées le plus rapidement possible. Par exemple pour les deux premières lignes on remarque que c'est la main d'œuvre qui est manquante. L'entreprise en charge de cette tâche doit régler le problème au plus vite. Il ne faut pas oublier que c'est l'entreprise elle-même qui s'est engagée pour ces dates lors du Phase Schedule, elle doit donc les honorer. S'il est bien fait et complet le planning a cet avantage de pouvoir indiquer, à quelle entreprise il faut s'adresser pour obtenir les informations manquantes.

Avec la méthode traditionnelle, il n'est pas rare de commencer une tâche et de constater durant l'exécution, un manque d'informations, ou de s'en rendre compte une fois les travaux finis.

Les tâches orange et vertes ne sont pas « importantes » dans le sens où elles ne commencent pas immédiatement. En ce qui concerne les tâches validées (encadré bleu), cela signifie que l'ensemble des données utiles à sa réalisation sont disponibles pour que le responsable de la tâche puisse l'exécuter. Bien qu'elles ne soient réalisées qu'à des dates définies, il est possible d'avoir toutes les informations en avance, d'où les deux couleurs orange qui minimisent l'importance des tâches. Pour une meilleure communication et un meilleur partage des informations entre les entreprises, il serait judicieux de prévoir un espace en « cloud » avec un accès illimité pour toutes les entreprises. De cette manière, quand le BE aura fini les plans d'exécution, il les enverra par mail à l'entreprise en charge des tirants supérieurs et des parois existantes. Les entreprises responsables réceptionneront les données, les analyseront et ajouteront le chiffre 1 dans la case correspondante du planning d'avancement des tâches. Cette option est parfaitement réalisable si le projet est

géré en BIM, ce qui implique (dans la plupart des cas) un espace de partage numérique entre les entreprises.

### a. Phase 4 : Production Planning :

Il s'agit de réunions de synchronisation des travaux différentes de celle du Look Ahead Planning, elles sont prévues toutes les semaines à jour fixe.

Ces réunions ont pour but de fluidifier les travaux sur le site. Selon Ballard, une fois par semaine, chaque « Last Planner » est invité à annoncer les travaux qu'il peut réaliser et ceux qu'il s'engage à réaliser dans la semaine à venir. P. Dupin préconise lui de réaliser des tableaux à fenêtre glissante sur deux semaines, ce qui permet une vision plus étendue et une plus grande implication des « Last Planner ».

Le planning se déroule donc de la manière suivante :

		Semaine						
		1	2	3	4	5	6	7
Réunions	1	Feedback et analyse	Mise A Jour si nécessaire	Planification détaillée				
	2		Feedback et analyse	Mise A Jour si nécessaire	Planification détaillée			
	3			Feedback et analyse	Mise A Jour si nécessaire	Planification détaillée		
	4				Feedback et analyse	Mise A Jour si nécessaire	Planification détaillée	
	5					Feedback et analyse	Mise A Jour si nécessaire	Planification détaillée

Figure 14: Production Planning en fenêtres glissantes.

La réunion se déroule en 3 temps:

1. Compte rendu de la semaine passée et analyse des faits et de la progression par rapport aux prévisions de la semaine précédente. Il ne faut répondre qu'à une seule question « l'engagement a-t-il été tenu ? », de la même manière, la réponse reste binaire : Oui/Non. Si des problèmes sont survenus durant la semaine, il est important de l'énoncer devant l'ensemble des personnes présentes de manière à tenir tout le monde au courant. C'est également l'occasion pour le groupe de déterminer l'origine et la cause du problème afin d'éviter qu'elle ne se reproduise. Les réponses sont traduites en binaire 1 (oui) et 0 (non) pour remplir un tableau de compte rendu pour la semaine (cf. Figure 15 : Représentation d'une feuille de route - Production Planning).

Pour chaque projet, il est intéressant pour l'animateur LPS de créer un recueil des erreurs, qui servira de base de données pour déterminer statistiquement par exemple le type d'erreur possible, éditer les principales

erreurs à éviter, ou créer un recueil d'erreurs types pour les Last Planner découvrant la méthode.

2. Chaque participant devra énoncer les travaux qu'il prévoit de réaliser pour la semaine suivante. La règle d'or de cette partie se résume à : « Rien n'est accepté tant que tout n'est pas acceptable pour tous ». Si un problème est survenu durant la semaine, il est possible pour l'intervenant de mettre à jour la semaine suivante. Dans la mesure du possible, il faudrait arriver à ne pas perturber les autres semaines. Si les mises à jour sont trop régulières, cela signifie que le problème vient du manque d'investissement des participants ou à l'inverse des challenges trop importants. Néanmoins, ce dernier cas se révèle être très rare car comme le démontre la loi de Parkinson : la réalisation d'une tâche prend le temps qui lui est imparti pour la réaliser.
3. La dernière étape, facultative selon Ballard, a pour but de projeter les collaborateurs sur une durée plus longue et ainsi les plonger dans une optique de prévoyance et d'investissement personnel. L'intérêt de la manœuvre étant d'identifier les problèmes de synchronisation d'interface avec une semaine d'avance afin de pouvoir réagir au moment voulu.

Selon Dupin qui a mis en application le LPS à plusieurs reprises, la partie n°2 où l'entreprise annonce ce qu'elle « PEUT » réaliser, suscite généralement beaucoup de réactions entre les collaborateurs. Des compromis doivent être trouvés entre eux : un chef de chantier ne doit se sentir obligé de s'engager sur des travaux qu'il ne peut assurer car cela mettrait en péril l'ensemble de l'organisation.

La réunion permet l'établissement d'un tableau par semaine (cf. Figure 15 : Représentation d'une feuille de route - Production Planning tableau présenté ci-dessous est la version proposée par P. Dupin: il cite l'entreprise, les activités qu'elle a réalisées. Il propose également de compléter ces informations avec un planning des ressources humaines établi sur la semaine passée (par demi-journée).

L'objectif est de démontrer que:

1. L'entreprise met en œuvre les moyens humains nécessaires pour parvenir à réaliser la tâche. Si les ressources humaines accordées semblent insuffisantes, cela signifie que l'entreprise n'a pas intégré l'esprit du Lean. Il faut alors discuter avec les responsables et leur démontrer l'importance des actes et délais que l'on attend d'eux: en l'absence de l'avancement prévu qu'elle a elle-même annoncé, l'entreprise risque de mettre en péril la méthode voire le projet tout entier.
2. Le tableau étant pré rempli la semaine précédente, il permet dans un premier temps, d'un simple coup d'œil d'estimer le nombre de personnes sur le chantier. La semaine terminée, le tableau est alors actualisé, ce qui permet de connaître le nombre exact d'ouvriers présents sur le chantier chaque jour.

Enfin, la colonne PC de la feuille de route est binaire, elle correspond aux Promesses Concrétisées (Promise Completed en anglais). Cette donnée s'inscrit ensuite dans la mesure de la performance de la méthode. Si cette promesse n'est pas tenue, il est impératif d'en expliquer brièvement la raison qui sera la base des discussions en ce qui concerne l'analyse du système et l'amélioration continue. (cf. III Analyse et mesure des performances du Lean Construction.).

Semaine : 2

Entreprise	Activité de la semaine	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	PC ?	Raison si non tenu (0)
		05-mars	06-mars	07-mars	08-mars	09-mars		
Firme-A	Coffrage dalle RdC zone 2A	5	2			6	1	
		5	2			6		
Firme-B	Coffrage dalle RdC zone 3	2	2	2	2		0	Surface non prête
		2	2	3	2	4		
Firme-C	Coffrage potaux 2B	5	5	5	6		1	
		4	5	5	4			
...	...						...	
<b>Pourcentage de Promesse Concrétisées (PPC)</b>							66%	

Figure 15 : Représentation d'une feuille de route - Production Planning

#### 4. Gestion en flux tiré :

Au vu des informations données dans les paragraphes ci-dessus, on peut définir le LPS comme un outil conçu pour répondre au manque de communication et de données sur les chantiers. Outre l'avantage de la communication, le LPS va prendre en compte les contraintes que Last Planner aura lui-même analysées: l'organisation interne au chantier sera parfaitement structurée et visualisée par tous les acteurs.

Contrairement au système actuellement utilisé dans la construction (cf. Figure 11: Système de planning traditionnel (à flux poussé), l'attention est portée collectivement sur la quantité de ressources que le chantier PEUT absorber. Le LPS a la capacité de réguler ces ressources, de lisser les flux en transformant le PEUT en SERA. Cette affirmation est possible du fait que ce sont les entreprises elles-mêmes qui émettent la promesse de réalisation, avec les ressources humaines, matérielles et techniques dont elles disposent et dans un laps de temps qu'elles se sont imparties. L'outil donne également la possibilité de prévenir les erreurs ou problèmes et de les détecter au préalable et de les résoudre aussi tôt. De cette manière, les promesses annoncées sont relativement proches de celles réalisées, le SERA se rapproche fortement du FAIT (suivant la fiabilité du processus).

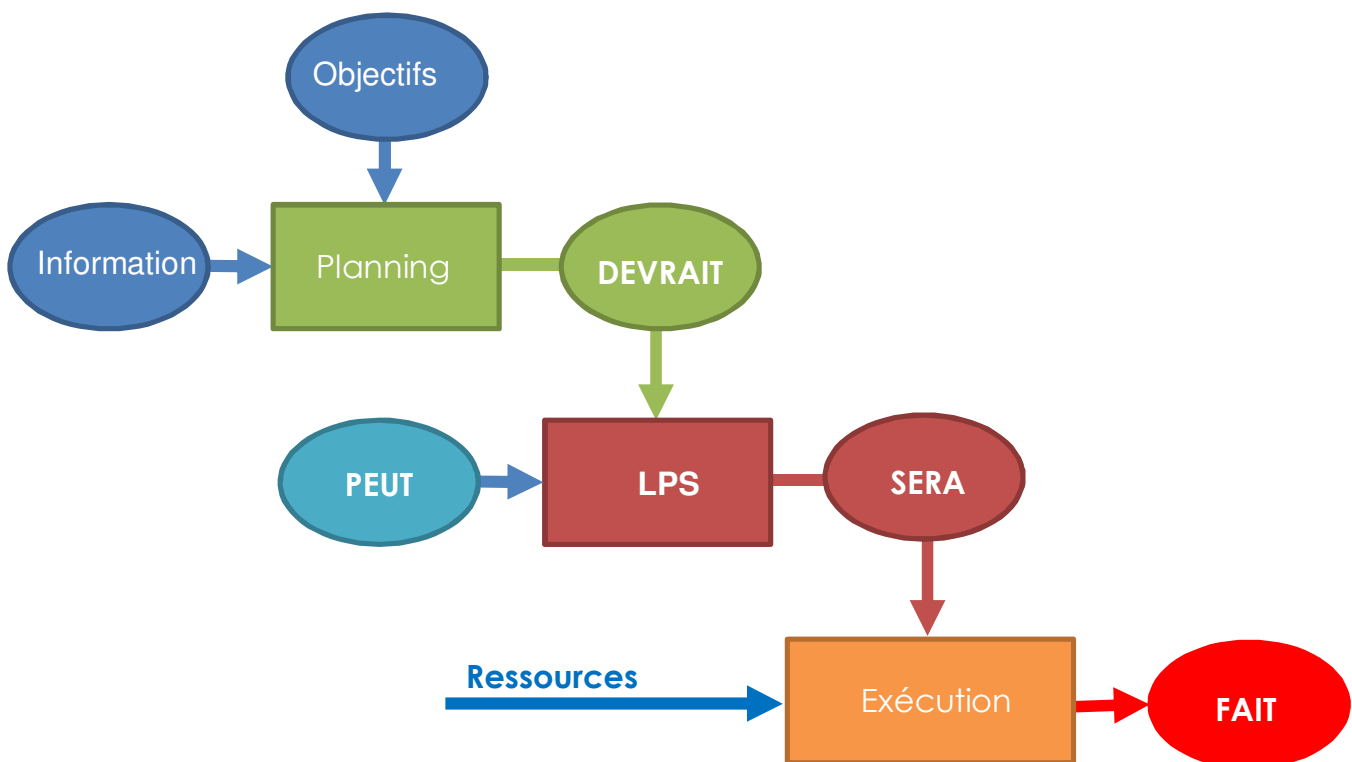


Figure 16: Système avec LPS intégré (à flux tiré) [12]

Les études menées par Ballard ont montré qu'avec de la rigueur, de l'investissement et surtout une formation de base « Lean », l'utilisation progressive des outils permet une bonne fiabilité de la méthode.

On remarque qu'il peut être relativement facile d'arriver à un niveau de fiabilité supérieur à 70%. C'est grâce au look-ahead planning qu'il est possible de dépasser ces 70 % et espérer avoir une fiabilité de la méthode largement supérieure.

A mesure que l'on rentre dans les détails, la fiabilité des outils est proportionnellement avérée. En revanche, il est impossible d'espérer atteindre un tel niveau de fiabilité sans l'utilisation de ces outils et leur parfaite connaissance.

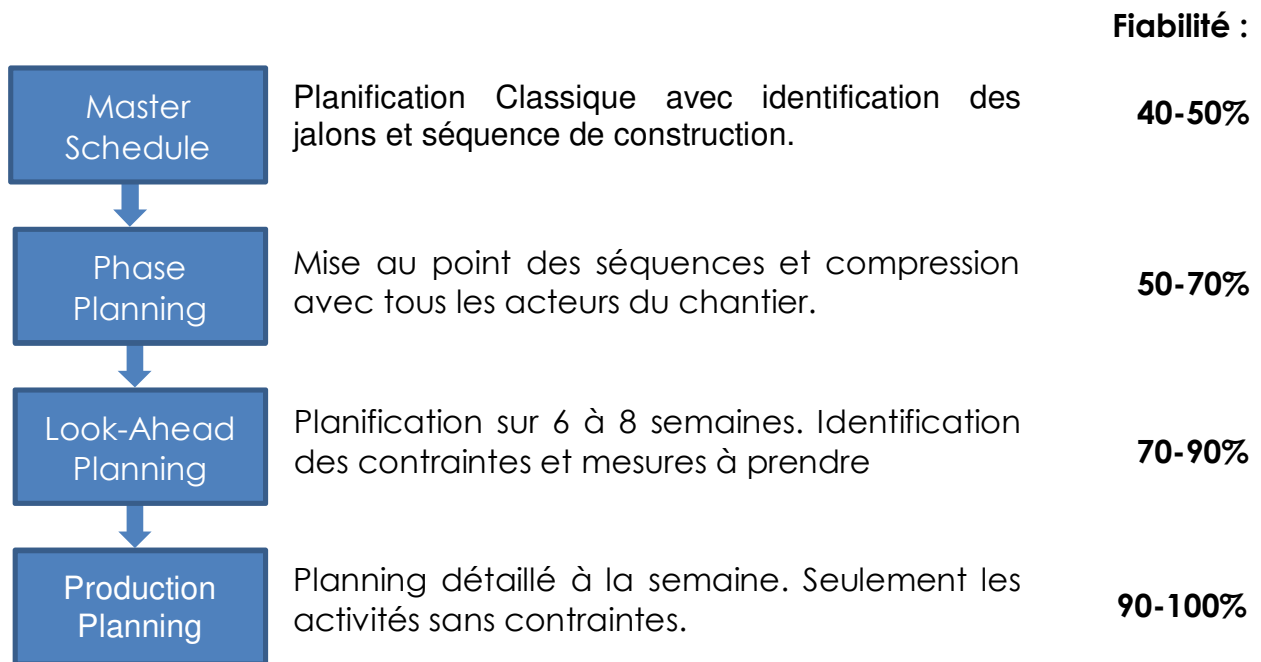


Figure 17: Fiabilité des étapes du LPS [12]

La boucle LPS / Exécution est réalisée plusieurs fois dans la vie du chantier, sur des horizons différents. Tout comme le MRP II (cf. Figure 5: Niveau de détail pour le MRP II selon l'horizon ) on se rend compte que le détail est principalement porté sur des tâches ou macro-tâches au niveau du Production Planning. A noter que plus le niveau de détails est élevé, plus l'horizon est petit. Ainsi, les prévisions seront plus facilement conformes aux réalisations.

Le Phase Planning quant à lui, est variant selon la durée du projet. Un chantier court (inférieur à 3 mois) pourra être réalisé sur un horizon équivalant au Master Scheduled. Il est néanmoins impératif de réaliser le Master Scheduled qui permet une vision plus globale au projet: chaque planning apporte son complément d'informations nécessaires aux étapes suivantes.

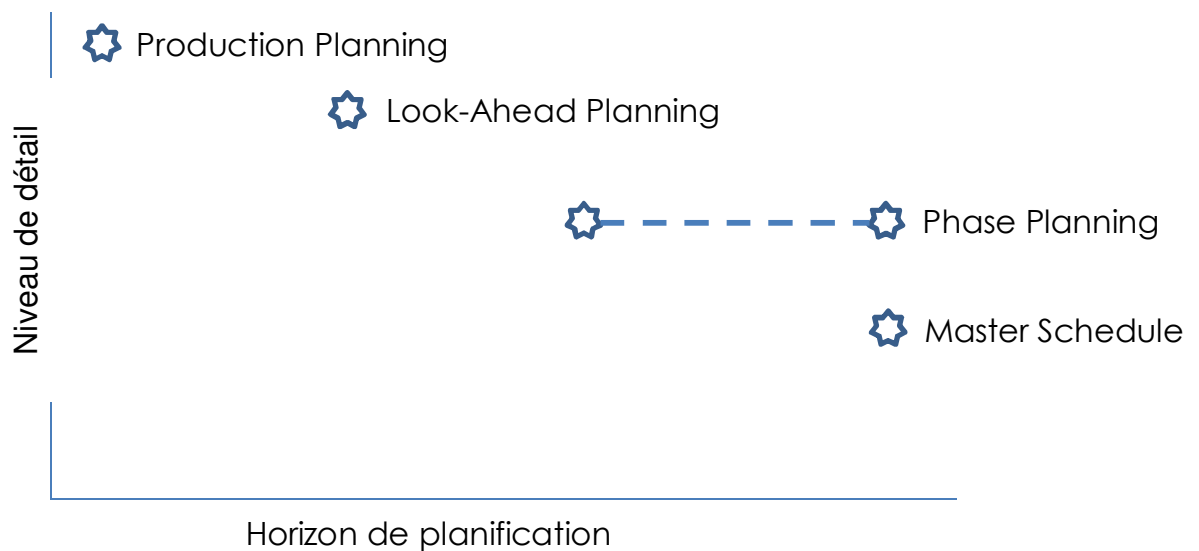


Figure 18 : Niveau de détail pour le LPS selon l'Horizon de planification

### III. Analyse et mesure des performances du Lean Construction.

#### 1. Le LPS, un outil autocontrôlé :

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées dans le domaine du contrôle de gestion, visant à confronter directement le contrôle et l'organisation. La mise en place d'un système « compatible » contrôle/gestion est relativement récente, les premiers écrits datent des années 2000 et concernent plus précisément le domaine de la gestion financière. Ces systèmes ont l'avantage de contrôler les ressources mais également de mesurer la fiabilité du système en lui-même: on parle alors de Management Control System (MCS).

*« Un système de contrôle de gestion (MCS) est un système qui utilise l'information pour évaluer la performance des ressources organisationnelles telles que l'humain, la matière, l'aspect financier, mais aussi son ensemble en prenant compte des stratégies organisationnelles implémentées. Le MCS influe sur le comportement des ressources organisationnelles pour mettre en œuvre des stratégies de gestion »*

Définition traduite de H. Armesh [16].

Selon P.J Bence [17] les outils de type MCS permettent certains avantages :

- Vérifier que l'exécution des travaux est réalisée au niveau organisationnel approprié.
- Veiller à ce que le travail soit autorisé seulement après qu'il est été prévu et approuvé par l'autorité appropriée.
- Affecter une responsabilité spécifique pour des travaux au niveau approprié dans la structure.
- Fournir une analyse en cas d'écarts significatifs par rapport au plan de référence de la part du responsable d'exécution des travaux.

Le LPS est donc un outil qui regroupe l'ensemble de ces points, on peut donc dire que le LPS est un MCS appliqué à la construction. Il est donc possible de l'utiliser de manière à l'auto-évaluer, modifier, ou mettre en place une stratégie de gestion globale du chantier.



## 2. Analyse des erreurs :

L'analyse des erreurs fait partie intégrante de l'amélioration continue. L'une des méthodes les plus simples propose de se poser 5 fois la question « Pourquoi ? », méthode des 5 Why ? en anglais.

Au niveau de la feuille de route du Production Planning, l'intérêt de définir le problème permet dans un premier temps de donner le point de départ à la discussion.

Prenons l'exemple le cas de la firme-B qui n'a pas pu réaliser son coffrage. Le dialogue entre l'animateur LPS et le responsable de la Firme B pourrait être celui-ci :

« Monsieur le chef de travaux de la Firme-B, **pourquoi** (1) n'avez-vous pas pu réaliser le coffrage de la dalle du RDC de la zone3 ?

-Première réponse :

« Car les surfaces n'étaient pas prêtes ». **Pourquoi** (2)?

-Deuxième réponse :

« Je n'avais pas de pelle mécanique pour aplanir le terrain ». **Pourquoi** (3) ?

-Troisième réponse :

« Le camion n'a pas pu livrer l'engin ». **Pourquoi** (4) ?

-Quatrième réponse :

« Le camion n'a pas pu accéder au chantier, et il est reparti ». **Pourquoi** (5)?

-Cinquième réponse :

« Le déchargement des fers a duré toute la journée et a empêché les autre livraisons ».

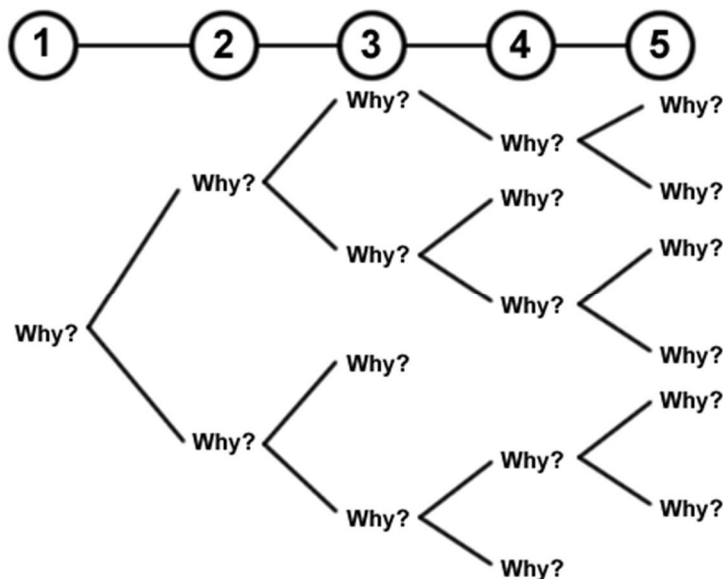


Figure 19: Analyse des 5 pourquoi? (5 Why?) [6]

On arrive dans notre cas après 5 “Pourquoi ?” à la véritable problématique, qui pourra être supprimée ou déplacée dans les prochains jours. Si l’on analyse une perturbation du flux, il y a de fortes chances que cette difficulté récidive sur la durée totale du chantier. Il est alors demandé aux différents intervenants de réfléchir à la problématique et de proposer eux-mêmes une solution qui doit arranger le plus grand nombre. Une décision sur un chantier Lean doit être prise en concertation.

Dans le cas présent, on pourra créer des aires de livraison ou de stockage pourront, ou établir un planning d’accès au site. Si les solutions peuvent être simples à implémenter, elles sont loin d’être évidentes dès le début du chantier. Etre confronté à une erreur ou à un problème n’est pas forcément pénalisant sur chantier Lean Construction: l’expérience Lean forme les intervenants et leur confère une aptitude d’analyse et de gestion des différentes situations afin d’anticiper et ne plus reproduire les erreurs déjà rencontrées.

Une erreur devient un problème, lorsque celle-ci est reconnue mais non traitée: lorsque l’ouvrier ou le chef de chantier ne fait pas remonter l’information par exemple. Il est de ce fait indispensable de former et responsabiliser l’ensemble des personnes qui participent à un chantier Lean Construction.

### 3. Analyse du PPC :

Le PPC qui signifie Pourcentage of Promise Completed, peut se traduire par Pourcentage de Promesses Concrétisées.

D’après la feuille de route remplie durant la réunion du Production Planning, une moyenne de tous les PC est réalisée, exprimée en pourcentage, elle nous donnera le PPC. Il s’agit du ration de conformité entre ce qui a été annoncé comme réalisable et ce qui a été finalement réalisé.

Il existe 3 cas de figure possibles :

1. Lorsque le PPC est à 100%: la solution idéaliste car toutes les tâches annoncées ont été réalisées. Or contrairement à ce que l’on pourrait penser, c’est un résultat plutôt gênant. En effet, cela laisse entrevoir que les entreprises se sont octroyées une marge de confort pour la réalisation des tâches, créant sur le chantier de l’attente qu’il faut minimiser voire éradiquer.
2. Lorsque le PPC est compris entre 40 et 60% : cela signifie que les outils du Lean Construction sont soit mal compris soit non utilisés. De manière générale, les chantiers menés avec le système classique ont un PPC correspondant à ces intervalles. On peut estimer qu’une progression reste possible par une prise de conscience des avantages et intérêts de chaque acteur. Il s’agit probablement la situation la plus facile à ajuster puisque tous les outils sont déjà en place.
3. Lorsque le PPC est entre 60 et 90% : les principes du Lean Construction paraissent bien assimilés, on bascule en phase d’amélioration continue. Il s’agit de la situation la plus difficile pour les participants car elle demande une volonté d’investissement et de rigueur supplémentaire afin de parvenir à un PPC irréprochable.

Le PPC optimal visé sur un chantier serait de 100%, à condition de respecter une progression. Si le PPC évolue fonctionnellement dans le temps, cela signifie que les entreprises ont trouvé le bon « timing » pour la réalisation de leurs tâches. L'expérience et la connaissance des équipes sont les principales sources de réussite. Le 100% peut donc être envisageable mais doit être le fruit d'un investissement collectif et non d'une prise de marge qui retarderait le chantier. Actuellement sur un chantier convenablement géré, le PPC oscille entre 97 et 99%.

## AMELIORATIONS DU LPS

Le LPS n'est qu'une méthode d'adaptation d'un planning de production à un système dynamique et bien qu'il ait fait ses preuves sur de nombreux projets, Il n'existe actuellement aucun ouvrage technique rassemblant les normes et les données relatives au LPS. Nous sommes dans une période de balbutiement quant aux recherches sur le Lean Construction, les seuls points de restent des articles sur des revues spécialisées.

Il s'agirait de réaliser un large travail de recherche afin de répertorier les outils et méthodes utiles à la bonne pratique du Lean Construction. Les articles scientifiques existants traitent essentiellement de parties bien précises de la méthode, il reste encore de nombreux points à améliorer et à conceptualiser.

### 1. La formation et l'information :

La formation est l'un des éléments les plus importants pour permettre le bon fonctionnement de la méthode.

La toute récente transposition de la philosophie Lean à la construction en fait un domaine peu ou pas connu de la profession. Pour remédier à cette lacune, la formation et l'information sont à la base du processus.

La formation n'implique pas forcément une connaissance du système actuel de construction. Il est possible de former les futurs acteurs de la construction directement à l'école. Bien que le Lean Construction soit récent, il apparaît comme indispensable de sensibiliser les nouveaux intervenants. La philosophie Lean implique une prise de conscience, une vision en globalité et non plus en individualité. C'est ce qui selon moi sera le plus difficile à inculquer aux élèves qui évoluent dans un système individualiste et concurrentiel. Par "élève", on sous-entend tous les élèves, depuis le CAP jusqu'au diplôme d'ingénieur, chacun s'impliquera à son niveau afin d'appliquer au mieux les intérêts personnels et collectifs de la démarche.

Les personnes déjà présentes dans le domaine constructif, vont être confrontées à deux cas de figures:

- Le maître d'œuvres et le client demandent à l'ensemble des collaborateurs, tous novices d'appliquer le Lean Construction.
- L'entreprise participe pour la première fois à un chantier Lean Construction auprès d'autres entreprises déjà formées à la méthode.

Ces deux situations doivent être appréhendées de manière différente.

Dans le premier cas il est possible et d'ailleurs conseillé de faire appel ensemble à une tierce personne possédant la connaissance et la maîtrise de la méthode: c'est ici qu'entre en jeu l'entreprise de Lean Consulting: cette dernière offre un type de prestations permettant d'appliquer et d'appréhender de la bonne manière un chantier Lean Construction, sous la houlette d'un formateur. Si les honoraires de ce dernier peuvent paraître relativement élevés, On peut choisir parmi divers forfaits ou décider

d'une intervention ponctuelle (pour seulement le lancement d'un chantier par exemple) et garder contact avec lui par la suite.

Cette solution permet d'évoluer tout en étant épaulé jusqu'à parvenir à une certaine autonomie tout au long du chantier. L'application conjointe du Lean Construction par les différents intervenants les conduira ensuite à implémenter la méthode dans leurs chantiers futurs.

Dans le second cas seule la nouvelle entreprise ne connaît pas la méthode ni la philosophie du Lean Construction. Si la société en a les moyens, elle peut demander une formation individuelle auprès d'une entreprise de consulting, les sessions de formation étant généralement moins chères que le suivi de chantier. Elle peut aussi être formée avant et pendant les travaux par l'une des entreprises présentes sur le chantier.

Une dernière solution, difficilement envisageable et fortement déconseillée, consiste à se présenter sur le chantier et "d'apprendre sur le tas" sans parvenir à intégrer la démarche Lean. Il est de la responsabilité du maître d'œuvre de s'assurer que tous les participants soient sensibilisés à la méthode, car le non-respect ou la négligence peuvent mettre en péril l'installation toute entière.

Pour cette raison, Patrick Dupin a agrémenté le tableau d'avancement des tâches du Look-ahead Planning d'une colonne « contrat » visant à valider ou invalider la maîtrise de la méthode.

L'idéal serait de nommer un référent Lean Construction / LPS dévolu au chantier ayant les compétences managériales et techniques pour diriger les intervenants et les conseiller. Ce rôle est actuellement tenu par les maîtres d'œuvres, mais ils sont peu nombreux à posséder les connaissances et compétences requises pour être à la hauteur de la tâche.

Au vu de l'importance que le Lean Construction va progressivement occuper au sein des entreprises, il deviendra indispensable de créer une structure de formation humaine et d'envisager même un cursus spécialisé diplômant.

Six-Sigma qui est une méthodologie d'optimisation des processus en milieu industriel qui a su se développer de manière à hiérarchiser ses membres en leur octroyant des compétences acquises suivant le niveau atteint (green belt, blue belt, black belt...). A l'instar de Six-Sigma, l'application d'une méthode de structuration similaire permettra au Lean Construction de se développer dans l'entreprise et d'assurer sa pérennité. Il est tout à fait envisageable pour le LCI de mettre en place un réseau d'initiés et de formateurs assurant la diffusion de la méthode sur les chantiers, cette personne deviendrait alors le référent.

Au début de chaque chantier Lean Construction, il faudrait mettre sur table les techniques, outils et documents qui seront utilisés, en présence de tous les intervenants des différentes entreprises. Cette réunion aura pour effet de rappeler à chacun, ou faire découvrir le rôle et les règles pour la mise en oeuvre. Actuellement cette opération est réalisée sous forme d'une pièce jointe liée à un mail, qui dans certains cas n'est probablement jamais ouverte.

L'entrevue permet elle, d'échanger, se rencontrer et créer ainsi une interaction entre les différents acteurs avant de prendre les premières décisions relatives au chantier.

## 2. La gestion des goulots :

En milieu industriel, dans tous les systèmes en flux tirés, la vitesse de travail est prévue en fonction des postes goulots: des postes de travail qui nécessitent d'avantage de transformation et ralentissent de ce fait le flux. Si l'on repère un poste goulot, il est recommandé d'apporter rapidement une amélioration sur le passage de flux, à son niveau. Si les modifications techniques ou technologiques n'augmentent pas l'écoulement du flux, il peut alors être envisagé de doubler le poste (voire le tripler). La création d'un second poste, identique améliorera par répartition le passage de flux; cependant, cette action radicale peut s'avérer coûteuse pour l'entreprise, selon la machine et/ou le nombre d'exemplaires nécessaires.

Dans le domaine constructif, la grue fait souvent office de poste goulot. Quel qu'en soit le nombre sur le chantier, chacune ayant des caractéristiques de levage, de rayon d'action et de hauteur différents. D'un point de vue sécuritaire, deux grues ne peuvent pas travailler sur une même zone: elles doivent maintenir une certaine distance pour éviter toute collision ou enchevêtrement des câbles.

Il faudrait gérer une grue comme on gère une entreprise, lui affecter dans le Production Planning une ligne avec un niveau de détails plus poussé (à la demi-journée ou à l'heure), on pourrait ainsi définir les temps « libres » susceptibles d'être utilisés pour les livraisons par exemple. Le grutier responsable de son outil conviendra avec l'intervenant qui sollicite un levage, du temps et des moyens nécessaires pour la réalisation de la tâche.

Cette application peut être généralisée à tous les postes goulot. Tous les chantiers étant différents, il est nécessaire de déterminer en avance les actions susceptibles d'être trop contraignantes comme par exemple la gestion des livraisons qu'il faudra planifier si elles ne peuvent pas toutes avoir lieu en un même point.

## 3. Gestion interne des ressources :

Sur les chantiers de grande ampleur, les principaux consommables et matériaux utilisés sont commandés en avance et généralement stockés sur le chantier. Les stocks sont problématiques : ils peuvent gêner la circulation des véhicules et des personnes, et risquer une dégradation sur le chantier.

Il serait judicieux de créer un espace fermé, un stock tampon servant de "magasin" au niveau du chantier et lui appliquer une gestion par carte kanban. En effet les chantiers ayant une tendance à la répétition, on peut, en se référant au Production Planning connaître à l'avance les éléments nécessaires à la fabrication. Cette solution a pour effet de décentraliser l'espace de livraison, mais également de réorganiser et protéger des vols et dégradations les matières premières. On peut envisager l'installation du magasin dans les étages du bâtiment en construction. Ces magasins mobiles auraient pour effet de réduire les temps de transport des ouvriers entre la zone de stockage et la zone de chantier effective.

## CONCLUSION

Avec près de 70 ans de retard sur l'industrie manufacturière, le LPS est l'outil par excellence qui permet de transposer la philosophie du Lean à la construction. La méthode aujourd'hui proposée par Balard, testée, complétée et étudiée par de nombreuses entreprises, chercheurs et doctorants reste tout de même au stade de croissance.

Le LPS est une méthode regroupant de nombreux outils déjà connus et utilisés dans le domaine constructif et manufacturier, il permet comme le MRP II pour l'industrie, de transposer la philosophie du Lean à la construction. Néanmoins, un élément majeur différencie le MRP et le LPS : le LPS s'adapte parfaitement à un environnement dynamique. C'est cette variante soulignée par Koskela dans ses articles qui complique l'implantation des outils manufacturiers au domaine de la construction. Les outils "classiques" restent à la base des méthodes développées pour le Lean Construction: la réelle innovation vient de l'adaptation de ces outils à un environnement constructif perpétuellement changeant.

L'utilisation du Lean doit être perçue comme un moyen de réussir un challenge individuel et collectif. Le partage des informations et expériences par le biais d'organismes tels que le LCI ou le CII, permet une bonne évolution du système. Néanmoins, en France, cela reste encore réservé à l'élite et aux cadres; il est primordial de sensibiliser l'ensemble des acteurs à la philosophie et aux méthodes. Cette formation peut aussi bien être réalisée à l'école pour les nouveaux arrivants comme par le biais d'entreprises de consulting. Ainsi, les enjeux et les règles sont connus de tous, le chantier Lean peut alors être conduit par l'ensemble des personnes présentes sur le chantier non plus par les représentants et chefs de chantier, de cette manière un chantier Lean devient la concrétisation d'un travail collectif.

Les améliorations proposées dans ce rapport sont basées sur des constatations, elles ne s'appliquent pas forcément à la méthode LPS en elle-même, mais permettent une homogénéité des outils et pensées sur un chantier. Le Lean Construction peut s'implémenter de bien des façons et s'applique de manière différente sur chacun des chantiers. L'expérience et la connaissance des outils est un facteur déterminant quant à la bonne gestion d'un chantier Lean Construction, la plus grande contrainte reste sa philosophie qui lui est propre, longue à assimiler et en perpétuelle évolution.

Dans le domaine constructif bois composé principalement de petites et moyennes entreprises, la préfabrication est un avantage considérable, par rapport aux autres types de construction, puisqu'elle est plus facilement envisageable et transportable sur chantier. Il serait intéressant pour ces d'entreprises de voir si la préfabrication couplée aux méthodes Lean Construction, leurs permettraient de rivaliser en terme de délais et de coûts contre des entreprises "béton" plus grandes utilisant les même outils. La préfabrication du bois, permettrait elle dans une optique Lean Construction de rivaliser contre les grands du béton ?

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Georges Javel, *Organisation et gestion de la production*, Dunod, Ed., 2000.
- [2] S.N Chapman, L.M Clive J.R.T Arnold, *Introduction to Materials Management*, Pearson, Ed., 2012.
- [3] Pierre Bedry, *Les basiques du Lean Manufacturing*, Edition Eyrolles, Ed., 2009.
- [4] Daniel T. JONES, Daniel ROOS and Maxwell MACMILLAN James P. WOMACK, *The machine that changed the world.*, 1990.
- [5] L. Koskela, "Application of the New Production Philosophy to Construction," 1992.
- [6] Patrick Dupin, *Le lean appliqué à la construction, comment optimiser la gestion de projet et réduire coûts et délais dans le bâtiment.:* Groupe Eyrolles, 2010.
- [7] R. Hamid S. Adamu, "Lean construction techniques implementation in Nigeria construction industry," *canadian journal environmental construction civil engineering*, 2012.
- [8] Usama Hamed ISSA, "Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time," 2013.
- [9] P.V.H. Revelo C.M. Fiallo, "Applying the last planner control system to a construction project: a case study in Quito, Ecuador," *Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-10*, 2002.
- [10] S. Diethelmand, O. Rojo F.L. Alarco´ n, "Collaborative implementation of lean planning systems in Chilean construction companies," *Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC-10*, 2002.
- [11] A. Jaapar, N.A.A. Bari M.A. Marhani, "Lean construction towards enhancing sustainable construction in Malaysia," *Journal Procedia*, 2012.
- [12] Gleen BALLARD, "The Last Planner System of production control," Thèse 2000.
- [13] Kenneth Brinch Jensen, "Identifying the Last Planner System, Lean management in the construction industry," 2010.
- [14] Ballard, Howell, Tommelein Koskela, *The foundations of lean construction*, Butterworth Heinemann, Ed., 2002.
- [15] Gleen BALLARD, "Look-ahead Planning the missing link in production control," 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 1997.
- [16] Hamed Armesh, "Management Control System," *Interdisciplinary Journal of*



*Contemporary Research in Business (IJCRB)*, 2010.

- [17] P.J. Bence, "Management Control System Description," U.S Department of Energy, Thèse 1990.
- [18] Shérif Mohamed HAFEZ Remon Fayek AZUZ, *Applying the thinking in construction and performance improvement.*, Alexandria Engineer Journal, Ed., 2013.

## RESUME

Le Lean est l'une des approches industrielles qui permet le changement de la manière de penser au sein des sociétés en favorisant l'implication de tous et la réduction du gaspillage. Bien connu dans le domaine manufacturier, cette approche tend à s'étendre au bâtiment. C'est ainsi que le terme Lean construction est apparu dans les années 90. En plus, des outils de base du Lean Manufacturing, le Lean Construction apporte un outil nouveau qui est le LPS. Il s'agit d'un système de planification et contrôle de la production dans lequel le dernier planificateur (Last Planner) correspond à celui qui réalise le travail à une étape donnée et qui est le mieux placé pour communiquer le travail et à l'exécuter. Cet outil repose sur plusieurs niveaux de planification avec différents horizons.

Ce rapport a pour objectif d'expliquer ce qu'est le lean construction, le LPS et de comparer cet outil à ceux traditionnellement utilisés en gestion de projet.

Mots clés:

Lean, Lean Construction, Last Planner System, LPS, Organisation de production, Gestion de Production.

## ABSTRACT

Lean is one of the industrial approaches used to change thinking in companies thanks to everyone's involvement and reducing waste. Well known in manufacturing environment, this approach is spreading into building construction. The Lean Construction term appears in 1990. In addition to Lean Manufacturing basics tools, Lean Construction brings a new tool which is LPS. This is a system of planning and control of production where the last planner (Last Planner) is the one that does the job at a given stage and who is the best person to communicate about the work and to do it. This tool is based on several planning levels with different horizons.

The goal of this report is to explain what the lean construction and LPS are, and compare this tool to those traditionally used in project managements.

Keywords:

Lean, Lean Construction, Last Planner System, LPS , Production Management.