

**Titre:** Amélioration du processus de gestion des demandes de  
Title: changement d'ingénierie dans le domaine de la construction

**Auteur:** Martin Fleurent  
Author:

**Date:** 2013

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Fleurent, M. (2013). Amélioration du processus de gestion des demandes de  
changement d'ingénierie dans le domaine de la construction [Mémoire de  
maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.  
<https://publications.polymtl.ca/1210/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/1210/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Robert Pellerin, & Samir Lamouri  
Advisors:

**Programme:** Génie industriel  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

AMÉLIORATION DU PROCESSUS DE GESTION DES DEMANDES DE  
CHANGEMENT D'INGÉNIERIE DANS LE DOMAINE DE LA  
CONSTRUCTION

MARTIN FLEURENT

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

JUIN 2013

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

AMÉLIORATION DU PROCESSUS DE GESTION DES DEMANDES DE CHANGEMENT  
D'INGÉNIERIE DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION

présenté par : FLEURENT Martin

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. MASCLE Christian, Doct. ès Sc., président

M. PELLERIN Robert, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. LAMOURI Samir, Doct., membre et codirecteur

M. SALLEZ Yves, Doctorat, membre

## **REMERCIEMENTS**

Ce mémoire a été réalisé au sein de la Chaire de recherche Jarislowsky - SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux de l'École Polytechnique de Montréal. Le financement reçu de cet organisme fut grandement apprécié, car il m'a aidé à me concentrer sur mes recherches à plein temps.

Je souhaite donc remercier M. Robert Pellerin. En plus d'être le titulaire de cette Chaire de recherche, M. Pellerin était aussi mon directeur de recherche. Il m'a donné la chance de me joindre à son équipe pour me permettre d'approfondir mes connaissances dans le domaine de la gestion de projet. Sa rigueur et son expertise ont été des éléments clés dans la réalisation de mes travaux. Son support a été crucial pendant les deux années nécessaires à l'exécution de ce mémoire. Nathalie Perrier, François Berthaut et mes collègues de la Chaire m'ont aussi épaulé en tant qu'experts et membres de la Chaire de recherche.

Je tiens aussi à remercier les Arts et Métiers Paristech et le laboratoire du LOGIL pour le soutien reçu lors de mon stage dans leur établissement. M. Samir Lamouri s'est dévoué pour rendre ce séjour possible et pour m'accompagner lors de mes recherches en Europe : ses conseils et ses contacts m'ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances en plus de profiter de la culture parisienne. Virginie, Andrée, Anne et Simon m'ont aidé à découvrir Paris et se sont assurés que mon séjour soit des plus agréables au sein de leur équipe. Sans oublier M. Laurent Joblot qui m'a si gentiment accueilli dans sa famille lors de mon séjour à son école sur le campus de Cluny.

Je dois aussi donner une mention spéciale à tous les professionnels qui m'ont aidé lors de mon expérience en entreprise. Le temps qui m'a été accordé par Benoit Marcotte, Khaled Elfekhfakh, Sherif Fam, Réal Meunier, Sylvie Asselin, Caroline Hurteau et Nathalie Marcoux m'a permis de mieux comprendre les enjeux en entreprise et ils m'ont proposé des pistes de solutions pour m'aider dans mes travaux.

À mes amis, Martin, Olivier et Matthieu, pour tout le temps que vous m'avez accordé pour corriger mes textes, valider mes hypothèses, questionner mes recherches, je vous remercie. Votre aide m'a été utile tout au long de mon cheminement.

Sur une note un peu plus personnelle, je salue mes parents et toute ma famille qui m'a toujours encouragé au long de cette aventure. Je tiens aussi à remercier Catherine pour ses encouragements et son soutien. Sans elle, ces deux dernières années n'auraient pu se dérouler d'une aussi belle façon.

Je remercie donc tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin lors de mes travaux et qui m'ont permis de réussir dans le domaine que j'aime.

## RÉSUMÉ

Les changements d'ingénierie sont courants dans tous les grands projets de construction. Les projets doivent fréquemment être modifiés. De longs délais sont parfois observés lors du traitement des demandes de changement d'ingénierie et ces délais ont parfois un impact critique sur les coûts d'un projet.

Ce mémoire débute avec l'identification de problématiques réelles rencontrées dans une grande entreprise de génie-conseil œuvrant dans la gestion de grands ouvrages. Par la suite, une étude de l'état de l'art a permis de diriger les travaux en soulevant les failles présentes dans les recherches. Les objectifs de la recherche consistent à proposer une amélioration du processus de gestion des changements d'ingénierie dans le but de réduire le temps de traitement et de présenter de nouveaux indicateurs de performances reliés à la gestion des changements d'ingénierie.

La modélisation du processus de gestion des changements d'ingénierie a servi de base pour la création du processus amélioré. En séparant le processus en deux sous-processus, l'analyse des résultats de la simulation a permis d'observer des diminutions en temps de traitement de l'ordre de 43% pour la section DCN (Design change note) lié majoritairement à l'ingénierie. La section PCN (Project change note), liée à la partie administrative, a bénéficié de 5% de réductions. D'autres scénarios ont été testés : la diminution des jours disponibles au traitement des ECs (engineering changes), la variabilité appliquée au temps de traitement et la variation du taux de changement. Dans tous les cas, le processus amélioré se comporte mieux que ce soit en temps de traitement, en temps de traitement à valeur ajoutée ou en temps d'attente. On peut même démontrer qu'un taux d'arrivée d'un changement par semaine ou moins est souhaitable. En effet, le temps de traitement cesse d'augmenter quand le taux d'arrivée est plus faible qu'un EC par semaine. Il n'y a donc presque plus d'attente due à une ressource utilisée par un autre EC.

Du côté des indicateurs de performance, l'étude montre que le SPI (Schedule performance index) peut fausser les décisions des gestionnaires en ne prenant en compte les ECs que lorsque leur traitement est complet. En effet, l'indicateur est calculé mensuellement, il peut donc se passer trois mois avant que le changement affecte l'indicateur de performance. Les nouvelles méthodes de calcul impliquent donc des points critiques au départ du processus de gestion et à la fin de la section DCN. Ceci permet de calculer un SPI de manière plus précoce pour tenter d'avertir plus rapidement les gestionnaires de la quantité des changements à survenir.

## ABSTRACT

Engineering changes are common in all major construction projects. Projects must often be modified. Indeed, long delays are sometimes observed during the engineering change management process and these delays can have a critical impact on project costs.

Therefore, this thesis begins with the identification of actual problems encountered in a large engineering consultancy firm involved in the management of large scale projects. Subsequently, a state of work analysis is used to direct the work by highlighting the vulnerabilities present and proving that there must be an innovative solution to resolve the problems encountered in the partner company. The objectives of the research are then defined and these consist of improving the engineering changes to the management process to reduce the processing time and to propose new performance indicators used in the management of engineering changes.

The business process is the base of the creation for the improved process. By making a distinction between the two sub-processes, the analysis of the simulation allowed the identification of a reduction in the treatment time by 43% of the sub-process linked to the engineering task (DCN). The sub-process PCN got a treatment time reduced by 5%. Other simulations were made. These are: reduction of days available for the treatment of ECs, different variability applied to the time of the treatment and the variation of the rate of input of ECs. In all the scenarios, the improved process behaves better than the actual process in terms of time of treatment, value added time or waiting time. It is even possible to conclude that with rate of one EC per week or less the treatment time does not vary much even though the rate is getting lower. At those rates, the waiting times due to resources are almost nonexistent thus the lower gain of time.

As for the performance indicators, the study showed that the SPI could misguide the directors because it does not include the ECs in process. Since the indicator is calculated on a monthly base, it is possible to have a three month window before an ECs is included in the calculus. The new methods proposed try to use checkpoint in the beginning of the EC process and in the end of the sub-process DCN. This allows using an SPI that shows earlier detection of problem since the ECs are included sooner. The managers can have a better understanding on what is really going on in their projects.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	III
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES .....	XII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XIV
LISTE DES ANNEXES.....	XV
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUES .....	4
1.1    Introduction .....	4
1.2    Description des changements d'ingénierie.....	4
1.2.1    Définition des changements d'ingénierie.....	4
1.2.2    Causes des changements d'ingénierie .....	6
1.2.3    Impacts des changements d'ingénierie.....	7
1.3    Conclusion.....	10
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	11
2.1    Introduction .....	11
2.2    Méthodologie d'analyse .....	11
2.3    Analyse des articles .....	13
2.3.1    Outils et méthodes d'amélioration .....	13
2.3.2    Phase.....	19
2.3.3    Domaine .....	20

2.4 Critique des articles .....	21
2.5 Conclusion.....	26
<b>CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....</b>	<b>27</b>
3.1 Introduction .....	27
3.2 Description des objectifs de recherches .....	27
3.3 Description de la méthodologie.....	28
3.4 Conclusion.....	32
<b>CHAPITRE 4 ANALYSE DE PROCESSUS .....</b>	<b>34</b>
4.1 Introduction .....	34
4.2 Processus actuel (AS-IS).....	34
4.2.1 Sources des changements .....	34
4.2.2 Évaluation préliminaire .....	35
4.2.3 Documentation (évaluation des impacts) .....	35
4.2.4 Évaluation finale .....	36
4.2.5 Mise à jour des informations du système de gestion.....	36
4.3 Problématiques actuelles .....	36
4.3.1 Problèmes organisationnels.....	37
4.3.2 Disponibilité des ressources .....	38
4.3.3 Complexité du processus d'approbation .....	38
4.4 Processus souhaité (TO-BE) .....	41
4.4.1 Sources des changements .....	41
4.4.2 Évaluation préliminaire .....	41
4.4.3 Documentation .....	41
4.4.4 Évaluation finale .....	42

4.4.5 Mise à jour des informations du système de gestion.....	42
4.5 Discussion .....	44
4.5.1 Avantages .....	44
4.5.2 Désavantages.....	45
4.6 Conclusion.....	46
<b>CHAPITRE 5 VÉRIFICATION ET VALIDATION .....</b>	<b>47</b>
5.1 Introduction .....	47
5.2 Vérification du processus actuel .....	47
5.3 Modèle ARENA.....	48
5.3.1 Intrants du modèle (entités).....	48
5.3.2 Spécification du modèle .....	49
5.3.3 Paramétrage du modèle .....	52
5.4 Validation du modèle ARENA .....	52
5.5 Conclusion.....	57
<b>CHAPITRE 6 ANALYSE DES RÉSULTATS .....</b>	<b>58</b>
6.1 Introduction .....	58
6.2 Définition du cadre expérimental .....	58
6.3 Résultats .....	59
6.3.1 Résultats du processus amélioré.....	59
6.3.2 Résultats selon le nombre de jours disponibles.....	61
6.3.3 Résultats selon la variabilité.....	63
6.3.4 Résultats selon le nombre de changements traités .....	66
6.4 Discussion .....	68
6.5 Conclusion.....	69

CHAPITRE 7 INDICATEURS DE PERFORMANCE .....	71
7.1    Introduction .....	71
7.2    Définition de la valeur acquise .....	71
7.3    Exemple dans les projets de construction .....	74
7.4    Conclusion.....	77
CHAPITRE 8 DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	79
8.1    Introduction .....	79
8.2    Recommandations .....	79
8.3    Conclusion.....	82
CONCLUSION .....	83
BIBLIOGRAPHIE .....	87
ANNEXES.....	90

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2-1 Résultats des recherches dans les principaux moteurs de recherches .....	12
Tableau 2-2 Classification des textes .....	25
Tableau 5-1 Validation des temps réels VS temps de simulation (en semaines) .....	53
Tableau 6-1 Comparaison des temps de traitements selon les sections évaluées (en semaines) ...	59
Tableau 6-2 Temps de traitement des processus et réduction selon les sections étudiées (en minutes).....	60

## LISTE DES FIGURES

Figure 1—1 Structure du mémoire.....	2
Figure 2—1 Processus de gestion de demande de changement .....	14
Figure 3—1 Démarche utilisée pour l'obtention du modèle du processus utilisé .....	31
Figure 4—1 Légende.....	39
Figure 4—2 Processus AS-IS.....	40
Figure 4—3 Processus TO-BE.....	43
Figure 5—1 Probabilité d'occurrence en fonction de la valeur "x" .....	48
Figure 5—2 Extrait du modèle de simulation du processus AS-IS.....	51
Figure 5—3 Fréquence d'occurrence en fonction du temps de traitement de la partie DCN (AS-IS) .....	54
Figure 5—4 Fréquence d'occurrence selon le temps de traitement pour la partie PCN (AS-IS)...	55
Figure 5—5 Fréquence d'occurrence selon le temps de traitement total (AS-IS).....	56
Figure 6—1 : Temps de traitement pour chacune des parties selon le nombre de jours « d'indisponibilité » .....	62
Figure 6—2 Graphique du temps d'attente selon le nombre de jours « d'indisponibilité » .....	63
Figure 6—3 % augmentation du temps à valeur ajoutée en fonction du % de variation appliquée sur les temps de traitement .....	64
Figure 6—4 Graphique du temps du % de la valeur ajoutée selon la variabilité .....	65
Figure 6—5 Graphique du temps de traitement selon la variabilité .....	66
Figure 6—6 Temps total de traitement en fonction du taux d'apparition des changements .....	67
Figure 6—7 Temps de traitement en minutes en fonction du taux d'apparition des changements	68
Figure 7—1 Glossaire des termes utilisés pour la méthode de la valeur acquise (Gray et al., 2006)	72

Figure 7—2 Diagramme des coûts et de l'avancement en fonction du temps (adapté de (Gray et al., 2006)) .....	73
Figure 7—3 Graphique des heures budgétées et du SPI en fonction du temps .....	78

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
ACI	Avis de Changement d'Ingénierie
CI	Changement d'Ingénierie
CPI	Cost Performance Index
DCN	Design Change Notice
EC	Engineering Change
ECO	Engineering Change Order
ECR	Engineering Change Request
MFL	Manpower Forecast Leveling
OCI	Ordre de Changement d'Ingénierie
PCN	Project Change Notice
PGCI	Processus de Gestion des Changements d'Ingénierie
SPI	Schedule Performance Index
VA	Valeur ajoutée

## **LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE A :	ARTICLE CIGI 2103 .....	90
ANNEXE B :	PROCESSUS AS-IS ET TO-BE COMPLET .....	104
ANNEXE C :	EXEMPLE DE RAPPORT DE SIMULATION .....	111

## INTRODUCTION

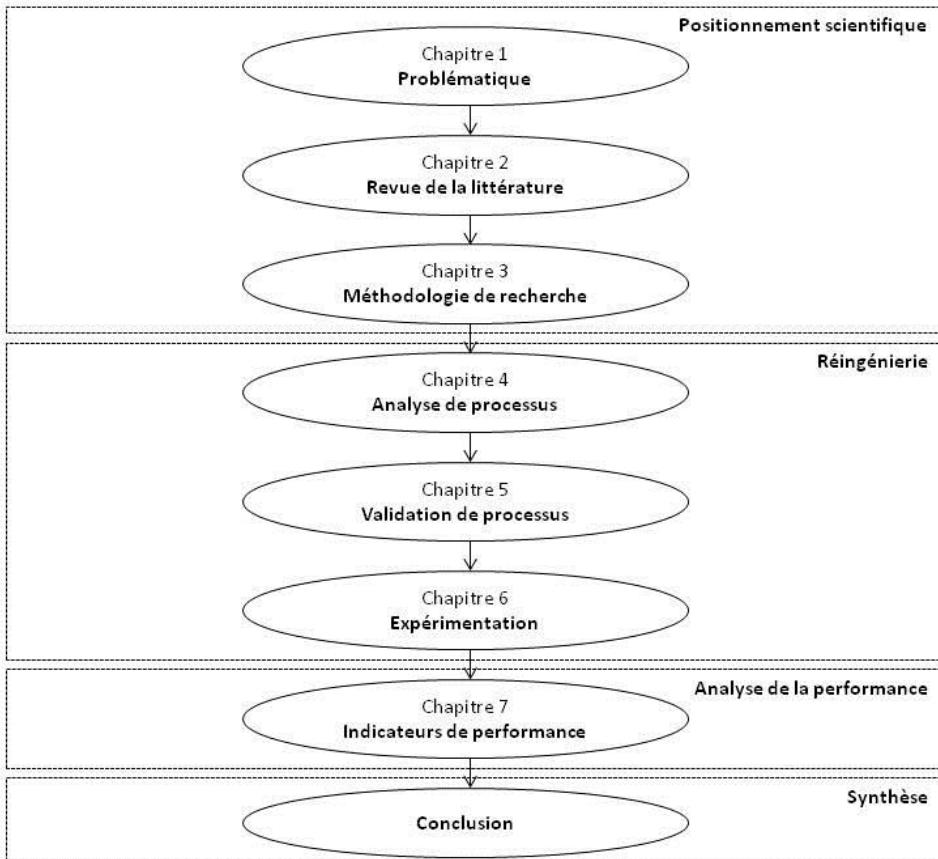
Les entreprises font face à des défis de taille pour continuer à offrir des services flexibles capables de répondre aux besoins changeants de leurs clients en plus de devoir s'adapter aux règles et normes changeantes de leur industrie respective. Leur capacité à bien gérer les changements est souvent un facteur critique de réussite (Dale, 1982). Lorsqu'il s'agit d'un produit simple, les dessins techniques peuvent être modifiés et de nouvelles versions des plans peuvent être créées pour se conformer aux nouvelles législations en vigueur ou aux exigences du client. L'organisation peut alors devoir modifier les plans, changer les ordres d'achat, les gammes de fabrication, etc.

La gestion des changements devient encore plus complexe lorsque des modifications doivent être apportées sur un produit complexe ou lors de la réalisation d'un grand ouvrage d'ingénierie. Comme la modification d'une composante peut avoir des répercussions sur l'ensemble du produit ou du projet, une collaboration étroite des différents intervenants est nécessaire. Dans un contexte de projet de construction d'envergure, les activités de développement s'étalent souvent sur plusieurs années. Il n'est donc pas rare de constater après quelques mois, que le projet ne corresponde plus aux besoins initiaux du client et que la portée du projet doive être modifiée en cours de réalisation. Les documents complétés et approuvés doivent donc subir des modifications suite à l'ajout ou la suppression d'éléments ou, dans certains cas, être déclarés complètement obsolètes.

De manière générale, les demandes de changements d'ingénierie sont encadrées par des processus d'évaluation et de contrôle qui impliquent différents départements de façon à planifier adéquatement le travail à exécuter en plus d'en assurer le suivi. Ceci nécessite un réseau de communication adéquat et une coordination étroite de toutes les parties prenantes. En effet, l'évolution des changements doit être contrôlée pour s'assurer que les efforts soient déployés de manière optimale dans chacun des départements.

Afin de mieux gérer une demande de changement, il faut en comprendre la provenance, la nature, les multiples impacts qu'elle peut engendrer, en plus de posséder l'information adéquate pour chacun de ces impacts. Bien que plusieurs recherches traitent de ce sujet, celles-ci semblent s'appliquer principalement aux domaines manufacturiers ou à des projets en général sans s'attarder spécifiquement à la phase de planification de projet.

Cette recherche vise à combler en partie cette lacune et à gérer les répercussions des demandes de changements d'ingénierie pendant la phase de planification des projets de construction. La figure 1.1 synthétise la structure générale de ce mémoire.



**Figure 1—1 Structure du mémoire**

La phase de positionnement scientifique inclut les chapitres 1, 2 et 3 qui définissent les concepts de base s'appliquant à la gestion de changements d'ingénierie en mettant l'accent sur les enjeux rencontrés dans une compagnie canadienne de génie-conseil de grande envergure et présentent une revue de littérature qui couvre les pistes de solutions proposées dans la littérature scientifique. Le dernier chapitre de cette section finalise le positionnement de la recherche en

présentant les objectifs spécifiques, les hypothèses de recherche et de la méthodologie de recherche.

La phase suivante consiste à la réingénierie. Le chapitre 4 analyse le processus actuel utilisé en entreprise et propose une modélisation du processus amélioré. Le chapitre suivant explique comment le logiciel est paramétré pour exécuter la simulation qui fournira les données nécessaires à la comparaison des processus effectuée dans le chapitre 6.

Une fois les bénéfices potentiels quantifiés, le chapitre 7 fera l'analyse des performances en évaluant la justesse de certains indicateurs de performance utilisés dans la gestion de projet. L'utilisation de nouvelle méthode de calcul des indicateurs de performance sera proposée pour combler des lacunes identifiées.

Le rapport se terminera avec la synthèse des propositions et conclura avec les contributions, les limitations et les avenues de recherches futures dans le domaine.

# CHAPITRE 1

## PROBLÉMATIQUES

### **1.1 Introduction**

Ce chapitre vise à présenter les problématiques de gestion des demandes de changements d'ingénierie telle que vécue par les firmes d'ingénierie. Pour y arriver, ce chapitre débute par une présentation formelle du concept de changement d'ingénierie. Par la suite, les sources des modifications seront définies afin de bien comprendre leur nature et leur provenance. Pour terminer, les impacts théoriques et des exemples vécus en entreprise seront expliqués dans le but d'identifier les problématiques découlant des changements d'ingénierie.

### **1.2 Description des changements d'ingénierie**

Il s'avère nécessaire de bien définir le concept des changements d'ingénierie (CI), ou *engineering changes* en anglais (EC), avant de pouvoir comparer les différentes méthodes de gestion ou les outils variés. La notation EC sera utilisée tout au long de cette recherche, car elle est couramment utilisée dans la littérature. Les ECs doivent être différenciés du concept général de changement dans le cadre d'une organisation ou d'une entreprise. La gestion du changement peut être associée à la fusion de deux firmes ou bien à la réingénierie d'un processus d'affaires. Un EC, quant à lui, fait référence à la modification d'une pièce ou d'un produit. Il y a donc une distinction à faire entre un changement de type organisationnel et une modification du produit/projet.

#### **1.2.1 Définition des changements d'ingénierie**

Un changement d'ingénierie possède parfois une définition très spécifique au secteur dans lequel il est employé. Ainsi, Han et al. (2012) parlent « d'ordre de changement » tandis qu'Ollinger et Stahovich (2004) utilisent plutôt les « changements de design ». Bien que les termes diffèrent légèrement, ils sont utilisés pour décrire une même réalité. D'autres termes peuvent être employés s'ils sont utilisés dans un contexte où la signification est la même que celle des changements d'ingénierie. Malheureusement, on note que la signification d'un EC est rarement définie dans la littérature. Certains auteurs ont toutefois énoncé des définitions très larges pour

tenter d'englober tous les aspects reliés à ce domaine. Les trois définitions suivantes sont celles qui sont les plus citées dans la littérature :

*« an engineering change (EC) is a modification to a component of a product, after that product has entered production »* (Wright, 1997).

*« Engineering change orders (ECOs)- changes to parts, drawings or software that have already been released »* (Terwiesch & Loch, 1999).

*« Engineering changes are the changes and modifications in forms, fits, materials, dimensions, functions, etc. of a product or a component »* (Huang et al., 2001).

Ces définitions diffèrent quelque peu. En effet, Huang et al. (2001) incluent les types de modifications alors que Terwiesch et Loch (1999) incluent le domaine des logiciels. Basée principalement sur la définition de ces auteurs, Jarratt et al. (2004) proposent une définition plus complète en ajoutant les caractéristiques de grandeur, de temps et d'origine:

*« An engineering change is an alteration made to parts, drawings or software that have already been released during the product design process. The change can be of any size or type; the change can involve any number of people and take any length of time»* (Jarratt et al., 2004)

Il est judicieux de préciser que le changement peut provenir de tous les intervenants reliés au produit. La définition ainsi obtenue serait formelle et utilisable pour une entreprise qui voudrait se doter d'une procédure robuste en termes de gestion des demandes de changements d'ingénierie. En effet, les compagnies ont besoin de définition à l'interne qui leur servent de guides pour identifier les ECs et en assurer une documentation adéquate. Voici la définition qu'ABC-Construction donne aux changements de design dans les procédures internes de l'entreprise :

*« Change (addition or deletion) on any or a combination of the following: scope, number of deliverables, engineering manhours, capital cost and schedule. »* (ABC-Construction, 2008)

Il est important de noter que dans la littérature le terme « changement d'ingénierie » est souvent remplacé par le terme « ordre de changement d'ingénierie », ou *engineering change order* (ECO). Cette interchangeabilité s'explique par la proximité des deux termes. Dans la pratique, le

changement d'ingénierie « CI » induira un ordre de changement d'ingénierie « OCI »; souvent les intervenants parleront d'un CI lorsqu'un OCI sera mis à exécution ou même d'un avis de changement d'ingénierie « ACI ».

### **1.2.2 Causes des changements d'ingénierie**

Après avoir bien défini ce qu'était un EC, il importe d'en connaître la provenance. Il est facile d'affirmer que les changements d'ingénierie surviennent pour corriger une erreur ou améliorer un produit, mais les raisons peuvent être plus complexes que cela. En effet, les ECs peuvent découler d'un stimulus interne associé aux caractéristiques mêmes du produit, ou d'un stimulus externe associé à une demande d'un acteur impliqué dans le cycle de vie du produit (Rowell et al., 2009). Jarratt et al. (2011) définissent plus en profondeur les types de raisons qui poussent à effectuer une modification.

- **Interne**

- Correction d'une erreur faite pendant le design;
- Protection du public et de l'environnement quant à la sécurité du produit;
- Changement de fonctions qui ne satisfont pas les exigences; et
- Problèmes de qualité lors de la production qui découlent d'un mauvais design.

- **Externe**

- Demandes provenant d'une des parties prenantes suivantes: Clients, Ventes et Marketing, Maintenance, Production, Fournisseurs, Ingénierie, Haute direction, Législateurs, etc.

Il existe une très grande quantité de raisons externes compte tenu du nombre et de la variété des intervenants dans un projet d'ingénierie. Il est ainsi possible d'étudier la nature des changements en fonction des parties prenantes qui peuvent initier un changement. Prenons, par exemple, un produit dont la modification proposée serait d'en augmenter les performances. Cette modification pourrait avoir été exigée par les clients, le département ventes et marketing ou même imposée par les législations en vigueur. Un aspect important à comprendre est de savoir pourquoi une de ces parties prenantes cherche à augmenter les performances du produit. Il faut aussi ajouter que, dans les projets de construction, un changement d'envergure peut amorcer toute une série de changements dans de multiples départements d'ingénierie participant au projet. Par exemple, une réduction du budget peut amputer le projet de toute une section d'un bâtiment. Les départements touchés par ce genre de modifications sont multiples.

Une compagnie peut catégoriser les ECs selon la priorité qu'elle devrait y accorder. Dans la pratique, ces changements sont souvent classés comme des demandes « immédiates, obligatoires ou optionnelles ». Les premiers seraient les ECs qui sont exécutés pour la sécurité et faits sur-le-champ. Les demandes « obligatoires » représenteraient celles qui doivent être effectuées, mais qui sont flexibles quant au moment d'exécution. Les demandes « optionnelles » seraient liées aux ECs qui améliorent le produit, mais dont l'exécution n'est pas impérative et dont le moment d'exécution peut varier pour tenter de minimiser les perturbations sur l'ensemble du projet.

Que les changements soient réalisés pour une raison ou une autre, on constate que la raison principale menant à l'utilisation des ECs est, dans la majorité des cas, le manque de communication entre les parties prenantes participant au projet (Tavcar & Duhovnik, 2005). L'information circulant entre les différents départements peut donc être considérée comme critique au bon fonctionnement du processus de gestion des changements d'ingénierie.

### **1.2.3 Impacts des changements d'ingénierie**

Inévitablement, les ECs influencent les résultats des projets. Connaître la portée d'une modification est critique pour l'exécution de celle-ci. De manière générale, les ECs influencent le budget, la planification et l'exécution.

Pour Egan et Anderson (2011), les ECs peuvent induire six types de situations qui ont des résultats similaires. Le changement dans la planification peut retarder des travaux pendant la période hivernale, changer la séquence des travaux, forcer le travail de plusieurs corps de métiers au même moment sur le chantier, augmenter les heures supplémentaires nécessaires et induire des coûts supplémentaires en location d'équipement. Ces situations entraînent parfois des répercussions psychologiques sur les employés et rendent leur travail moins productif et efficient. Il ne faut pas oublier que dans le cas d'erreur pendant la phase de construction, retravailler est parfois mal vu et les gestionnaires tendront à modifier des plans pour que ceux-ci correspondent au travail effectué plutôt que d'adapter la réalité aux plans initialement prévus (Park & Peña-Mora, 2003). Lorsqu'il s'agit d'un changement d'envergure, il est possible que des plans complétés doivent être retravaillés. Du travail est donc parfois exécuté inutilement pour créer des plans qui seront modifiés, voire même totalement éliminés.

Lorsqu'il s'agit d'une modification à un produit, c'est toute la chaîne de production qui peut être affectée. Plus spécifiquement, une modification peut impliquer un changement d'outils, de gabarits, de gammes d'usinage, de listes de matériel, d'ordre d'achat, d'inventaire obsolète, etc. (Wright, 1997). L'altération d'une pièce en particulier peut avoir des conséquences sur plusieurs autres qui, à leur tour, peuvent avoir des impacts sur le design final. La propagation d'un EC s'exécute typiquement selon certains patrons spécifiques (Eckert et al., 2004). Tous les dessins et modèles des pièces reliés à une pièce qui subit un EC doivent être revus. Il faut penser à revoir toutes les exigences et les contraintes. Un bon exemple est la modification du matériau d'une pièce. Ce changement peut ne pas affecter les fonctions de la pièce elle-même ni ses liens avec les autres pièces qui lui sont directement liées, mais le nouveau matériau peut faire augmenter le poids au-delà des limites prescrites pour le système ou sous-système en question et violer une des contraintes. Les projets nécessitant des pièces avec des temps de livraisons très longs peuvent aussi souffrir d'une modification sur une de ces pièces. Il faut donc faire très attention lorsque l'on souhaite modifier des pièces ayant ce type de caractéristique. Riedelbach (1991) propose même une procédure pour contrôler les impacts des changements. Cette procédure prend en compte les exigences, les ordres d'achat, les plans, les listes de matériels, les coûts, etc.

En plus des problèmes identifiés dans la littérature scientifique, des observations menées en entreprise pendant la période de janvier 2012 à mai 2012 ont permis d'identifier des exemples concrets de problématiques courantes rencontrées lors de la gestion des changements d'ingénierie en construction. Afin de conserver la confidentialité des informations, ces observations effectuées en entreprise seront regroupées sous l'entreprise ABC-construction. Les principales situations décrites ci-après découlent d'une analyse des problèmes rencontrés dans le département de contrôle et planification.

Des entrevues avec le personnel ont ainsi permis de constater que le traitement des demandes de changement pose problème. En premier lieu, le processus de traitement des changements d'ingénierie n'est pas clairement défini et la procédure suivie varie beaucoup selon les projets et selon les directeurs de projets. Cette lacune apparaît notamment dans la documentation des procédures de demande de changement. En effet, les formulaires d'identification de changements ne sont pas standardisés dans l'entreprise et ne comprennent pas toutes les mêmes informations. Certaines informations colligées dans les formulaires semblent non pertinentes. Les formulaires sont sous la responsabilité d'un ingénieur nommé « chef du changement proposé ». Par la suite,

celui-ci distribue le formulaire (en format Word ou Excel) associé à son changement via courriel. Chacun des chefs des différentes spécialités reliées au projet complète la partie liée à son domaine d'expertise. De plus, l'entreprise a développé un logiciel de gestion de projet interne qui permet une centralisation de l'information bien que les équipes de projets utilisent encore des documents sous format Excel ou Word. Puisqu'il n'est pas encore adapté à l'intégration des demandes de changements d'ingénierie, le système subit des améliorations continues. Le flux d'information doit être formalisé de sorte que tous travaillent de la même façon dans les divisions de l'entreprise. On peut aussi remarquer que la planification n'est pas incluse dans le système de gestion. Les ECs doivent donc être ajoutés autant au niveau du logiciel de planification qu'à celui du système de gestion de projet.

La gestion et le suivi des changements en cours posent aussi problème. Il arrive que la modification ne soit pas encore approuvée et que les ingénieurs aient déjà entamé le travail. L'entreprise surveille étroitement le taux de productivité des départements par projet et les activités reliées à des demandes de changement potentiel ne sont pas intégrées au système de gestion interne. Cette manière de procéder induit les contrôleurs de projet en erreur, car les heures dépensées par les ingénieurs ne contribuent pas à l'avancement des activités planifiées dans le module de gestion interne. La courbe d'avancement des travaux peut alors laisser croire à un retard alors qu'il n'en est rien.

Selon le directeur de contrôle de projet d'ABC-Construction, les demandes de changements devraient toujours être justifiées et documentées. Dans le cas où celles-ci seraient justifiables, il serait alors possible d'amender le projet et de récupérer les coûts reliés aux heures dépensées en les facturant au client. Par exemple, il a été possible de constater que l'augmentation de l'envergure du projet a induit des demandes de changements qui ont mené à des dépenses d'heures d'ingénierie de 300 % supérieures à la planification effectuée lors de la signature du contrat. La gestion des heures dépensées et des progrès réalisés est pourtant critique pour les contrôleurs de projet qui n'ont cependant aucune visibilité sur les tâches qui découlaient d'une demande de changement d'ingénierie.

Les gestionnaires disposent d'un outil de prévisions et d'ajustements des besoins de main-d'œuvre, un plan regroupant tous les types de ressources humaines et les heures que chacun des employés dans ces postes doit fournir par semaine pour permettre l'exécution du projet. Lorsque

les tâches varient avec une augmentation/diminution d'envergure, ce plan ne convient plus, car les besoins ont changé.

L'approvisionnement pose aussi problème. Il arrive que des demandes d'achats doivent être annulées ou modifiées pour refléter les nouveaux besoins découlant d'un changement dans le projet. L'information n'est pas toujours accessible aux acheteurs et les délais présents dans le traitement des données peuvent représenter possiblement des coûts pouvant être évités avec un flux d'information adéquat.

Ceci n'évoque que quelques-unes des problématiques qui découlent des demandes de changement d'ingénierie en entreprise. La recherche suivante portera sur ces enjeux et vise à recommander un processus standard de gestion des demandes de changement d'ingénierie et d'identifier des indicateurs de performances qui permettraient une meilleure évaluation de la progression réelle d'un projet. Au final, le processus de gestion des demandes de changements proposés se doit d'être plus rapide et de permettre une meilleure transparence pour la prise de décision.

### **1.3 Conclusion**

Une fois bien définis, les EC sont plus facilement identifiables pour les employés. Il est en effet de leur responsabilité de soulever tout changement de design potentiel pour en vérifier la nécessité. L'identification des causes permet de mieux repérer les ECs potentiels et d'en comprendre les impacts possibles. Ceci permet la mise en place de processus formels d'étude pour éviter que les changements aient des conséquences inattendues tout en empêchant la répétition des mêmes erreurs. La gestion des changements d'ingénierie doit donc se faire en ayant toutes les informations nécessaires. Le prochain chapitre tentera donc de recenser les avancements réalisés dans la gestion des demandes de changements d'ingénierie.

## **CHAPITRE 2**

### **REVUE DE LITTÉRATURE**

#### **2.1 Introduction**

Les changements en ingénierie ne sont pas nouveaux. Des articles traitant du sujet datent d'aussi loin que 1964 (Gleiberman, 1964). Depuis, les experts de nombreux domaines ont énoncé différentes stratégies et méthodes pour gérer le processus de changement d'ingénierie. Cette section se voudra donc un recensement des livres, articles, résumés de conférences, etc. La méthodologie utilisée pour recueillir les textes sera détaillée et une classification servira à différencier les divers aspects de recherche ayant été évalués par les auteurs. Pour finir, un examen critique de l'état de l'art sera réalisé pour démontrer le bien-fondé de la présente recherche. Cet examen mettra en évidence les lacunes observées parmi les textes recensés.

#### **2.2 Méthodologie d'analyse**

Pour s'assurer d'avoir une connaissance globale et complète du sujet et dans le but premier de pouvoir poser un regard critique sur les conclusions tirées des analyses et des études réalisées, une méthodologie formelle a été définie. L'analyse suivante s'est donc déroulée en trois temps: planification, exécution et critique.

Premièrement, une planification était nécessaire pour structurer la recherche. Celle-ci a donc été effectuée en identifiant d'abord les thèmes qui devaient être abordés dans les textes. Les mots-clés suivants ont été identifiés pour effectuer plusieurs stratégies de recherche en utilisant les troncatures au besoin.

- Construction change management
- Engineering change order
- Engineering change management
- Engineering change process

L'utilisation de ces mots-clés dans un moteur de recherches alliant Compendex, Web of Sciences, Computers & Applied Sciences Complete, Scopus, puis dans Scirus et GoogleScholar a permis d'identifier des centaines de textes, comme le résume le tableau 1.

**Tableau 2-1 Résultats des recherches dans les principaux moteurs de recherches**

Moteur de recherche	Construction change management	Engineering change order	Engineering change management	Engineering change process	Total
Bibliothèque Polytechnique*	56	24	58	50	188
Scirus	4	81	86	20	191
GoogleScholar	24	1030	1150	299	2503
Total	84	1135	1294	369	

\*Le moteur de recherche est composé de Compendex, Computers & Applied Sciences Complete, Scopus et Web Of Sciences

À la lecture du résumé et des mots-clés présents dans les articles, plusieurs textes ont immédiatement été identifiés comme non pertinents. Puis, les textes restants ont fait l'objet d'un survol pour en confirmer la pertinence. Par la suite, une vérification a été faite pour s'assurer que les textes les plus cités soient aussi inclus dans la revue de littérature s'ils n'avaient pas été repérés à partir de la stratégie de recherche.

Deuxièmement, la phase d'exécution consistait à lire en profondeur les textes. Parmi les centaines de textes trouvés, plus de 30 de textes furent identifiés comme pertinents dans le cadre de la présente recherche.

Pour finir, une classification des textes sous diverses catégories a été suggérée. Cette classification des textes sert à mettre en évidence leurs caractéristiques selon trois grands thèmes qui aideront à diriger le travail à accomplir.

**Outils et méthodes d'amélioration:** C'est dans cette catégorie qu'il est possible de différencier les stratégies de recherches effectuées par chacun des auteurs. Les chercheurs tentent par tous les moyens de réduire les coûts, les délais, les pertes et les erreurs créés par les ECs et leur gestion. Les outils ou les méthodes développées sont ce qui contribue concrètement à améliorer les processus et les méthodes de gestion mis en place. Que ce soit en modifiant les processus actuels, en élaborant des stratégies de

gestion, en développant des outils d'aide à la gestion ou bien en incluant des fonctionnalités de gestions dans les logiciels de dessins et de modélisations.

**Phase:** Comme la gestion du cycle de vie des produits (Product Lifecycle Management-PLM) prend de plus en plus d'importance, les auteurs poussent parfois leurs analyses en indiquant dans quelle phase du cycle de vie du produit leurs propositions sont applicables. Il a été décidé de faire une distinction à deux dimensions pour distinguer la phase de design et la phase de production.

**Domaine:** Cet axe vise ainsi à définir dans quel secteur les avancées proposées sont réalisables. Les résultats des recherches effectuées peuvent parfois être spécifiques à un domaine précis ou bien profiter à plusieurs secteurs à la fois. Ces dimensions du domaine seront donc utiles pour vérifier si un secteur en particulier a reçu plus d'attention de la part des chercheurs et s'il y a des ouvertures pour la recherche dans un secteur peu étudié.

## 2.3 Analyse des articles

La littérature portant sur la gestion des changements d'ingénierie est présentée dans les sections suivantes selon chacune des catégories identifiées précédemment.

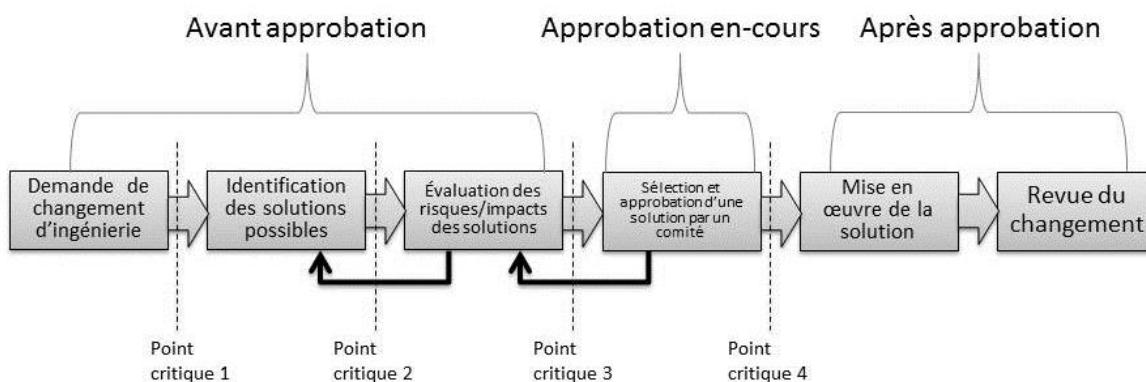
### 2.3.1 Outils et méthodes d'amélioration

Cette section est la plus pertinente pour bien comprendre l'état de l'art dans la gestion des demandes de changement d'ingénierie. Bien que les catégories « domaines » et « phases » soient importantes, l'essentiel des recherches repose tout de même sur les processus, les stratégies à utiliser et les différents outils développés. Cette section recensera donc les résultats directs de chacun des textes.

#### 2.3.1.1 Processus

Nombreuses sont les études qui tentent de modifier les processus actuels pour amener les organisations à travailler avec des processus plus rapides et avec un flux d'information accessible à tous les acteurs impliqués. Dale (1982) a cartographié tout le flux d'information nécessaire pour

réaliser un changement en fonction des responsabilités de chacun des départements. Pour Maurino (1995), le processus de changement se composait de seulement quatre phases : la demande, l'instruction, l'exécution et l'application. Selon lui, un acteur cerne le changement et demande à l'officialiser. Une fois la demande acceptée en commission, l'EC est documenté pour analyser tous ses effets. Puis, les modifications sont exécutées et dans la phase d'application, le changement est instauré officiellement. Des processus plus détaillés similaires à celui de Maurino (1995) ont aussi été documentés. Voici donc un processus générique de gestion des demandes de changement adapté de Jarratt et al. (2011).



**Figure 2—1 Processus de gestion de demande de changement**

Cette représentation sert de base, de manière générale, pour les professionnels ou chercheurs qui tentent de rendre leur processus plus efficient. Rowell et al. (2009) ont étudié les changements dans un projet de la Marine Royale d'Angleterre. Leur version simplifiée du processus utilisé est équivalente à celle de Jarratt et al. (2011). Egan et Anderson (2011) prônent aussi l'utilisation d'un processus générique presque identique à celui de la figure 2-1.

Des variantes d'un même processus doivent parfois être réalisées selon le type de produit. En effet, la complexité technologique, la complexité d'assemblage ou de construction, le nombre de variantes du produit et le nombre de pièces dans le produit sont à la base même du type de processus qui sera utilisé (Tavcar & Duhovnik, 2005). Pour Quintana et al. (2012) il convient d'adapter le processus selon les outils utilisés. Leur proposition de processus s'appuie sur l'utilisation spécifique d'outils de modélisation 3D qui permet d'annoter directement sur le modèle 3D toutes les modifications à effectuer pour se servir du modèle comme support lors de la diffusion de l'information.

Pour sa part, Peter (2003) propose un processus très détaillé qui englobe le processus générique de demande de changement, mais en y ajoutant les tâches détaillées pour mieux évaluer le contenu. Il s'attarde en profondeur à tous les rapports et documents qui doivent être modifiés pour la mise en œuvre du changement.

Rouibah et Caskey (2003) fournissent un processus axé sur les changements d'ingénierie selon les paramètres du produit. Le processus est similaire à celui de la figure 2-1, mais lorsqu'un changement de paramètre est identifié, il est nécessaire de lier ce changement aux pièces et de choisir ensuite les nouvelles valeurs des paramètres. Ce type de processus peut s'appliquer au domaine automobile par exemple, où chacun des paramètres des pièces est lié aux autres.

Dans le cadre d'une collaboration entre compagnies, Wasmer et al. (2011) ont construit un processus qui permet à chacune des entreprises d'agir en tant que coordinateur d'un changement ou seulement participant. Leur processus se consacre tout particulièrement au flux d'information qui fait parfois défaut dans ce type de projet dû à la complexité des structures multientreprises au sein d'un même projet.

### **2.3.1.2 Stratégies et méthodologies**

En plus de modifier les processus pour les adapter au contexte, beaucoup d'auteurs proposent des stratégies pour obtenir de meilleurs résultats dans le processus de gestion des changements d'ingénierie « PGCI ». Des méthodes de travail sont aussi développées pour aider les principaux acteurs qui doivent travailler directement ou indirectement avec les ECs. Voici donc les principales idées exprimées par les professionnels dans le domaine :

Tout d'abord, Dale (1982) et Smith (1985) donnaient déjà des recommandations en définissant les rôles que chaque département devait jouer dans le processus et en énumérant l'information nécessaire au traitement de chaque demande d'ECs. Lorsque les travaux sont réalisés conjointement dans plusieurs entreprises, il convient donc de définir des standards pour les transferts d'information nécessaires à la réalisation des travaux (Wasmer et al., 2011).

L'information partagée est aussi cruciale dans le traitement d'une demande d'EC. Eckert et al. (2004) affirment que pour que le PGCI soit réussi, il faut que les gestionnaires soient informés des aspects suivants :

- La source du changement;

- Les relations de dépendance des pièces et des systèmes impliqués;
- Le type de propagation du changement et les marges de tolérance;
- Les conséquences en termes de coûts, qualité et délais; et
- L'état des marges de tolérance sur les paramètres clés.

Les marges de tolérance sont un concept qu'eux seuls traitent. En effet, leur stratégie consiste à prendre en compte les marges de certains paramètres-clés pour réaliser le design et ainsi choisir entre un design optimal ne laissant que peu de marge ou un design facilitant la flexibilité, ce qui simplifie la mise en œuvre de nouveaux changements futurs. Les auteurs proposent donc aux ingénieurs de choisir une stratégie entre ces deux extrêmes selon les perspectives d'avenir du produit et les variables inconnues lors du design.

Pour la plupart des entreprises, un processus plus rapide est un processus plus efficace. Les longs temps d'attente subis par les EC sont évidents. Blackburn (1991) a recueilli des données et affirme que le pourcentage du temps correspondant aux activités à valeur ajoutée peut être aussi faible que 8,5 %. La non-valeur ajoutée implique nécessairement des coûts aux entreprises. Loch et Terwiesch (1999) ont donc énoncé cinq stratégies qui améliorent le temps de traitement sans pour autant ajouter des ressources affectées au projet : ils suggèrent donc une flexibilité pour permettre aux employés de faire des heures supplémentaires dans les périodes de pointe où les demandes de ECs s'accumulent, tout en permettant aux employés de réduire leur nombre d'heures de travail lorsque les périodes de pointe sont terminées. La deuxième proposition consiste à nommer un ingénieur en chef responsable pour chaque changement. Celui-ci doit réaliser les différentes tâches liées au département des finances et celui des achats, et qui aurait l'autorité d'un gestionnaire de projet afin de simplifier le processus. Dans le même ordre d'idée, le partage des tâches parmi les ressources et le balancement des tâches permet une utilisation plus optimale des ressources et empêche les demandes de rester en attente pendant de longues durées dues à la surcharge d'un employé. La dernière recommandation s'applique dans le cas où les activités liées aux ECs demandent un traitement par lot. Ils proposent ainsi de réduire la taille des lots pour diminuer le temps d'attente subi par les ECs. Ces stratégies de gestion simples et efficaces peuvent permettre de réduire le temps de traitement. Beaucoup d'auteurs font référence à ces propositions dans leurs travaux. Un modèle permet aussi l'identification des activités à non-

valeur ajoutée dans les projets de construction (Han et al., 2012). Ceci permet de libérer des ressources menant ainsi à une efficience dans le projet.

Park et Peña-Mora (2003) proposent aussi des stratégies de gestion. Leur simulation démontre que les tâches retravaillées induisent des coûts supérieurs, mais des délais inférieurs que ceux des changements d'ingénierie. Selon les auteurs, un gestionnaire disposant d'une quantité de ressources flexibles pour effectuer le changement, plutôt que d'adopter une politique d'heures supplémentaires, permet de réduire le temps et les coûts. Cette idée se base sur la même hypothèse selon laquelle des périodes de pointe se profilent dans les projets et que le niveau des ressources devient alors un facteur clé pendant ces périodes. Park et Peña-Mora (2003) affirment que les heures supplémentaires augmentent les coûts et réduisent la productivité, car les travailleurs s'épuisent au travail. La décision revient donc au gestionnaire du changement dépendamment des objectifs qu'il veut atteindre.

Pour plusieurs dirigeants, savoir prévoir le futur est une compétence-clé. Des auteurs ont donc orienté leurs travaux pour tenter de comprendre qu'est-ce que les changements auront comme effet au sein d'un produit. Dans certains cas, il est utile d'anticiper la probabilité d'un changement et de ses conséquences en fonction des caractéristiques mêmes d'un projet (Motawa et al., 2007). Le gestionnaire peut ainsi prendre ses décisions selon les probabilités de chacun des scénarios. L'anticipation des répercussions d'une demande d'EC peut aussi se faire à partir des paramètres devant être modifiés (Rouibah & Caskey, 2003). En comparant un EC avec les demandes d'ECs historiques dans une entreprise, il est possible d'identifier les séquences de changements probables que le changement devra suivre (Kocar & Akgunduz, 2010).

Rowell et al. (2009) se sont d'ailleurs attardés à analyser les liens entre les causes de changements et conséquences de ceux-ci. Leur étude met en évidence que la majorité des changements (68,4 %) sont peu documentés, car leur cause est identifiée comme « autre ». L'analyse qu'ils en font exprime la nécessité de bien comprendre le changement pour pouvoir le documenter et en connaître les effets. Hori et al. (2009) ont étudié l'ensemble des processus en gestion de projet pour déduire des modèles génériques afin de mitiger les répercussions lorsqu'il y a des changements d'exigences. Ces modèles utilisent les contextes possibles et les problèmes qui en découleraient en plus des solutions et des nouveaux problèmes que ces solutions pourraient engendrer.

### 2.3.1.3 Logiciels de gestions des ECs

Les recherches ne s'arrêtent pas à l'amélioration des processus en cours ou à la recommandation de stratégie de gestion. Comme les projets sont parfois très complexes, il est justifié de développer des outils qui assistent les responsables des ECs.

Huang et al. (2001) ont eu l'idée d'informatiser le PGCI qui se déroulait avant sous format papier. Son système, basé sur le web, permet une collaboration instantanée de plusieurs acteurs. L'information circule librement et les profils d'utilisateurs assurent une sécurité dans l'information pouvant être modifiée.

Pour leur part, Motawa et al. (2007) utilisent une méthode floue (*fuzzy*) pour créer un système de prédiction des changements selon les caractéristiques d'un projet, les causes de changements et les éléments de changements. Ce type de système aide les gestionnaires à prévoir les complications possibles et leur donne la possibilité de se doter d'un plan pour les mitiger.

Quant à eux, Kocar et Akgunduz (2010), prônent l'utilisation de l'algorithme « AprioriAll » qui permet de prioriser les changements sur des pièces particulières en fonction de leur probabilité de propagation. Cet algorithme sert donc à identifier les pièces qui ont un effet « domino » lorsqu'elles sont modifiées. Les auteurs se servent ensuite de l'algorithme « MINEPI » afin d'explorer les données historiques pour en extraire des séquences types : celles-ci apportent de précieuses informations aux responsables du changement et font figure d'aide à la décision.

### 2.3.1.4 Logiciels de dessins incluant les ECs

Il existe une pléthore de logiciels de dessins assistés par ordinateur (Vanpevenage, 2011). Des chercheurs ont donc tenté de voir si les ECs pouvaient être intégrés directement dans un univers de modélisation pour faciliter la coordination et la gestion des ECs.

Dans son guide sur le BIM (*Building Information Modeling*), Eastman et al. (2008) affirment que les modélisations en 3D éliminent beaucoup d'erreurs, et donc de ECs, car les plans 2D sont extraits directement d'un modèle 3D. L'exactitude des plans 2D obtenus favorise la coordination entre les acteurs. La facilitation de la coordination permet une économie en terme de temps et d'argent pour les parties impliquées. L'auteur ne propose toutefois pas de processus formel de traitement des changements d'ingénierie.

Dans la même veine, Kocar et Akgunduz (2010) ont réussi à combiner des données paramétriques avec des données graphiques. Leur outil permet de visualiser le changement sur un modèle 3D selon les informations extraites par les deux algorithmes présentés précédemment. Cet outil fournit un support visuel permettant à tous les collaborateurs d'être en mesure de comprendre le changement proposé et d'en voir les conséquences.

Afin de faciliter la coordination entre les divers acteurs, Quintana et al. (2012) proposent aussi un système de tableaux prédéfinis sous forme de formulaires qui se joignent au fichier 3D. Ce fichier est distribué comme support pour les acteurs qui doivent évaluer les changements proposés. Des annotations peuvent être insérées à même le fichier sur le modèle numérique. Selon un deuxième article de ces mêmes auteurs, l'utilisation d'annotations effectuées à même le modèle graphique réduirait le temps du PGCI d'environ 11 % selon leurs simulations (Quintana et al., 2012b). Ce gain est équivalent à une période de sept jours dans l'entreprise étudiée. Toutefois, il est difficile d'évaluer monétairement l'effet d'un retard. Pour les auteurs, il n'y aucun doute quant à l'amélioration globale des performances du PGCI en se basant sur le modèle 3D.

### **2.3.2 Phase**

Les solutions proposées peuvent s'appliquer pendant le processus de planification/développement, ce qui signifie que le produit n'est encore qu'au stade de prototype ou n'existe que sur des dessins (si ceux-ci ont été publiés). On n'a qu'à penser au projet de construction où les dessins sont réalisés souvent quelques mois avant la phase d'exécution (construction). Les experts s'attardent parfois seulement à une partie du cycle de vie.

La phase d'exécution/production, quant à elle, correspond aux produits qui sont déjà en production ou au projet en construction. En prenant deux articles traitant du même domaine on peut remarquer qu'ils traitent du même sujet, mais que les résultats sont présentés dans un contexte temporel spécifique. Dans le cas d'Eastman et al. (2008), ils discutent seulement de la nécessité de bien prendre en considération que des modifications surviennent en phase de design et qu'il est plus facile de travailler avec un modèle en 3D pour les gérer. Ces auteurs s'attardent par conséquent à la phase de développement du projet.

En comparaison, Park et Peña-Mora (2003) proposent un système intégré qui permet la gestion des ECs quand la construction est déjà en cours. Ils discutent des répercussions qui découlent des

corrections effectuées sur des travaux terminés. Des chefs de projet affirment que les corrections baissent la productivité et suggèrent souvent de modifier l'exécution des travaux futurs pour éviter la baisse de productivité. Park et Peña-Mora (2003) analysent donc la gestion des ECs en se positionnant pendant l'exécution des travaux et non lors de la planification de ceux-ci. Dans la plupart des cas, les produits doivent être améliorés pour en améliorer leurs fonctionnalités.

Des chercheurs tels que Tavcar et Duhovnik (2005) se sont donc intéressés à la gestion des modifications de différents types de produits qui sont déjà en production et dont l'on souhaite altérer certaines caractéristiques. Ils basent leurs propositions en supposant que la phase de développement est terminée et que les acteurs doivent intégrer des changements en cours de production. La phase du cycle de vie dans lequel le produit/projet se trouve vient influencer les mesures que l'on peut adopter.

Le cycle de vie d'un produit est constitué de plusieurs phases et les processus peuvent différer selon la phase dans laquelle on se trouve. La nécessité de distinguer les phases est bien démontrée par la gestion du cycle de vie du produit tel qu'étudié par Ibbs (1997). En effet, il propose une charte adaptée à la phase de design détaillé et une seconde pour la phase de construction dans un projet. Il vient ainsi démontrer l'importance de bien savoir comment gérer le changement en fonction de la position dans le cycle de vie.

### **2.3.3 Domaine**

Lorsque l'on recherche des articles concernant les changements d'ingénierie, on s'aperçoit que les textes s'attardent à des secteurs en particulier. Comme une des stratégies de recherche utilisées incluent le mot « construction », on en déduit facilement que les textes obtenus avec cette méthode s'appliqueront à résoudre des problématiques découlant du domaine de la construction. Les autres stratégies contenant des termes plus généraux permettent de rassembler des articles se rapportant aux ECs, mais sans distinction du domaine.

Les articles se rapportent donc au domaine aéronautique (ex : (Quintana et al., 2012); (Quintana et al., 2012b); etc.) , au domaine automobile (ex : (Wasmer et al., 2011); (Rouibah & Caskey, 2003); etc) , produit de consommation (ex : (Peter, 2003); (Shiau & Wee, 2008); etc.) et même aux logiciels (Hori et al., 2009). La classification s'est donc faite avec l'agrégation de

l'aéronautique, de l'automobile et des biens de consommation pour obtenir le domaine manufacturier.

La similarité des solutions proposées dans les textes et la proximité de chacun de ces sous-secteurs a toutefois permis ce regroupement. Dans l'ensemble, la classification selon ces domaines permet de bien représenter l'étendue des recherches effectuées. Par exemple, Motawa et al. (2007) proposent un système de prédition de la probabilité d'occurrence de changements et de simulation de ces derniers dans un projet de construction tandis que le système de prédition des propagations des modifications développé par Kocar et Akgunduz (2010) n'est envisageable que dans le cadre de produits manufacturiers. Il faut quand même noter que Tavcar et Duhovnik (2005) ont imaginé des processus pour divers types de produits manufacturiers (produits simples, à multiples variantes, à grande complexité). En l'adaptant un peu, leur processus serait applicable à l'industrie de la construction.

Ce ne sont pourtant là que des exemples typiques. Bref, la segmentation des textes selon le domaine d'application fournit une idée générale des avenues explorées par les différents auteurs et fournit les lignes directrices pour la classification des textes selon le domaine. Cette classification détaillée se trouve dans la section 2.2.4.

## 2.4 Critique des articles

L'examen approfondi des outils et méthodes d'amélioration démontre plusieurs lacunes, et ce, peu importe la phase ou le domaine dans lequel les chercheurs désirent agir.

De nombreux auteurs traitent du processus à respecter, mais ces processus sont surtout centrés sur le secteur manufacturier, comme le démontre le tableau synthèse 2-2. Par contre, les étapes générales sont bien définies, et ce, pour tous les domaines d'application. Les versions de Maurino (1995) et Jarratt et al. (2011) diffèrent légèrement, mais sont tout de même équivalentes. La figure 2-1 démontre bien les grandes étapes et les points critiques où les ECs peuvent nécessiter des itérations et où sont réalisées les approbations afin d'inclure les modifications dans les projets donnés. Il n'en reste pas moins que le processus standard doit toujours être modifié pour s'adapter à la structure opérationnelle d'une entreprise et aux spécificités inhérentes à la nature du projet.

Du côté des stratégies et des méthodologies, la majorité des auteurs vont de recommandations générales qui sont applicables dans plusieurs domaines, mais ne sont pas nécessairement applicables dans toutes les situations. Il faut donc procéder au cas par cas. Il est tout de même intéressant de retenir les propositions de Loch et Terwiesch (1999) qui expriment cinq stratégies de bases pour le milieu manufacturier. Il semble tout à fait réalisable de les appliquer pour les compagnies œuvrant dans la construction, mais leur application ne permet pas d'espérer une résolution suffisante des problématiques identifiées par les professionnels. Ces stratégies servent principalement de lignes directrices pour la gestion des ECs, mais ne modifient pas la structure même du travail dans le processus.

Les autres méthodes proposées par les chercheurs auparavant semblent peu appropriées pour le domaine de la construction : la complexité des grands ouvrages de construction rend parfois impossible une adaptation des méthodes puisque celles-ci sont développées pour des plus petits projets ou pour des produits de production de masse. La faible envergure des projets ou la répétitivité de ceux-ci rend la gestion des ECs plus facile que dans le cas des grands ouvrages où la quantité d'information est immense et où les incertitudes compliquent parfois le travail des gestionnaires. Les stratégies de Park et Peña-Mora (2003) restent très générales et doivent être reproduites dans plusieurs projets de natures différentes pour prouver leur efficacité dans chaque type de projet. Un type de gestion dans un projet donné ne produira pas les mêmes effets dans un projet différent de nature différente et avec des personnes différentes et des changements d'ordre de grandeur, de fréquence.

Le tableau synthèse démontre le peu de recherche ayant traité des outils de gestion ou les travaux sur les logiciels de dessins qui incluent le PGCI. En effet, les logiciels d'aide à la gestion se font rares dans la littérature. Les travaux de Huang et al. (2001) proposent un milieu virtuel on élimine donc tous les désavantages liés à l'utilisation du papier (version unique, temps de transfert élevé, travail séquentiel). Toutefois, son application ne permet pas de gérer le flux du document pour en assurer visibilité tout au long du processus. Le logiciel de Kocar et Akgunduz (2010) simplifie la visualisation des changements, mais il n'est pas encore intégré dans un logiciel CAD commercial. De plus, il est développé pour modifier des produits similaires en cours de production. Ce logiciel est donc inefficace dans le cadre du design des grands bâtiments qui ont souvent des caractéristiques propres aux projets qui ont une nature « unique ». Le processus développé par Quintana et al. (2012b) est présentement adapté pour le domaine manufacturier,

mais il ne permet pas le suivi de la planification et des coûts associés à chacune des demandes de ECs.

La comparaison entre les phases révèle aussi une propension des études à se consacrer principalement à la phase d'exécution ou de construction. Ceci peut s'expliquer par la nécessité de conduire les changements dans un processus déjà en marche. Lorsqu'un produit est en fabrication, il est évident que dans l'éventualité où une modification est instaurée, le processus actuel peut être affecté et altéré. En revanche, lors de la phase de design, le changement est parfois vu comme normal dû à la nature des travaux à exécuter dans cette étape du cycle de vie : il est convenu que des changements vont se produire, car la créativité est nécessaire pour réaliser des designs. Il n'en reste pas moins que ces changements dans la phase de design doivent être maîtrisés lorsqu'ils sont réalisés après qu'un document soit complété ou publié comme étant une référence officielle.

Les chercheurs sont conscients que le secteur le plus étudié est celui du domaine manufacturier et le tableau synthèse le confirme. Une étude de Reinmann et Farge (2011) stipulait que le secteur de la construction (et des travaux publics) comptait pour 11 % du PIB français, mais que les dépenses en recherche et développement ne constituaient pas plus de 0,1 % avec une moyenne nationale de 2,4 %. Les faibles dépenses en R&D peuvent expliquer le désintérêt des chercheurs auquel fait face le domaine de la construction. Il n'en reste pas moins que les grands ouvrages subiront des modifications et que celles-ci doivent être bien gérées. De même, le domaine des logiciels n'apparaît pas comme étant beaucoup étudié. Les logiciels diffèrent beaucoup des produits manufacturiers et des projets de construction. Il demeurerait quand même pertinent de vérifier si des méthodes de gestion dans ce domaine auraient pu profiter aux autres secteurs d'activité.

En conclusion, plusieurs travaux ont permis de faire des avancées significatives pour le développement des produits manufacturiers. Toutefois, le domaine de la construction reste peu exploré. Bien que la phase d'exécution soit critique, la phase de développement l'est tout autant, car plusieurs des changements d'ingénierie en cours d'exécution sont dus à des erreurs de design qui auraient dû être gérées auparavant. Il s'avère donc plus pertinent de travailler sur cette phase du cycle de vie d'un projet pour s'assurer d'avoir le moins de changements possibles, car les changements en phase de construction affectent plus grandement la productivité (Ibbs, 1997). Le

processus a été maintes fois peaufiné pour être cohérent avec les stratégies utilisées. Les avenues possibles pour le futur reposent donc dans l'amélioration des fonctions des logiciels de dessins assistés par ordinateur ou dans le développement d'outils d'aide à la décision comme le système ADVICE proposé par Kocar et Akgunduz (2010). La puissance des logiciels de modélisation permet maintenant l'intégration de la planification et du suivi du budget. Ces fonctions pourraient permettre une meilleure gestion des ECs.

**Tableau 2-2 Classification des textes**

Auteurs	Catégories			Secteur		Phase		Moyen d'action		
	Manufacturier	Construction	Logiciel	Planification/ Développement	Exécution/ Production	Processus	Stratégies et méthodologies	Logiciels de gestions des demandes	Logiciels de dessins incluant les demandes	
Dale, 1982	-				-	-	-			
Egan & Anderson, 2011		-			-	-	-			
Eckert & al, 2004										
Eastman & al (2012)	-	-		-	-					
Han et al., 2012	-			-	-					
Hori et al., 2009		-		-	-					
Huang et al., 2001	-			-				-		
Ibbs, 1997		-		-	-		-			
Kocar et al., 2010	-			-	-	-	-	-		
Koch & Firmenich, 2011	-			-	-	-	-	-		
Loch & Terwiesch, 1999	-			-						
Maurino, 1995	-			-	-	-				
Motawa et al., 2007	-			-	-	-	-	-		
Nour et Beucke, ???	-	-		-	-					
Park et al., 2003	-			-						
Peter, 2003	-				-	-	-			
Quintana et al., 2012	-			-						
Rouibah et al., 2003	-			-						
Rowell et al. 2009										
Smith, 1985	-			-						
Tavcar et al., 2005	-			-	-					
Wanstrom et al., 2006	-			-						
Wasmer et al., 2011	-			-	-	-	-			

## 2.5 Conclusion

L'analyse de la littérature a permis d'identifier les limitations des travaux passés en matière de gestion des demandes de changement d'ingénierie. En comparant les processus avec les problématiques énoncées auparavant, on découvre que les méthodes dans la littérature ne peuvent résoudre les problèmes rencontrés chez ABC-Construction. Il s'avérerait nécessaire de proposer un processus intégré qui améliorera le PGCI en l'accélérant. Les employés dans le département de contrôle tout autant que les chefs de départements d'ingénierie bénéficieraient aussi d'obtenir de nouveaux indicateurs de performances qui refléteraient mieux la réalité. Plusieurs des indicateurs utilisés à l'heure actuelle, la valeur acquise par exemple, sont utiles, mais déforment parfois l'état réel de l'avancement ou de la productivité des projets. Ces avenues n'ayant pas été explorées dans la littérature, il serait de mise de s'y attarder dans le cadre de la présente recherche.

On constate aussi que le domaine de la construction est peu étudié et les processus des industries gèrent les changements au niveau de l'exécution. En construction, les modifications sont souvent acceptées avant d'avoir le design final alors qu'en milieu industriel on propose un design final avec des analyses complètes des répercussions sur le produit. Cette manière de procéder ne peut s'appliquer chez ABC-Construction, les gestionnaires désirent avoir une estimation des répercussions avant d'accepter l'incorporation de modifications dans le projet. Les problématiques liées à la vitesse du traitement dans le PGCI d'ABC-Construction dépendent grandement des inefficacités du modèle actuel et des technologies utilisées. Les avenues explorées par les chercheurs en ce sens sont spécifiques à des secteurs précis et on ne peut transposer leurs propositions chez ABC-Construction. On peut donc affirmer que les modifications du PGCI proposées dans la littérature actuelle ne permettent pas de résoudre les problématiques soulevées dans le chapitre 1. Le prochain chapitre désignera la méthodologie utilisée pour améliorer le PGCI chez ABC-Construction.

## CHAPITRE 3

### MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

#### **3.1 Introduction**

Cette section définit en premier lieu les objectifs de la recherche en lien avec l'état de l'art présenté précédemment. Par la suite, des hypothèses sont posées pour diriger les travaux. La méthodologie utilisée pour la réalisation des travaux sera ensuite présentée de manière simplifiée afin de clarifier la démarche utilisée. La recherche permettra donc de contribuer à l'avancement des travaux en confirmant ou infirmant les hypothèses pour atteindre les objectifs énoncés.

#### **3.2 Description des objectifs de recherches**

La mise en évidence de problématiques affectant la gestion des changements d'ingénierie a permis d'effectuer une recherche pour bien comprendre l'état de l'art dans ce domaine et ainsi s'assurer que les problématiques identifiées demeuraient sans solution. Ceci a conduit à une analyse exhaustive des textes identifiés comme pertinents pour la résolution de ces problèmes.

Malheureusement, on remarque que les propositions des chercheurs qui s'intéressent aux ECs dans les projets de construction dans la phase de design ne s'appliquent pas aux problématiques soulevées. De plus, comme l'affirme Maurino (1995), chaque entreprise possède un PGCI spécifique à l'organisation du travail interne. On ne peut donc utiliser directement un processus développé dans une compagnie différente. En somme, aucune des avenues proposées dans la littérature ne permet de répondre aux besoins exposés par les gestionnaires d'ABC-Construction quant à la réduction du temps de traitement et au meilleur contrôle du processus en général. Ce dernier enjeu s'explique en partie par le biais observé dans les indicateurs de performances en place et par l'absence de standardisation du processus et des formulaires à compléter.

En regard de ces lacunes, il est permis d'énoncer la question de recherche générale suivante :

*Comment peut-on améliorer le processus de gestion des demandes de changements d'ingénierie utilisée par la firme ABC-Construction?*

L'objectif général des travaux de la présente recherche est ainsi de modifier le processus actuel pour résoudre les problématiques identifiées. Cet objectif nous amène à préciser l'envergure des travaux en proposant deux objectifs spécifiques :

*Objectif 1 : Proposer un processus de gestion des demandes d'EC intégré au système de gestion de l'information de l'entreprise.*

*Objectif 2 : Développer des indicateurs de performances adaptés à la gestion des changements d'ingénierie.*

La contribution à la recherche sera vérifiée à l'aide des hypothèses scientifiques originales suivantes :

1. Un processus utilisant un logiciel de gestion documentaire permettrait d'accélérer le traitement d'un EC tout en s'assurant que toute l'information nécessaire soit colligée en consultant chacun des acteurs impliqués.
2. Les indicateurs de performance utilisés ne sont pas représentatifs de la réalité des ECs.

Ces hypothèses sont considérées comme originales. En effet, selon l'état de l'art, aucune firme du domaine de la construction ne semble gérer les EC en les intégrant au processus dans un logiciel de gestion du contenu. Pour la seconde hypothèse, les industriels consultés ont confirmé des lacunes induites par les indicateurs observés. L'apport de nouvelles méthodes de calculs de performance pourrait donc être bénéfique pour les gestionnaires de projet en leur offrant une vision plus juste de la performance de leurs équipes et de l'avancement de leur projet.

### **3.3 Description de la méthodologie**

Plusieurs possibilités s'offraient pour atteindre les objectifs définis dans la section précédente. Le processus améliorer peut être appliqué dans un projet réel. Cette situation comporte un risque si les améliorations mènent en fait à des désavantages. La réussite du projet pourrait être compromise. Une solution à cette problématique serait d'utiliser en parallèle le nouveau processus et l'actuel. Cette façon de procéder augmente la tâche de travail des professionnels en leur demandant de réaliser deux fois le même travail, bien qu'elle permette une comparaison exhaustive entre les deux manières de procéder. Ces deux avenues ont été toutefois écartées, car les délais prescrits par la recherche ne permettaient pas l'implantation du processus amélioré dans

un projet de construction de longue durée (deux ans et plus). Il aurait été difficile de collecter les données nécessaires dans un cours délais et les données n'auraient pas été représentatives si elles sont analysées seulement pour une courte période.

Un environnement virtuel devait donc être créé pour tester les propositions dans un cadre ne mettant pas en péril le succès d'un projet. Ce milieu devait aussi permettre des tests rapides pour pouvoir analyser les résultats dans un temps raisonnable pour un travail de maîtrise. Un calcul exact devrait normalement permettre de simuler des temps de traitement en additionnant les temps cumulés à chacune des étapes. Le problème avec cette stratégie est qu'elle ne prend pas en charge les files d'attente qui sont observées en entreprise et on ne peut supposer une capacité de ressources infinies. Il a donc fallu écarter cette stratégie de résolution du problème. Les ECs sont traités par plusieurs professionnels qui ne sont pas toujours disponibles et le travail effectué influence parfois le cheminement du formulaire. Chaque changement suit donc une séquence différente selon l'ordre de traitement dans les départements et si des itérations sont nécessaires pour modifier le formulaire. De plus, nous faisons face à un processus qui a comme intrant des changements survenant de manière aléatoire tout au long du projet et dont la nature varie à chaque changement survenant. Le processus est donc stochastique. Des files d'attente peuvent aussi apparaître à certaines étapes du traitement, car on ne peut supposer une capacité de ressources infinies et les acteurs impliqués n'abandonnent pas une tâche en cours pour un EC.

Compte tenu de ces contraintes, une approche par simulation s'est avérée adéquat pour atteindre les objectifs de recherche posés. En effet, cette approche offre la possibilité d'expérimenter avec plusieurs scénarios tout en enregistrant le comportement des variables étudiées. La simulation prend aussi en charge la gestion des files d'attente qui étaient problématiques pour les méthodes de calcul exactes.

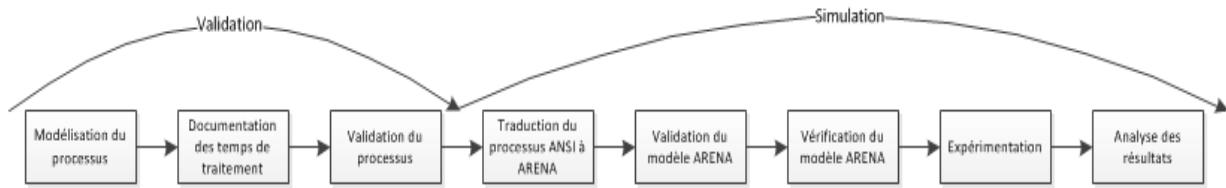
La simulation est d'ailleurs couramment utilisée dans la littérature pour confirmer la performance et le comportement de modèles. Quintana (2011) base la contribution de la réingénierie du PGCI sans papier grâce un modèle de simulation. Ce dernier lui permet de démontrer explicitement les gains dans chacun des aspects étudiés. Loch et Terwiesch (1999) ont aussi réalisé le même type d'activité en simulant un processus pour en étudier les problèmes de capacité et de congestion pour certaines activités.

La simulation se base sur une reproduction d'un phénomène dans un environnement contrôlé. Le phénomène reproduit peut se baser sur des données historiques ou des données fictives. La simulation nécessite donc une cueillette de données importante pour obtenir :

- les caractéristiques des intrants et des extrants du système;
- les temps de traitement;
- les ressources disponibles et leurs caractéristiques; et
- les variations possibles de toutes ces données pour des projets différents.

L'expérience en entreprise avait déjà permis de statuer que certaines de ces données historiques seraient plus difficiles à obtenir et qu'il faudra se baser sur le jugement et l'expérience de certains professionnels pour extrapoler les données désirées. Par exemple, des bases de données de changements effectués dans des projets étaient disponibles, mais les temps de traitement de ceux-ci étaient indisponibles. Il était donc possible de se baser sur le comportement et la répartition des ECs au sein des départements et selon l'avancement dans le projet, mais impossible de comparer les résultats du modèle de simulation avec le traitement réel effectués pour chacun d'eux. Cette décision ne rend pas la démarche moins valide, car il ne faut pas oublier la nature unique qu'ont les projets. Une pléthore de variables entre en jeu lorsqu'il est question de changement dans un projet. Le but est donc de proposer des améliorations qui seraient applicables de manière générale et non seulement dans un projet spécifique.

La méthodologie de simulation utilisée est donc basée sur la démarche proposée par Pritsker (1986). Ce dernier propose de formuler un problème et le traduire dans un langage de programmation pour ensuite acquérir les données servant à en vérifier et en valider la conformité. Par la suite, une étape de planification vient encadrer les expérimentations et l'analyse des résultats pour finalement documenter et implémenter les décisions prises selon une analyse des résultats. La figure 3-1 schématisé donc une adaptation de cette méthodologie dans le cadre de la présente recherche.



**Figure 3—1 Démarche utilisée pour l'obtention du modèle du processus utilisé**

Les étapes de la préparation préparent le terrain pour le reste de la recherche. La revue de littérature a identifié les failles dans la recherche scientifique en ce qui a trait à la gestion des changements dans les projets de construction. Finalement, grâce à l'identification de ces failles, des objectifs ont pu être formulés. Ces étapes représentent donc la base de la recherche en précisant quel en sera le but. Les étapes suivantes appartiennent aux phases d'exécution et de validation.

L'objectif est de prouver qu'il est possible de rendre le PGCI plus efficient. Pour ce faire, le processus actuel doit être décrit et modélisé. Le processus d'ABC-Construction est conforme au processus « standard » défini dans la section 2.1 du présent document. Bien qu'il comporte certaines particularités dues à l'organisation interne de cette entreprise, le processus est suffisamment « standardisé » pour pouvoir être mis en place dans d'autres compagnies. Les particularités ont été détectées grâce à une lecture et une analyse approfondie des procédures internes de la firme consultée et l'expérience acquise lors du stage dans l'entreprise.

Le formalisme ANSI sera utilisé pour représenter adéquatement le processus qu'ABC-Construction a mis en place au sein de ses divisions. Ce formalisme est retenu, car il permet de bien représenter les boucles présentes dans le processus et il est facile à comprendre pour le personnel d'ABC-Construction. En plus de modéliser le processus initial, un processus idéal sera par la suite défini selon les mêmes règles de modélisation.

Grâce à l'expérience en industrie des auteurs de ce mémoire, les temps de traitement seront définis pour chacune des étapes des processus documentés. Ces temps de traitement serviront lors de la simulation. Pour valider la conformité du processus et des données associées, une rencontre avec les experts d'ABC-construction sera organisée. Celle-ci permettra aux professionnels de se prononcer sur la correspondance entre le processus initial modélisé et le processus réel utilisé en plus d'évaluer la qualité du nouveau processus proposé. Les experts devront aussi confirmer que

les temps documentés par les auteurs sont représentatifs de la réalité. Ces étapes sont cruciales pour la simulation qui doit se baser sur des données typiques pour obtenir des résultats utiles à l'industrie.

Une fois toutes les données obtenues, il faut traduire le modèle ANSI dans le langage de simulation puis vérifier si le modèle est fonctionnel. Si l'exécution d'une simulation « test » s'effectue sans problème, il faudra vérifier si les résultats obtenus concordent avec la réalité observée en entreprise. On assiste donc à deux validations : la première, réalisée avec les experts du milieu qui comparent le modèle avec le processus utilisé et une deuxième, faite par les auteurs, servant à attester que la simulation permet d'obtenir un environnement semblable à celui en entreprise et qui produit des résultats similaires. L'étape suivante consiste à tester différents scénarios pour comparer le processus amélioré avec celui approuvé par les experts œuvrant dans le milieu de la gestion de projets de construction. Les différentes expériences permettront d'acquérir plusieurs données qui devront être analysées pour en extraire des conclusions profitables. Celles-ci mettront en évidences les avantages et les désavantages de chacune des méthodes dans les contextes étudiés.

Pour ce qui est de la deuxième hypothèse, les indicateurs employés par les gestionnaires seront identifiés; une brève explication permettra de bien comprendre comment il est possible d'obtenir ces indicateurs dans un projet tout en définissant les avantages et désavantages reliés à l'utilisation de ceux-ci. Les biais induits par les modifications dans les projets seront aussi exposés en utilisant des données fictives pour mettre l'accent sur des situations problématiques dans les projets. Le but sera de démontrer que les méthodes actuelles ne donnent pas l'heure juste sur l'état des travaux dans les projets. Le chapitre se terminera par une proposition de nouvelles méthodes de calculs permettant de compléter, voire même remplacer les méthodes usuelles.

### **3.4 Conclusion**

Les travaux suivant tenteront d'améliorer le PGCI en favorisant l'utilisation de logiciels pour gérer le traitement des demandes de changement et tenter d'en réduire le temps de traitement. Pour vérifier que le nouveau processus est plus efficient, des simulations seront effectuées pour comparer les temps de traitements selon le processus AS-IS versus le processus TO-BE. En terminant, les méthodes de calcul des indicateurs seront étudiées et revues, prouvant

l'inexactitude des méthodes actuelles. Le prochain chapitre traitera donc de l'analyse du processus actuel pour pouvoir l'améliorer dans le but de rencontrer les objectifs énoncé.

## CHAPITRE 4

### ANALYSE DE PROCESSUS

#### **4.1 Introduction**

Cette section sert à présenter la réingénierie du processus utilisé dans la compagnie ABC-Construction. Le PGCI actuel sera présenté pour comprendre les différentes tâches nécessaires au traitement d'un EC. Les problématiques spécifiques sont liés aux cinq types de causes identifiées par Loch et Terwiesch (1999). Une fois les causes des problématiques bien identifiées, un nouveau processus amélioré sera décrit dans le but d'éliminer ou de réduire autant que possible les inconvénients présents dans le processus initial. Une brève discussion suivra pour soulever les avantages/désavantages apparents du nouveau PGCI. Cette section a aussi fait l'objet d'un article pour la présentation d'une conférence. L'article complet est disponible dans l'annexe 1 de ce mémoire.

#### **4.2 Processus actuel (AS-IS)**

Le PGCI simplifié est représenté par la figure 4-1. Une représentation plus complexe du PGCI et tel qu'il est possible de l'observer au sein de l'entreprise est disponible dans l'annexe 2. Les parties prenantes sont le client/directeur de projet, le directeur de l'ingénierie (chefs d'ingénierie), les chefs de départements d'ingénierie (ou appelés chefs de disciplines : mécanique, électrique, civil, etc.) et le contrôleur/planificateur de projet. À ceux-ci, il est possible d'ajouter tout acteur en lien avec le projet, que ce soit les ingénieurs ou les acheteurs. Deux groupes particuliers se rencontrent aussi de manière hebdomadaire : le groupe de l'ingénierie composé du directeur de l'ingénierie et des chefs de départements d'une part et de l'autre, le groupe de direction composé du directeur de l'ingénierie, du directeur de projet et du contrôleur/planificateur de projet.

##### **4.2.1 Sources des changements**

Les changements peuvent provenir des chefs d'ingénierie ou de leurs ingénieurs. Dans un tel cas, on assiste à un changement « interne ». Le client (masqué sous la fonction « directeur ») peut aussi vouloir changer l'envergure du projet et donc créer des modifications dans l'ingénierie en cours, planifiée ou même terminée. Ceci crée un changement dit « externe ». Il n'y a pas de

distinction réelle entre ces deux types mis à part que les étapes initiales varient légèrement et chaque changement enclenche le processus suivant.

#### **4.2.2 Évaluation préliminaire**

Lorsqu'un changement est identifié, l'initiateur doit demander au directeur de l'ingénierie de créer un formulaire et de le lui envoyer. Une fois la réception du formulaire effectuée, l'initiateur documente le changement désiré et le renvoie au directeur de l'ingénierie qui le conserve jusqu'à la réunion hebdomadaire du groupe de l'ingénierie composé des chefs des départements d'ingénierie et du directeur de l'ingénierie). Le groupe décide si les propositions seront étudiées plus en profondeur ou si elles seront rejetées. Pour prendre cette décision, ils se basent sur la pertinence et la nécessité de réaliser la modification. Les changements dits « externes » n'ont pas à passer par cette étape préliminaire d'évaluation. Le directeur d'ingénierie documente directement le changement désiré et envoie une note aux chefs des départements d'ingénierie pour leur rappeler qu'ils doivent étudier les impacts des modifications.

#### **4.2.3 Documentation (évaluation des impacts)**

Chaque chef de département prend alors connaissance du changement désiré/proposé et consulte ses ingénieurs spécialisés pour en évaluer les impacts. La modélisation n'implique pas nécessairement les ingénieurs sous les ordres des chefs dans le but de simplifier la représentation du processus. De plus, le chef se contente parfois de son expérience pour se prononcer. Les ingénieurs définissent ensuite si le changement aurait une incidence sur les livrables existants et, si besoin est, proposent de nouveaux livrables. Une estimation des heures pour chacun des livrables modifiés/ajoutés/supprimés complète l'étude des chefs de départements. Les neuf départements remplissent le document à tour de rôle sans ordre précis. Le document se trouve soit sur le réseau de l'entreprise ou bien les chefs de département se le réacheminent par courriel. Lorsque tous ont documenté les impacts liés à leur champ d'expertise, le directeur de l'ingénierie est notifié et ce dernier imprime le formulaire pour ensuite passer physiquement de bureau en bureau pour que chacun des chefs des départements puisse y apposer sa signature et vérifier que les chefs de départements ont pris connaissance des répercussions des autres départements pouvant affecter leurs travaux.

#### **4.2.4 Évaluation finale**

Une fois toutes les signatures recueillies, le directeur d'ingénierie attend la réunion hebdomadaire du groupe de direction du projet composé du directeur de projet, du directeur de l'ingénierie et du contrôleur de projet. Lors de cette réunion, les impacts sur l'avancement, le budget et la planification du projet sont exposés et le groupe prend la décision d'accepter le changement, de le refuser et l'archiver ou bien de l'accepter sous certaines conditions. L'acceptation sous conditions implique un retour en arrière dans le processus. Le changement recommence donc toutes les étapes de documentation et d'évaluation faites par les chefs des départements d'ingénierie.

#### **4.2.5 Mise à jour des informations du système de gestion**

Une fois l'approbation du groupe de direction obtenue, le contrôleur/planificateur de projet doit créer les nouveaux livrables dans le système et modifier les heures associées à tous les livrables affectés par le changement. Il doit aussi revoir la planification du projet et le niveau de ressources nécessaires par période pour atteindre les objectifs fixés. Ensuite, le contrôleur doit créer un amendement au projet et ainsi définir les impacts sur le budget pour le changement proposé selon les termes du contrat. Le directeur de projet et/ou le client évaluent la proposition et décident si l'amendement sera accepté, refusé et archivé ou bien accepté sous conditions. Dans ce dernier cas, le contrôleur procède aux modifications désirées pour ensuite retransmettre le document pour qu'il soit évalué. Les termes de paiement sont finalement modifiés lors de l'approbation de l'amendement et la gestion du changement est terminée bien que les ingénieurs doivent encore réaliser les livrables désirés.

### **4.3 Problématiques actuelles**

À première vue, on peut remarquer des particularités dans ce processus par rapport à celui identifié auparavant et ceux définis dans la littérature. Le processus gère les demandes de changement (ECR) et seulement la partie « administrative » des ordres de changement (ECO). Certains utilisent seulement des ECs et d'autres détaillent plus le processus et peuvent le diviser en processus en ECR- ECN –ECO. L'ECR est la demande initiale, l'ECN est l'avis diffusé et l'ECO est l'ordre d'exécution du changement. Le processus commence donc avec une évaluation de la nécessité de créer un ECR et se termine avec l'acceptation (ou non) de l'ECR. Le

contrôleur/planificateur doit tout de même gérer l'ECO pour inclure les données dans la planification et le budget dans le système de gestion de l'information du projet.

Il est possible de classer les problématiques qui contribuent aux longs délais dans le processus selon cinq causes : la complexité du processus d'approbation, la disponibilité des ressources, l'agrégation des tâches, l'effet boule de neige et les problèmes organisationnels Terwiesch et Loch (1999). On peut ainsi agir sur les aspects s'appliquant à la situation que nous avons actuellement qui sont respectivement la complexité du processus, la disponibilité des ressources et les problèmes organisationnels. À ceux-ci, il faut ajouter les problèmes qui sont liés au manque d'utilisation des technologies. Ces problèmes sont des composantes dans chacun des aspects mentionnés précédemment. En effet, les exemples suivants permettront de démontrer que les logiciels de gestion de documents offrent des fonctionnalités qui peuvent rendre le processus plus efficient.

### **4.3.1 Problèmes organisationnels**

Des différences sont donc notables avec les processus en industrie. En effet, on propose souvent une solution dont le design est complet dans les entreprises manufacturières. La décision de prendre en compte le changement repose sur le travail accompli du côté de l'ingénierie, ce qui correspond à l'ECO. Le domaine de la construction diffère de ce côté, car on utilise normalement des estimations basées sur des calculs préliminaires pour prendre une décision. Par la suite, des ECRs peuvent être créés lorsque l'on se retrouve de nouveau dans une impasse ou que l'on souhaite déroger à ce qui était initialement prévu. Les travaux de l'ordre de changement (ECO) sont en fait inclus dans la planification et sont gérés comme s'ils avaient été inclus dans les estimations au début (comme tous les autres livrables). Il a été remarqué que les travaux sont gérés de manière décentralisée. Chaque département a la responsabilité d'accomplir les nouveaux livrables tout comme les livrables inchangés et il n'y a pas de différence de gestion entre les deux types. Au contraire dans l'industrie, si le changement est accepté, il est communiqué au sein de l'entreprise par le formulaire d'avis de changement et chaque intervenant réalise des tâches précises selon ses responsabilités définies.

On peut aussi supposer qu'en moyenne un ECR attend 2,5 jours, car la réunion du groupe d'ingénierie est hebdomadaire (si les changements se produisent de manière uniforme selon les

jours de la semaine). Le même principe s'applique pour la réunion hebdomadaire du groupe de direction. Ces jours correspondent à du temps perdu qui pourrait être éliminé.

### **4.3.2 Disponibilité des ressources**

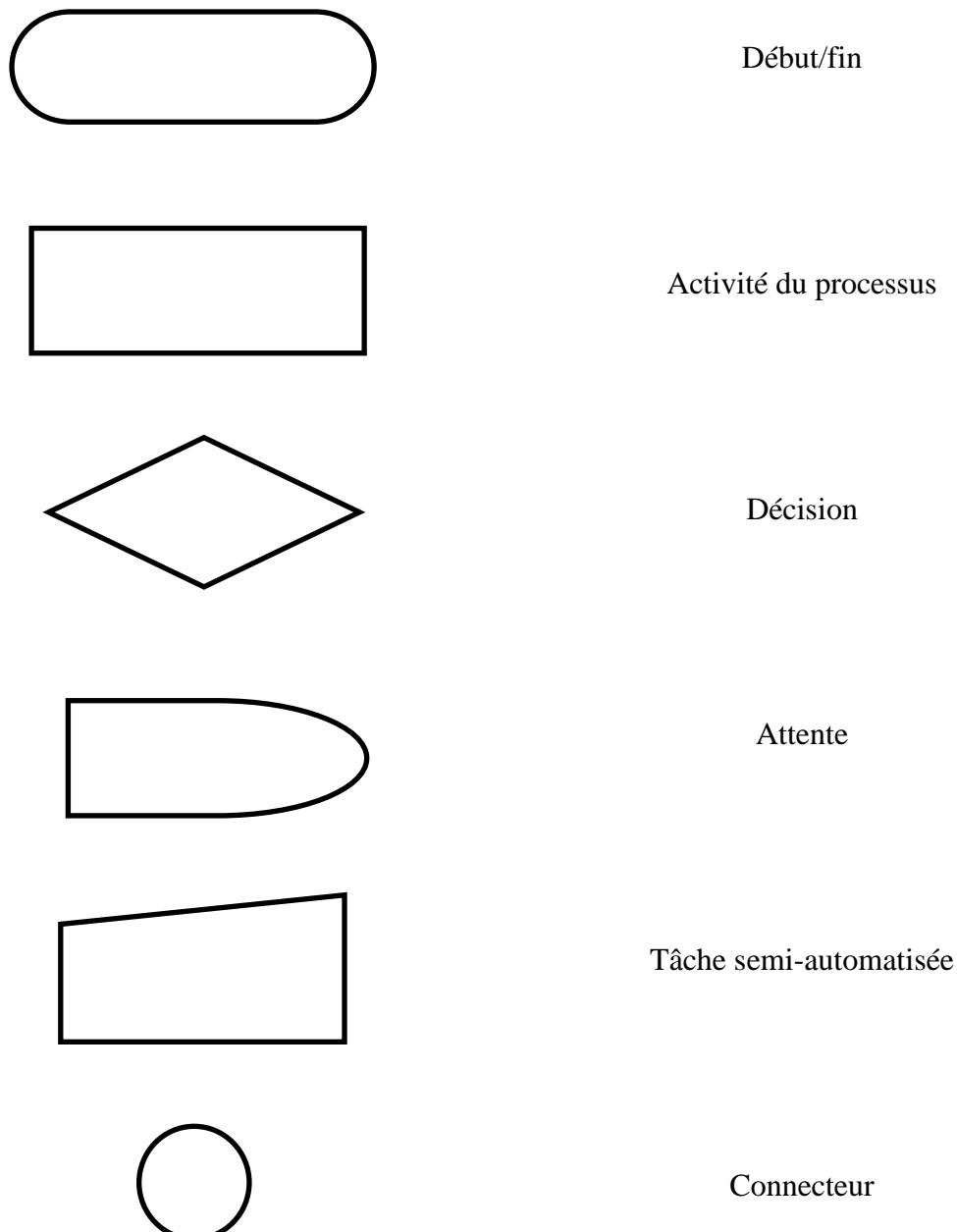
En se fiant au jugement des principaux acteurs, on remarque que l'attente est un problème majeur. Les professionnels impliqués semblent toujours attendre le travail d'un autre professionnel. Ce problème est accentué par le fait que lorsqu'un acteur reçoit finalement le formulaire d'ECR, il n'est pas nécessairement libre pour le traiter à l'instant même et l'addition de ces temps d'attente provoque un délai important. En effet, si un utilisateur initie un changement, il doit en informer le directeur de l'ingénierie qui doit créer un formulaire : dans un premier temps, on attend que le formulaire soit créé et dans un deuxième temps, qu'il soit rempli. On assiste donc à une accumulation de temps d'attente. Cet exemple caractérise bien la situation où à chaque étape, il faut attendre que les ressources se libèrent pour travailler sur l'ECR.

Il est aussi possible d'identifier plusieurs activités à non-valeur ajoutée qui pourraient être automatisées ou même éliminées pour réaliser des gains en temps et d'effort pendant le processus de gestion des changements. En éliminant les tâches où on ne fait que de la saisie de données, on peut éliminer par le fait même quelques-uns de ces temps d'attente et rendre plus fluide le processus. On n'a qu'à penser au contrôleur/planificateur qui doit réviser le budget et la planification selon les informations disponibles dans le formulaire. Ces actions ne sont pas nécessaires bien que le résultat soit critique.

### **4.3.3 Complexité du processus d'approbation**

La perte de temps est aussi évidente dans la structure séquentielle selon laquelle un seul département à la fois peut travailler à documenter les impacts des modifications dans son domaine d'ingénierie. La nécessité de faire signer le formulaire n'ajoute aucune valeur et requiert du temps de coordination au directeur de l'ingénierie pour croiser chacun des chefs de départements et leur faire prendre connaissance du document final pour qu'ils le signent.

Tous les phénomènes énumérés auparavant sont amplifiés dans le cas d'un changement qui serait accepté sous conditions. Dans cette situation, le temps de traitement peut-être presque doublé sans pour autant requérir le double du travail du côté des ingénieurs.



**Figure 4—1 Légende**

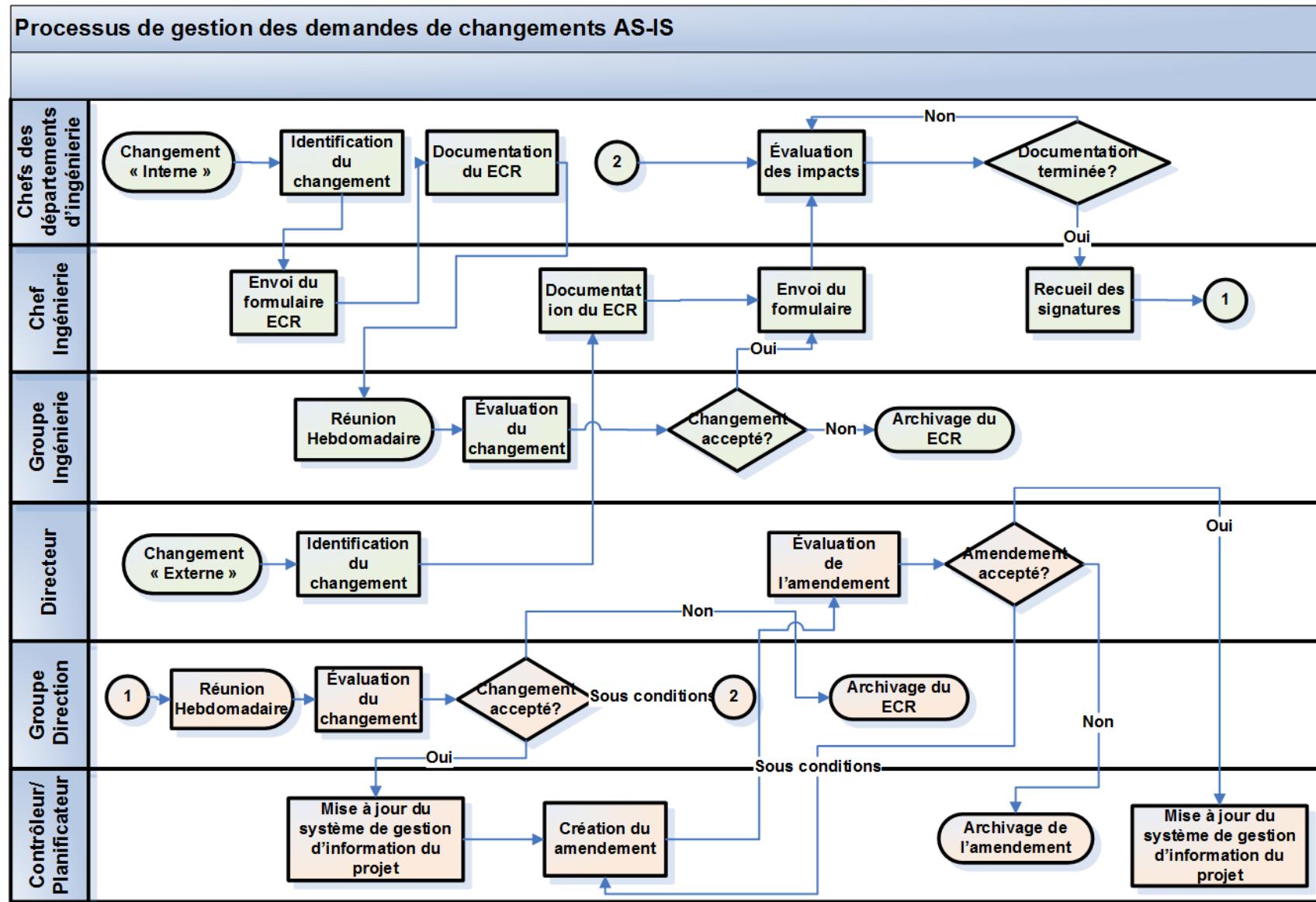


Figure 4—2 Processus AS-IS

## 4.4 Processus souhaité (TO-BE)

Le processus futur anticipé (TO-BE) est le résultat de modifications organisationnelles et technologiques. Il sous-entend l'utilisation d'un système de gestion documentaire. Le processus proposé est présenté à la figure 4-2. Ce dernier est décrit plus en détail ci-après.

### 4.4.1 Sources des changements

Les sources restent les mêmes que dans le processus AS-IS, mais les initiateurs du changement possèdent les « accès » au logiciel pour créer un document unique dans lequel ils inscrivent directement le changement sans passer préalablement par le directeur de l'ingénierie. Le système permet de donner un statut au document qui notifie automatiquement le directeur de l'ingénierie qu'un changement nécessite son approbation.

### 4.4.2 Évaluation préliminaire

Le groupe d'ingénierie n'est plus nécessaire pour évaluer si le changement est valable ou non. Le directeur de l'ingénierie prend lui-même la décision et il change le statut du formulaire qui sera archivé ou évalué par les chefs des départements d'ingénierie. Le changement de statut provoque l'archivage automatique ou une notification automatique auprès des chefs d'ingénierie selon la décision prise en amont.

### 4.4.3 Documentation

La documentation comporte les mêmes étapes qu'auparavant. Toutefois, les tâches dans chacune de ces étapes sont quelque peu modifiées. En effet, lorsque les chefs définissent les nouveaux livrables selon la nomenclature appropriée dans l'entreprise, les documents sont automatiquement créés suivant les gabarits de l'entreprise. Les chefs de départements ont aussi la possibilité de travailler en parallèle sur le fichier. Le travail est donc moins séquentiel et ils ont la possibilité de se baser sur les informations préliminaires provenant des autres départements pour confirmer leurs hypothèses et prendre des décisions plus réalistes. Encore une fois, le système de gestion des documents permet de modifier le statut du document : ceci est fait pour chacun des départements d'ingénierie et permet ainsi de connaître l'avancement de chacun des départements. Le changement de statut permet d'indiquer aux chefs de départements qu'ils doivent s'assurer

d'avoir pris connaissance des répercussions possibles des modifications des autres départements sur le leur. Leur signature électronique vient remplacer la signature sur le formulaire papier.

#### **4.4.4 Évaluation finale**

Une fois toutes les signatures électroniques recueillies, le directeur d'ingénierie attend la réunion hebdomadaire du groupe de direction du projet composé du directeur de projet, du directeur de l'ingénierie et du contrôleur de projet. Lors de cette réunion, les impacts du changement sont exprimés en termes de budget et selon la planification. Puis, le groupe prend la décision d'accepter le changement, de le refuser et l'archiver ou bien de l'accepter sous certaines conditions. L'acceptation sous conditions implique un retour en arrière dans le processus et la création d'une révision du document. Le formulaire doit repasser par toutes les étapes de documentation et d'évaluation faites par les chefs des départements d'ingénierie. Si le statut est changé pour que le changement soit refusé, il est archivé automatiquement par le logiciel.

#### **4.4.5 Mise à jour des informations du système de gestion**

Une fois l'approbation du groupe de direction obtenue, le contrôleur/planificateur de projet n'a plus qu'à mettre à jour le système de gestion de l'information du projet en utilisant le formulaire comme intrant. Le planificateur doit tout de même actualiser la planification manuellement. Pour ce qui est de l'amendement, il est automatiquement créé lorsque l'ECR est accepté, mais le contrôleur doit le documenter pour refléter les termes de paiement désirés. Encore une fois, l'évolution du statut du document offre la possibilité de notifier automatiquement le directeur de projet et/ou le client pour qu'ils évaluent la proposition et décident si l'amendement sera accepté, refusé et archivé ou bien accepté sous conditions. Dans ce dernier cas, la révision de l'amendement est créée automatiquement et le contrôleur procède aux modifications désirées pour ensuite retransmettre le document pour qu'il soit évalué. Lors de l'acceptation de l'amendement, les termes de paiements sont modifiés automatiquement en utilisant le formulaire d'amendement au projet comme intrant. On évite ainsi une ressaïsie de donnée. Lors de l'approbation de l'amendement, la gestion du changement est terminée bien que les ingénieurs doivent encore réaliser les livrables désirés.

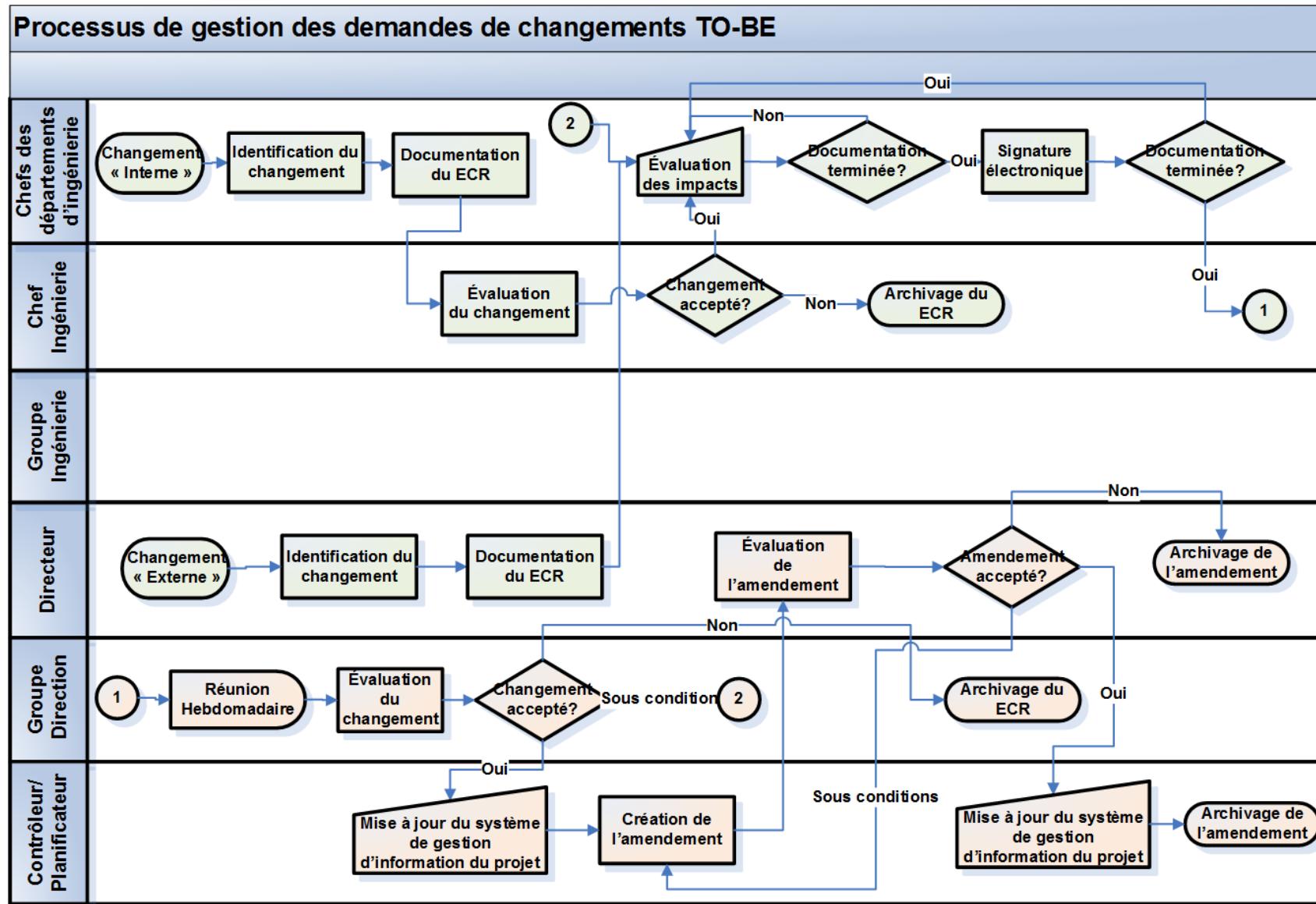


Figure 4—3 Processus TO-BE

## 4.5 Discussion

Pour simplifier l'analyse, le PGCI peut être divisé en deux sous-processus. Un sous-processus permet l'obtention d'un avis de changement de design ou *design change notice* « DCN ». Cette section correspond donc à toutes les étapes du schéma 4-1 et 4-2 à partir de l'identification des ECs jusqu'au moment où ils sont évalués par le groupe de direction. Une fois cette étape atteinte, on entre dans le sous-processus qui commence avec DCN qui doit être modifié pour obtenir un avis d'amendement au projet ou *project change notice* « PCN ». Le processus gérant ce document commence avec l'évaluation du changement par le groupe de direction et se termine avec la dernière mise à jour du système faite par le contrôleur de projet. Cette différenciation des sections est présente en entreprise et permettra une analyse plus fine du processus en proposant des améliorations qui pourraient avoir des répercussions sur une partie particulière du processus.

### 4.5.1 Avantages

Du côté théorique, des gains majeurs seraient réalisés grâce à la transformation du processus. Le gain le plus tangible serait la réduction du temps d'évaluation permettant d'accepter l'étude et la documentation de l'ECR (ou non). En se basant sur l'hypothèse selon laquelle un changement attend en moyenne 2,5 jours avant d'être traité et en considérant un taux d'arrivée uniforme tout au long de la semaine, on peut conclure que ce délai serait totalement éliminé avec la mise en place du nouveau processus. Les délais imposés par le « porte-à-porte » disparaîtraient grâce à l'utilisation d'une solution permettant la gestion des documents. Le temps du directeur d'ingénierie serait plus judicieusement utilisé à des activités nécessitant ses connaissances et son expérience.

Dans le processus amélioré, les chefs de départements et leurs ingénieurs passeront un peu plus de temps à documenter l'ECR. Ceci peut sembler être une perte, mais en fait l'exactitude des données fournies sera critique pour la planification du projet puisque le contrôleur mettra à jour automatiquement le système de gestion de l'information du projet. Il évitera de ressaïsir ces données manuellement. Les erreurs de saisie de données seront évitées et la charge de travail du contrôleur sera ainsi réduite.

Les chefs d'ingénierie gagneraient beaucoup de temps à pouvoir travailler en parallèle sur le même ECR. De plus, comme les informations seraient disponibles pour chacun des départements, les chefs de départements pourraient collaborer pour utiliser les principes de l'ingénierie simultanée et accélérer le traitement d'un ECR.

La traçabilité et la visibilité que permettent les logiciels de gestion de documents sont des atouts majeurs : les gestionnaires prennent des décisions avec l'information dont ils disposent. L'utilisation d'un logiciel comme proposé permettrait d'avoir un suivi plus constant en sachant à quelle étape est rendu le document à tout moment pendant le projet

#### **4.5.2 Désavantages**

Le nombre de changements devant être étudié risque d'être grandement augmenté en donnant le privilège aux chefs d'ingénierie de documenter des changements sans les proposer auparavant au directeur d'ingénierie. Si un nombre supérieur de changements est documenté sans pour autant être nécessaires et si les altérations proposées ne sont pas prises en compte, les chefs d'ingénierie préparant les ECR perdront du temps sur des activités n'ayant aucune valeur ajoutée. De plus, le chef d'ingénierie perdrait un temps précieux si le nombre d'ECR se voyait considérablement augmenté dû à la plus grande liberté qu'auraient les chefs à proposer des modifications. Ces désavantages sont difficilement quantifiables et n'ont, par conséquent, pas été pris en compte pour obtenir les résultats de la simulation.

En prenant en compte que dans le processus amélioré, plus de temps serait consacré à documenter l'ECR, on réalise que si le changement n'est pas accepté, du temps aura été perdu dans des activités sans valeur ajoutée et ce temps ne pourra être récupéré dans des étapes subséquentes.

Bien que certains des avantages et des désavantages soient évidents, les deux processus devraient être simulés dans plusieurs scénarios pour vérifier si les améliorations proposées peuvent vraiment réduire le temps de traitement des changements. La variation du nombre de changements proposés par période pourrait aussi être une des variables à l'étude. On pourrait ainsi déterminer dans quelles situations les améliorations proposées sont optimales.

## 4.6 Conclusion

La modélisation des deux processus permet une représentation visuelle facilitant la compréhension de l'ensemble du flux d'information au sein de l'entreprise pour ce qui concerne les ECs. Bien que certains des avantages et des désavantages soient évidents, les deux processus doivent être simulés dans plusieurs scénarios pour vérifier si les améliorations proposées peuvent vraiment réduire le temps de traitement des changements. La simulation sera expliquée dans le prochain chapitre.

## **CHAPITRE 5**

### **VÉRIFICATION ET VALIDATION**

#### **5.1 Introduction**

Cette section vise à valider le modèle de simulation qui sera exploité ultérieurement pour encadrer nos expérimentations. Le chapitre est structuré de façon suivante. Le modèle construit est validé avec les professionnels œuvrant dans le milieu. Par la suite, le modèle de simulation construit avec le logiciel ARENA est d'abord décrit puis validé pour confirmer que son comportement reflète la réalité.

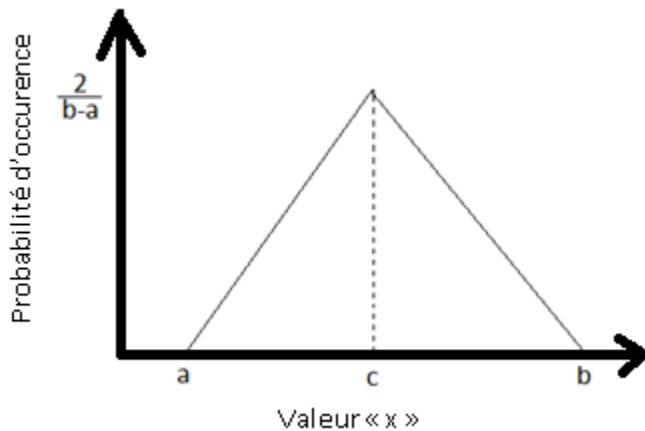
#### **5.2 Vérification du processus actuel**

Afin de bien comprendre le processus, des enquêtes sur le terrain ont été effectuées en plus d'entrevues avec les professionnels de l'entreprise. Les documents de procédures internes ont aussi servi de base pour la réalisation de la modélisation du processus selon le formalisme ANSI. Ce dernier permet de représenter les itérations possibles et de mettre en évidence les étapes d'attentes entre les tâches à valeur ajoutée.

Une fois le processus mis sur papier, des entrevues ont été arrangées pour rencontrer les acteurs clés du traitement des ECs; soit le chef d'ingénierie et le contrôleur de projet. À ces 2 professionnels sont venus s'ajouter deux observateurs pour aider à valider la compréhension du processus. Les réunions étaient d'une durée approximative d'une heure. Ces personnes ont permis de valider la représentation du modèle en format ANSI et de critiquer les améliorations proposées dans le processus TO-BE.

Une fois le flux d'informations et les tâches bien définis au sein du processus, il fallait obtenir les temps de traitement pour chacune des étapes identifiées dans la modélisation. Ces temps étaient nécessaires pour permettre une comparaison entre le processus actuel et le processus une fois modélisé dans un logiciel de simulation. La concordance entre les deux processus était cruciale, car la modélisation dans ARENA sert de base pour comparer l'état actuel avec les modifications désirées. La majorité des temps ont ainsi pu être évalués selon une distribution triangulaire grâce à l'expérience acquise lors des entrevues. Le type de distribution triangulaire se prête bien à l'exercice, car il permet d'évaluer quantitativement les temps. En effet, il est facile pour les

experts de se prononcer sur un temps minimum, maximum et un temps probable pour l'exécution d'une tâche particulière en se fiant à leurs expériences et à leurs observations. Après avoir réalisé une première analyse grâce à l'expérience attribuable au stage réalisé dans l'entreprise, nous avons profité des rencontres avec les acteurs clés de l'entreprise pour confirmer ou infirmer les temps de traitement et d'attente entre chaque étape.



**Figure 5—1 Probabilité d'occurrence en fonction de la valeur "x"**

### 5.3 Modèle ARENA

La modélisation dans le logiciel ARENA comporte des particularités et certaines hypothèses doivent être prises en compte. Cette section permettra de mettre en évidence tout le travail et les hypothèses nécessaires pour la réalisation du modèle virtuel.

ARENA est particulier dans sa simulation, car il considère un élément d'entrée et on modifie ensuite cet élément pour le transformer et obtenir le « produit fini ». On doit donc définir qu'est-ce qui entre dans notre système et à quelle fréquence. Dans le cas présent, l'élément entrant consiste à l'idée selon laquelle un changement est nécessaire dans l'exécution de la phase d'ingénierie pour un projet spécifique.

#### 5.3.1 Intrants du modèle (entités)

Dans le but d'avoir un échantillon de changements représentatifs, nous nous sommes basés sur des données historiques provenant d'un projet en particulier. Ces changements ont été générés avec des attributs bien précis et la génération de ceux-ci s'est effectuée de manière aléatoire selon

des distributions extraites des données historiques. Voici donc les attributs affectés à chacun des ECs.

- Attributs
  - Heures impactées sur le budget
  - Initiateur du changement
  - Nombre de départements impliqués dans le changement
  - Séquence de traitement du changement

Grâce aux données acquises par une base de données d'un projet historique et à l'évaluation quantitative des experts dans le domaine, nous nous sommes assurés que ces paramètres respectaient la distribution observée. La dépendance entre chacun des attributs n'a toutefois pas été considérée par souci de simplicité et parce que la variabilité du processus est telle qu'il est possible que les données historiques d'un projet, ne correspondent pas nécessairement à la réalité dans tous les projets. De plus pour faciliter le traitement dans ARENA, nous avons supposé que les différents départements fournissent un effort similaire et ce peu importe si le nombre d'heures impactées est élevé ou non. Le nombre d'heures impactées est aussi dissocié du nombre de départements impliqués. L'analyse de la corrélation entre ces attributs dépasse l'envergure de notre recherche. Une autre hypothèse est faite quant à la variabilité de l'effort entre les départements pour les mêmes propositions. En effet, les discussions avec les professionnels ont permis d'affirmer qu'il n'y a aucun écart significatif dans le traitement d'un EC par différent département à moins que les départements d'ingénierie ne soient pas impactées par les modifications proposées au projet.

Le taux d'arrivée a été paramétré pour être équivalent à un changement, c'est-à-dire, en moyenne tous les dix jours ouvrables (deux semaines de travail). Cette hypothèse se base sur les données historiques et l'évaluation réalisée par les professionnels œuvrant dans le domaine.

### **5.3.2 Spécification du modèle**

Une fois créés, les changements suivent les étapes de traitement comme identifié auparavant dans le schéma AS-IS. Comme le nombre de départements impliqués et la séquence sont déjà définis, on considère que l'aspect aléatoire est traité lors de la création de la base de données des ECs. Un

extrait du modèle ARENA est présenté à la figure 5-2. Les processus commencent donc avec la création des ECs définis précédemment. Puis, des attributs sont assignés à chaque intrant pour permettre la récolte de données qui servira à établir les statistiques sur les temps de traitement subséquemment. Cette étape est nécessaire, car le logiciel calcule les temps moyens pour le processus global et pour chacune des étapes. Dans la situation présente, il faut indiquer pour chaque EC l'heure à laquelle il est introduit dans le processus pour pouvoir ensuite calculer les temps de traitement pour chacun des sections du processus (DCN et PCN). On y remarque que la séquence se poursuit avec des modules de processus (*process*) et de modules d'attente (*delay*). Les modules de processus correspondent donc au travail nécessaire pour effectuer la tâche définie pour une ressource en particulier. L'utilisation des modules d'attente sert à simuler l'indisponibilité aléatoire imputable aux ressources. En effet, on ne peut considérer que les tâches s'exécutent l'une après l'autre. Les modules d'attente viennent résoudre cette problématique en assignant des temps d'attentes selon des lois triangulaires. De manière générale, ces modules sont paramétrés avec des lois ayant des temps minimums faibles (quelques minutes), des temps probables de l'ordre de quelques heures et des temps maximums élevés (quelques jours). Ces distributions correspondent à la réalité, car parfois les étapes s'enchaînent presque instantanément, alors que normalement, les professionnels terminent le travail qu'ils sont en train d'effectuer et traitent aussi les situations urgentes en priorité. Le modèle se sert aussi de modules de décisions pour vérifier si les tâches pour un EC sont terminées. On les utilise aussi pour affecter des temps de traitements différents pour les départements d'ingénierie impliqués et celles qui ne le sont pas. La séquence impose donc que si quatre départements doivent documenter une modification dans le projet qui a un impact dans leur champ d'expertise, ceux-ci doivent exécuter leurs tâches avant que les autres départements n'interviennent. Des périodes sont aussi bloquées pour inclure les réunions hebdomadaires des acteurs impliqués dans le processus.

Le modèle ARENA du processus amélioré ne diffère que peu du modèle initial. La principale différence consiste à varier les temps des différents modules et à supprimer quelques étapes d'attente et de traitement comme démontré dans le chapitre quatre. En effet, le processus est constitué de moins d'étapes, grâce aux améliorations technologiques et organisationnelles.

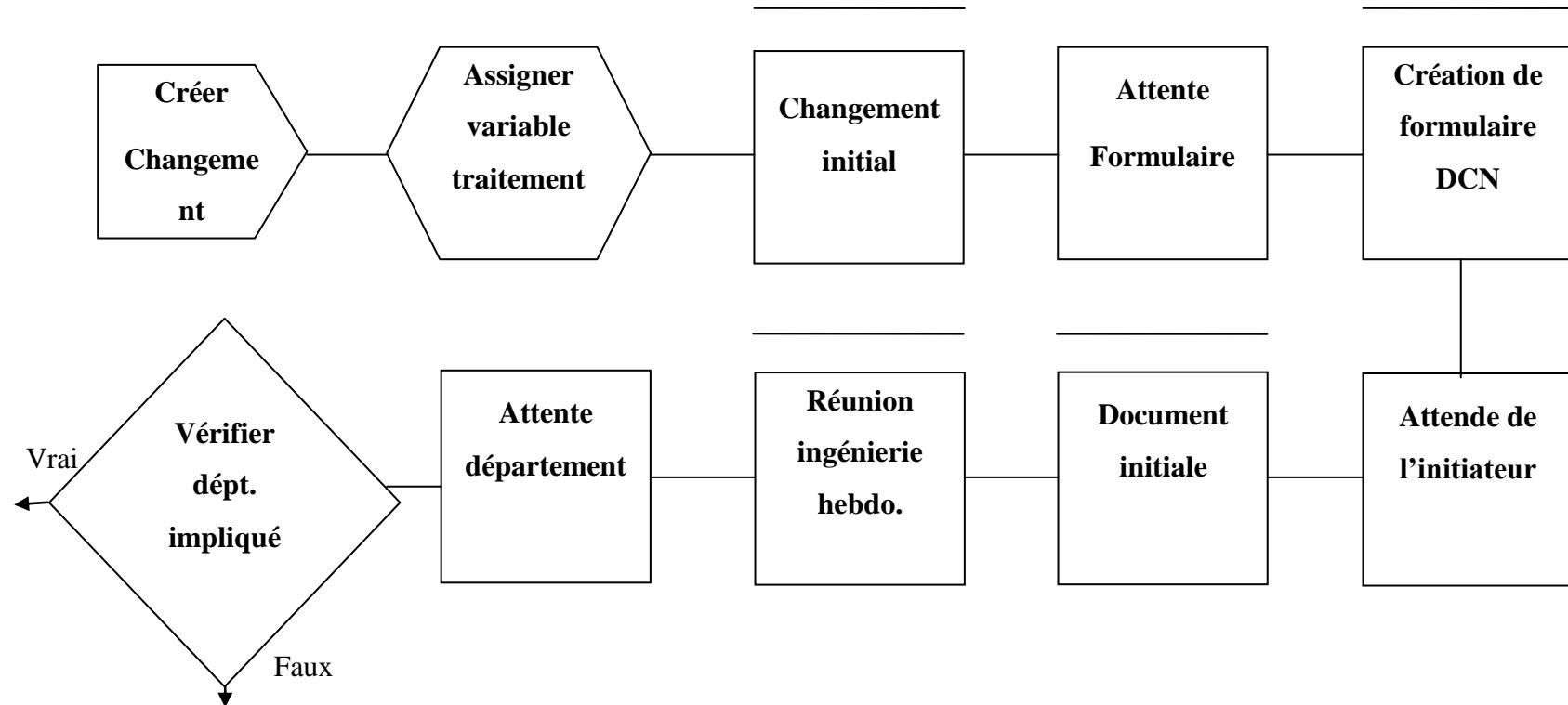


Figure 5—2 Extrait du modèle de simulation du processus AS-IS

### 5.3.3 Paramétrage du modèle

L'exécution d'une simulation nécessite bien souvent l'identification d'une « période de réchauffement » de façon à exclure les données de démarrage qui correspondent à une période transitoire où un système débute à vide, soit sans de véritables phénomènes de file d'attente. Ceci permet donc d'exclure les résultats de simulation pendant une durée déterminée et d'inclure seulement des données statistiques correspondant au régime permanent.

Dans le cas de ce projet, nous n'allons pas utiliser cette manière de procéder compte tenu du contexte particulier de la gestion de projet de construction. En effet, nous considérons ici un projet s'étalant sur 730 jours, soit l'équivalent de deux ans. Au départ de la simulation, il ne peut pas y avoir déjà des changements en cours. Nous allons donc laisser le système générer l'identification des modifications selon le taux paramétré auparavant. Un nombre maximal de changements sera fixé à 50. Cette mesure permet de représenter la situation qui se produit lors de la fin du projet. En effet, les changements apparaissent plus en début de projet et peu de changements sont acceptés en fin de projet. Le modèle sera donc exécuté 30 fois ce qui permet d'obtenir un échantillon représentatif qui fournira les moyennes et leur intervalle de confiance associé pour chacune des statistiques analysées.

## 5.4 Validation du modèle ARENA

Avant même de pouvoir commencer à analyser les bénéfices obtenus par le processus amélioré, il est nécessaire de pouvoir avoir un processus actuel qui sert de référence et qui nous permet ainsi de quantifier les gains possibles. Pour ce faire, nous avons créé le modèle ARENA comme discuté dans les sections précédentes, mais il nous incombaît de valider que le processus modélisé se comporte comme le processus réel de l'entreprise.

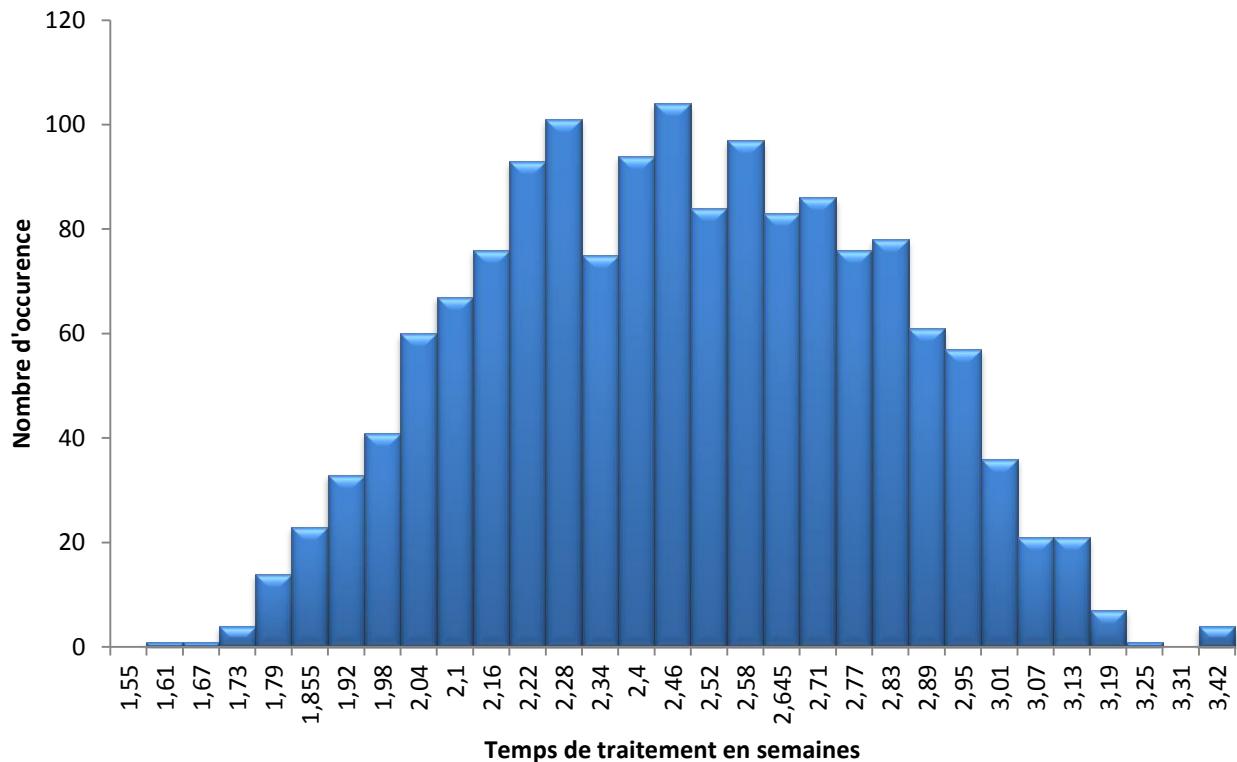
Dans les réunions de validations des temps de traitement avec les professionnels du milieu, nous avons pu obtenir deux distributions triangulaires de leur part. Ces distributions correspondent donc au temps minimum, probable ou maximum que les ECs passent dans le système pour la partie se rapportant à l'ingénierie (DCN) et la partie se rapportant à la gestion des coûts et de la planification (PCN). Voici donc le sommaire des données récoltées :

**Tableau 5-1 Validation des temps réels VS temps de simulation (en semaines)**

	Minimum		Probable/ Moyenne		Maximum	
	Experts	Simulation	Experts	Simulation	Experts	Simulation
DCN	1	1,6	2	2,5	4	3,4
PCN	2	1,9	3	3,7	6	6,5

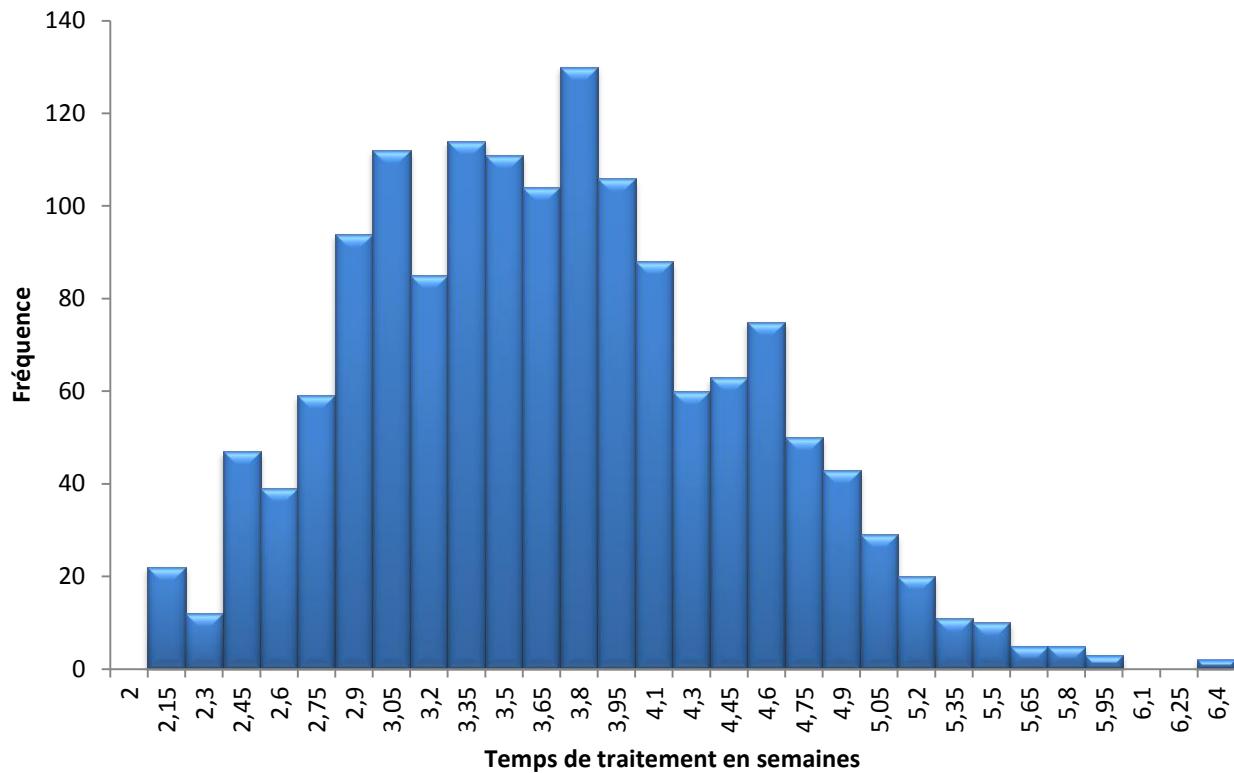
Il faut prendre en note que dans la partie centrale du tableau, le côté des experts correspond à la valeur probable. La simulation, quant à elle, fournit la valeur moyenne du temps de traitement pour la simulation réalisée sur 50 changements d'ingénierie avec 30 répétitions de la simulation. La donnée probable représente donc le temps ayant la plus grande probabilité de se produire comme le démontre la figure 5-1.

On remarque donc que pour la partie DCN, les temps se situent tout près des bornes établies par les professionnels et que la moyenne s'approche de la valeur probable. On peut visualiser la distribution des 1500 ECs simulés grâce à l'histogramme de la figure 5-2.



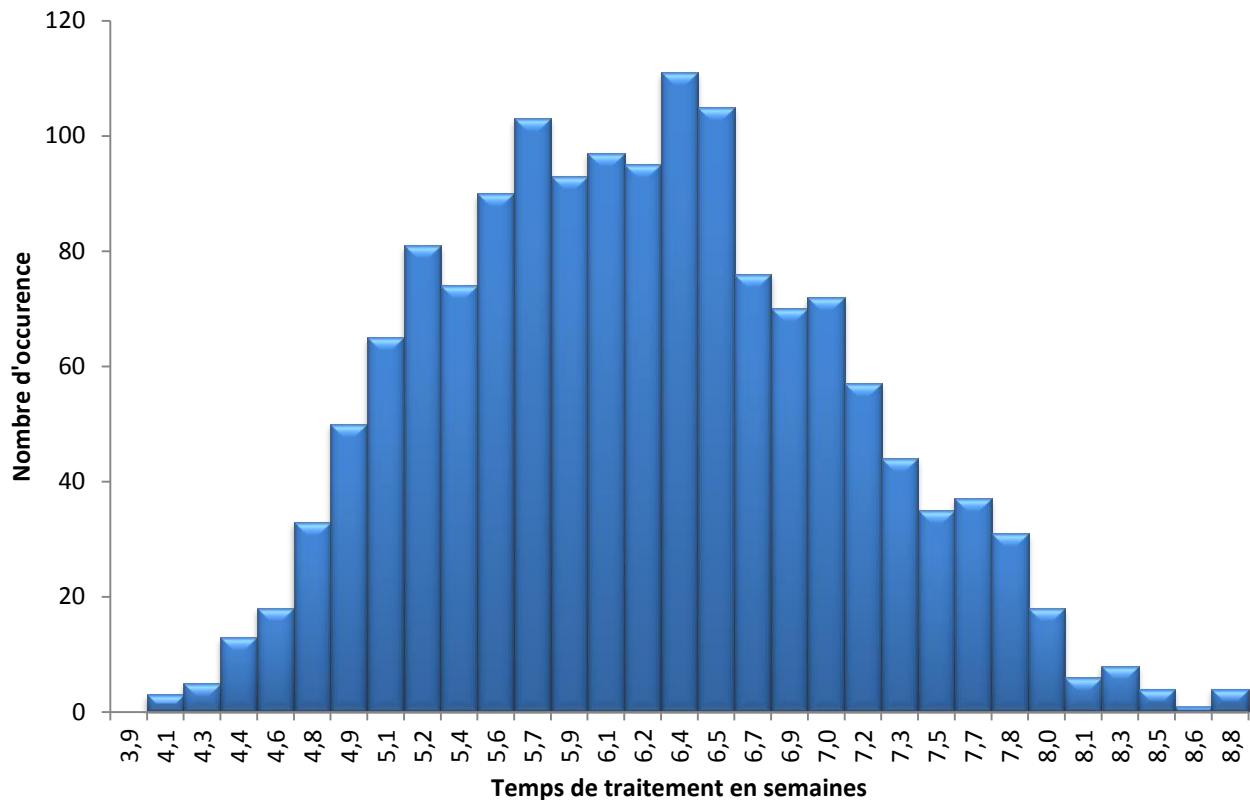
**Figure 5—3 Fréquence d'occurrence en fonction du temps de traitement de la partie DCN (AS-IS)**

Pour la deuxième partie des processus, les temps de la simulation se situent légèrement au-delà des limites proposées par les experts. En analysant la figure 5-2, on peut remarquer que les valeurs maximums extrêmes sont très peu fréquentes. La conformité avec les valeurs suggérées par les professionnels est donc plausible. On observe aussi une différence légèrement plus marquée entre la valeur la plus probable et la moyenne. Cette section du processus est toutefois soumise à une variabilité plus grande due à une étape d'attente qui peut nécessiter à elle seule entre une et quatre semaines. L'évaluation quantitative de la distribution associée à cette étape est très ardue. Selon ces constats, il est possible d'affirmer que la simulation permet d'obtenir des résultats semblables à la réalité observée en industrie.



**Figure 5—4 Fréquence d'occurrence selon le temps de traitement pour la partie PCN (AS-IS)**

La combinaison des temps de traitement pour les deux sections du processus est représentée par l'histogramme de la figure 5-3. Cette dernière illustre donc la distribution des fréquences des temps de traitement pour le PGCI. Les experts peuvent difficilement se prononcer sur l'allure de la courbe car ils ne disposent pas de cette information sur le processus global. Les corrélations entre le temps de traitement pour les deux sections ne sont pas connues. Les variables qui entrent en jeu sont nombreuses (disponibilité des ressources internes et externes, nature du changement, complexité du changement, etc.). On ne peut donc supposer qu'un EC ayant un temps de traitement court pour la partie DCN en aura un tout aussi court pour l'autre section.



**Figure 5—5 Fréquence d'occurrence selon le temps de traitement total (AS-IS)**

On peut aussi comparer les résultats obtenus dans la simulation avec les résultats obtenus par Loch et Terwiesch (1999) ou ceux de Blackburn (1999). Leurs travaux ont permis de recueillir des informations et déterminer que la portion du temps de traitement des changements qui possède une valeur ajoutée peut être aussi faible que 8,5 %. Le reste du temps consiste en des temps d'attente. La simulation effectuée permet d'affirmer que dans le cadre utilisé, le temps à valeur ajoutée est de l'ordre de 12,8 %. Ce pourcentage pourrait même être diminué si l'on prend en compte le temps où l'on attend que le client évalue les nouveaux termes de paiement. On peut donc remarquer que l'ordre de grandeur de la valeur obtenue par la simulation correspond à celle fournie par la littérature.

## 5.5 Conclusion

On remarque donc que la traduction du modèle dans ARENA s'est effectuée selon certaines hypothèses. Nonobstant ces suppositions, les résultats de la simulation du processus tel qu'observé ne permettent pas d'affirmer que les deux modèles sont significativement différents. La prochaine section reprendra donc le PCGI AS-IS pour le comparer avec le TO-BE selon plusieurs scénarios.

## CHAPITRE 6

### ANALYSE DES RÉSULTATS

#### **6.1 Introduction**

Maintenant que le modèle de base a été vérifié par les experts et est conforme à la réalité observée en entreprise, il est nécessaire de quantifier les différences entre ce processus et sa version améliorée pour identifier les avantages de cette dernière. Cette section définira donc le cadre expérimental entourant les différents scénarios testés et mettra en perspective les différences entre les deux manières de procéder pour chacun des scénarios testés.

#### **6.2 Définition du cadre expérimental**

Comme mentionné dans la section 5.3.3, le logiciel doit être paramétré de manière à respecter le plus fidèlement la réalité observée. Les expérimentations ont donc été faites en se comparant toujours avec les modèles initiaux qui correspondent à la situation initiale AS-IS et TO-BE.

Le projet utilisé pour les scénarios contient 50 demandes de changement qui doivent être traitées dans le projet qui s'étale sur deux ans. Les changements sont paramétrés pour respecter la charge de travail imposée aux différentes parties prenantes. Ces charges de travail ont été évaluées grâce à des données historiques pour un projet et ont été validées par les professionnels lors des rencontres.

La simulation ne comporte pas de période de réchauffement. On considère donc que le projet commence en n'ayant aucun changement. On répète l'expérience 30 fois pour obtenir des statistiques valables sur lesquelles il est possible de baser notre analyse.

Ces paramètres sont donc utilisés pour obtenir les résultats de la section 6.3.1. Cette section présentera un comparatif entre le processus AS-IS et TO-BE. Les temps de traitements, le temps à valeur ajoutée et les temps d'attente seront analysés pour décrire les gains et pertes obtenus par le processus amélioré.

Dans l'optique d'étudier comment se comportent les modèles dans différents environnements, des modifications seront faites à quelques paramètres pour obtenir trois scénarios. Le premier scénario consistera à la réduction des jours de disponibilité des ressources affectées au traitement

des ECs. La seconde modification consiste à prendre les temps de traitements confirmés par les experts d'ABC-Construction et de les modifier selon un facteur de variation. On diminuera ainsi le temps minimum tout en augmentant le temps maximum selon le même ratio. La dernière analyse repose sur la vitesse d'identification des changements tout au long du projet. On changera donc la vitesse d'arrivée des 50 changements pour voir si une congestion apparaît (ou disparaît) selon les taux d'arrivée.

## 6.3 Résultats

Cette section analyse le processus TO-BE en le comparant avec le processus AS-IS. Plusieurs analyses sont faites sur le processus amélioré pour en étudier le comportement dans les différents scénarios.

### 6.3.1 Résultats du processus amélioré

Dans un premier temps, il est nécessaire de quantifier si le processus TO-BE permet vraiment d'obtenir une réduction du temps de traitement dans le PGCI global. Le tableau 6-1 reprend donc les données obtenues des experts d'ABC-Construction et de la simulation des processus AS-IS et TO-BE.

**Tableau 6-1 Comparaison des temps de traitements selon les sections évaluées (en semaines)**

	Minimum			Probable/ Moyenne			Maximum		
	Experts	ASIS	TOBE	Experts	ASIS	TOBE	Experts	ASIS	TOBE
DCN	1	1,6	1	2	2,5	1,4	4	3,4	1,9
PCN	2	1,9	1,7	3	3,7	3,5	6	6,5	5,5

On remarque que, pour chacune des situations, les temps simulés dans le processus modifié sont inférieurs à la situation initiale. En regardant plus spécifiquement la partie DCN, on note que les temps de la situation améliorée sont tous inférieurs ou égaux aux temps identifiés par les experts et aux temps simulés dans la situation initiale. Ceci correspond à une réduction du temps moyen

de l'ordre de 43 % seulement dans la section DCN. La diminution est moins significative du côté de la section PCN où le temps de traitement moyen est réduit de 5 % seulement. Les améliorations sont donc principalement utiles pour la section DCN, mais il ne faut pas oublier que les tâches du sous-processus PCN incluent une période d'attente suivant une loi triangulaire de paramètre : Min 1, Probable 2, Maximum 4. Ces temps sont en semaines et ils ne peuvent être modifiés, car ils dépendent du travail effectué par le client. Il faudrait donc réorganiser le travail du côté client pour pouvoir obtenir un gain relatif plus important. Le tableau 6-2 résume les réductions de temps obtenues.

**Tableau 6-2 Temps de traitement des processus et réduction selon les sections étudiées (en minutes)**

Section	AS-IS (min)	Intervalle de confiance	TO-BE (min)	Intervalle de confiance	Réduction
DCN	5942	±44	3397	±19	43 %
PCN	8890	±120	8468	±98	5 %

Maintenant que l'objectif de réduction du temps de traitement est atteint, il est intéressant de s'attarder aux effets sur les autres paramètres. Ces données seront exprimées en ordre de grandeur (%) pour permettre assurer la confidentialité de certaines données d'ABC-Construction.

Comme mentionné précédemment, le PGCI amélioré nécessite un temps de traitement inférieur à la situation telle qu'utilisée présentement. Il est pertinent de vérifier d'où proviennent les réductions. En analysant les rapports, on observe une réduction du temps de traitement à valeur ajoutée de 10,8 % et une réduction du temps d'attente de 27,5 % entre les deux processus. Cette réduction du temps d'attente s'explique majoritairement par la modification organisationnelle rendant obsolète la réunion d'ingénierie dans le but d'approuver les ECs. L'utilisation du chef de l'ingénierie pour le traitement des PGCI est réduite de 31,9 %, de même que l'utilisation du contrôleur qui voit sa tâche diminuer de 9,9 %. Les chefs des départements d'ingénierie voient leur tâche diminuer d'environ 25 % en moyenne. On aurait pu croire à une augmentation de leur côté, car le processus TO-BE complexifie la documentation pour les chefs dont le département est impliqué dans le changement. On doit donc conclure que la simplification de la charge de travail lorsque leur département n'est pas impliquée compense pour cette augmentation et permet

ce gain de 25 %. Suite à ces analyses des rapports de simulation, on ne constate aucun effet négatif. A priori, il est donc possible d'affirmer que le processus amélioré permet de réduire le temps de traitement des demandes de changement d'ingénierie, et ce sans causer d'effets négatifs apparents sur les autres paramètres en jeu comme par exemple, le taux d'utilisation des ressources.

### **6.3.2 Résultats selon le nombre de jours disponibles**

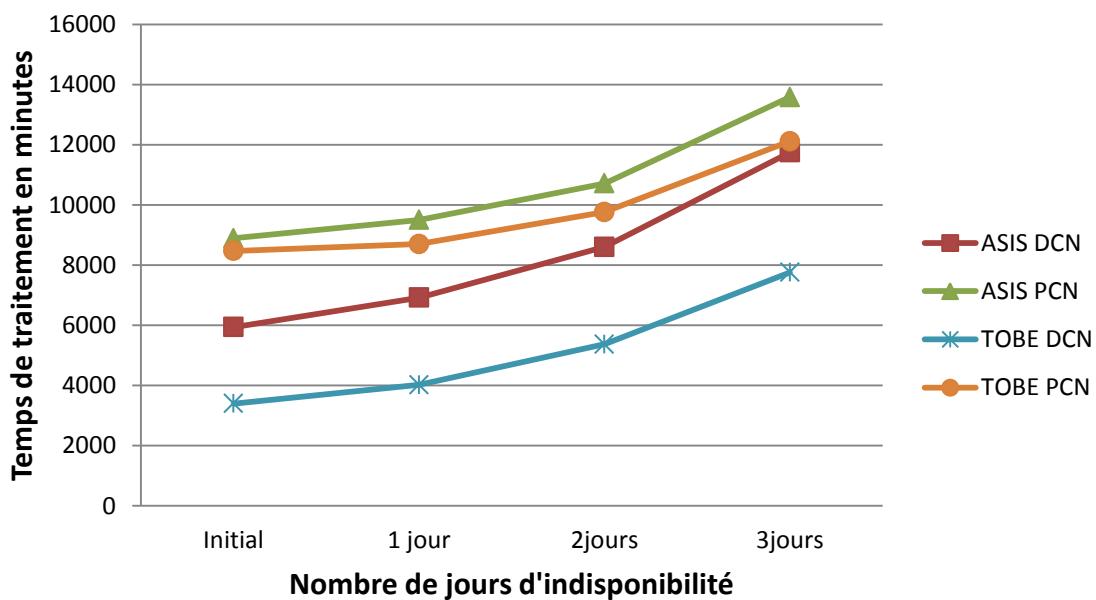
Comme le processus TO-BE semble atteindre les objectifs désirés, il est pertinent de vérifier si sa contribution est aussi valide dans d'autres situations. Le scénario suivant consiste donc à retirer une après l'autre des journées de disponibilité de toutes les ressources à la fois pour vérifier si des congestions se créent et si le comportement du processus TO-BE s'avère meilleur que celui de l'AS-IS.

La modification des modèles de simulation s'est donc fait en retirant une journée complète de l'horaire de travail de toutes les ressources présentent dans le PGCI. Les employés ne peuvent donc effectuer des tâches concernant les ECs durant cette période. Les tâches amorcées sur un EC sont donc mises sur « pause » si quelqu'un travaille à la documentation ou l'analyse d'un EC et que ces activités se poursuivent pendant une journée où on ne peut traiter des changements. La suite des activités se poursuit dès qu'il y a une journée permettant le travail des ECs. Le graphique 6-1 présente donc la progression du temps de traitement en faisant la distinction entre les deux parties du processus (DCN et PCN) et ce pour chacun des processus (AS-IS et TO-BE).

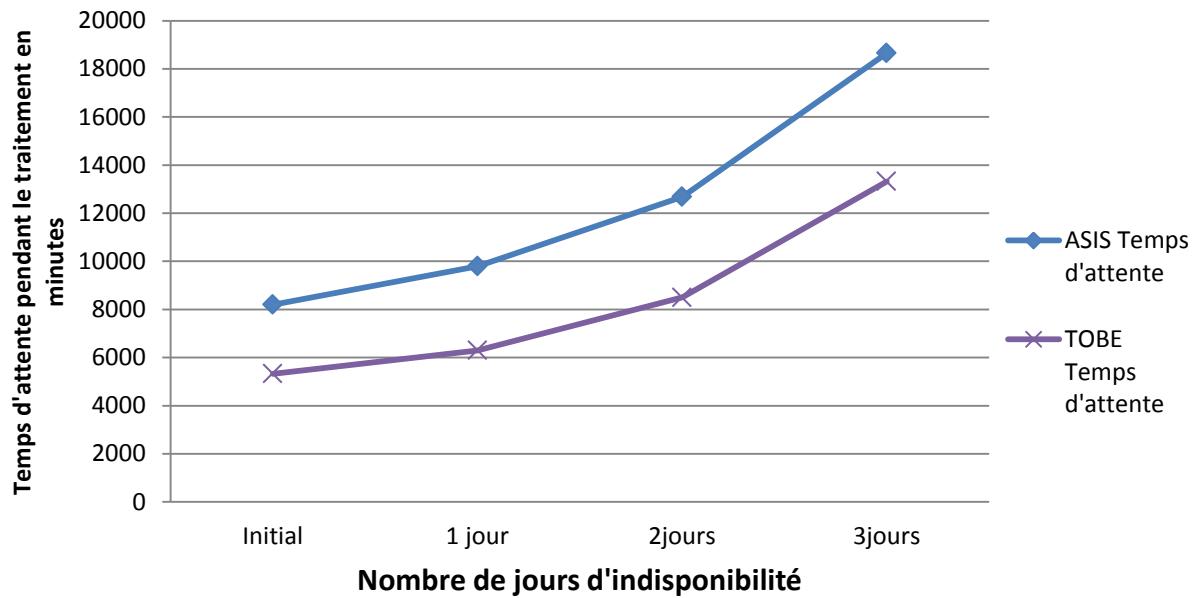
On remarque que toutes les courbes subissent une croissance. Cette situation est normale vu la diminution du temps consacré au EC. Pour la section DCN, les courbes des processus AS-IS et TO-BE suivent la même tendance qui est constituée d'une augmentation avec le retrait de la première journée, puis d'augmentations progressives avec l'ajout de la deuxième et de la troisième journée. Pour cette section, on constate donc que le processus TO-BE, se comporte mieux que ce que l'on peut présentement observé dans le processus AS-IS. En fait, les gains sont plus marqués lorsque le nombre de jours d'indisponibilité augmente. En effet, la progression se fait plus lentement pour le processus amélioré.

Pour la section PCN, la situation est sensiblement la même. En effet, on peut observer que les deux processus se comportent de manière similaire au départ, car l'écart dans le temps de

traitement est beaucoup moins marqué que dans la section DCN. La diminution du temps disponible vient démontrer que le temps de traitement du processus TO-BE augmente moins que celui du processus AS-IS. Le graphique 6-2 présentant le temps d'attente pour l'ensemble des processus présentent les résultats. Le temps à valeur ajoutée reste constant dans chacun des scénarios, car il n'est pas influencé par la disponibilité des ressources. La variation de ce paramètre provoque en fait des temps d'attente supérieurs dus aux files d'attente qui peuvent se créer lorsqu'une ressource devient très en demande. C'est ce phénomène qui explique que le temps de traitement total peut presque doubler.



**Figure 6—1 : Temps de traitement pour chacune des parties selon le nombre de jours « d'indisponibilité »**



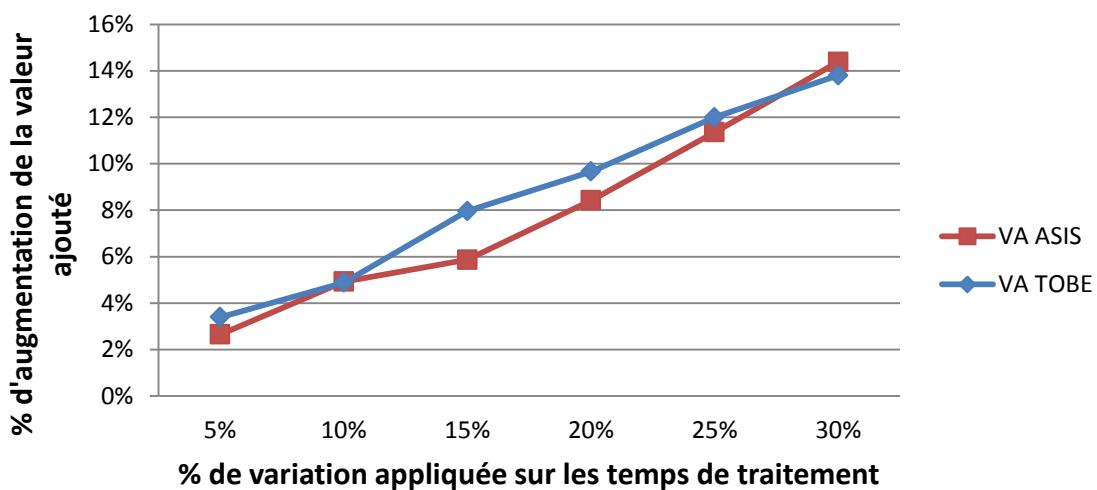
**Figure 6—2 Graphique du temps d'attente selon le nombre de jours « d'indisponibilité »**

### 6.3.3 Résultats selon la variabilité

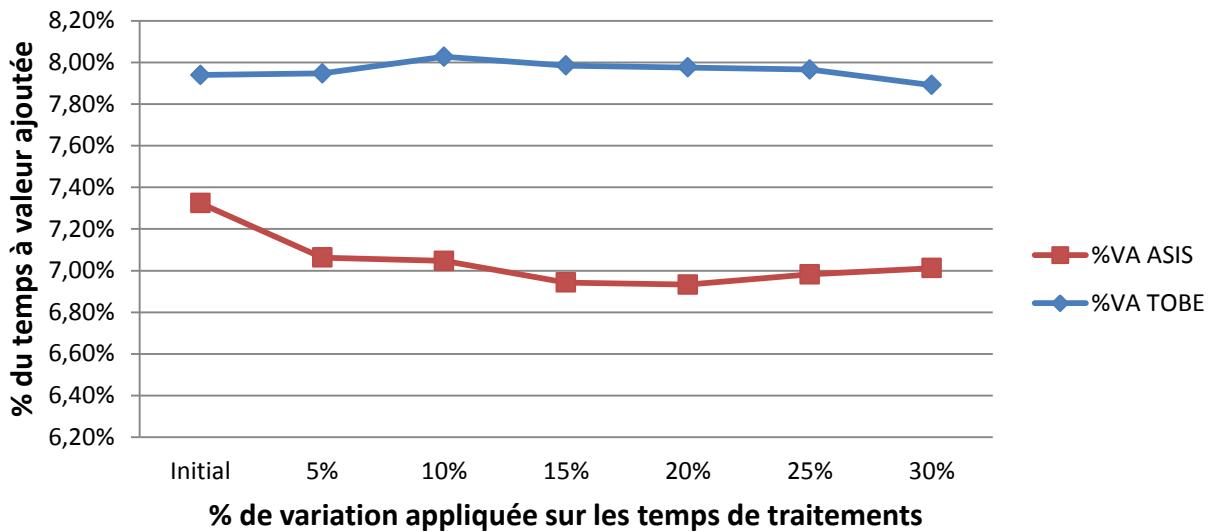
Le deuxième scénario étudié consiste à faire varier les valeurs des maximums et minimums obtenus lors des interviews réalisés avec les professionnels. Ces scénarios permettent de vérifier la tendance que prennent les processus si les temps proposés par les experts varient plus que prévu. Les bornes supérieures et inférieures ont donc été majorées par incrément de 5 % par rapport à leur valeur initiale dans le modèle de simulation.

Dans un premier temps, le graphique 6-3 présente la croissance du temps à valeur ajoutée par rapport aux scénarios de base. L'augmentation de la variation crée une hausse du temps à valeur ajoutée. Cette hausse s'explique par les distributions triangulaires décentrées. Par exemple, les professionnels ont identifié que dans la plupart des tâches, le temps probable se rapproche beaucoup plus de la valeur minimum que maximum. Si une tâche suit une distribution triangulaire de (5;15;60) et que l'on induit une variation de 20 %, on obtient une distribution de (4;15;72). La fonction de répartition de la loi triangulaire donne une probabilité cumulative supérieure pour le côté ayant la borne la plus distante de la valeur probable. Ainsi, la probabilité cumulative est supérieure pour le côté ayant la borne maximale. Plus cet écart est grand, plus son action sur le processus global aura des répercussions en ce sens. Ce phénomène confirme donc l'augmentation des temps à valeur ajoutée. Cette augmentation signifie que les employés

travaillent plus de temps par ECs, mais il faut aussi vérifier si le temps total est augmenté proportionnellement de manière à garder un taux de temps à valeur ajoutée constant. Il est possible de vérifier si cette proportion change selon le pourcentage de variation induit dans l'ensemble du processus grâce au graphique 6-4. Ce dernier permet de visualiser que le taux de temps à valeur ajoutée des deux processus est relativement constant et ce peu importe la grandeur de la variation incluse dans les temps de la simulation. Le temps à non-valeur ajoutée augmente donc proportionnellement avec le temps à valeur ajoutée et permet de garder un ratio constant et ce, peu importe la variation induite dans le processus.

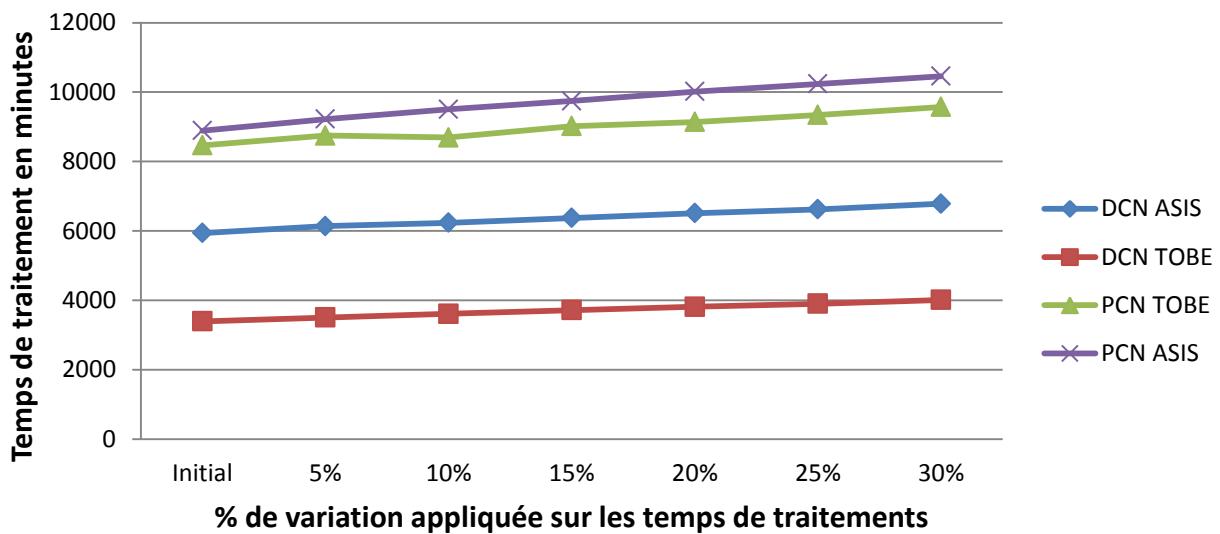


**Figure 6—3 % augmentation du temps à valeur ajoutée en fonction du % de variation appliquée sur les temps de traitement**



**Figure 6—4 Graphique du temps du % de la valeur ajoutée selon la variabilité**

La dernière analyse pour ce scénario permet de vérifier si la variation à un effet plus prononcé pour un des sous-processus. Le graphique 6-5 présente les résultats de cette analyse. On remarque que les courbes semblent toutes bénéficier de la même croissance. L'écart entre chacun des processus demeure constant pour les taux de variations induits. On peut donc affirmer que PGCI amélioré est supérieur, et ce même si l'on considère que l'écart des temps de traitement peut varier jusqu'à 30 % des valeurs obtenues par les professionnels de l'entreprise.



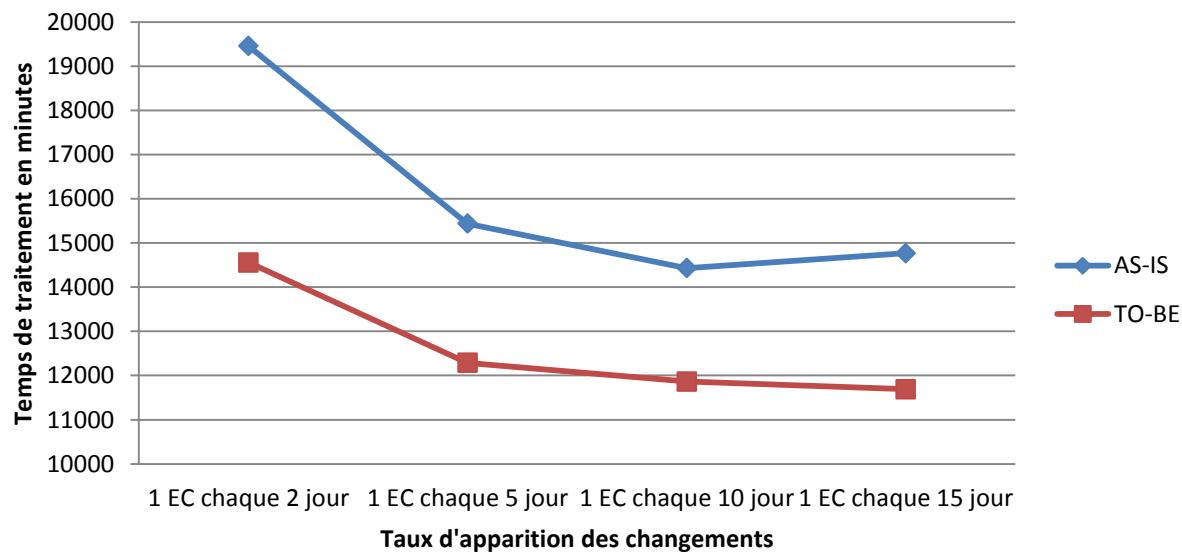
**Figure 6—5 Graphique du temps de traitement selon la variabilité**

### 6.3.4 Résultats selon le nombre de changements traités

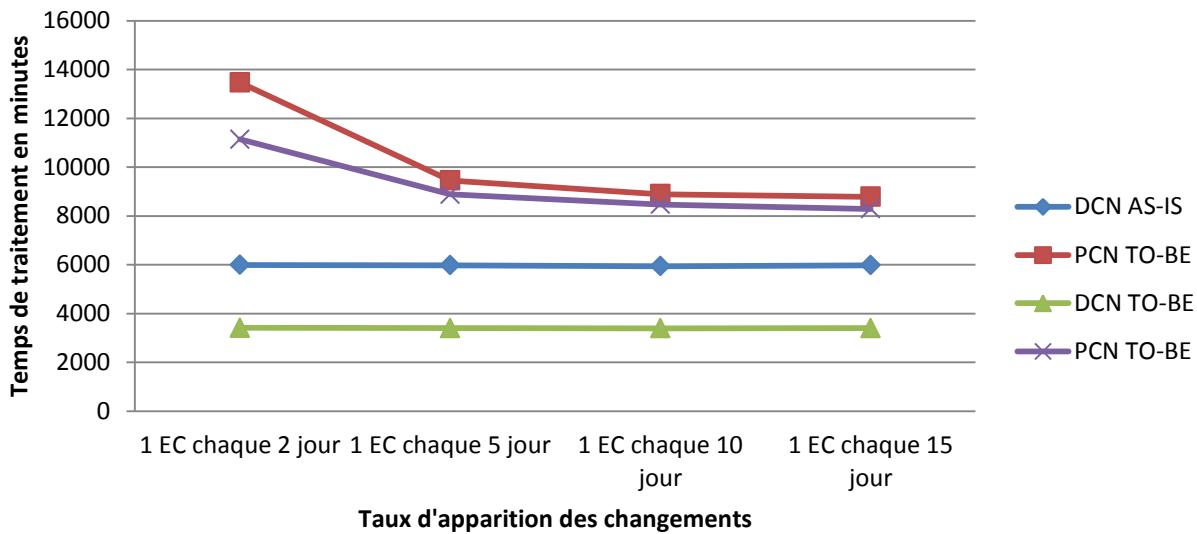
Le dernier scénario proposé consiste à varier le taux d'arrivée des changements. Encore une fois, le but de cette étude est de vérifier si une congestion est présente dans le scénario de base et de constater l'évolution de ce phénomène selon le taux d'apparition des changements utilisés. Pour réaliser ceci, quatre taux différents seront utilisés : un EC à chaque 2/5/10/15 jours de travail.

Pour débuter l'analyse, on peut étudier le temps de traitement total avec le graphique 6-6 qui donne une indication sur la congestion globale. La baisse du temps de traitement est très prononcée lorsque l'on passe d'un EC par deux jours à un EC par semaine. La réduction de temps est beaucoup moins significative par la suite. En décomposant le processus global en ses deux sous-processus, il est possible de remarquer sur le graphique 6-7 d'où provient cette diminution du temps de traitement. En effet, que ce soit pour le processus AS-IS ou TO-BE, le sous-processus DCN maintient un temps de traitement constant au fil du temps. Une congestion est donc présente dans la partie PCN des processus. Une analyse du rapport permet de comprendre que la cause principale est les files d'attente qui sont présentent pour les tâches exécutées par le directeur de projet et plus principalement le contrôleur de projet. En effet, certains temps d'attente moyens pour les tâches concernant ces deux professionnels sont réduits de 33 %. On comprend mieux ainsi la réduction des temps pour la partie PCN qui utilise presque exclusivement ces ressources où dans les tâches où une congestion est présente. À la lumière de

ces informations, on peut conclure qu'à partir du moment où on utilise le processus TO-BE dans un environnement où il y a moins qu'un EC par semaine, on obtient des résultats qui ne varient plus significativement. Pour contrer le phénomène de congestion se produisant dans la partie PCN, on pourrait ajouter des ressources en supposant que deux contrôleurs travaillent au sein d'un même projet. On ne peut par contre ajouter un second directeur de projet et ce dernier doit pouvoir garder son pouvoir décisionnel. La solution repose donc sur l'ajout de ressources du côté des contrôleurs.



**Figure 6—6 Temps total de traitement en fonction du taux d'apparition des changements**



**Figure 6—7 Temps de traitement en minutes en fonction du taux d'apparition des changements**

## 6.4 Discussion

Les simulations réalisées démontrent que les modifications du processus initial sont bénéfiques pour le temps de traitement. Dans le cas initial, les améliorations apportent une réduction d'environ 10 % du temps à valeur ajoutée et d'une diminution de 8 % des temps d'attente. En décomposant un peu le processus, on remarque que les gains sont particulièrement importants (43 % de réduction) dans la section DCN qui, elle, se rapporte au travail que les ingénieurs effectuent pour documenter les ECs. Les diminutions semblent moins importantes dans la partie PCN (5 %). Ces résultats s'expliquent par le fait que la partie PCN est principalement composée de temps sur lesquels l'entreprise n'a que peu d'influence. Ces délais sont ceux nécessaires au client pour faire l'analyse des ECs proposés. Le client doit prendre connaissance des changements et en aviser ses experts qui eux en vérifient la nécessité et évaluent si le budget est réaliste pour l'envergure des modifications proposées. Ce processus est donc externe à l'entreprise ABC-Construction.

Comme la recherche s'attarde seulement à l'accélération du temps de traitement total chez ABC-Construction, les temps considérés comme externes à l'entreprise sont inclus dans les modèles, mais définis comme constants entre chacune des propositions. Ceci explique la faible diminution relative des temps de traitement du sous-processus PCN. Cependant, lorsque l'on supprime ces

temps, on obtient des réductions de temps de l'ordre de 29 % pour les temps dits « internes » et donc imputables à ABC-Construction.

Quant aux scénarios, ils viennent tester si les processus sont sensibles aux variations dans les paramètres. Il aurait pu s'avérer que dans un cas précis le processus AS-IS se comporte mieux que le processus modifié. Il aurait donc fallu en évaluer les causes et les mettre en évidence pour éviter que les dirigeants utilisent le processus TO-BE dans des contextes où leur processus actuel répond mieux aux objectifs souhaités. Les scénarios ont même mis en évidence que plus les ressources sont indisponibles, mieux le scénario TO-BE se comporte comparé au processus AS-IS. Les scénarios d'augmentation de la variabilité des temps peuvent permettre d'inclure les erreurs potentielles qui auraient été induites par les professionnels lors de leurs évaluations des temps de traitement.

Ces scénarios ont finalement démontré que les deux processus se comportent de manière similaire et que les pentes des variables étudiées sont équivalentes pour les deux modèles étudiés. On constate aussi que l'augmentation de la fréquence d'identification des changements au sein d'un projet n'influence pas vraiment le sous-processus DCN. Cette constance est explicable par le grand nombre de ressources impliquées, mais dont l'implication varie grandement selon les répercussions qu'ont les ECs dans leur travail. Pour la section PCN, les effets se font plus ressentir. Le directeur de projet et le contrôleur ont des tâches ayant de longues durées ce qui vient influencer les temps d'attente. En contrepartie, il est peu probable de se retrouver dans un projet de construction où on documente un EC chaque deux jours. Les changements sont souvent regroupés pour en faciliter le traitement et pour éviter d'avoir à traiter des formulaires n'ayant que peu d'impact sur le projet total. On peut donc énoncer que le taux d'identification des changements n'a presque aucune influence sur le temps de traitement de ceux-ci et, par le fait même, énoncer que les gestionnaires n'ont pas vraiment à se soucier de ce taux d'arrivée.

## 6.5 Conclusion

Cette section a permis de comparer de manière rigoureuse les deux modèles réalisés. Le nouveau processus respecte les objectifs énoncés dans le chapitre 3 quant à la réduction du temps de traitement. Les scénarios ont fourni des contextes qui présentaient des environnements où certains paramètres ont été volontairement poussés à des valeurs extrêmes pour mettre en

évidence des tendances potentielles. Suite à ces simulations, les données obtenues ont confirmé que le processus amélioré se comporte mieux que l'ancien pour tous les contextes ayant été étudié. Le prochain chapitre expliquera comment la gestion se basant sur les indicateurs de performance peut être biaisée lorsque de nombreux changements sont inclus dans un projet.

## CHAPITRE 7

# INDICATEURS DE PERFORMANCE

### 7.1 Introduction

La gestion de projet s'oriente autour de plusieurs disciplines et plusieurs outils sont nécessaires à la prise de décision. Les indicateurs de performances permettent de donner l'heure juste aux décideurs en leur fournissant des informations agrégées sur les principales variables qu'ils souhaitent contrôler dans les projets. L'avancement, la productivité et les coûts sont parmi les principaux aspects permettant de prendre des décisions dans un projet (Project Management, 2013). Cette section traitera donc des indicateurs de performances permettant la gestion de projet, de leurs avantages et de leurs défauts dans certaines situations.

### 7.2 Définition de la valeur acquise

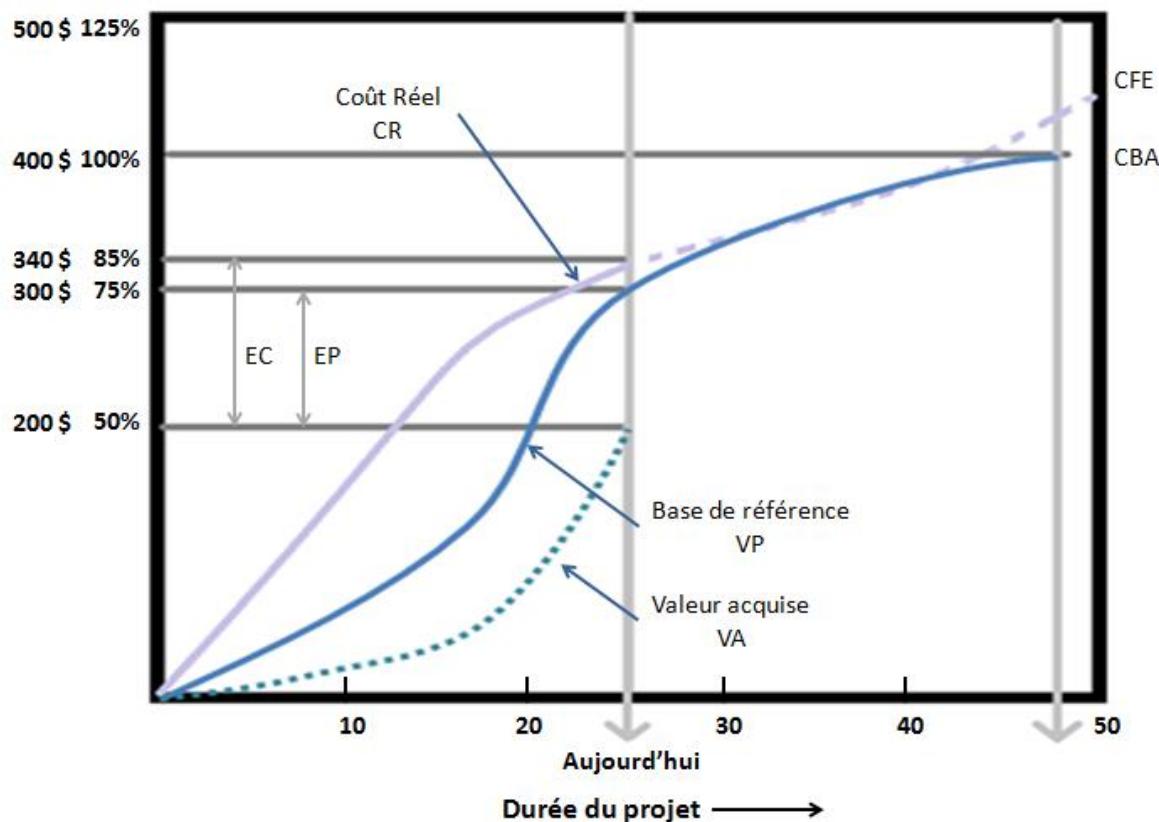
La valeur acquise est un indicateur très utilisé dans les projets. En effet, celle-ci permet d'évaluer la productivité et l'avancement dans un projet (Naeni et al., 2011). La méthode de gestion de la valeur acquise permet de déceler des problèmes tôt dans le projet si l'on contrôle bien les indicateurs. Pour exécuter les calculs nécessaires, il faut toutefois disposer de plusieurs valeurs. Ces valeurs sont représentées dans la figure 7-1.

Pour utiliser cette méthode, on remarque donc que l'on doit pouvoir mesurer les coûts engagés dans un projet, l'avancement du projet et la valeur prévue de l'avancement des travaux faits pour chaque jour ou semaine du projet. À partir de ces données, il est possible de calculer les indicateurs de performance du projet qui nous intéressent, soient l'indice de performance des coûts « *CPI* » et l'indice de performance des délais « *SPI* ». Le premier est calculé grâce à la valeur acquise (VA) sur le coût réel des travaux (CR). Lorsque l'effort requis pour obtenir un niveau donné d'avancement correspond à la prévision faite préalablement, ce ratio est donc égal à 1. En revanche, si on dépense plusieurs heures de manière improductive, le ratio sera plus petit que 1 pour signifier que les heures dépensées n'ont pas permis d'obtenir l'avancement désiré.

VA	La valeur acquise pour une tâche correspond simplement au pourcentage d'achèvement multiplié par son budget initial. Autrement dit, la VA constitue le pourcentage du budget initial acquis par le travail réellement achevé à ce stade.
VP	La base de référence de la valeur prévue répartie dans le temps. Il s'agit d'une estimation approuvée de coût pour les ressources planifiées sur une base de référence cumulative
CR	Le coût réel est la somme des coûts engagés dans l'exécution du travail
EC	L'écart des coûts est la différence entre la valeur acquise et les coûts réels des activités réalisées jusqu'à ce moment, c'est-à-dire que $EC=VA-CR$
EP	L'écart des prévisions se définit comme la différence entre la valeur acquise et l'élément dans la référence correspondant à la date du rapport où $EP=VA-VP$
CBA	Le coût budgété à l'achèvement, ou budget à l'achèvement, est le coût total budgété dans la référence ou les comptes de coût de revient de projet.
CFE	Le coût final estimé comprend les coûts au moment du contrôle auxquels on additionne les estimations révisées des coûts pour le travail qui reste à faire.
CEA	Le coût estimé pour achèvement
ECA	L'écart des coûts à l'achèvement, soit $CBA-CFE_e$ , où $CFE_e$ est dérivé par les estimateurs sur le terrain. On peut aussi définir l'écart à l'achèvement comme $CBA-CFE_j$ , où $CFE_j$ est dérivé d'une formule constituée des coûts réels et de la valeur acquise. L'ECA indique les dépassements ou les économies de coûts réels à l'achèvement

**Figure 7—1 Glossaire des termes utilisés pour la méthode de la valeur acquise (Gray et al., 2006)**

Le même principe s'applique pour le SPI qui lui se base sur l'avancement des travaux. On doit donc faire le ratio entre la valeur acquise (VA) et la valeur prévue (VP) devant être obtenue à cet instant. Dans ce cas, si le projet a exactement l'avancement prévu, le ratio sera de 1, mais si la valeur acquise est supérieure à la valeur prévue, le ratio sera supérieur à 1. La figure suivante donne un exemple de projet fictif.



**Figure 7—2 Diagramme des coûts et de l'avancement en fonction du temps (adapté de (Gray et al., 2006))**

Les trois courbes présentées sont associées à la valeur prévue du projet à une date précise, à la valeur acquise dans le projet à cette même date et aux dépenses effectuées pour la réalisation des travaux jusqu'à ce jour.

Selon la figure, on remarque donc que la valeur acquise est sous la valeur planifiée et sous les coûts réels. Dans cette situation on obtiendrait le CPI de la manière suivante :  $VA/CR = 200/340 = 0,59$ . Voici maintenant les résultats pour le SPI :  $VA/VP = 0,5/0,75 = 0,67$ .

On constate donc que la situation est mauvaise au niveau des coûts encourus, car les dépenses sont beaucoup plus grandes que l'apport réel au projet. Du côté de l'échéancier, le projet affiche un retard par rapport à la planification initiale.

### 7.3 Exemple dans les projets de construction

Les projets de construction sont contrôlés grâce à ces méthodes et les décisions d'ajouter ou de retirer du personnel sur un projet ou encore d'autoriser des heures supplémentaires sont prises grâce à ces indicateurs de performance. Le contrôleur de projet a donc la tâche de suivre l'évolution des dépenses dans le projet et de surveiller l'avancement des travaux. Il cumule les heures dépensées par chacun des employés et les associe à leur secteur respectif. En utilisant les jalons prédefinis, il s'assure que l'avancement des travaux est représentatif du travail accompli pour chacun des livrables. Il se sert ensuite de la courbe de planification des dépenses prévues lors de la signature du contrat pour calculer le CPI et le SPI de chaque période. Le directeur de projet peut alors prendre les mesures nécessaires en cas d'écart avec la planification initiale.

Un des avantages de ces indicateurs est qu'ils sont difficilement falsifiables, car les jalons sont prédéterminés et les heures dépensées par chacun des employés doivent être comptabilisées pour un projet; il est donc difficile de diminuer les heures dépensées ou de surévaluer l'avancement dans le but d'améliorer l'indice de performance des coûts ou l'indice de performance des délais. L'autre avantage provient de la mise en contexte que ces derniers permettent. En effet, on peut avoir trop dépensé ( $CPI < 1$ ), mais être en avance dans le projet ( $SPI > 1$ ). On vient ainsi relativiser le travail. Une telle situation pourrait être explicable par l'ajout d'heures supplémentaires. On aurait ainsi dépensé plus que prévu dans le but de terminer le projet plus vite.

Les désavantages de cette méthode sont qu'on ne prend pas nécessairement en compte la qualité du travail effectué. Pour certaines entreprises, collecter toutes les données nécessaires aux calculs s'avère une tâche ardue. De plus, il ne faut pas oublier que ces indicateurs se basent sur les prévisions souvent faites à la signature du contrat. Qu'arrive-t-il lorsque des modifications sont apportées au projet? Les prévisions sont-elles automatiquement désuètes? En effet, si l'on ajoute, retire ou modifie l'affectation des heures dans le projet, on déroge à la prévision initiale et les indicateurs de performances ne devraient plus être représentatifs de la réalité en entreprise.

Les graphiques ci-dessous présentent le cas d'un projet subissant deux changements majeurs. Dans la partie supérieure, les heures acquises sont mises en relation avec les heures prévues. On peut donc suivre l'état de l'avancement des travaux. Le graphique inférieur présente le SPI en faisant le ratio des heures acquises sur les heures prévues. Normalement, si les travaux s'exécutent au rythme prévu, les courbes devraient se chevaucher dans les deux graphiques et

plus particulièrement dans le deuxième où la pente serait nulle et la valeur toujours égale à 1. C'est cette hypothèse qui servira de référence pour les exemples à suivre. Les graphiques sont tous les deux composés de quatre courbes. La première est la courbe de référence, appelée communément le « référentiel ». Celle-ci correspond à la valeur prévue à l'instant « t ». Les trois autres se réfèrent à une manière différente de calculer la valeur prévue. On a donc le SPI initial, le SPI ingénierie et le SPI approuvé. Ce dernier est celui utilisé présentement dans l'industrie. On considère donc que les modifications dans les projets (ECs) sont ajoutées au « référentiel » lorsqu'elles sont acceptées par le groupe de direction ou par le client qui doit les payer. Le SPI ingénierie et le SPI initial sont des propositions apportées dans le cadre de cette recherche pour détecter plus en amont les possibles déviations par rapport aux valeurs prévues. Le SPI ingénierie correspond au SPI calculé avec tous les ECs ayant passé l'étape de documentation et d'approbation du côté de l'ingénierie. Le SPI initial correspond au SPI calculé en ajoutant aux valeurs prévues chaque EC identifié même s'il y a un risque que toutes ces modifications ne soient pas mises en œuvre dans le projet. Les graphiques permettent donc de comparer les résultats associés à chacune de ces différentes méthodes de gestion de la valeur acquise.

On remarque que les courbes ont les mêmes pentes, mais qu'elles sont décalées dans le temps. Cette similitude vient de l'hypothèse selon laquelle les changements d'ingénierie représentés ont le même impact du début à la fin du processus. On considère donc que l'évaluation faite de l'impact lorsque le PGCI est amorcé correspond à l'impact final que le EC aura sur la planification, car le nombre d'heures impactées n'évoluera pas au fil du temps.

En regardant les points « A », « B » et « C », il est possible de remarquer que l'augmentation par rapport à la ligne de référence est la même pour les trois courbes, mais que la hausse se fait sentir à différents moments. L'autre point à remarquer est dans le graphique présentant le SPI : on peut y voir le SPI calculé selon les quatre méthodes. Ainsi, certaines entreprises peuvent ne pas inclure les modifications dans le projet. Dans un tel cas, si le projet s'exécute au rythme prévu comme mentionné précédemment, le SPI obtenu est de 1 pour la durée du projet. D'autres compagnies peuvent décider d'inclure les répercussions des ECs approuvés au baseline et ainsi obtenir la courbe « SPI approuvé ». Il est bien entendu que pour une question de simplicité et pour mieux représenter le phénomène, les répercussions des ECs n'ont pas été ajoutées de manière proportionnelle pour chaque période restante avant la fin du projet. En utilisant le SPI approuvé, on observe un retard dans le projet si la charge de travail n'est pas ajustée.

En comparant le SPI « référentiel » et celui « approuvé », on constate que le gestionnaire se servant de la première méthode surestima constamment l'avancement des travaux, car il ne prendra jamais en compte les modifications approuvées pour le projet. Le SPI utilisant la fin de l'ingénierie et celui associé au départ du PGCI pour chaque modification affichent des retards plus prononcés dus au ratio. En effet, comme la valeur prévue augmente au fil du temps, le ratio est moins prononcé si l'on considère par exemple, les amendements au projet. Cette tendance s'accentue lorsque l'on ajoute de plus en plus de changements au fil du temps. La différence du SPI entre les méthodes de calcul tend à présenter un écart moins prononcé. Ces affirmations viennent confirmer l'hypothèse 2 faite dans la section 3.2 qui provenait des partenaires industriels et énonçait que les indicateurs de performance n'étaient pas représentatifs de la réalité. La deuxième modification au projet représentée par les points « D », « E » et « F », met en évidence ce phénomène. Ce deuxième EC représente la même charge de travail que le premier, mais l'écart entre le SPI « approuvé » et le SPI « initial » n'est que d'environ 0,09. En comparaison, l'écart pour ces mêmes méthodes appliquées au premier EC était d'environ 0,21. Toutes ces affirmations sont aussi valables dans la situation inverse, où l'on retire une charge de travail au projet. Dans ce cas, le travail sera sous-estimé.

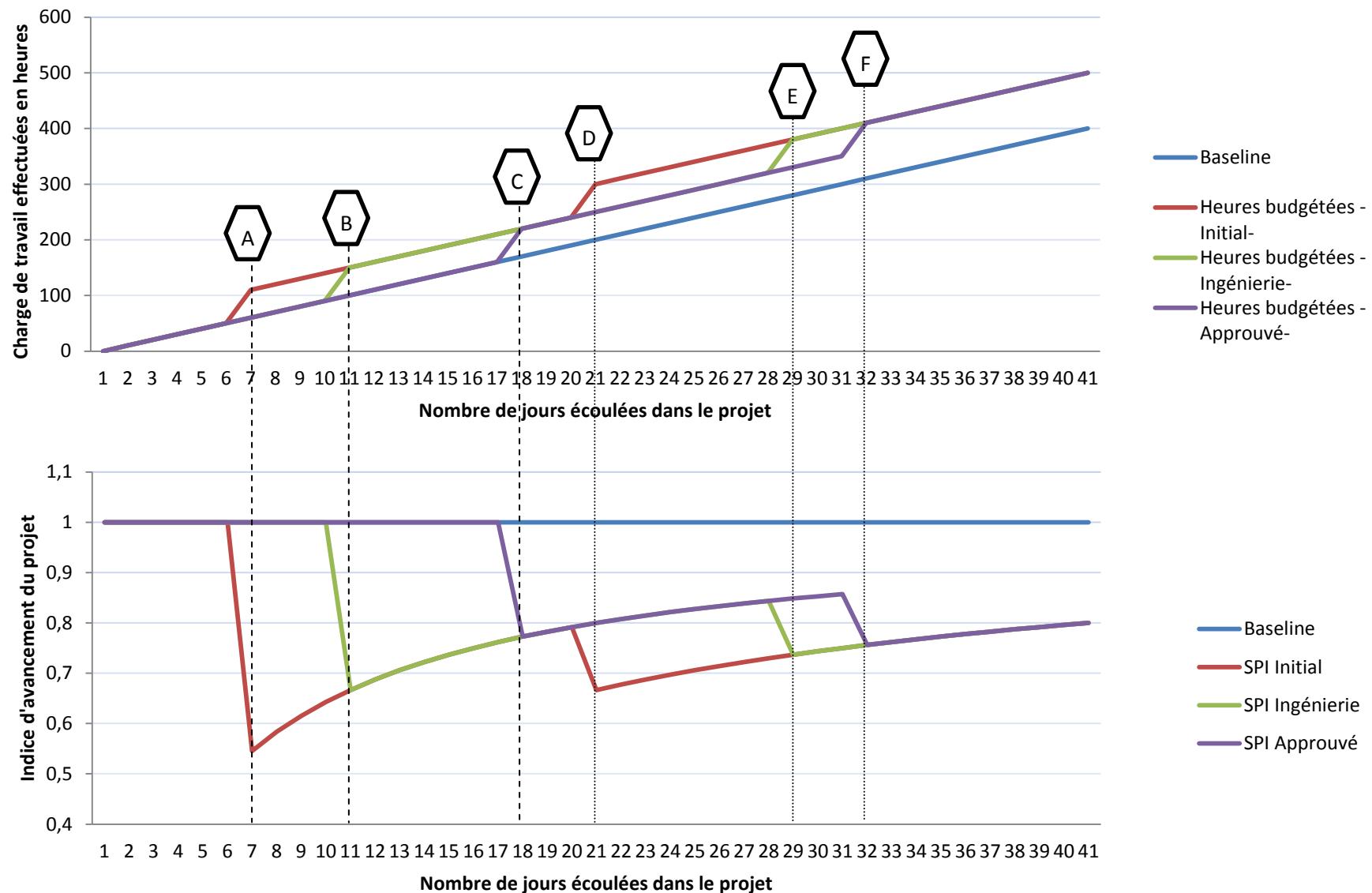
Les sections précédentes ont permis de mettre en évidence le temps de traitement des ECs. Les valeurs qui sont associées à ce processus peuvent être de l'ordre de quelques semaines à quelques mois. Les nouvelles méthodes de calcul du SPI donneraient l'opportunité au décideur d'avoir une information plus précise avec un ou même deux mois d'avance. En effet, le SPI est souvent calculé mensuellement et parfois même hebdomadairement. Dans le premier cas, se baser sur l'information dès que le processus s'enclenche pour un EC permettrait une meilleure prévision. Les bénéfices d'une telle stratégie sont difficilement calculables, car il relève du cas par cas. En effet, dans une situation où des ordres d'achat critiques sont en jeu, avoir une information de manière plus précoce peut favoriser les décisions. De plus, en se basant sur les données historiques on remarque que les ECs sont parfois en traitement pendant quelques mois. Dans ces cas précis, on peut assister à une différence marquée entre les indicateurs et la réalité.

Il est certain qu'en utilisant le SPI « initial » on risque de se retrouver à prendre en considération des répercussions de ECs qui ne seront peut-être pas acceptés par l'ingénierie ou le groupe de direction. Il faut toutefois comprendre que l'on disposerait d'une valeur pessimiste potentielle de l'avancement des travaux. Il ne faut pas oublier que si l'on se sert de la méthode SPI « initial », il

faut disposer d'une bonne évaluation des impacts du changement proposé, sinon on peut fausser les données. Dans un milieu où une évaluation initiale des répercussions serait ardue à obtenir, il vaudrait mieux se servir du SPI « ingénierie », c'est-à-dire, se servir des valeurs « officielles » définies par les groupes d'ingénierie. En contrepartie, dans certains projets des changements « types » sont présents et il peut être facile de les classer en différentes catégories et associer une valeur standardisée à chacun des types de changements rencontrés. Un gestionnaire voulant s'assurer d'avoir le plus d'informations possible pourrait se servir de toutes les méthodes simultanément. Il aurait ainsi une idée claire de la variation à laquelle le projet est exposé.

## 7.4 Conclusion

Ce chapitre a donc présenté des indicateurs de performances utilisés en gestion de projet selon la méthode de gestion par la valeur ajoutée. Une fois ces concepts de bases bien définis, des situations fictives ont été présentées dans le but de démontrer les biais que les méthodes de calcul induisent. La prochaine section servira à recommander certaines mesures pour ABC-Construction dans le but d'intégrer les connaissances acquises jusqu'à maintenant.



**Figure 7—3 Graphique des heures budgétées et du SPI en fonction du temps**

## **CHAPITRE 8**

### **DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS**

#### **8.1 Introduction**

Cette section vise à énoncer des recommandations pour ABC-Construction, de même que pour l'ensemble des compagnies qui œuvre dans le domaine de la construction, en se basant sur les résultats issus de cette recherche. Les avantages et désavantages des propositions seront donc résumés pour permettre une synthèse adéquate du travail réalisé pour discuter des développements que les travaux effectués peuvent avoir chez l'entreprise partenaire.

#### **8.2 Recommandations**

L'étude réalisée chez ABC-Construction a permis de mettre en lumière plusieurs problématiques liées au type de structure de l'entreprise et aux PGCIs présents dans les différentes divisions. La proposition repose donc sur l'ajout d'un logiciel de gestion documentaire. En réalité, ABC-Construction n'aurait même pas à acquérir ce type de logiciel, car l'entreprise dispose déjà d'un logiciel de gestion d'information du projet. Des modifications pourraient y être apportées de façon à créer de nouvelles interfaces ayant les mêmes caractéristiques que les formulaires papiers ou électroniques. La recherche présente une amélioration se basant sur l'ajout d'un logiciel de gestion documentaire dans le but de permettre la généralisation de la solution pour d'autres entreprises. Ces dernières peuvent aussi comparer leur manière de procéder avec celle d'ABC-Construction. Advenant le cas où la compagnie désire des tests additionnels avant de modifier ses manières de procéder, il serait intéressant que les professionnels indiquent le temps passé à la réalisation des ECs pour chacune des étapes. Une base de données historique pourrait ainsi être construite pour permettre la réalisation de simulations plus complètes et celles-ci donneraient une meilleure idée des répercussions que les méthodes proposées peuvent avoir. Les industries manufacturières, quant à elles, possèdent ce type d'information et des normes en vigueur dans certains secteurs l'exigent (Quintana, 2011). Normalement, les ingénieurs doivent documenter le temps passé à l'étude et la réalisation de chaque dessin d'ingénierie, mais dans le cas d'ABC-Construction, le contrôleur ne dispose pas du temps travaillé par les ingénieurs sur les ECs qu'ils reçoivent. Cette lacune rend l'évaluation de la charge du travail beaucoup plus ardue. Avec les

informations supplémentaires sur les temps de traitement, la compagnie aurait plus de pouvoir lors des négociations des paiements avec les clients lorsque les ECs n'étaient pas inclus dans l'envergure du projet.

Il a aussi été mentionné que le processus amélioré nécessite la modification du système de gestion de l'information. La charge de travail nécessaire à l'étude des besoins des fonctionnalités et la création de nouvelles interfaces et de bases de données n'a pas été évaluée. Cet aspect est donc à prendre en compte, car le travail nécessaire à la réalisation de ces activités peut s'avérer important. Les informations nécessaires pour le traitement des ECs doivent être revues et permettre le lien des informations entre les bases de données des différentes interfaces. Dans le cas où une compagnie ne dispose pas d'un logiciel de gestion de l'information, les avantages suggérés par l'adoption du processus amélioré pourraient être moindres que prévu, car le PGCI proposé se base grandement sur les fonctionnalités permises par ce type de logiciel.

On se rappellera que, selon le tableau 5-1, les experts estimaient que le traitement des changements du côté ingénierie étaient effectués selon une loi triangulaire de paramètres (1, 2, 4) semaines. La méthode proposée permet de réduire ces temps en obtenant des valeurs minimales et maximales de 1 et 1,9 semaine tout en ayant un temps moyen de 1,4 semaine. Grâce aux entrevues obtenues vers la fin du mandat de recherche, il a été possible de constater que, sur certains projets, les contrôleurs de projet ont modifié les procédures régissant le PGCI. Ces modifications sont en lien avec les résultats de la recherche bien qu'elles aient été exécutées en parallèle. En effet, l'objectif énoncé dans le chapitre 3 était d'améliorer le processus de gestion des demandes de changement d'ingénierie. Ceci peut donc se traduire par une réduction des temps de traitement des ECs et une formalisation du processus pour mieux pouvoir intervenir en cas de situations urgentes. De nouvelles règles ont été instaurées pour limiter à deux semaines le temps de traitement des ECs par les chefs de départements d'ingénierie et un contrôleur s'est vu confier des tâches de suivis concernant tous les ECs présents dans le projet. Comme mentionné dans le chapitre 4, les contrôleurs récoltent les informations et mettent à jour le système d'information. Il est donc cohérent qu'ils assurent le suivi et l'avancement du traitement des ECs tout au long du processus. Des opérations de relance ont été ajoutées lorsque des dates limites imposées approchent et des suivis serrés sont effectués lorsque les délais sont dépassés. Le but derrière cette démarche n'est pas de limiter le temps de travail des ingénieurs, mais bien de mieux les encadrer pour qu'ils effectuent leurs tâches dans un délai raisonnable. Si la complexité du EC

nécessite des délais supplémentaires, ils pourront en justifier les causes et se voir accorder du temps supplémentaire pour le traitement de ceux-ci. Le supplément de travail pour les contrôleurs est compensé par les bénéfices découlant de ces mesures. Celles-ci sont appliquées précisément pour réduire les répercussions des problématiques identifiées dans le chapitre 1 (délais de traitement trop long, possibilité de payer plus cher pour les achats effectués, possibilité de manquer des dates limites pour les achats, tec.). Avec les nouvelles mesures introduites dans les projets, les directeurs de projet souhaitaient limiter à deux semaines le temps de traitement pour les activités de la section DCN. Les résultats de la simulation permettent donc d'obtenir ces gains. Les directeurs de projet devraient établir au début de chaque projet les règles de gestion en vigueur. Il est beaucoup plus facile d'établir les normes au départ que de proposer des modifications aux procédures en cours de projet, car les risques de résistance aux changements sont plus élevés dans ce cas.

Il serait donc préférable pour toutes les divisions de l'entreprise d'opter, dans la mesure du possible, pour ce type de directive. En effet, le processus est formalisé chez ABC-Construction, mais son utilisation est inégale et le manque d'information sur les temps de traitement a rendu plus ardu la validation du processus actuel lors de la simulation. L'entreprise ne dispose en effet pas de données complètes sur les temps de traitement pour les activités du processus. La validation du processus s'est donc déroulée uniquement sous l'évaluation des professionnels œuvrant dans une seule division de l'entreprise.

Il est parfois difficile de quantifier les pertes subies dues à des délais plus longs pour le traitement des ECs, mais les dirigeants doivent être confiants qu'il ne peut être néfaste de posséder les informations plus précocement dans le projet. C'est ce principe qui est à la base de l'amélioration du PGCI chez ABC-Construction. Par exemple, en disposant des informations plus tôt dans la phase de planification il est moins probable que les acheteurs ratent les dates limites lors de leur achat. De plus, plusieurs économies peuvent être réalisées sur le transport des marchandises en utilisant des moyens de transport plus lents, mais moins onéreux. Du côté de l'ingénierie, en utilisant des informations plus à jour, des changements subséquents peuvent être identifiés plus rapidement et comme l'a démontré Midler (1996), plus les changements sont identifiés tôt, moins ils sont compliqués à résoudre par la suite. L'instauration des mesures de suivi et de relance concorde avec la proposition effectuée dans ce mémoire. Le fait qu'ABC-Construction ait instauré ces mesures en parallèle de la recherche vient confirmer la démarche effectuée de

manière scientifique. La compagnie considère ces mesures comme utiles, mais la recherche effectuée a permis de quantifier les bénéfices probables de gestion.

Les indicateurs de performance méritent aussi d'être révisés. Dans l'utilisation que les dirigeants en font présentement, ils sont parfois nocifs. Comme le temps de traitement des ECs est long, en moyenne 6,2 semaines avec la méthode actuelle, les méthodes de calcul des indicateurs prennent parfois de deux à trois mois pour prendre en compte les modifications apportées au projet. Les directeurs de projet devraient donc instaurer les nouvelles méthodes de calcul qui incluent les répercussions des ECs dès qu'ils sont identifiés. Les dirigeants pourraient ainsi évaluer si les décisions prises varient significativement selon la méthode utilisée. Le choix de la méthode de calcul des indicateurs de performance peut varier selon le directeur de projet et de l'information désirée, mais si les méthodes de calcul ne sont pas adoptées de manière uniforme, la comparaison de projet devient inexacte et faussée.

### **8.3 Conclusion**

Comme il a été démontré, cette recherche est bénéfique pour l'entreprise ABC-Construction. Le processus de PGCI utilisé est inadéquat et crée plusieurs problématiques qui peuvent être résolues grâce à des modifications mineures au niveau organisationnel et à une modification importante au niveau technologique. L'utilisation des formulaires papiers est à proscrire et des normes doivent encadrer le PGCI pour favoriser le bon déroulement des modifications dans les projets. Les méthodes de calcul des indicateurs sont à réviser pour comprendre l'impact qu'on les ECs sur la performance d'un projet. La prochaine section conclura donc en présentant les contributions et les limitations de la recherche effectuée.

## CONCLUSION

Pour conclure, il est nécessaire de synthétiser l'ensemble du travail. Les contributions concrètes à l'avancement des connaissances quant au PGCI et aux indicateurs de performances qui en découlent sont donc exprimées dans cette section. De plus, les limitations de la recherche seront définies pour permettre à d'autres d'explorer certaines avenues inexplorées dans le cadre de ce travail.

Ce projet contribue de plusieurs façons à l'avancement des connaissances dans le domaine de la gestion des changements d'ingénierie et plus spécifiquement dans le secteur de la construction. La recherche cherchait à trouver une façon d'améliorer le processus de gestions des demandes de changements d'ingénierie utilisé par la firme ABC-Construction. Pour ce faire, deux objectifs, avaient été énoncés. Le premier objectif reposait sur la proposition d'un processus de gestion des demandes d'EC qui serait intégré au système de gestion de l'information. Ceci se basait sur l'hypothèse selon laquelle le processus intégré réduirait le temps de traitement sans pour autant négliger la qualité de l'information. Les entrevues avec les professionnels ont permis de constater que la qualité de l'information ne serait pas négligée et les résultats de la simulation ont permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle le traitement est effectivement accéléré grâce à l'intégration du processus au logiciel. Le deuxième objectif portait sur le développement d'indicateurs de performance adaptés à la gestion des ECs. Ceci se basait sur la seconde hypothèse qui affirmait que les indicateurs utilisés présentement ne sont pas représentatifs de la réalité. La chapitre sept a permis de mettre en lumière la véracité de l'hypothèse. En effet, on peut observer certain décalage dans la lecture de l'information lorsque l'on inclut les ECs seulement lors de leur acceptation finale. Des nouvelles méthodes de calcul ont été proposées pour atteindre l'objectif deux. Il faut toutefois rappeler que l'élaboration de ces méthodes n'est encore qu'expérimentale et des études plus poussées sont nécessaires avant l'utilisation de celles-ci dans les projets. Les hypothèses posées au départ sont donc confirmées et l'objectif principal est rencontré bien que le deuxième objectif nécessite des recherches plus élaborées.

Si l'on regarde plus spécifiquement les contributions de chacun des chapitres, on remarque que la revue de littérature constitue une base de références pouvant servir à toutes personnes qui souhaitent en apprendre plus dans ce domaine et qui désirent connaître les meilleures pratiques en vigueur selon les entreprises. La notion d'EC est apparue il y a de nombreuses années, mais les

pratiques de gestion de ceux-ci n'ont que peu évolué avec les années. Les entreprises utilisent encore les formulaires papiers. La recherche apporte donc une nouvelle perspective en proposant de gérer les changements en format électronique et en utilisant un système qui rassemble les informations. Peu d'études ont été faites pour tenter de démontrer les impacts qu'ont ces outils dans le travail en entreprise. Les travaux effectués reposent sur des hypothèses quant à la charge de travail impliquée dans le traitement des ECs avec ce type de système. Ces hypothèses sont toutefois approuvées par les experts du milieu œuvrant chez ABC-Construction. La simulation apporte une validation robuste grâce aux nombreuses répétitions de celle-ci pour obtenir des moyennes stables. Quant à lui, le chapitre sept, reprend le thème de gestion des changements d'ingénierie pour identifier les biais présents dans la gestion par indicateurs de performance. Les preuves de biais sont démontrées et les méthodes alternatives sont énoncées pour tenter de les éliminer. Les livres de référence indiquent tous que la gestion de la configuration et par le fait même, la gestion des modifications, sont des processus critiques dans les projets. En contrepartie, les auteurs ne semblent jamais indiquer comment inclure les ECs dans les indicateurs de gestion de projet. La gestion par valeur ajoutée est présente dans le PMBOK depuis moins de 30 ans et certaines spécificités restent à développer pour répondre complètement aux besoins des dirigeants.

Du côté des limitations, on doit concéder que l'étude s'appuie seulement sur les données recueillies dans une entreprise. Des entrevues réalisées dans d'autres entreprises ont permis de remarquer que l'état de la situation était parfois pire que celle d'ABC-Construction. Il serait intéressant de comparer le processus proposé à ceux utilisés dans des entreprises qui en possèdent un formalisé. Cette comparaison pourrait permettre de peaufiner le PGCI proposé et de mettre ses avantages/désavantages en évidence.

L'absence de base de données historique complète a compliqué la tâche pour l'analyse et la simulation. Il se pourrait donc que les résultats globaux des simulations effectuées concordent avec la situation réelle, mais que les temps de traitement pour chacune des tâches prises individuellement ne représentent pas la réalité. Pour les améliorations, comme le processus n'a pas été testé en entreprise, les temps de traitement résultent d'une évaluation basée sur le jugement des parties prenantes impliquées dans le PGCI. Ces temps n'ont pu être obtenus sur un banc d'essai, car la mise en place d'un tel outil n'était pas dans l'envergure de la recherche due à la quantité de travail impliquée. Un tel banc d'essai serait nécessaire si l'on désire quantifier le

plus précisément possible les gains pouvant être obtenus avant l'application des nouvelles méthodes en entreprise.

Les réductions de temps évaluées sont donc théoriques. Le processus devrait être testé dans un projet pilote pour en vérifier la robustesse avant d'être implanté dans les différentes divisions de l'entreprise. Un projet de recherche futur pourrait reprendre le travail effectué en tentant d'instaurer le PGCI amélioré dans un projet de durée moyenne deux à trois ans. En capturant toutes les données associées au processus, des exemples concrets seraient ainsi récoltés et les parties prenantes pourraient vraiment évaluer les avantages et inconvénients des nouvelles méthodes de travail. Par exemple, le directeur de projet pourrait rédiger des observations faites par rapport aux indicateurs de performances utilisés. De plus, des chercheurs pourraient évaluer l'évolution des indicateurs de performance selon les différentes méthodes de calcul et selon les attributs standards affectés aux ECs lors de leur identification. Les professionnels pourraient donc décrire de manière objective si leur gestion aurait été différente dans une situation où ils auraient utilisé une méthode de calcul au lieu d'une autre. Ces améliorations nécessiteraient un plan d'implantation complet pour éviter de faire face à une forte résistance aux changements qui pourrait mettre en péril la réussite d'un tel projet.

La recherche a permis d'observer que les nouvelles méthodes de modélisation telle que le BIM proposent une nouvelle approche pour les ingénieurs. Il serait particulièrement intéressant de voir comment le PGCI peut être adapté à la modélisation BIM. Les logiciels de ce type permettent de lier le budget et la planification directement au modèle en 3D. Ce type de modélisation devient de plus en plus la norme dans l'industrie de la construction. En effet, le Royaume-Uni imposera dès 2016 que les projets gouvernementaux soient obligatoirement réalisés sous BIM. Un PGCI appliqué à cette approche sera donc nécessaire pour éviter de mettre en péril les projets dus à une mauvaise gestion des modifications apportées au projet.

Finalement, on peut donc considérer que plusieurs des problématiques identifiées en entreprise sont résolues grâce aux travaux. Ce travail apporte donc plusieurs propositions pour guider les dirigeants qui désirent se comparer et améliorer leur PGCI, que ce soit en modifiant leur processus ou en utilisant de nouveaux outils technologiques ou même, en réévaluant les méthodes de calcul de leurs indicateurs de performance. L'objectif global d'amélioration du PGCI chez ABC-Construction est atteint. Ceci est attribuable au succès des travaux concernant les sous-

objectifs qui étaient : favoriser l'utilisation d'un processus intégré dans un système de gestion de l'information et développer des nouvelles méthodes de calcul.

## BIBLIOGRAPHIE

- Blackburn, J. D. (1991). *Time-based competition: the next battleground in American manufacturing*: Business One Irwin.
- Dale, B. G. (1982). Management of engineering change procedure *Engineering Management International*, 1(3), 201-208. doi:10.1016/0167-5419(82)90019-9
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*: John Wiley & Sons.
- Eckert, C., Clarkson, P. J., & Zanker, W. (2004). Change and customisation in complex engineering domains. *Research in Engineering Design*, 15(1), 1-21.
- Egan, J. J. S., J. E., & Anderson, D. L. (2011). Practices in Construction Change Order Management. *55th Annual Meetin of the association for the Advancement of Cost Engineering 2011, Anaheim, California, USA*. (Vol. 1, pp. 350-361).
- Gleiberman, L. (1964). Engineering change of total requirements matrix for bill of materials. *Management Science*, 10(3), 488-489.
- Gray, C. F., Langevin, Y., & Larson, E. W. (2006). *Management de projet*: Chenelière McGraw-Hill.
- Han, S., Lee, S., & Pena-Mora, F. (2012). Identification and Quantification of Non-Value-Adding Effort from Errors and Changes in Design and Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, 138(1), 98-109. doi:10.1061/(asce)co.1943-7862.0000406
- Hori, S., Nakatani, T., Katamine, K., Ubayashi, N., & Hashimoto, M. (2009). Project management patterns to prevent schedule delay caused by requirements changes: Empirical study on a successful project. *ICSOFT 2009 - 4th International Conference on Software and Data Technologies, July 26, 2009 - July 29, 2009, Sofia, Bulgaria*. (Vol. 1, pp. 115-120): INSTICC Press.
- Huang, G. Q., Yee, W. Y., & Mak, K. L. (2001). Development of a web-based system for engineering change management. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 17(3), 255-267. doi:10.1016/s0736-5845(00)00058-2
- Ibbs, C. W. (1997). Quantitative impacts of project change: Size issues. *Journal of Construction Engineering & Management*, 123(3), 308.
- Jarratt, T. A. W., Eckert, C., & Clarkson, P. J. (2004). Engineering change In Springer (dir.), *Design process improvement* New York.
- Jarratt, T. A. W., Eckert, C. M., Caldwell, N. H. M., & Clarkson, P. J. (2011). Engineering change: an overview and perspective on the literature. *Research in Engineering Design*, 22(2), 103-124. doi:DOI 10.1007/s00163-010-0097-y
- Kocar, V., & Akgunduz, A. (2010). ADVICE: A virtual environment for Engineering Change Management. *Computers in Industry*, 61(1), 15-28. doi:DOI 10.1016/j.compind.2009.05.008

- Loch, C. H., & Terwiesch, C. (1999). Accelerating the process of engineering change orders: Capacity and congestion effects. *Journal of Product Innovation Management*, 16(2), 145-159.
- Maurino, M. (1995). *La gestion des données techniques : technologie du concurrent engineering*. Paris: Masson.
- Midler, C. (1996). *Développement de la logique projet, crises et mutations des fonctions techniques. Incohérence, pertinence et évaluation*. Paris: Economia.
- Motawa, I. A., Anumba, C. J., Lee, S., & Peña-Mora, F. (2007). An integrated system for change management in construction. *Automation in Construction*, 16(3), 368-377. doi:10.1016/j.autcon.2006.07.005
- Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2011). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 29(6), 764-772. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.012>
- Ollinger, G. A., & Stahovich, T. F. (2004). RedesignIT - A model-based tool for managing design changes. *Journal of Mechanical Design*, 126(2), 208-216. doi:10.1115/1.1666888
- Park, M., & Peña-Mora, F. (2003). Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management. *System Dynamics Review*, 19(3), 213-242. doi:10.1002/sdr.273
- Peter, T. (2003). The Change Control System *Pharmaceutical Engineering Change Control*. (pp. 69-92): Informa Healthcare. doi:doi:10.1201/9780203508824.ch5  
10.1201/9780203508824.ch5
- Pritsker, A. A. B. (1986). *Introduction to stimulation and Slam II. Third edition*.
- Project Management, I. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)*. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- Quintana, V. (2011). *Vers l'elimination des dessins d'ingenierie des processus de modification d'ingenierie en aeronautique*. NR78335 (D.Eng.), Ecole de Technologie Supérieure (Canada), Canada. Tiré de ProQuest Dissertations & Theses Full Text.
- Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., & Kheddouci, F. (2012). Re-engineering the Engineering Change Management process for a drawing-less environment. *Computers in Industry*, 63(1), 79-90. doi:DOI 10.1016/j.compind.2011.10.003
- Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., & Venne, F. (2012b). Measuring and improving the process of Engineering Change Orders in a Model-based Definition Context. *International Journal of Product Lifecycle Management*.
- Rouibah, K., & Caskey, K. R. (2003). Change management in concurrent engineering from a parameter perspective. *Computers in Industry*, 50(1), 15-34.
- Rowell, W., Duffy, A. H. B., & Boyle, I. M. (2009). The nature of engineering change in a complex product development cyclela dir. de.).

- Shiau, H. Y., & Wee, H. M. (2008). A distributed change control workflow for collaborative design network. *Computers in Industry*, 59(2-3), 119-127. doi:10.1016/j.compind.2007.06.010
- Smith, D. A. (1985). Establishing a successful engineering change management procedure. *APICS - Twenty-eight Annual International Conference, Toronto, Ontario.*(pp. 3): American Production and Inventory Control Society - APICS.
- Tavcar, J., & Duhovnik, J. (2005). Engineering change management in individual and mass production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 21(3), 205-215. doi:DOI 10.1016/j.rcim.2004.07.017
- Terwiesch, C., & Loch, C. H. (1999). Managing the process of engineering change orders: The case of the climate control system in automobile development. *Journal of Product Innovation Management*, 16(2), 160-172.
- Vanpevenage, R. (2011). *L'implantation de la maquette numérique dans les entreprises générales de Bâtiment*. Arts et Métiers ParisTech, Paris.
- Wasmer, A., Staub, G., & Vroom, R. W. (2011). An industry approach to shared, cross-organisational engineering change handling - The road towards standards for product data processing. *Computer-Aided Design*, 43(5), 533-545. doi:DOI 10.1016/j.cad.2010.10.002
- Wright, I. C. (1997). A review of research into engineering change management: Implications for product design. *Design Studies*, 18(1), 33-39. doi:10.1016/s0142-694x(96)00029-4

**ANNEXE I**  
**Article CIGI 2013**

# CIGI 2013

## Étude de cas d'amélioration du processus de gestion des changements d'ingénierie en projet de construction

Martin FLEURENT<sup>1,2</sup>, Robert PELLERIN<sup>1</sup>, Samir LAMOURI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

C.P. 6079, Succursale Centre-ville, Montréal, H3C 3A7, Québec, Canada,

[martin.fleurent@polymtl.ca](mailto:martin.fleurent@polymtl.ca)

[robert.pellerin@polymtl.ca](mailto:robert.pellerin@polymtl.ca)

<sup>2</sup> ARTS ET MÉTIERS PARISTECH

151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 , Paris, France

[samir.lamouri@ensam.eu](mailto:samir.lamouri@ensam.eu)

*Résumé* - Les changements d'ingénierie sont courants dans tous les grands projets de construction. Les projets doivent être modifiés pour satisfaire les nouveaux besoins du client, pour se conformer aux règles environnementales ou au contexte législatif ou encore pour réaliser des économies. En effet, de longs délais sont parfois observés lors du traitement des demandes et ces délais peuvent avoir un impact critique sur les coûts d'un projet. Ainsi, cet article tente de démontrer que les processus de gestion de changement d'ingénierie peuvent être améliorés pour profiter des solutions des logiciels PLM adaptés à la gestion de projet. Le processus de gestion des changements a été observé chez un maître d'œuvre puis généralisé pour éliminer les particularités de l'entreprise. Par la suite, le processus a été modifié à l'aide des nouvelles fonctionnalités disponibles dans les logiciels utilisant la gestion de documents.

*Abstract* – Engineering changes are very common in all the great construction's projects. Projects usually have to be modified to satisfy the needs of the clients, to conform to new legislation or to reduce construction costs. Indeed, long lead times are observed in processing of engineering changes and those lead times greatly influence the project budget. This paper address this problem in showing that the process used could be improved in order to benefit of all the functionality that PLM softwares propose. The process of managing an engineering change has been recorded and studied in a construction firm and then standardized to eliminate some of the specificity of the enterprise. Afterwards, the process has been modified using business process improvement to incorporate document management software and the functionality available within this kind of tool.

*Mots clés* - Changement d'ingénierie; Gestion des changements dans la construction; Modélisation des processus d'affaires

*Keywords* - Engineering change; Change management in construction; Business process modeling

## 1 INTRODUCTION

Les entreprises font face à des défis de taille pour continuer à offrir des services flexibles capables de répondre aux besoins de leurs clients en plus de devoir s'adapter aux règles et normes changeantes de leur secteur respectif. Lorsque des modifications doivent être apportées sur un produit complexe ou lors de la réalisation d'un grand ouvrage d'ingénierie, la modification d'une composante peut avoir des répercussions sur l'ensemble du produit ou du projet; une collaboration étroite des différents intervenants est nécessaire.

Dans un contexte de projet de construction d'envergure, les activités d'ingénierie s'étalent souvent sur plusieurs années. Il n'est donc pas rare de constater qu'après quelques mois, le projet ne correspond plus aux besoins initiaux du client et que la portée du projet doit être modifiée en cours de réalisation. Les documents complétés et approuvés doivent alors subir des modifications en réponse à l'ajout ou la suppression d'éléments ou encore être déclarés complètement obsolètes. De manière générale, les demandes de changements d'ingénierie sont encadrées par des processus d'évaluation et de contrôle qui impliquent différents départements de façon à planifier adéquatement le travail à exécuter en plus d'assurer un suivi. Ceci nécessite un flux d'information formalisé et une coordination étroite de toutes les parties prenantes. L'expérience des professionnels montre que la capacité à bien gérer les changements introduits est souvent un facteur critique de réussite [Dale, 1982]. En effet, l'évolution des changements doit être maîtrisée pour s'assurer que les efforts soient déployés de manière optimale dans chacun des départements. Le temps de traitement influence le coût du projet, car plus celui-ci est long, moins il est facile de prévoir et mitiger les répercussions du changement dans le projet. Bien que le temps de traitement total soit long, les activités à valeur ajoutée ne composent que 8,5 % du temps de traitement [Blackburn, 1992]. Il est donc intéressant de se poser la question suivante : comment peut-on modifier le processus actuel pour réduire le temps de traitement des demandes de changements?

Cet article traite d'une étude de cas chez un maître d'œuvre dans le but de proposer un processus de gestion des demandes de changement amélioré grâce à l'utilisation de logiciels permettant la gestion des documents au sein de la compagnie. Les fonctions de ces logiciels, déjà très nombreux sur le marché, sont souvent incorporées dans les logiciels de type PLM pour «Product Lifecycle Management» et permettent la gestion de l'information tout au long du cycle de vie des produits/projets. Cette étude exploratoire permettra donc de définir un idéal vers lequel tendre sans pour autant pouvoir quantifier tous les gains réels.

La suite de cet article est organisée de la façon suivante. Dans un premier temps, les changements d'ingénierie sont définis une analyse de l'état de l'art permet de vérifier si les méthodes et les stratégies utilisées dans divers domaines amélioreraient les processus de gestion des changements dans le domaine de la construction. Par la suite, la modélisation d'un processus réel (AS-IS), effectué au sein d'une grande firme d'ingénierie, permet de comprendre le processus actuel et d'identifier les tâches problématiques. Le modèle futur (TO-BE) facilite ensuite la compréhension des gains possibles. Une discussion suivra sur l'utilisation de la simulation pour comparer les différentes manières de procéder et nous conclurons sur la portée que ces travaux peuvent avoir.

## 2 REVUE DE LITTERATURE

### 2.1 Définition des changements d'ingénierie

Les changements d'ingénierie, ou «engineering change» (EC), possèdent parfois une définition spécifique au sein du secteur dans lequel ils sont employés. Ainsi, [Han et al., 2012] parlent «d'ordre de changement» pendant qu'[Ollinger et Stahovich, 2004] utilisent plutôt les «changements de design». Bien que les termes diffèrent légèrement, une lecture approfondie des textes permet de vérifier que ces termes sont utilisés pour désigner la même réalité. Certains auteurs ont toutefois énoncé des définitions très larges pour tenter d'englober tous les aspects reliés à ce domaine. Les deux définitions suivantes sont celles qui sont les plus citées dans la littérature :

*« Engineering change orders (ECOs)- changes to parts, drawings or software that have already been released »* [Loch et Terwiesch, 1999].

*« Engineering changes are the changes and modifications in forms, fits, materials, dimensions, functions, etc. of a product or a component »* [Huang et al., 2001]

Ces définitions ne sont pas sans failles. En les examinant, il est possible de remarquer que chacune d'elle possède des aspects que les autres n'ont pas. En effet, [Huang, et al., 2001] incluent les types de modifications et [Loch et Terwiesch, 1999] incluent le domaine du développement de logiciels. Principalement basé sur la définition de ces derniers, [Jarratt et al., 2004] proposent une définition plus complète en explicitant les caractéristiques de grandeur, de temps et d'origine. La définition se lit comme suit:

*« An engineering change is an alteration made to parts, drawings or software that have already been released during the product design process. The change can be of any size or type; the change can involve any number of people and take any length of time »* [Jarratt, et al., 2004]

Il est judicieux de préciser que le changement peut provenir de tous les intervenants reliés au produit. La définition ainsi obtenue serait formelle et utilisable pour une entreprise qui voudrait se doter d'une procédure robuste en termes de gestion des demandes de changements d'ingénierie. En effet, les compagnies ont besoin de définitions à l'interne qui leur servent de guides pour identifier les ECs et en assurer le traitement avec toute la documentation adéquate. Voici la définition que l'entreprise étudiée donne aux changements de design dans les procédures internes de l'entreprise. Pour conserver l'anonymat, nous nommerons la compagnie «ABC-Construction».

*« Change (addition or deletion) on any or a combination of the following: scope, number of deliverables, engineering manhours, capital cost and schedule. »* [ABC-Construction, 2008]

En analysant cette définition, on peut constater qu'elle rassemble tous les éléments discutés auparavant en les généralisant sous des concepts ou des termes utiles à l'entreprise dans sa méthode de gestion : « engineering manhours », «deliverables» et «capital cost». Cette définition sert donc de base pour les travaux de l'article.

### 2.2 Sources et causes des changements

Ap Après avoir bien défini ce qu'était un EC, il importe d'en connaître la provenance. Les ECs peuvent découler d'un stimulus interne, associé aux caractéristiques mêmes du produit, ou externe, associé à une demande d'un acteur impliqué dans le cycle de vie du produit. [Rowell et al., 2009]. [Jarratt et al., 2011] définissent plus en profondeur les types de raisons poussant à effectuer une modification.

- Interne
  - Correction d'une erreur faite pendant le design;
  - Protection du public et de l'environnement quant à la sécurité du produit;
  - Changement de fonctions qui ne satisfont pas les exigences; et
  - Problèmes de qualité lors de la production qui découlent d'un mauvais design.
- Externe
  - Demandes provenant d'une des parties prenantes suivantes: Clients, Ventes et Marketing, Maintenance, Production, Fournisseurs, Ingénierie, Haute direction, Législateurs.

Il existe une très grande quantité de raisons externes vu le nombre d'acteurs pouvant être impliqués ; chaque type d'industrie devrait être en mesure de prévoir les différents scénarios typiques qui peuvent s'appliquer dans leur milieu.

Une compagnie peut aussi catégoriser les ECs selon la priorité qui devrait y être accordée, mais l'étude de cette caractéristique est en dehors de l'envergure de notre champ de recherche.

Un des objectifs sous-jacents de cette analyse est de démontrer que quelles que soient les causes des changements, on constate que dans la majorité des cas, les ECs sont le fait d'acteurs issus de tous milieux et,

comme l'ont énoncé [Tavcar et Duhovnik, 2005], par un manque de communication entre les parties prenantes au projet

### 2.3 Processus générique de changement

NOMBREUSES SONT LES ÉTUDES QUI TENTENT DE MODIFIER LES PROCESSUS ACTUELS POUR AMENER LES ORGANISATIONS À TRAVAILLER AVEC DES PROCESSUS PLUS RAPIDES ET AVEC UN FLUX D'INFORMATION ACCESSIBLE À TOUS LES ACTEURS IMPLIQUÉS. [Dale, 1982] FUT L'UN DES PREMIERS À CARTOGRAPHIER TOUT LE FLUX D'INFORMATION NÉCESSAIRE POUR RÉALISER UN CHANGEMENT EN FONCTION DES RESPONSABILITÉS DE CHACUN DES DÉPARTEMENTS. POUR [Maurino, 1995], LE PROCESSUS DE CHANGEMENT SE COMPOSAIT DE SEULEMENT QUATRE PHASES : LA DEMANDE, L'INSTRUCTION, L'EXÉCUTION ET L'APPLICATION. SELON LUI, UN ACTEUR CERNE LE CHANGEMENT ET DEMANDE À OFFICIALISER UNE REQUÊTE DE CHANGEMENT D'INGÉNIERIE OU « ENGINEERING CHANGE REQUEST » (ECR). UNE FOIS LA DEMANDE ACCEPTÉE EN COMMISSION, L'ECR EST DOCUMENTÉ POUR ANALYSER TOUS SES EFFETS ET DEVIENT UN ORDRE DE CHANGEMENT D'INGÉNIERIE OU « ENGINEERING CHANGE ORDER » (ECO). PUIS, LES MODIFICATIONS SONT EXÉCUTÉES ET, DANS LA PHASE D'APPLICATION, LE CHANGEMENT EST INSTAURÉ OFFICIELLEMENT À TOUS PAR UN AVIS DE CHANGEMENT D'INGÉNIERIE AUSSI APPELÉ « ENGINEERING CHANGE NOTICE ». DES PROCESSUS PLUS DÉTAILLÉS SIMILAIRES À CELUI-CI ONT AUSSI ÉTÉ DOCUMENTÉS. VOICI DONC UN PROCESSUS GÉNÉRIQUE DE GESTION DES DEMANDES DE CHANGEMENT ADAPTÉ DE [JARRATT, ET AL., 2011].

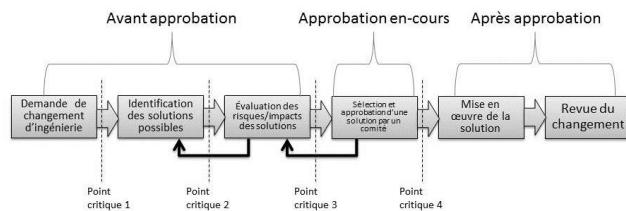


Figure 1. Processus générique de gestion du changement

ON PEUT ASSOCIER LES TERMES DU PROCESSUS DE [MAURINO, 1995] À CELUI-CI. EN EFFET, DANS CE DERNIER PROCESSUS, L'ECR A LIEU DU DÉBUT JUSQU'AU POINT CRITIQUE 4 QUI CORRESPOND AU DERNIER JALON PERMETTANT UN RETOUR EN ARRIÈRE. ENSUITE, LA MISE EN ŒUVRE DE LA SOLUTION CORRESPOND À L'ECO ET LA REVUE DU CHANGEMENT EST ASSOCIÉE À L'ECN OÙ L'ON VÉRIFIE QUE CE DERNIER A BIEN ÉTÉ RÉALISÉ ET QU'IL A ÉTÉ COMMUNIQUÉ À TOUS. CETTE PRÉSENTATION PEUT, DE MANIÈRE GÉNÉRALE, SERVIR DE BASE POUR LES PROFESSIONNELS OU CHERCHEURS QUI TENTENT DE RENDRE LEUR PROCESSUS PLUS EFFICIENT.

[Rowell, et al., 2009] ont étudié les changements dans un projet de la Marine Royale d'Angleterre. Leur version simplifiée du processus utilisé est équivalente à celle de [Jarratt, et al., 2011]. Quant à eux, [Egan et Anderson, 2011] prônent aussi l'utilisation d'un processus générique presque identique à celui de la figure 1.

DES VARIANTES D'UN MÊME PROCESSUS DOIVENT PARFOIS ÊTRE RÉALISÉES SELON LE TYPE DU PRODUIT. EN EFFET, LA COMPLEXITÉ TECHNOLOGIQUE, LA COMPLEXITÉ D'ASSEMBLAGE OU DE CONSTRUCTION, LE NOMBRE DE VARIANTES DU PRODUIT ET LE NOMBRE DE PIÈCES DANS LE PRODUIT SONT À LA BASE MÊME DU TYPE DE PROCESSUS QUI SERA UTILISÉ [Tavcar et Duhovnik, 2005].

[Rouibah et Caskey, 2003] fournissent un processus axé sur les changements d'ingénierie selon les paramètres des pièces du produit. Le processus est similaire à celui de la figure 1, mais lorsqu'une modification possible est identifiée, il est nécessaire de lier ce changement aux pièces et choisir ensuite les nouvelles spécifications. Ce type de processus peut s'appliquer au domaine automobile par exemple, où chacun des paramètres des pièces est lié aux autres.

DANS LE CADRE DE COLLABORATION ENTRE COMPAGNIES, [Wasmer et al., 2011] ont construit un processus qui permet à chacune des entreprises d'agir en tant que coordinateur d'un changement ou seulement à titre de participant. Leur processus se consacre tout particulièrement au flux d'informations qui fait parfois défaut dans ce type de projet dû à la complexité des structures multi-entreprises au sein d'un même projet.

POUR [Quintana et al., 2012], IL CONVIENT D'ADAPTER LE PROCESSUS SELON LES OUTILS UTILISÉS. LEUR RÉINGÉNIERIE DU PROCESSUS EST donc influencée par l'intégration et utilisation d'outils spécifiques de modélisation 3D qui permettent d'annoter directement sur le modèle 3D toutes les modifications à effectuer pour se servir du modèle comme support lors de la diffusion de l'information.

Pour sa part, [Peter, 2003] propose un processus détaillé qui englobe le processus générique de demande de changement, mais en y ajoutant les tâches détaillées pour évaluer les demandes. Il s'intéresse particulièrement à tous les rapports et documents qui doivent être modifiés pour la mise en œuvre du changement.

Ces travaux, bien qu'intéressants, ne permettent pas de résoudre certaines problématiques spécifiques liées au domaine de la construction et plus particulièrement durant la phase de design du projet. En effet, en se basant sur les travaux de Quintana, on réalise qu'il est nécessaire d'avoir un processus basé sur les outils utilisés. L'utilisation de logiciels de gestion d'information dans le cycle de vie du projet requerrait donc un processus adapté pour retirer le plein potentiel des bénéfices de tels logiciels et ainsi pouvoir réduire le temps de traitement total des changements d'ingénierie.

Dans le cas présent, nous proposons donc une étude exploratoire se basant sur le processus actuel utilisé dans une entreprise d'ingénierie œuvrant dans le secteur de la construction d'ouvrages majeurs et l'amélioration de celui-ci grâce aux fonctionnalités permises par les nouveaux logiciels.

### 3 ÉTUDE DU PROCESSUS ACTUEL (AS-IS)

#### 3.1 Méthodologie utilisée

Une méthodologie adaptée de [Pritsker, 1986] a permis de structurer la recherche. La figure 4 schématisé les étapes. La recherche d'information s'est donc faite grâce à une expérience entreprise suivie d'une étude de l'état de l'art. Grâce à des entretiens avec des acteurs clés de la compagnie « ABC-Construction » ainsi qu'à leurs procédures écrites, nous avons pu modéliser le processus suivi par l'entreprise. Cette section s'attardera donc à la description des processus modélisés.

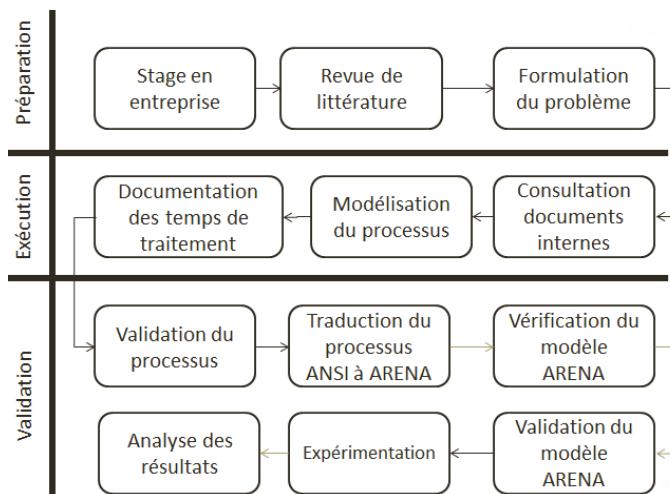


Figure 4 Méthodologie utilisée

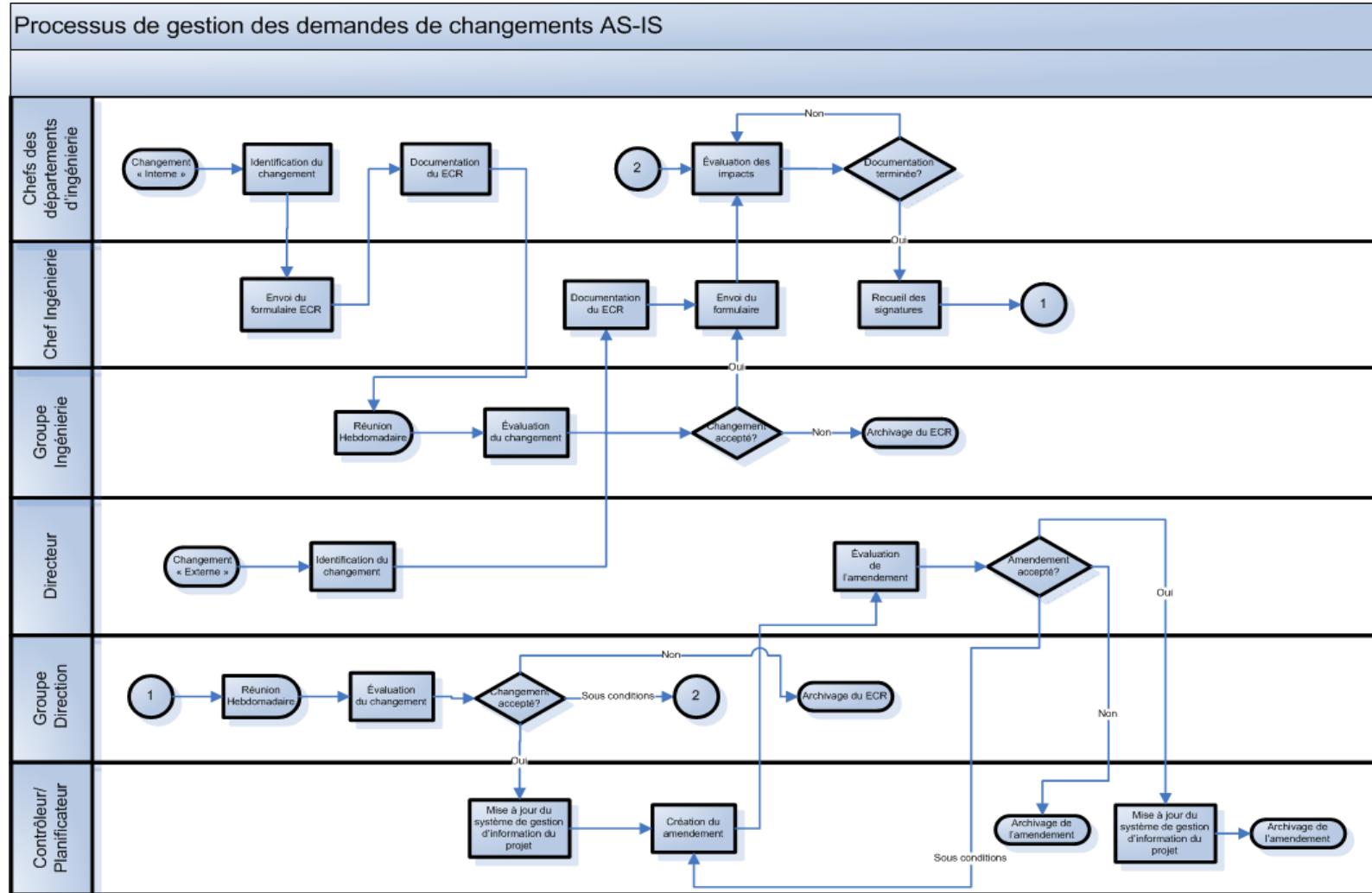


Figure 2 Processus AS-IS

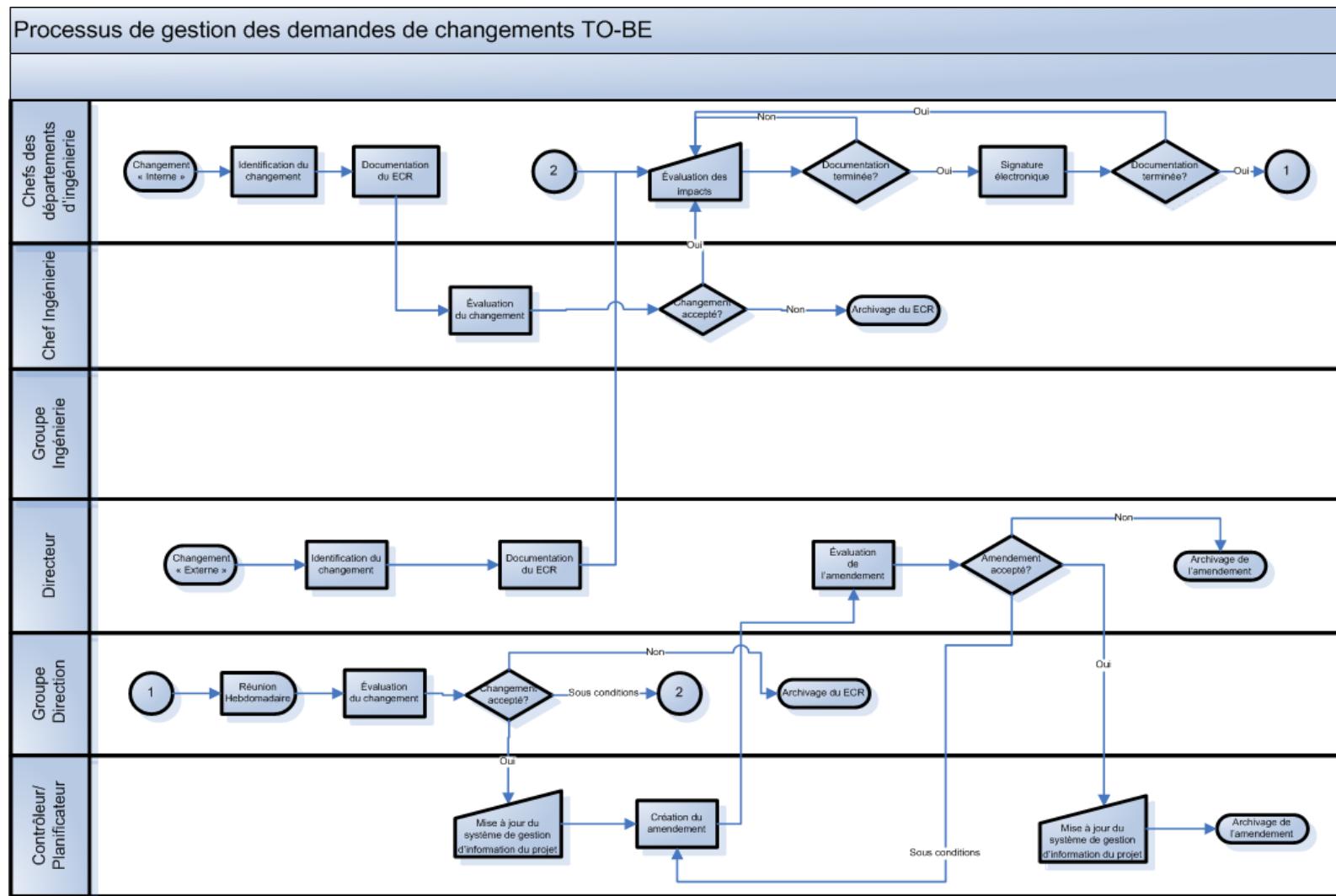


Figure 3 Processus TO-BE

### *3.2 Processus actuel*

Voici donc une brève description de l'état actuel au sein de l'entreprise. Les parties prenantes sont le client/directeur de projet, le directeur de l'ingénierie, les chefs de départements d'ingénierie et le contrôleur/planificateur de projet. À ceux-ci il est possible d'ajouter tout acteur en lien avec le projet, que ce soit les ingénieurs ou les acheteurs. Deux groupes particuliers se rencontrent aussi de manière hebdomadaire : le groupe de l'ingénierie composé du directeur de l'ingénierie et des chefs de départements d'une part et de l'autre, le groupe de direction quant à lui se compose du directeur de l'ingénierie, du directeur de projet et du contrôleur/planificateur de projet.

#### **3.2.1 Sources des changements**

Les changements peuvent provenir des chefs d'ingénierie ou de leurs ingénieurs dans un tel cas on assiste à un changement « interne ». Le client (masqué sous la fonction « directeur ») peut aussi vouloir changer l'envergure du projet et donc créer des modifications dans l'ingénierie en cours, planifiée ou même terminée. Ceci crée un changement dit « externe ». Il n'y a pas de distinction réelle entre ces 2 types mis à part que les étapes initiales varient légèrement et chaque changement enclenche le processus suivant.

#### **3.2.2 Évaluation préliminaire**

Lorsqu'un changement est identifié, l'initiateur doit demander au directeur de l'ingénierie de créer un formulaire et de le lui envoyer. Une fois la réception du formulaire effectuée, l'initiateur documente le changement désiré et le renvoie au directeur de l'ingénierie qui le conserve jusqu'à la réunion hebdomadaire du groupe de l'ingénierie composé des chefs des disciplines et du directeur de l'ingénierie). Le groupe décide si les propositions seront étudiées plus en profondeur ou si elles seront rejetées. Pour prendre cette décision, ils se basent sur la pertinence et la nécessité de réaliser la modification. Les changements dits « externes » n'ont pas à passer par cette étape préliminaire d'évaluation. Le directeur d'ingénierie documente directement le changement désiré et envoie une note aux chefs des départements d'ingénierie pour leur rappeler qu'ils doivent étudier les impacts des modifications.

#### **3.2.3 Documentation (évaluation des impacts)**

Chaque chef de département prend alors connaissance du changement désiré/proposé et consulte ses ingénieurs spécialisés pour en évaluer les impacts. La modélisation n'implique pas nécessairement les ingénieurs sous les ordres des chefs dans le but de simplifier la représentation du processus. De plus, le chef se contente parfois de son expérience pour se prononcer. Les ingénieurs définissent ensuite si le changement aurait une incidence sur les livrables existants et, si besoin est, proposent de nouveaux livrables. Une estimation des heures pour chacun des livrables modifiés/ajoutés/supprimés complète l'étude des chefs de départements. Les neuf départements remplissent le document à tour de rôle sans ordre précis. Le document se trouve soit sur le réseau de l'entreprise ou bien les chefs de département se le réacheminent par courriel. Lorsque tous ont documenté les impacts liés à leur champ d'expertise, le directeur de l'ingénierie est notifié et ce dernier imprime le formulaire pour ensuite passer physiquement de bureau en bureau pour que chacun des chefs des départements puisse y apposer sa signature et vérifier que les chefs de départements ont pris connaissance des répercussions des autres départements pouvant affecter leurs travaux.

#### **3.2.4 Évaluation finale**

Une fois toutes les signatures recueillies, le directeur d'ingénierie attend la réunion hebdomadaire du groupe de direction du projet composé du directeur de projet, du directeur de l'ingénierie et du contrôleur de projet. Lors de cette réunion, les impacts sur l'avancement, le budget et la planification du projet sont exprimés et le groupe prend la décision d'accepter le changement, de le refuser et l'archiver ou bien de l'accepter sous certaines conditions. L'acceptation sous conditions implique un retour en arrière dans le processus. Le changement recommence donc toutes les étapes de documentation et d'évaluation faites par les chefs des disciplines d'ingénierie.

#### **3.2.5 Mise à jour des informations du système de gestion**

Une fois l'approbation du groupe de direction obtenue, le contrôleur/planificateur de projet doit créer les nouveaux livrables dans le système et modifier les heures associées à tous les livrables affectés par le changement. Il doit aussi revoir la planification du projet et le niveau de ressources nécessaires par période pour atteindre les objectifs fixés. Ensuite, le contrôleur doit créer un amendement au projet et ainsi définir les impacts sur le budget pour le changement proposé selon les termes du contrat. Le directeur de projet et/ou le client évaluent la proposition et décident si l'amendement sera accepté, refusé et archivé ou bien accepté sous conditions. Dans ce dernier cas, le contrôleur procède aux modifications désirées pour ensuite retransmettre le document pour qu'il soit évalué. Les termes de paiement sont finalement modifiés lors de l'approbation de l'amendement et la gestion du changement est terminée bien que les ingénieurs doivent encore réaliser les livrables désirés.

### 3.3 Problématiques actuelles

À première vue, on peut remarquer des particularités dans ce processus par rapport à celui identifié auparavant et ceux définis dans la littérature. Le processus gère les demandes de changement (ECR) et seulement la partie « administrative » des ordres de changement (ECO). En effet, le processus commence avec une évaluation de la nécessité de créer un ECR et se termine avec l'acceptation (ou non) de l'ECR. Le contrôleur/planificateur doit tout de même gérer l'ECO pour inclure les données dans la planification et le budget dans le système de gestion de l'information du projet.

Il est possible de classer les problématiques qui contribuent aux longs délais dans le processus selon cinq causes : la complexité du processus d'approbation, la disponibilité des ressources, l'agrégation des tâches, l'effet boule de neige et les problèmes organisationnels [Terwiesch et Loch, 1999]. On peut ainsi agir sur les aspects s'appliquant à la situation que nous avons actuellement qui sont respectivement la complexité du processus, la disponibilité des ressources et les problèmes organisationnels. À ceux-ci, il faut ajouter les problèmes qui sont liés au manque d'utilisation des technologies. Ces problèmes sont des composantes dans chacun des aspects mentionnés précédemment. En effet, les exemples suivants permettront de démontrer que les logiciels de gestion de documents offrent des fonctionnalités qui peuvent rendre le processus plus efficient.

#### 3.3.1 Problèmes organisationnels

Des différences sont donc notables avec les processus en industrie. En effet, on propose souvent une solution dont le design est complet dans les entreprises manufacturières. La décision de prendre en compte le changement repose sur le travail accompli du côté de l'ingénierie, ce qui correspond à l'ECO. Le domaine de la construction diffère de ce côté, car on utilise normalement des estimations basées sur des calculs préliminaires pour prendre une décision. Par la suite, des ECRs peuvent être créés lorsque l'on se retrouve de nouveau dans une impasse ou que l'on souhaite déroger à ce qui était initialement prévu. Les travaux de l'ordre de changement (ECO) sont en fait inclus dans la planification et sont gérés comme s'ils avaient été inclus dans les estimations au début (comme tous les autres livrables). Il a été remarqué que les travaux sont gérés de manière décentralisée. Chaque département a la responsabilité d'accomplir les nouveaux livrables tout comme les livrables inchangés et il n'y a pas de différence de gestion entre les deux types. Au contraire dans l'industrie, si le changement est accepté, il est communiqué au sein de l'entreprise par le formulaire d'avis de changement et chaque intervenant réalise des tâches précises selon ses responsabilités définies.

On peut aussi supposer qu'en moyenne un ECR attend 2,5 jours, car la réunion du groupe d'ingénierie est hebdomadaire (si les changements se produisent de manière uniforme selon les jours de la semaine). Le même principe s'applique pour la réunion hebdomadaire du groupe de direction. Ces jours sont du temps perdu qui pourrait être éliminé.

#### 3.3.2 Disponibilité des ressources

En se fiant au jugement des principaux acteurs, on remarque que l'attente est un problème majeur. Les professionnels impliqués semblent toujours attendre le travail d'un autre professionnel. Ce problème est accentué par le fait que lorsqu'un acteur reçoit finalement le formulaire d'ECR, il n'est pas nécessairement libre pour le traiter à l'instant même et l'addition de ces temps d'attente provoque un délai important. En effet, si un utilisateur initie un changement, il doit en informer le directeur de l'ingénierie qui doit créer un formulaire : dans un premier temps on attend que le formulaire soit créé et dans un deuxième temps, qu'il soit rempli. On assiste donc à une accumulation de temps d'attente. Cet exemple caractérise bien la situation où à chaque étape il faut attendre que les ressources se libèrent pour travailler sur l'ECR.

Il est aussi possible d'identifier plusieurs activités à non-valeur ajoutée qui pourraient être automatisées ou même éliminées pour réaliser des gains en temps et d'effort pendant le processus de gestion des changements. En éliminant les tâches où on ne fait que de la saisie de données, on peut éliminer par le fait même quelques-uns de ces temps d'attente et rendre plus fluide le processus. On n'a qu'à penser au contrôleur/planificateur qui doit réviser le budget et la planification selon les informations disponibles dans le formulaire. Ces actions ne sont pas nécessaires bien que le résultat soit critique.

#### 3.3.3 Complexité du processus d'approbation

La perte de temps est aussi évidente dans la structure séquentielle selon laquelle un seul département à la fois peut travailler à documenter les impacts des modifications dans son domaine d'ingénierie. La nécessité de faire signer le

formulaire n'ajoute aucune valeur et requiert du temps de coordination au directeur de l'ingénierie pour croiser chacun des chefs de départements et leur faire prendre connaissance du document final pour qu'ils le signent.

Tous les phénomènes énumérés auparavant sont amplifiés dans le cas d'un changement qui serait accepté sous conditions. Dans cette situation, le temps de traitement peut-être presque doublé sans pour autant requérir le double du travail du côté des ingénieurs.

## **4 DEFINITION DU PROCESSUS SOUHAITE (TO-BE)**

### *4.1 Processus souhaité*

Le processus futur anticipé (TO-BE) est le résultat de modifications organisationnelles et technologiques. Il sous-entend l'utilisation d'un système de gestion documentaire. Cette gestion est effectuée selon le processus suivant :

#### **4.1.1 Sources des changements**

Les sources restent les mêmes que dans le processus AS-IS, mais les initiateurs du changement ont les « accès » au logiciel pour créer un document unique dans lequel ils inscrivent directement le changement sans passer préalablement par le directeur de l'ingénierie. Le système permet de donner un statut au document qui notifie automatiquement le directeur de l'ingénierie qu'un changement nécessite son approbation.

#### **4.1.2 Évaluation préliminaire**

Le groupe d'ingénierie n'est plus nécessaire pour évaluer si le changement est valable ou non. Le directeur de l'ingénierie prend lui-même la décision et il change le statut du formulaire qui sera archivé ou évalué par les chefs des départements d'ingénierie. Le changement de statut provoque l'archivage automatique ou une notification automatique auprès des chefs d'ingénierie selon la décision prise en amont.

#### **4.1.3 Documentation**

La documentation comporte les mêmes étapes qu'auparavant. Toutefois, les tâches dans chacune de ces étapes sont quelque peu modifiées. En effet, lorsque les chefs définissent les nouveaux livrables selon la nomenclature appropriée dans l'entreprise, les documents sont automatiquement créés suivant les gabarits de l'entreprise. Les chefs de départements ont aussi la possibilité de travailler en parallèle sur le fichier. Le travail est donc moins séquentiel et ils ont la possibilité de se baser sur les informations préliminaires provenant des autres départements pour confirmer leurs hypothèses et prendre des décisions plus现实. Encore une fois, le système de gestion des documents permet de modifier le statut du document : ceci est fait pour chacune des disciplines d'ingénierie et permet ainsi de connaître l'avancement de chacun des départements. Le changement de statut permet d'indiquer aux chefs de départements qu'ils doivent s'assurer d'avoir pris connaissance des répercussions possibles des modifications des autres départements sur le leur. Leur signature électronique vient remplacer la signature sur le formulaire papier.

#### **4.1.4 Évaluation finale**

Une fois toutes les signatures électroniques recueillies, le directeur d'ingénierie attend la réunion hebdomadaire du groupe de direction du projet composé du directeur de projet, du directeur de l'ingénierie et du contrôleur de projet. Lors de cette réunion les impacts du changement sont exprimés en termes de budget et sur la planification. Puis, le groupe prend la décision d'accepter le changement, de le refuser et l'archiver ou bien de l'accepter sous certaines conditions. L'acceptation sous conditions implique un retour en arrière dans le processus et la création d'une révision du document. Le formulaire doit repasser par toutes les étapes de documentation et d'évaluation faites par les chefs des disciplines d'ingénierie. Si le statut est changé pour que le changement soit refusé, il est archivé automatiquement par le logiciel.

#### **4.1.5 Mise à jour des informations du système de gestion**

Une fois l'approbation du groupe de direction obtenue, le contrôleur/planificateur de projet n'a plus qu'à mettre à jour le système de gestion de l'information du projet en utilisant le formulaire comme intrant. Le planificateur doit tout de même actualiser la planification manuellement. Pour ce qui est de l'amendement, il est automatiquement créé lorsque l'ECR est accepté, mais le contrôleur doit le documenter pour refléter les termes de paiement désirés. Encore une fois, l'évolution du statut du document offre la possibilité de notifier automatiquement le directeur de projet et/ou le client pour qu'ils évaluent la proposition et décident si l'amendement sera accepté, refusé et archivé ou bien accepté sous conditions. Dans ce dernier cas, la révision de l'amendement est créée automatiquement et le contrôleur procède aux modifications désirées pour ensuite retransmettre le document pour qu'il soit évalué. Lors de l'acceptation de l'amendement, les termes de paiements sont modifiés automatiquement en utilisant le formulaire

d'amendement au projet comme intrant. On évite ainsi une ressaisie de donnée. Lors de l'approbation de l'amendement, la gestion du changement est terminée bien que les ingénieurs doivent encore réaliser les livrables désirés.

## 5 DISCUSSION

### 5.1 Résultats de la simulation

La nature aléatoire des processus documentés et les files d'attentes possibles à certaines étapes permettent l'utilisation de la simulation à événements discrets. Les modèles ont donc été traduits dans le logiciel de simulation ARENA. Pour faciliter la validation des données, les processus ont été divisés en deux parties. La section « ingénierie » regroupe le début du processus jusqu'à l'évaluation des modifications. La section « direction » prend donc le relais après les ingénieurs et ce jusqu'à la fin du processus. Afin de préserver les données sensibles de l'entreprise, nous devons présenter les résultats de manière relative. Des simulations d'un même projet s'étalant sur deux ans et comprenant 50 changements fictifs types créés selon des données historiques fournies par l'entreprise ont été réalisées. Les rapports de simulations ont donc permis d'observer une réduction en temps de l'ordre de 43% pour la partie « ingénierie » et de 5% pour la partie « direction ». Aucune augmentation significative de la longueur des files d'attente n'est remarquée, mais une diminution de celles-ci pouvant aller jusqu'à 24% sont observées.

### 5.2 Avantages

Du côté théorique, des gains majeurs seraient réalisés grâce à la transformation du processus. Le gain le plus tangible serait la réduction du temps d'évaluation permettant d'accepter l'étude et la documentation de l'ECR (ou non). En se basant sur l'hypothèse selon laquelle un changement attend en moyenne 2,5 jours avant d'être traité et en considérant un taux d'arrivée uniforme tout au long de la semaine, on peut conclure que ce délai serait totalement éliminé avec la mise en place du nouveau processus. Les délais imposés par le « porte-à-porte » disparaîtraient grâce à l'utilisation d'une solution permettant la gestion des documents. Le temps du directeur d'ingénierie serait plus judicieusement utilisé à des activités nécessitant ses connaissances et son expérience.

Dans le processus amélioré, les chefs de départements et leurs ingénieurs passeront un peu plus de temps à documenter l'ECR. Ceci peut sembler être une perte, mais en fait l'exactitude des données fournies sera critique pour la planification du projet puisque le contrôleur mettra à jour automatiquement le système de gestion de l'information du projet. Il évitera de ressaisir ces données manuellement. Les erreurs de saisie de données seront évitées et la charge de travail du contrôleur sera ainsi réduite.

Les chefs d'ingénierie gagneraient beaucoup de temps à pouvoir travailler en parallèle sur le même ECR. De plus, comme les informations seraient disponibles pour chacun des départements, les chefs de départements pourraient collaborer pour utiliser les principes de l'ingénierie simultanée et accélérer le traitement d'un ECR.

La traçabilité et la visibilité que permettent les logiciels de gestion de documents sont des atouts majeurs : les gestionnaires prennent des décisions avec l'information dont ils disposent. L'utilisation d'un logiciel comme proposé permettrait d'avoir un suivi plus constant en sachant à quelle étape est rendu le document à tout moment pendant le projet

### 5.3 Désavantages

On pourrait croire que le nombre de changements devant être étudié serait grandement augmenté en donnant le privilège aux chefs d'ingénierie de documenter des changements sans les proposer auparavant au directeur d'ingénierie. Si un nombre supérieur de changements est documenté sans pour autant être nécessaire et si les altérations proposées ne sont pas prises en compte, les chefs d'ingénierie préparant les ECR perdront du temps sur des activités n'ayant aucune valeur ajoutée. De plus, le chef d'ingénierie perdrait un temps précieux si le nombre d'ECR se voyait considérablement augmenté dû à la plus grande liberté qu'auraient les chefs à proposer des modifications. Ces désavantages sont difficilement quantifiables et n'ont par conséquent pas été pris en compte pour obtenir les résultats de la simulation.

En prenant en compte que dans le processus amélioré, plus de temps serait consacré à documenter l'ECR, on réalise que si le changement n'est pas accepté, du temps aura été perdu dans des activités sans valeur ajoutée et ce temps ne pourra être récupéré dans des étapes subséquentes.

#### 5.4 Limitations

Pour que le processus amélioré puisse être mis en place, il faudrait que l'entreprise accepte les changements organisationnels proposés. On parle principalement de la liberté de décision des chefs d'ingénierie quant aux ECR proposés et du pouvoir de décision du directeur de projet qui déterminerait si un ECR est mis à l'étude ou non.

Les limitations technologiques découlent du fait que la solution logicielle doit être adaptable à la réalité de l'entreprise. Les formulaires ECR devraient pouvoir servir d'intrant au système de gestion de l'information du projet et permettre la mise à jour de celui-ci avec les données contenues dans le formulaire standardisé d'ECR.

Bien que certains des avantages et des désavantages soient évidents, les deux processus devraient être simulés dans plusieurs scénarios pour vérifier si les améliorations proposées peuvent vraiment réduire le temps de traitement des changements. La variation du nombre de changements proposés par période pourrait aussi être une des variables à l'étude. On pourrait ainsi déterminer dans quelles situations les améliorations proposées sont optimales.

### 6 CONCLUSION

Ce travail a permis de décrire les processus de gestion des demandes de changements d'ingénierie dans le domaine de la construction. La modélisation et l'étude du processus actuel au sein d'une grande entreprise ont permis de déceler des inefficacités qui peuvent être résolues en agissant sur la complexité du processus pour le rendre plus simple, en libérant du temps pour certaines ressources et en changeant l'organisation du travail. Tout ceci est facilité grâce à l'intégration d'un logiciel de gestion des documents. Ce dernier permet de gérer le flux des documents au sein des différents départements pour rejoindre chacun des acteurs étant affectés par les ECRs. Des travaux futurs viseront à simuler les processus dans plusieurs scénarios pour vérifier la véracité de l'hypothèse selon laquelle le nouveau processus permet de réduire le temps de traitement total des changements d'ingénierie en plus de quantifier les gains potentiels.

### 7 REFERENCES

- ABC-Construction, "Engineering procedure," in *Design Change Control*, vol., Ed.^Eds., ed., 2008, pp. 2.
- Blackburn, J. D., "Time-based competition: White-collar activities," *Business Horizons*, vol. 35, no. 4, pp. 96-101, 1992.
- Dale, B. G., "Management of engineering change procedure" *Engineering Management International*, vol. 1, no. 3, pp. 201-208, 1982.
- Egan, J. J. S., J. E. et Anderson, D. L., "Practices in Construction Change Order Management," in *55th Annual Meetin of the association for the Advancement of Cost Engineering 2011, Anaheim, Californi, USA*, vol. 1, 2011, pp. 350-361.
- Han, S., Lee, S., et Pena-Mora, F., "Identification and Quantification of Non-Value-Adding Effort from Errors and Changes in Design and Construction Projects," *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, vol. 138, no. 1, pp. 98-109, 2012.
- Huang, G. Q., Yee, W. Y., et Mak, K. L., "Development of a web-based system for engineering change management," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 17, no. 3, pp. 255-267, 2001.
- Jarratt, T. A. W., Eckert, C., et Clarkson, P. J., "Engineering change" in *Design process improvement* Springer, Éd., New York, 2004.
- Jarratt, T. A. W., Eckert, C. M., Caldwell, N. H. M., et Clarkson, P. J., "Engineering change: an overview and perspective on the literature," *Research in Engineering Design*, vol. 22, no. 2, pp. 103-124, 2011.
- Loch, C. H. et Terwiesch, C., "Accelerating the process of engineering change orders: Capacity and congestion effects," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 16, no. 2, pp. 145-159, 1999.
- Maurino, M., *La gestion des données techniques : technologie du concurrent engineering*, Paris: Masson, 1995.
- Ollinger, G. A. et Stahovich, T. F., "RedesignIT - A model-based tool for managing design changes," *Journal of Mechanical Design*, vol. 126, no. 2, pp. 208-216, 2004.

Peter, T., "The Change Control System," in *Pharmaceutical Engineering Change Control*: Informa Healthcare, 2003, pp. 69-92. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203508824.ch5>. [Consulté le 2012/08/13].

Pritsker, A. A. B., *Introduction to stimulation and Slam II. Third edition*, 1986.

Quintana, V., Rivest, L., Pellerin, R., et Kheddouci, F., "Re-engineering the Engineering Change Management process for a drawing-less environment," *Computers in Industry*, vol. 63, no. 1, pp. 79-90, 2012.

Rouibah, K. et Caskey, K. R., "Change management in concurrent engineering from a parameter perspective," *Computers in Industry*, vol. 50, no. 1, pp. 15-34, 2003.

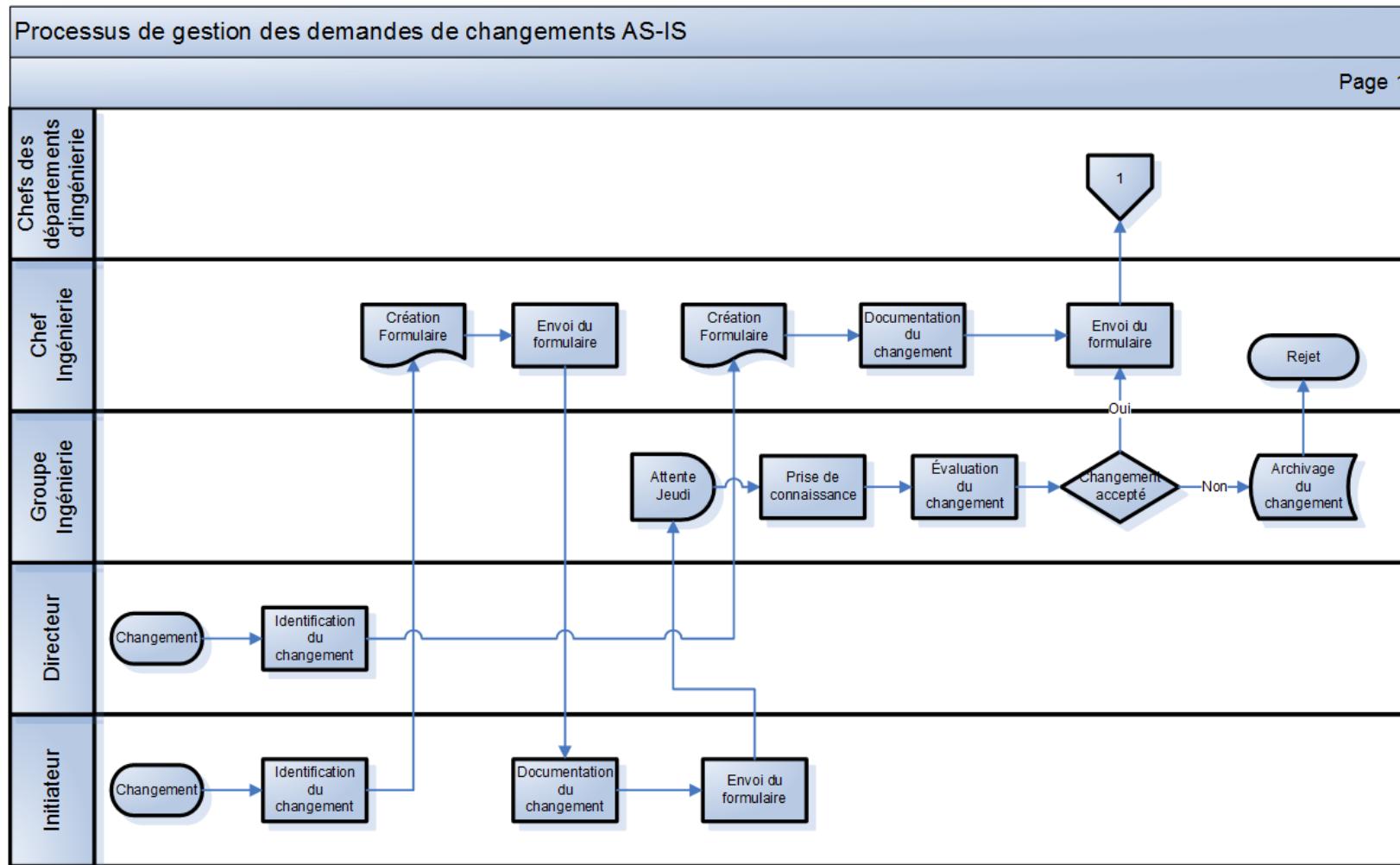
Rowell, W., Duffy, A. H. B., et Boyle, I. M., "The nature of engineering change in a complex product development cycle," in, vol., Ed.^Eds., ed., 2009, pp.

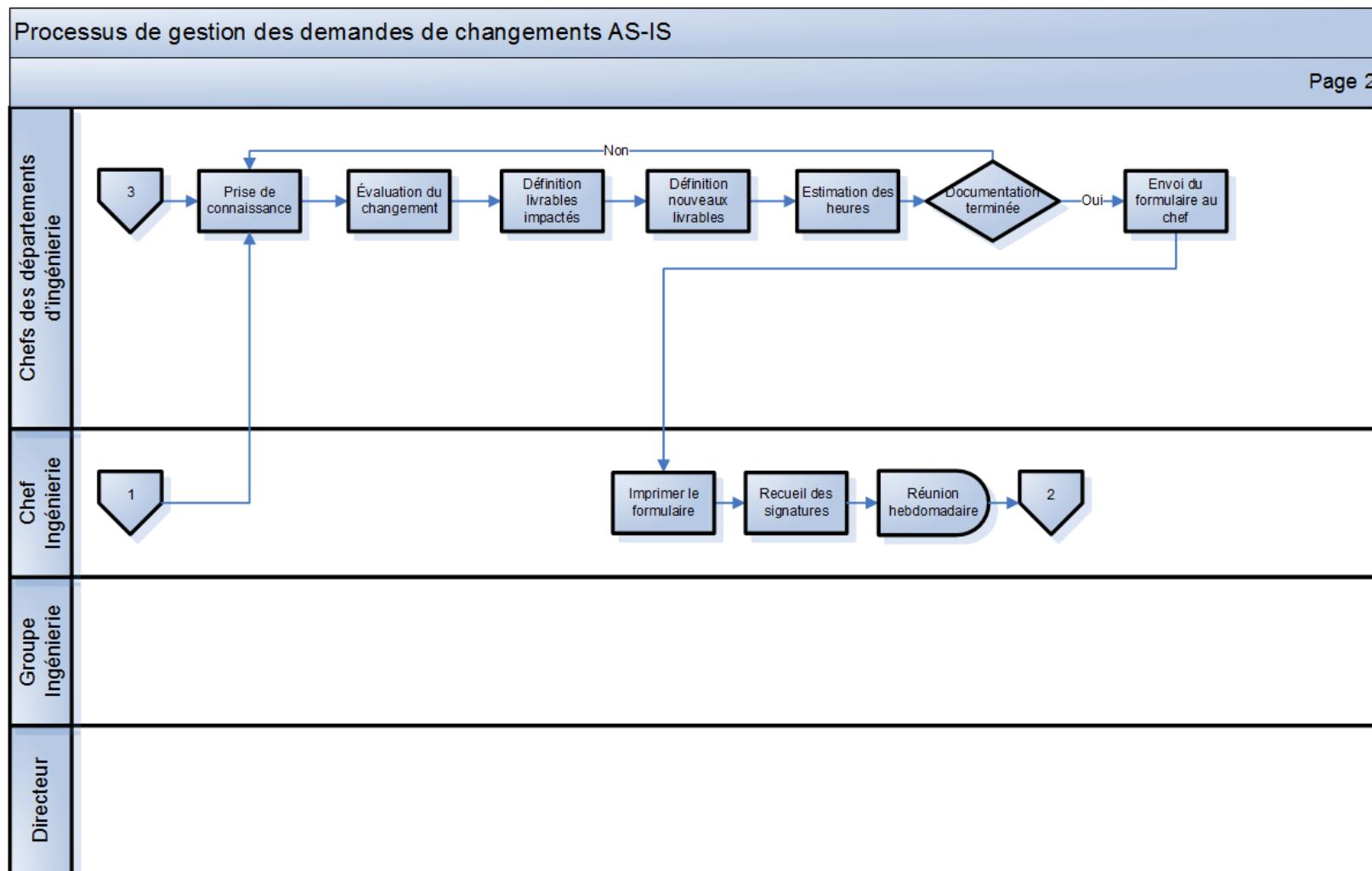
Tavcar, J. et Duhovnik, J., "Engineering change management in individual and mass production," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 21, no. 3, pp. 205-215, 2005.

Terwiesch, C. et Loch, C. H., "Managing the process of engineering change orders: The case of the climate control system in automobile development," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 16, no. 2, pp. 160-172, 1999.

Wasmer, A., Staub, G., et Vroom, R. W., "An industry approach to shared, cross-organisational engineering change handling - The road towards standards for product data processing," *Computer-Aided Design*, vol. 43, no. 5, pp. 533-545, 2011.

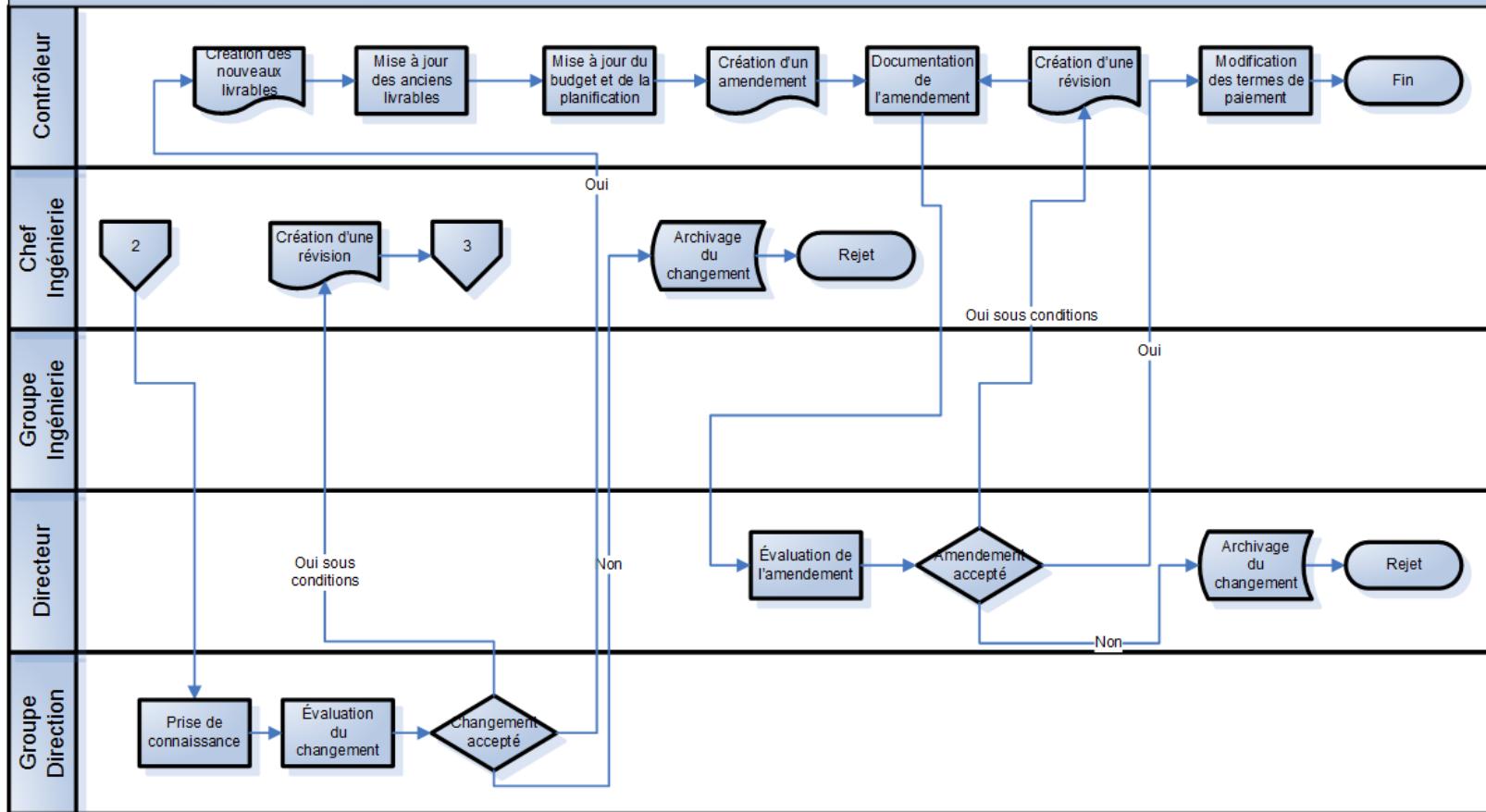
**ANNEXE II**  
**Processus AS-IS et TO-BE complet**

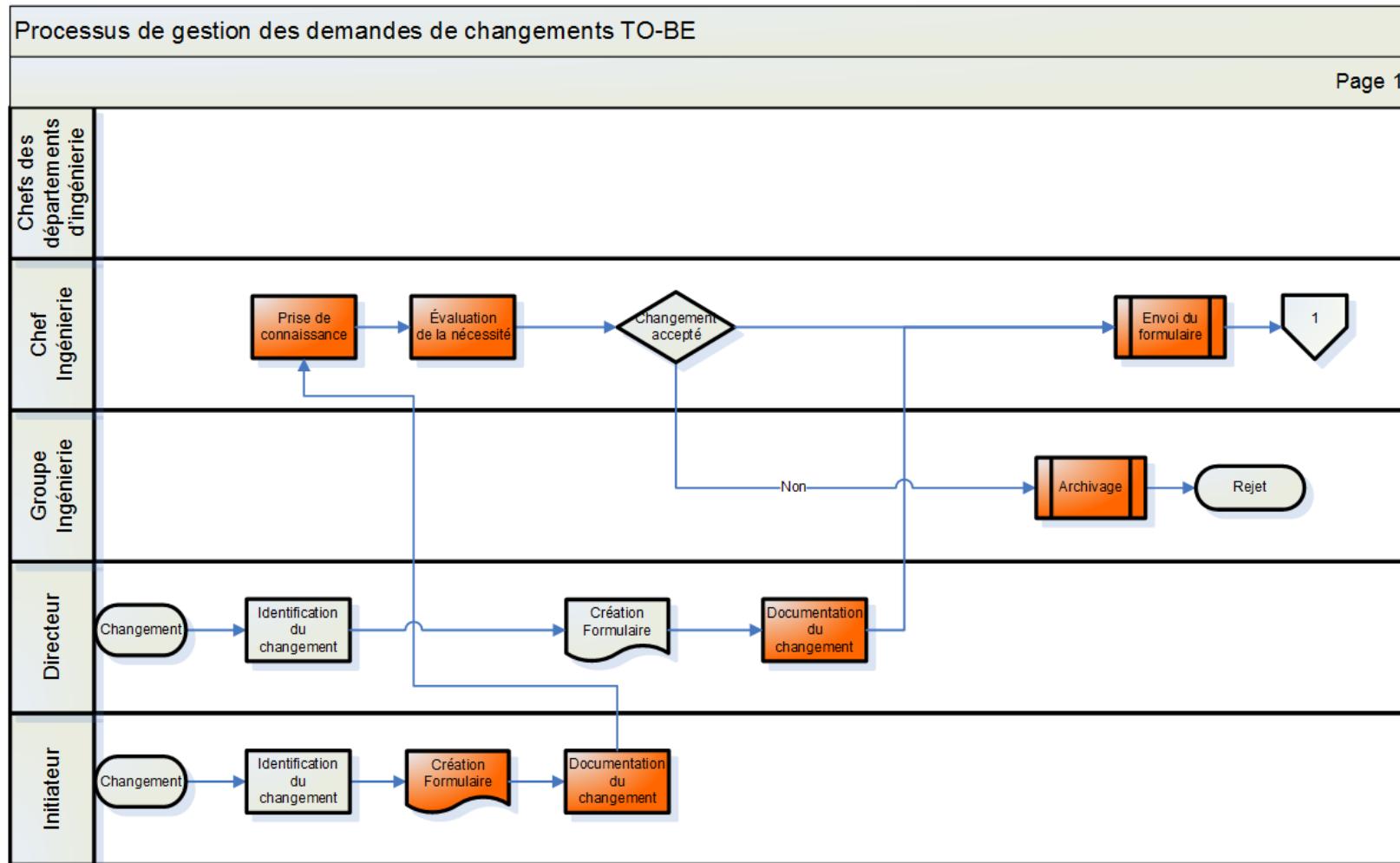


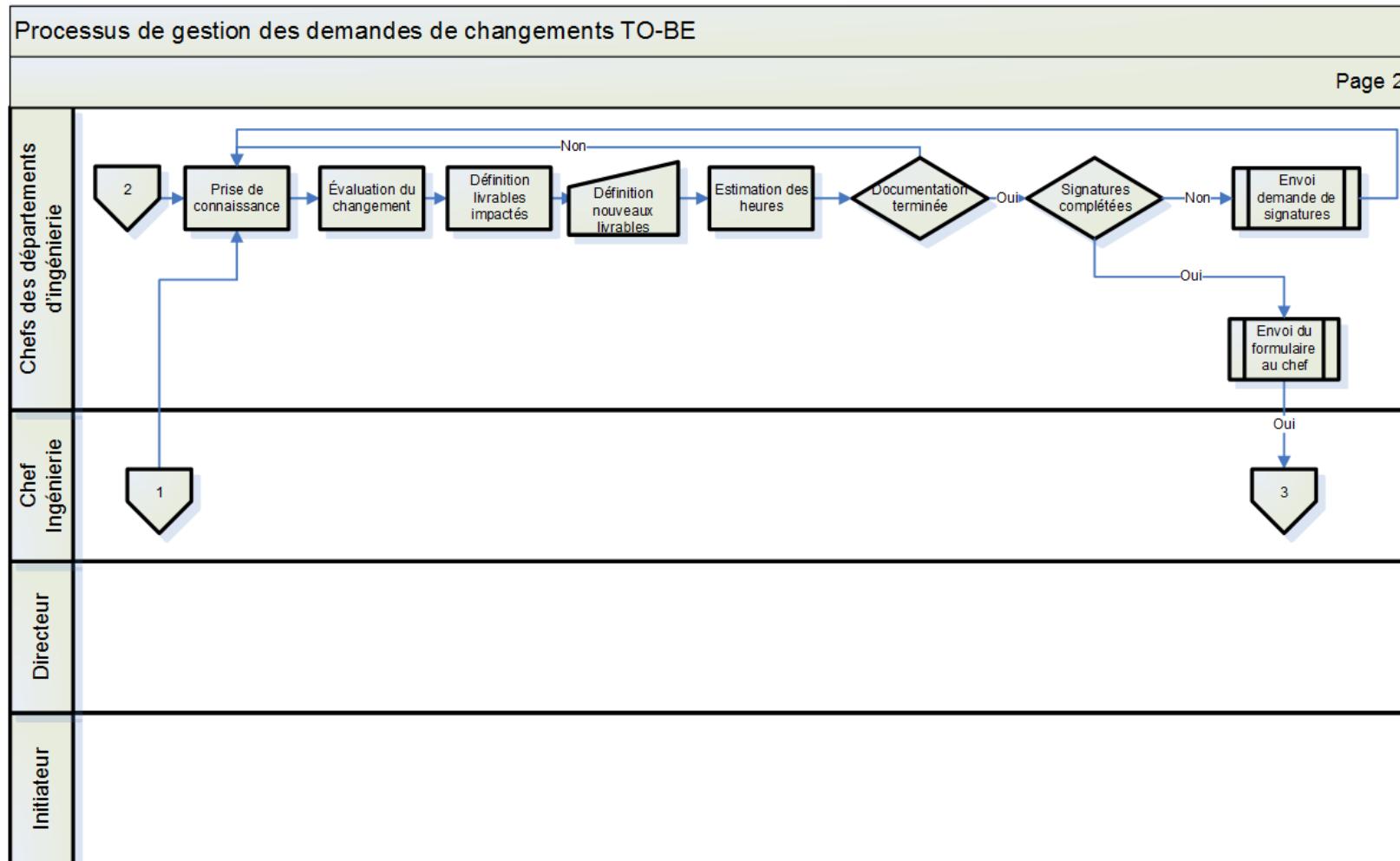


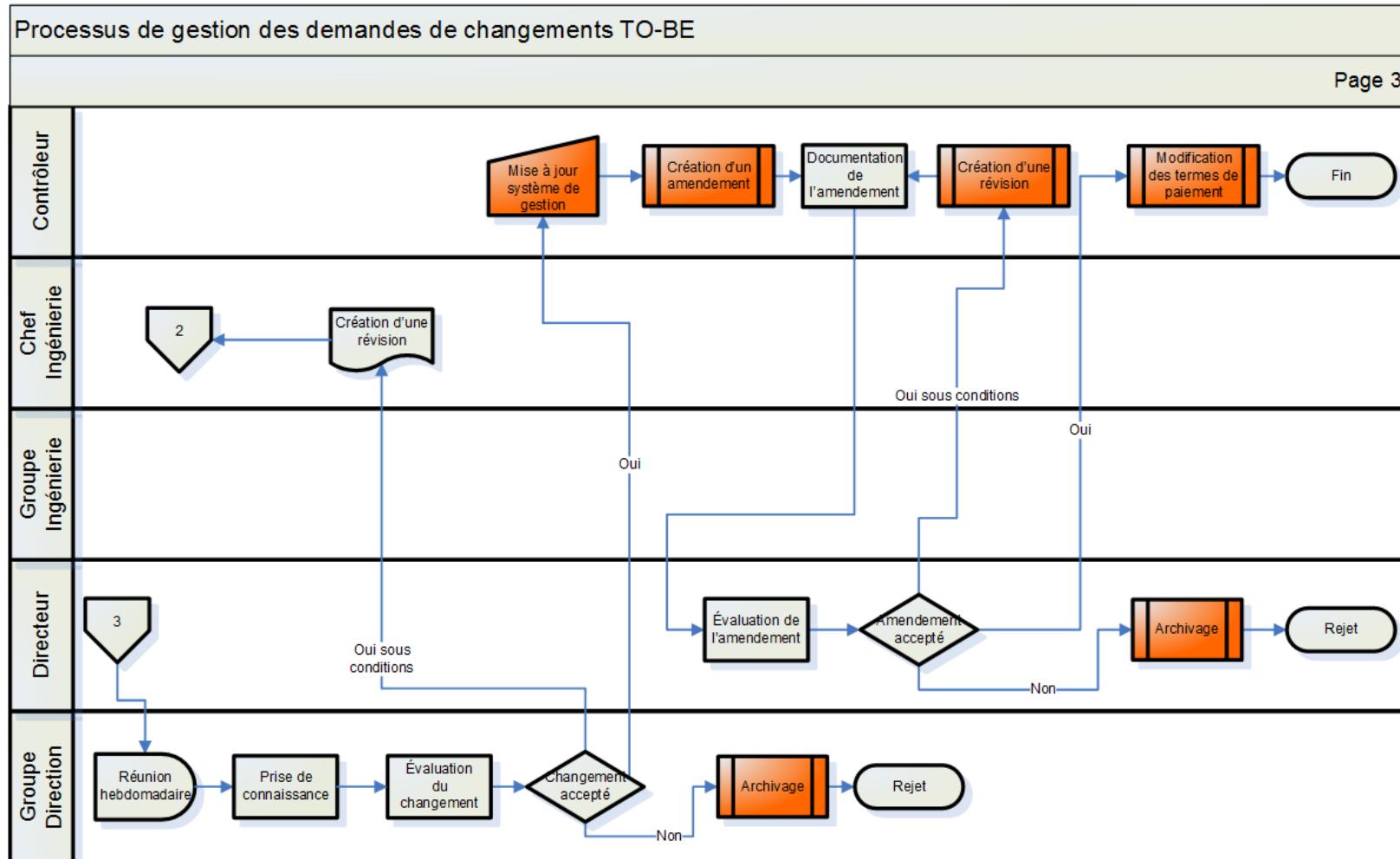
Processus de gestion des demandes de changements AS-IS

Page 3









**ANNEXE III**  
**Exemple de rapport de simulation**

Category Overview		mar 18, 2013
Values Across All Replications		
<b>ASIS</b>		
Replications:	30	Time Units:
<b>Key Performance Indicators</b>		
<b>All Entities</b>	Average	
Non-Value Added Cost	0	
Other Cost	0	
Transfer Cost	0	
Value Added Cost	0	
Wait Cost	0	
Total Cost	0	
<b>All Resources</b>	Average	
Busy Cost	0	
Idle Cost	0	
Usage Cost	0	
Total Cost	0	
<b>System</b>	Average	
Total Cost	0	
Number Out	50	

14:44:08

**Category Overview**

march 18, 2013

Values Across All Replications						
ASIS						
Replications:	30	Time Units:	Minutes			
Entity						
Time						
VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	941.56	9,34	893.89	991.94	571.49	1392.46
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	5326.50	58,53	5073.21	5878.79	3245.92	9321.22
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	5597.28	68,37	5158.82	5952.51	2500.43	9319.13
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	11865.34	99,38	11352.24	12647.96	7641.71	16790.03
Cost						
VA Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
NVA Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transfer Cost	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
eDCN	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

14:44:08

**Category Overview**

mars 18, 2013

**ASIS**

Replications: 30 Time Units: Minutes

**Process****Time per Entity**

VA Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Process creation formulaire dcn	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Process creation pcn	535,29	8,68	491,29	589,57	227,86	916,52
Process discipline impacter	29,9221	0,21	28,0358	30,7628	15,0623	44,9824
Process discipline non impacter	9,0244	0,04	8,8214	9,2862	5,0596	14,9721
Process documentation initiale	19,9986	0,19	18,8963	20,9346	10,5469	29,8163
Process evaluation pcn	90,7540	1,85	80,5112	104,81	32,4240	178,04
Process id changement initial	19,9325	0,22	18,6417	20,9198	10,3082	29,9221
Process mise a jour budget	54,7297	1,02	49,1294	59,6587	16,1717	118,62
Process mise a jour livrable	8,9856	0,19	8,2622	9,8197	2,1745	14,7860
Process reunion direction	26,3669	0,64	22,6822	29,9680	5,9309	58,8531
Process reunion ingenierie hebdo	5,7021	0,09	5,1474	6,1854	2,0718	9,9048
Process Signature	6,0131	0,02	5,8804	6,1575	3,0331	9,9287
Wait Time Per Entity	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Process creation formulaire dcn	0,00872396	0,01	0,00	0,0990	0,00	4,9484
Process creation pcn	75,2401	15,10	14,3399	211,00	0,00	2539,45
Process discipline impacter	0,03278957	0,02	0,00	0,2339	0,00	24,3282
Process discipline non impacter	0,04867031	0,02	0,00	0,2220	0,00	27,6305
Process documentation initiale	0,0943	0,06	0,00	0,7280	0,00	28,7740
Process evaluation pcn	74,1229	14,22	30,5223	207,17	0,00	2376,88
Process id changement initial	0,04389436	0,06	0,00	0,8281	0,00	21,3198
Process mise a jour budget	45,8198	11,32	19,0960	182,54	0,00	2331,94
Process mise a jour livrable	3,7421	1,97	0,00	16,7227	0,00	825,34
Process reunion direction	958,86	37,68	763,61	1139,79	0,00	4002,28
Process reunion ingenierie hebdo	0,00442061	0,01	0,00	0,1289	0,00	6,4468
Process Signature	0,05016536	0,01	0,00	0,1341	0,00	32,9577