

**Titre:** Méthodologie de transformation des processus de suivi de projet :  
Title: application à la réfection de navires

**Auteur:** Thomas Meslay  
Author:

**Date:** 2024

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

**Référence:** Meslay, T. (2024). Méthodologie de transformation des processus de suivi de projet : application à la réfection de navires [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/61718/>  
Citation:

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/61718/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Robert Pellerin, & Claver Diallo  
Advisors:

**Programme:** Maitrise recherche en génie industriel  
Program:

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

**Méthodologie de transformation des processus de suivi de projet : application  
à la réfection de navires**

**THOMAS MESLAY**

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Décembre 2024

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Méthodologie de transformation des processus de suivi de projet : application  
à la réfection de navires**

présenté par **Thomas MESLAY**

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

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

**Mario BOURGAULT**, président

**Robert PELLERIN**, membre et directeur de recherche

**Claver DIALLO**, membre et codirecteur de recherche

**Issmaïl EL HALLAOUI**, membre

## DÉDICACE

*À ceux qui m'ont soutenu, inspiré et poussé à donner le meilleur de moi-même.*

*À mes proches, pour leur patience et leurs encouragements, et à ceux qui ont cru en mes capacités même quand moi, je n'y croyais plus.*

*Ce mémoire est le reflet de vos encouragements et de votre soutien constant.*

## **REMERCIEMENTS**

Ce mémoire a été réalisé au sein de la chaire de recherche Jarislowsky/ AtkinsRéalis en gestion de projets internationaux de l'École Polytechnique de Montréal. Je tiens à exprimer ma gratitude pour le financement reçu de cet organisme, qui m'a permis de me consacrer pleinement à mes recherches.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Sans leur soutien et leurs encouragements, ce travail n'aurait pas été possible.

Je remercie tout particulièrement mon directeur de recherche, Robert PELLERIN, ainsi que mon co-directeur de recherche, Claver DIALLO, pour leur accompagnement bienveillant, leur disponibilité et leurs conseils avisés tout au long de ce projet. Leurs orientations et leur expertise ont été précieuses et m'ont permis de progresser dans mes réflexions et mes recherches.

Je souhaite également remercier Lucas ADAM et Maxime COULOT pour leur entraide, leurs discussions enrichissantes et les moments de partage qui ont rendu ce projet plus agréable et stimulant. Un grand merci à Mathieu GOUreau et Cyril DESCHAMPS pour ces moments de détente autour d'une bière et d'une table de billard.

Enfin, je remercie ma famille, ma mère et mon frère, et mes proches, ma compagne, pour leur soutien inconditionnel et leur patience durant cette période intense. Leur présence et leurs encouragements m'ont été d'un grand réconfort.

## RÉSUMÉ

Le suivi et le contrôle de projet sont essentiels pour garantir la réussite des projets, en permettant aux gestionnaires d'identifier rapidement les écarts par rapport à la planification initiale et de prendre des mesures correctives. Ils offrent une gestion proactive en suivant les délais, les coûts et les ressources, assurant que le projet reste aligné sur ses objectifs malgré les imprévus. Dans des contextes complexes, comme la réfection navale, ils sont indispensables pour maintenir l'avancement du projet dans les limites de temps et de budget. En effet, les projets de réfection de navires sont soumis à des contraintes techniques et temporelles strictes, obligeant les gestionnaires à prioriser les activités les plus critiques pour garantir la remise en service du navire dans les délais, malgré l'ajout potentiel de nouvelles tâches et le report de certaines autres [1].

Cependant, peu de processus pratiques et spécifiques de suivi et de contrôle de projet sont documentés, probablement en raison du caractère confidentiel de ces processus qui sont considérés comme des éléments essentiels du savoir-faire des entreprises. En contrepartie, la communauté scientifique a développé de nombreux outils et méthodes permettant la simplification et l'automatisation des opérations de suivi et de contrôle de projets. Toutefois, bien que la littérature scientifique propose divers modèles applicables à différents secteurs d'activité, ils ne prennent généralement pas en compte les spécificités des projets, ce qui limite grandement leur applicabilité sans modifications substantielles par les chantiers navals. Ces méthodes ne prennent pas en compte les contraintes apportées par la réalisation de certaines activités comme les opérations de soudure qui produisent chaleur, flammèches et fumées ou les tests d'antenne avec émission de fortes radiations qui rendent inaccessibles certaines parties du navire pendant leur exécution.

Ce mémoire vise à soutenir les gestionnaires de projet dans leurs activités de suivi et de contrôle en proposant une méthode d'amélioration des processus de suivi et de contrôle de projets complexes. Cette méthode permettra notamment aux entreprises d'analyser les forces et les faiblesses de leurs processus de suivi de projet et d'identifier les opportunités d'amélioration. Des solutions adaptées aux objectifs d'amélioration pourront ensuite être étudiées puis développées permettant aux entreprises de maintenir leur compétitivité et de répondre aux exigences croissantes du marché.

Afin de répondre à ces objectifs, la méthodologie développée propose aux entreprises une approche pour évaluer la maturité de leurs processus de suivi et contrôle qui est basée sur l'étude des bonnes

pratiques identifiées dans la littérature scientifique avant de proposer des solutions d'amélioration adaptées aux besoins de l'entreprise.

Cette méthode a ensuite été validée auprès d'un partenaire industriel travaillant avec des chantiers navals voulant améliorer ses processus de suivi et contrôle de projets de réfection de navires. Ainsi, une analyse des bonnes pratiques de suivi et contrôle de projet a été réalisée en premier lieu pour permettre de définir une grille d'évaluation de la maturité. Une étude de leurs processus a ensuite eu lieu afin d'évaluer leur maturité et d'identifier les opportunités d'amélioration. Une fois l'étude réalisée, une stratégie d'amélioration en deux phases a été développée et proposée au partenaire avant d'être validée par celui-ci.

Ainsi, une grille de 27 critères permettant l'évaluation de la maturité des processus de suivi de projet a été développée. Son application sur les processus du partenaire a permis de définir la maturité de ses processus à 2,63 sur une échelle de 1 à 5, avant d'être défini à 3,44 après la première phase d'améliorations et la construction d'un processus amélioré sans investissement puis à 4,37 après la deuxième phase et l'utilisation d'outils, technologies et méthodes modernes.

## ABSTRACT

Project monitoring and control processes are essential to ensure project success, allowing managers to quickly identify deviations from the initial plan and take corrective actions. They offer proactive management by tracking timelines, costs, and resources, ensuring that the project remains aligned with its goals despite unexpected events. In complex contexts, such as naval refits, they are crucial to keep the project progressing within time and budget constraints. Indeed, ship refit projects are subject to strict technical and temporal constraints, forcing managers to prioritize the most critical activities to ensure the vessel's return to service on schedule, despite potential new tasks and the postponement of certain others [1].

However, few practical and specific project monitoring and control processes are documented, likely due to the confidential nature of these processes, which are considered essential components of companies' expertise. Conversely, the scientific community has developed numerous tools and methods to simplify and automate project monitoring and control operations. However, while scientific literature proposes various models applicable across different industries, it generally does not consider project-specific factors, greatly limiting their applicability without substantial modifications in shipyards. These methods do not account for constraints arising from activities that produce heat and smoke, such as welding operations, or waves, like antenna tests, which render certain parts of the ship inaccessible during their execution.

This thesis aims to support project managers in their monitoring and control activities by proposing a method to improve complex project monitoring and control processes. This method will allow companies to analyze the strengths and weaknesses of their project monitoring processes and identify opportunities for improvement. Solutions tailored to improvement objectives can then be studied and developed, enabling companies to maintain their competitiveness and meet the growing demands of the market.

To meet these objectives, the developed methodology offers companies an approach to assess the maturity of their monitoring and control processes, based on a study of best practices identified in the scientific literature before proposing improvement solutions based on the company's needs.

This method was then employed with an industrial partner working with shipyards seeking to improve its project monitoring and control processes for ship refits. Thus, an analysis of project monitoring and control best practices was first conducted to define a maturity assessment

framework. A study of their processes was then conducted to evaluate their maturity and identify improvement opportunities. Once the study was completed, a two-step improvement strategy was developed and proposed to the partner, then validated by them. The first step consists of short-term improvement, aimed at building a solid foundation for project monitoring processes without investment and in compliance with the partner's administrative procedures. The second step is medium- and long-term improvement, optimizing the processes established in the first step with technologies, tools, and methods identified in the scientific literature.

Thus, a 27-criteria framework for assessing project monitoring process maturity was developed. Its application to the partner's processes defined the maturity level of their processes at 2.63, which rose to 3.44 after the first round of improvements and the construction of an improved process without investment, and then to 4.37 after the second round, utilizing modern tools, technologies, and methods.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES .....	XIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XIV
LISTE DES ANNEXES .....	XVI
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	4
2.1    Gestion de projets.....	4
2.1.1    Définitions préliminaires.....	4
2.2    Stratégie de recension.....	6
2.3    État de l'art sur le suivi et contrôle de projet avant octobre 2014 .....	8
2.3.1    Le contrôle de projet en général .....	9
2.3.2    Amélioration de l'évaluation des performances.....	9
2.3.3    Prévision des futures performances.....	10
2.3.4    Méthodes pour le déclenchement d'actions correctives.....	11
2.3.5    Les outils d'aide à la décision .....	12
2.4    Revue de la littérature après octobre 2014 .....	12
2.4.1    Contributions générales au contrôle de projet.....	12
2.4.2    Évaluation des performances du projet .....	15
2.4.3    Prévisions sur le futur du projet .....	18

2.4.4	Déclenchement et mise en œuvre d'actions correctives.....	19
2.4.5	Les outils d'aide à la décision .....	20
2.5	Revue critique de la littérature .....	23
2.6	Conclusion.....	24
<b>CHAPITRE 3</b>	<b>MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE.....</b>	<b>25</b>
3.1	Objectifs de recherche .....	25
3.2	Méthodologie de recherche .....	26
3.2.1	Analyse des outils, méthodes et technologies existantes .....	26
3.2.2	Méthode d'évaluation de la maturité des processus d'affaires .....	26
3.2.3	Méthode pour la proposition d'amélioration d'un processus d'affaires .....	29
3.3	Conclusion.....	30
<b>CHAPITRE 4</b>	<b>MATURITÉ DES PROCESSUS DE SUIVI ET CONTRÔLE DE PROJET ..</b>	<b>31</b>
4.1	Les bonnes pratiques de suivi et de contrôle de projet.....	31
4.1.1	Les pratiques recommandées de l'AACE International .....	31
4.1.2	Les bonnes pratiques issues de la littérature scientifique.....	32
4.1.3	Grille d'évaluation des processus de suivi et contrôle de projet .....	35
4.2	Processus de suivi et de contrôle de projet dans un chantier naval .....	38
4.2.1	Entrevue .....	38
4.2.2	Cartographie des processus au formalisme BPMN 2.0.....	40
4.3	Évaluation de la maturité.....	44
4.3.1	Résultats de l'évaluation de la maturité .....	44
4.3.2	Cahier des charges des propositions d'amélioration .....	46
4.4	Conclusion.....	47
<b>CHAPITRE 5</b>	<b>PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION DES PROCESSUS EXISTANTS ....</b>	<b>48</b>

5.1	Stratégie d'amélioration pour le partenaire .....	48
5.2	Propositions d'améliorations à <b>T1</b> .....	49
5.2.1	Descriptions des améliorations à <b>T1</b> .....	49
5.2.2	Modifications des processus du partenaire à <b>T1</b> .....	52
5.2.3	Évaluation de la nouvelle maturité.....	56
5.3	Propositions d'améliorations à <b>T2</b> .....	59
5.3.1	Descriptions des améliorations à <b>T2</b> .....	59
5.3.2	Modifications des processus du partenaire à <b>T2</b> .....	64
5.3.3	Évaluation de la nouvelle maturité.....	68
5.4	Conclusion.....	71
	CHAPITRE 6 DISCUSSION ET CONCLUSION.....	73
	RÉFÉRENCES .....	76
	ANNEXES .....	87

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2.1 - Plan de concepts.....	7
Tableau 4.1 - Bonnes pratiques selon la pratique recommandée 60R-10 [7] .....	32
Tableau 4.2 - Listes des bonnes pratiques présentées par Olawale et Sun [118].....	32
Tableau 4.3 - Listes des bonnes pratiques présentées par Prévalet [120] .....	35
Tableau A.1 – Classification utilisée dans l’article de Willems et Vanhoucke [6].....	90
Tableau B.1 – Tableau des critères d’évaluation de la maturité des processus .....	90
Tableau C.1 – Évaluation de la maturité des processus à $T_0$ .....	92
Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à $T_1$ et suggestions d’amélioration .....	95
Tableau E.1 – Évaluation de la maturité des processus à $T_2$ et suggestions d’amélioration.....	100

## LISTE DES FIGURES

Figure 4-1 - Procédé de tri des bonnes pratiques identifiées.....	37
Figure 4-2 - Modèle de cartographie BPMN 2.0 .....	41
Figure 4-3 – Exemple de symboles utilisé dans les cartographies BPMN 2.0.....	41
Figure 4-4 - Première phase du processus de suivi et contrôle du partenaire .....	42
Figure 4-5 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle du partenaire .....	43
Figure 4-6 - Les catégories des critères d'évaluation de la maturité .....	45
Figure 4-7 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à T0 .....	45
Figure 5-1 - Code couleur des activités du GRMI 4.0 (Mosser, 2020).....	53
Figure 5-2 - Première phase du processus de suivi et contrôle modifié à <i>T1</i> du partenaire .....	54
Figure 5-3 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle modifié à <i>T1</i> du partenaire .....	55
Figure 5-4 – Les six catégories d'amélioration pour la proposition <i>T1</i> .....	57
Figure 5-5 – Impact sur la maturité apporté par les propositions à <i>T1</i> .....	57
Figure 5-6 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à T1 .....	58
Figure 5-7 - Première phase du processus de suivi et contrôle modifié à <i>T2</i> du partenaire .....	66
Figure 5-8 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle modifié à <i>T2</i> du partenaire .....	67
Figure 5-9 - Les six catégories d'amélioration pour la proposition <i>T2</i> .....	69
Figure 5-10 - Impact des propositions à <i>T2</i> sur la maturité .....	69
Figure 5-11 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à <i>T2</i> .....	71

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
ACP	Analyse des Composantes Principales
AFNOR	Association Française de NORmalisation
BIM	Building Information Model
BPMN	Business Process Model and Notation
CPI	Cost Performance Index
CSS	Critical-Slack-Sensitivity
DEVM	Directed Earned Value Management
DEAC	Duration Estimate At Completion
DWP	Docking Work Period
EDM	Earned Duration Management
EIV	Earned Incitive Value
EVM	Earned Value Management
EVO	Earned Value and Objectives
FMF	Fleet Maintenance Facility
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
GES	Gaz à Effet de Serre
GIS	Geographic information System
GPS	Global Positioning System
IA	Intelligence Artificielle
IoT	Internet of Things
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
KPI	Key Performance Index

LoE	Level of Effort
LPS	Last Planner System
ML	Machine Learning
MOP	Maintenance Opportunity Period
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PPC	Percentage Plan Complete
PR	Pratique Recommandée
PRINCE2	PRojects IN Controlled Environments
RFID	Radio Frequency IDentification
RNC	Raisons de Non-Complétion
SDP	Structure de Découpage de Projet
SHAP	SHapley Additive exPlanation
SIM	System Information Model
SPI	Schedule Performance Index
SWP	Short Work Period
TCM	Total Cost Management
UWB	Ultra-WideBand
WBS	Work Breakdown Structure
WP	Work Package

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Classification utilisée dans l'article de Willems et Vanhoucke [6] .....	87
ANNEXE B Critères d'évaluation de la maturité .....	90
ANNEXE C Evaluation de la maturité à <b>T0</b> .....	92
ANNEXE D Grille d'évaluation et proposition d'amélioration à <b>T1</b> .....	95
ANNEXE E Grille d'évaluation et proposition d'amélioration à <b>T2</b> .....	100

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

La maintenance est définie par la norme ISO 55000 comme étant « l'ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise ». On peut également retrouver une définition similaire dans la norme NF EN 13306 de l'AFNOR.

La maintenance couvre de nombreux aspects allant de la réparation de composant nécessitant une intervention mineure en cas de panne jusqu'à des travaux de réfection concernant l'ensemble du système [2]. Contrairement aux tâches de maintenance habituelles, les projets de réfection impliquent souvent des travaux plus importants et requérant un niveau avancé de planification. Ils peuvent inclure des rénovations majeures, des mises à niveau technologiques, des modifications structurelles ou des réparations étendues pour répondre à des exigences spécifiques.

La réfection d'équipements se distingue ainsi par le recours à des approches formelles de gestion de projet pour encadrer ses activités de planification, de suivi, de contrôle et de clôture de projet. Les projets de réfection débutent généralement par une évaluation précise de l'état initial de la structure impliquée dans le projet. À la suite de ces opérations d'inspection, on peut retrouver de nombreuses activités de désassemblage, de réparation, de modernisation, de remplacement et de reconversion en milieu de projet puis de rassemblement en fin de projet [2, 3]. Les projets de réfection exigent une approche holistique, intégrant expertise technique, gestion rigoureuse des risques, des coûts et de l'échéancier, conformités aux normes et innovations afin d'assurer la pérennité des structures existantes.

Les projets de réfection présentent de nombreux défis qui rendent sa planification complexe et difficile. Premièrement, ces projets débutent par une évaluation de l'état de la structure, mais déterminer l'étendue réelle des travaux avant le début des opérations peut être complexe. En effet, des dommages cachés et des problèmes imprévus peuvent apparaître seulement après le début des activités de réfection et peuvent venir affecter le plan initial et ajouter des coûts et des délais additionnels [2]. De plus, la complexité de certains systèmes, comportant de nombreuses pièces et composants interdépendants, et l'obsolescence de certaines pièces peuvent complexifier la planification des tâches de réparation. Enfin, le planificateur doit également prendre en

considération l'impact sur la disponibilité que peut engendrer l'arrêt d'un système. Il doit ainsi tout mettre en œuvre afin d'arrêter le système le moins longtemps possible.

Lors de l'exécution du projet, la découverte de nouveaux problèmes après le commencement du projet et les retards causés par la recherche de pièces de rechange modifient la charge de travail planifiée au départ et retardent la réalisation de certaines activités [1]. De plus, dans le cas particulier des projets de réfection de navires, ces projets sont soumis à de nombreuses contraintes particulières et à des variabilités importantes [1]. En effet, le gestionnaire de projet doit tenir compte des contraintes techniques, comme la capacité limitée de certaines zones de travail, mais aussi l'impact que peut avoir une activité sur les zones de travail à proximité. Par exemple, une activité de soudure sur une paroi, générant une forte température, empêchera toutes activités sur les zones adjacentes. Les radiations émises lors d'un test de système radar peuvent aussi empêcher toute autre activité de maintenance sur le pont du navire ou empêcher l'utilisation de grue de levage.

De plus, les chantiers navals possèdent une fenêtre de travail limitée dans le temps et sont obligés de remettre le navire en service à une date précise. Contrairement à d'autres types de projets de réfection, toutes les activités n'ont pas l'obligation d'être réalisées tant que le navire peut assurer sa prochaine mission [1]. En effet, la redondance de certains systèmes permet au navire de continuer à être opérationnel malgré la panne de certains sous-systèmes et de ne pas mettre en péril la mission. Comme la période de travail est prédéfinie et très peu négociable, le gestionnaire doit donc planifier les activités les plus critiques en priorité puis traiter les activités secondaires par la suite [1]. Le projet connaît donc à la fois, une croissance du nombre d'activités à réaliser par la découverte de nouveaux problèmes, mais aussi une décroissance, car certaines activités devront être reportées à une autre période de travail avant de pouvoir être réalisées.

Le suivi et le contrôle de projet sont des activités primordiales pour la réussite de tels projets de grande envergure. Ces activités démarrent assez tôt dans le cycle de vie du projet et se poursuivent jusqu'à sa clôture. Le suivi et le contrôle de projet visent à garantir une gestion proactive du projet, à identifier les problèmes potentiels, à maintenir le projet sur la bonne voie et à prendre des décisions éclairées pour assurer la réussite du projet conformément à ses objectifs [4].

De nos jours, de nombreux outils et techniques sont disponibles pour effectuer ce calcul afin de limiter le risque de retard et de surcoût en fin de projet, comme la méthode de la valeur acquise (*Earned Value Management*, EVM), afin de s'assurer que le projet se terminera dans les délais

impartis tout en respectant le budget qui lui a été alloué [5]. Cependant, malgré la multitude d'outils et techniques à disposition des gestionnaires de projet, aucun des outils actuels ne permet de prendre en considération les contraintes spécifiques aux projets de réfection de navires tels que la croissance, mais également la décroissance du nombre d'activités, ainsi que les contraintes spatiales et d'allocations des ressources. De plus, étant donné le très grand nombre d'opérations à effectuer, la complexité des opérations de maintenance et l'étalement géographique des installations, il n'est pas aisés de faire un suivi très serré de la progression des tâches.

Afin d'aider les gestionnaires de projet dans la réalisation des activités de contrôle et de suivi de projet, l'objectif de ce mémoire est **d'améliorer les processus de suivi de projets complexes**.

Pour y arriver, le chapitre suivant présente un état de l'art des outils, des méthodes et des technologies pour réaliser les opérations de suivi et de contrôle de projet. Les objectifs de recherche ainsi que la méthodologie pour les atteindre sont par la suite explicités dans le chapitre 3. Grâce à la collaboration de notre partenaire et à un état de l'art sur les pratiques de suivi et contrôle de projet, une évaluation de la maturité des processus d'affaires actuels quant au suivi et contrôle de projet est présentée lors du chapitre 4. Une amélioration du processus est ensuite proposée dans le chapitre 5 à l'aide de la maturité établie lors du chapitre précédent et des caractéristiques et contraintes identifiées dans les chantiers maritimes. Le chapitre 6 discute des propositions de processus améliorés. Enfin, le chapitre 7 conclut ce mémoire en mettant de l'avant les contributions de ce projet de recherche, ses limitations en plus de discuter de nouvelles opportunités de recherche.

## **CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE**

L'objectif de ce chapitre est de présenter un état de l'art de la littérature portant sur les pratiques de suivi et de contrôle de projets. Pour ce faire, ce chapitre débute avec la définition des concepts liés au suivi et au contrôle de projets à la section 2.1. Ensuite, la section 2.2 présente le protocole de la stratégie de recension d'articles. Les contributions avant octobre 2014 sont présentées dans la section 2.3, puis la section 2.4 présente les contributions ultérieures à cette date. Enfin, la section 2.5 établit une revue critique de la littérature afin de mettre en avant les limites des contributions précédentes en lien avec notre problématique de recherche.

### **2.1 Gestion de projets**

Selon les recommandations de l'*Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE) ou encore la méthodologie PRINCE2 (PRoject IN Controlled Environments 2), la gestion de projets se compose de deux grandes catégories d'activités : la planification du projet et le suivi et le contrôle de projet. La planification du projet permet de définir l'ordonnancement des activités du projet ainsi que l'allocation d'un budget et des ressources nécessaires à la réalisation de ces dernières. Elle permet d'établir un plan de référence pour le bon déroulement du projet qui va servir de base de comparaison durant l'exécution du projet afin d'en assurer le suivi et le contrôle.

Le contrôle de projet permet de s'assurer du bon déroulement ainsi que de la réussite du projet. Il s'assure de l'atteinte des objectifs. Il se base sur la comparaison des performances réelles par rapport à celles planifiées dans le plan de référence et sur la mise en place d'actions correctives en cas d'écart important.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéresserons uniquement au suivi et au contrôle de projet. L'étude des meilleures méthodes de replanification ou de rattrapage de calendrier est suggérée comme future extension.

#### **2.1.1 Définitions préliminaires**

Le suivi et le contrôle de projets ont pour objectif de mesurer et d'évaluer les performances réelles et actuelles du projet à l'aide de différentes techniques afin de s'assurer de l'accomplissement du projet dans les temps et en respectant le budget qui lui a été alloué [6]. Le contrôle de projets est défini par l'AACE à l'aide des 6 éléments suivants [7] :

- Savoir ce qui doit être fait ;
- Savoir ce qui a été fait ;
- Savoir se comparer au plan de référence ;
- Savoir ce qu'il reste à faire ;
- Identifier et mettre en œuvre des actions correctives pour corriger les écarts avec le plan de référence; et
- Analyser les résultats des actions correctives.

Le contrôle de projet est habituellement découpé en trois grandes étapes : l'établissement d'un plan de référence permettant de fixer les performances standards attendues, la mesure et la comparaison des performances réelles du projet par rapport aux performances standards, et enfin la mise en place d'actions correctives si nécessaire [8].

La première étape consiste donc à établir les standards de performances qui vont être utilisés comme base pour la comparaison avec les performances réelles du projet. Le plan de référence utilise les informations produites durant la planification du projet qui détaillent le déroulement du projet avec le plan initial, comment les ressources sont utilisées durant le projet ainsi que l'allocation du budget pour la durée du projet. Enfin, des indicateurs quantifiables sont établis, comme des intervalles de tolérances pour les indicateurs SPI (Schedule Performance Index) et CPI (Cost Performance Index), afin de faciliter le contrôle de projet [5].

Une fois le plan de référence établi et le projet lancé, une surveillance est mise en place afin de déterminer l'état d'avancement du projet. Pour cela, il va falloir récupérer des informations sur le déroulement du projet actuel pour déterminer si les délais et les budgets sont respectés et donc de s'assurer de la réussite du projet. Pour y arriver, cette étape comprend plusieurs activités en commençant par la collecte de données. Une fois les données récupérées, elles sont traitées pour établir des indicateurs reflétant le statut du projet. Les indicateurs les plus couramment utilisés sont ceux liés à la méthodologie de la valeur acquise (Earned Value Management, EVM) tels que le CPI et SPI. Ces indicateurs permettent d'obtenir des informations sur la santé actuelle du projet, notamment à l'aide du CPI et SPI, mais aussi des prévisions sur le budget final ainsi que sur la date finale du projet.

Enfin, la dernière étape consiste à mettre en place des actions correctives si les performances du projet ne sont pas à la hauteur des attentes ou encore saisir des opportunités pour accélérer la

progression dans le cas inverse. Pour cela, l'expérience du gestionnaire de projet ainsi que des méthodologies de génération de signaux permettent de détecter des situations anormales lors de la progression du projet et de déclencher des actions correctives afin de remettre le projet sur l'échéancier initial.

Le contrôle de projet est une étape primordiale en gestion de projet afin d'augmenter au maximum les chances de succès du projet. Ainsi, de nombreux outils ou méthodes ont été développés afin d'accompagner le gestionnaire de projet. Cependant, chaque type de projet comporte ses propres défis et contraintes. Le contrôle de projet doit donc s'adapter spécifiquement aux caractéristiques de chaque projet.

## 2.2 Stratégie de recension

Notre requête a été réalisée sur la base de données Compendex (Engineering Village). C'est une base de données pluridisciplinaire couvrant un grand nombre de domaines scientifiques et offrant plus de 34 millions de documents. L'objectif en utilisant une telle base de données est d'obtenir la meilleure couverture possible avec un maximum de documents relatifs à notre recherche.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons dans un premier temps réalisé une revue exploratoire afin de cerner au mieux les mots clés et concepts liés à notre sujet de recherche. Ainsi, une recherche auprès des principaux standards et référentiels, tels que le *Project Management Institute* (PMI) ou l'AACE fut réalisée.

À la suite de cette revue exploratoire, nous avons élaboré un plan de concepts afin de répertorier les mots clés avec tous leurs synonymes. Ces mots clés sont ensuite utilisés pour formuler une requête soumise à la base de données Compendex. Notre plan de concepts est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2.1 - Plan de concepts

Suivi et contrôle de projets	Méthode	Outils	Objectifs
<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Project monitoring”</li> <li>• “Project control”</li> <li>• “Project controlling”</li> <li>• “Project tracking”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedure*</li> <li>• Process*</li> <li>• Method*</li> <li>• Model*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Earned value”</li> <li>• Stochastic*</li> <li>• Probabilist*</li> <li>• Determinist*</li> <li>• Bayes*</li> <li>• “control charts”</li> <li>• Simulat*</li> <li>• Recognition</li> <li>• S-curves</li> <li>• Statistical</li> <li>• SPC</li> <li>• Technolog*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Budget*</li> <li>• Cost</li> <li>• Costs</li> <li>• Schedul*</li> <li>• Performance*</li> <li>• Forecasting</li> <li>• Prevision</li> <li>• Quality</li> <li>• Optimization</li> <li>• Data</li> <li>• Progress</li> <li>• Deviation*</li> <li>• Variation*</li> <li>• Duration*</li> <li>• Uncertaint*</li> <li>• Automation*</li> <li>• Decision*</li> <li>• index</li> </ul>

En plus du plan de concepts, notre revue exploratoire nous a permis d’identifier un article (Willems et Vanhoucke (2015)) soumis en octobre 2014 et publié en ligne le 3 juillet 2015 passant en revue 187 articles traitant du contrôle de projet et les classifiant suivant différentes catégories. Nous avons décidé d’utiliser cet article pour analyser les travaux sur le thème du suivi et du contrôle de projets antérieurs à octobre 2014 et de concentrer notre requête sur les travaux ultérieurs à cette date. Nous nous concentrerons exclusivement sur la recension d’articles de journaux scientifiques, d’articles de conférences et sur des chapitres de livres.

Nous avons donc construit la requête suivante :

((((((((("project monitoring" OR "project control" OR "project tracking" OR "project controlling") AND (procedure\* OR process\* OR method\* OR model\*))AND ( "earned value" OR stochast\* OR Probabilist\* OR determinist\* OR Bayes\* OR "control chart" OR simulat\* OR recognition OR S-curve\* OR Statistic\* OR Technolog\* OR Framework\*)) AND ( Budget\* OR cost

OR costs OR schedul\* OR performance\* OR forecast\* OR prevision\* OR Qualit\* OR optimiz\* OR data OR progress\* OR deviation\* OR variation\* OR variabilit\* OR duration OR uncertain\* OR automation OR decision\* OR index\* OR predict\* OR corrective\* OR update\*))WN KY))))AND (english WN LA)))) AND ((2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019 OR 2018 OR 2017 OR 2016 OR 2015) WN YR)))) AND ((ja OR ca OR ch) WN DT)).

Cette requête faite sur les titres, les résumés et les mots clés en date du 7 octobre 2023 a retourné 222 articles. La lecture des titres et des résumés des 10 premiers articles nous a permis de valider la cohérence de notre requête par rapport à notre sujet de recherche. Bien que la cohérence de notre requête soit validée, un tri sur les résultats a été fait afin d'éliminer les articles traitant de la planification de projet ou encore de projet de surveillance. Ce tri a été réalisé à la suite de la lecture des titres et des résumés et nous a permis de réduire le nombre d'articles à 85. En effet, de nombreux articles ont été recensés alors qu'ils ne traitent pas du contrôle de projet, mais seulement de planification. Enfin, une lecture plus poussée des articles a permis d'identifier les articles reprenant des travaux antérieurs pour les compléter ou les tester sur des cas d'études. Nous sommes ainsi arrivés à un nombre final de 64 articles.

Avant de présenter les résultats de cette revue de littérature, nous allons d'abord étudier les résultats présentés dans l'article de Willems et Vanhoucke sur les travaux antérieurs à octobre 2014 et analyser la contribution des travaux analysés. Nous passerons ensuite à l'analyse des articles issue de notre requête et faire le même travail d'analyse concernant la contribution des articles.

### **2.3 État de l'art sur le suivi et contrôle de projet avant octobre 2014**

Willems et Vanhoucke [6] dressent une revue de la littérature sur le contrôle de projet et notamment sur la méthode de la valeur acquise. Cette revue de littérature regroupe 187 travaux qui sont classés selon 6 catégories : le problème abordé, la contribution, la méthodologie, l'analyse, la validation et l'application (Annexe A). Nous nous intéresserons à la contribution de ces articles, divisée en 5 sous-catégories : contrôle de projet en général, l'évaluation des performances, la prévision, le déclenchement d'actions correctives et les outils d'aide à la décision.

Les contributions générales correspondent principalement à la résolution de problème d'implantation, d'applicabilité de méthodes de contrôle de projets. Pour l'évaluation des performances, les contributions touchent l'ajout de nouveaux indices dans les méthodes de mesures comme la qualité ou les objectifs ou l'amélioration d'indices ou indicateurs existants. Ensuite, pour

la prévision, les travaux concernent les prévisions de trésorerie, coûts et/ou délais. En outre, certains travaux traitent de l'amélioration de la précision des calculs ou la détermination des performances nécessaires à la réalisation du projet. En ce qui concerne le déclenchement d'actions correctives, les trois contributions retenues sont le placement des points de contrôle, la génération de signaux d'alerte ou quelles actions correctives prendre et comment. Enfin, la dernière contribution regroupe le développement d'outils d'aide à la décision.

### **2.3.1 Le contrôle de projet en général**

Comme expliqué précédemment, certaines contributions portent sur la présentation ou l'implantation de solutions, de technique, ou encore de méthodes de suivi et de contrôle de projets. On retrouve donc des travaux sur ces méthodes et techniques, notamment Williams [9] qui propose une revue de littérature afin d'aider les gestionnaires de projet à choisir une méthode de gestion efficace ou encore Besner et Hobbs [10] qui proposent une enquête empirique auprès de praticiens sur leur perception au sujet de la valeur des différentes pratiques concernant la gestion de projets.

Quelques travaux se concentrent davantage sur la méthode de la valeur acquise comme Hayes [11] qui met en avant l'intérêt de la méthode pour les gestionnaires de projets leur permettant de se référer sur des données concrètes. Brandon [12] présente les limitations de la méthode EVM ainsi que des solutions pour les surmonter permettant une mise en place efficace de la méthode. Kwak et Anbari [13] s'intéressent plutôt aux liens entre cette méthodologie et le contexte gouvernemental, notamment concernant les pratiques et l'avenir de la méthode dans ce contexte. Pour sa part, Anbari [14] propose des outils graphiques d'évaluation de la performance du projet à l'aide de la méthode de la valeur acquise.

Enfin, certains travaux établissent le lien entre planification et contrôle de projets. Lanford et McCann [15] abordent le concept de structure de découpage de projet (SDP) en expliquant comment la décomposition d'un projet en éléments plus petits peut permettre de mieux le planifier. Que ce soit en termes de budget ou de calendrier, cette technique de décomposition permet de faciliter la planification et le contrôle de projet.

### **2.3.2 Amélioration de l'évaluation des performances**

Sur la base de la méthode EVM, il est possible de distinguer deux catégories d'amélioration de l'évaluation des performances : prendre en compte de nouveaux indicateurs autres que le coût et le

temps dans les méthodes de calcul ou bien de modifier les indices de base de la méthode pour prendre en compte les caractéristiques du projet.

La méthode de la valeur acquise permet d'obtenir des informations sur les performances liées au calendrier ou au coût. Cependant, d'autres informations peuvent entrer en ligne de compte afin de déterminer la réussite d'un projet. Ainsi, Paquin et al. [16], Battikha [17] et Boukamp et Akinci [18] proposent des méthodes intégrant la gestion de la qualité dans le processus de contrôle de projet ou encore Kim et al. [19] qui propose un modèle intégrant la gestion du rejet de CO<sub>2</sub> des projets de construction.

Bien que la méthode de la valeur acquise connaisse un grand succès auprès des gestionnaires de projet, des problèmes ressortent, que ce soit pour son caractère déterministe ou encore sa façon de calculer des indices liés à la temporalité du projet à l'aide de données en unité monétaire. Pour cela, des approches sont apparues pour résoudre ces différentes limitations. Khamooshi et Golafshani [20] ont développé la méthode de la durée acquise (Earned Duration Management, EDM) afin de mesurer la progression et la performance du calendrier et du coût séparément. Warburton [21] propose une méthode permettant d'intégrer la dépendance temporelle dans le calcul de la valeur acquise. La méthode EVM, avec son aspect déterministe, ne reflète pas la réalité des projets qui sont riches en incertitudes et inexactitudes tout au long de leur réalisation. Pour pallier ce problème, une approche de la valeur acquise floue est proposée permettant ainsi de prendre en considération le caractère incertain et les risques associés aux projets et ainsi obtenir de meilleures estimations des performances du projet [22, 23].

### **2.3.3 Prévision des futures performances**

Les prévisions permettent d'anticiper les futures performances et ainsi de proactivement gérer le plan, de mieux gérer les risques et de mieux s'adapter au changement. Les prévisions jouent un rôle important dans la prise de décision, dans la distribution des ressources et dans la réalisation des objectifs. Les prévisions concernent les mesures liées au calendrier, au coût et à la trésorerie.

Beaucoup de travaux étudient l'utilisation de courbes en S de manière déterministe pour prévoir la trésorerie, notamment Miskawi, Cioffi, Chao et Chien [24-27]. Les courbes en S sont des outils essentiels en gestion de projet pour représenter graphiquement l'avancement du projet, notamment en termes de coût, de temps ou de ressources. Elles tirent leur nom de leur forme typique en "S", qui résulte de l'évolution naturelle d'un projet. Des approches stochastiques ou floues ont été mises

au point pour le calcul de prévisions à l'aide de méthodes statistiques telles que le « *curve fitting* » [28-30], de techniques de simulation [31, 32] ou encore en combinant des méthodes d'IA à d'autres méthodes existantes [33, 34].

On retrouve des approches similaires pour le calcul des prévisions de coût et de calendrier, mais également des approches avec le développement de nouveaux indices dits flous afin de gérer les problèmes d'incertitudes liés à la nature aléatoire des projets [35, 36].

Ensuite, afin de compléter le projet correctement, il est important d'avoir des prévisions les plus précises possibles. Swartz [37] et Wauters et Vanhoucke [38] s'intéressent donc à la mesure de la stabilité de ces prévisions pour en déterminer le niveau de fiabilité. C'est le cas également de Chen [39] qui propose une approche de « *curve fitting* » pour améliorer la précision des prévisions.

Enfin, d'autres méthodes permettent de prédire le succès du projet. Ces méthodes servent principalement au calcul des performances nécessaires pour achever le restant du projet en temps et en coût. Ces approches restent basées sur du « *curve fitting* » déterministe [40] ou stochastique [41], sur de l'amélioration d'indice déjà existant [42, 43] ou avec l'utilisation de l'IA [44, 45].

### **2.3.4 Méthodes pour le déclenchement d'actions correctives**

Afin de garantir la réussite d'un projet, il est important de s'assurer que les performances réelles du projet ne s'éloignent pas trop des performances planifiées. Pour cette fin, il est important d'avoir une bonne distribution des points de contrôle. D'une part, des points de contrôle trop fréquents (c.-à-d., trop proches) peuvent être coûteux et avoir lieu alors que le projet n'aura pas beaucoup progressé. D'autre part, des points de contrôle trop tardifs peuvent causer des retards dans l'appréciation des déviations du plan initial pouvant mener à des retards importants et coûteux, voire irattrapables. De ce fait, une bonne distribution des points de contrôle couplée à une bonne génération de signaux d'alerte et de bonnes procédures pour la mise en œuvre d'actions correctives permettent d'augmenter les chances de réussite des projets.

Pour le placement des points de contrôle, il existe des méthodologies statiques ou dynamiques. Le placement statique établit des points de contrôle lors de la phase de planification pour toute la durée de projet. Cependant, des changements peuvent intervenir lors de la réalisation d'un projet et cette méthode peut donc passer à côté de problèmes potentiels entre deux points de contrôle. Certains

auteurs s'intéressent donc au placement dynamique des points de contrôle afin de prendre en compte la nature évolutive des projets et ainsi mieux les contrôler [46-48].

D'un autre côté, des auteurs se sont intéressés à la génération de signaux d'alerte en proposant notamment des méthodes permettant le calcul des limites de tolérance [49] ou avec la mise en œuvre de courbes servant d'enveloppe afin de déterminer si les performances sont hors contrôle [50].

### **2.3.5 Les outils d'aide à la décision**

De nombreux outils facilitant le contrôle de projet à l'aide d'outils technologiques ont été mis au point pour les gestionnaires de projets. La majorité de ces outils est issue du domaine de la construction. Ils automatisent les processus de collecte et de traitement de la donnée à l'aide de technologies comme les scans laser, la photogrammétrie [51-53], et les technologies 4.0 avec des étiquettes RFID, le positionnement GPS ou d'autres capteurs sophistiqués [54-57]. Ces outils permettent au gestionnaire de gagner du temps et de réduire la subjectivité que peuvent générer les collectes manuelles de données. Enfin, des travaux abordent la visualisation de l'information afin d'aider le gestionnaire dans sa compréhension de l'état d'avancement du projet [58, 59]. Ces outils permettent ainsi une meilleure réactivité et un choix mieux établi pour la mise en œuvre d'actions correctives et permettent donc d'augmenter significativement les chances de réussite d'un projet.

## **2.4 Revue de la littérature après octobre 2014**

Bien que de nombreux travaux sur la gestion de projet furent présentés par Willems et Vanhoucke [6], de nouvelles approches, méthodes ou techniques voient le jour notamment grâce à l'incorporation de technologies récentes ou simplement pour adapter les travaux précédents dans des contextes particuliers.

À l'aide de classification utilisée par Willems et Vanhoucke [6], nous allons établir une revue des contributions ultérieures à leur article et ainsi présenter les travaux réalisés depuis octobre 2014.

### **2.4.1 Contributions générales au contrôle de projet**

Avec le nombre toujours grandissant de travaux sur la gestion de projet, de nombreux auteurs proposent des revues de littérature permettant ainsi d'avoir une idée assez générale sur les différentes méthodes, techniques ou encore métriques existantes.

Avec cette multitude de possibilités et l'absence d'approche normalisée sur le choix et la mise en œuvre de ces dernières, Orgut et al. [60] proposent une étude en collaboration avec des experts afin de définir un dictionnaire des indicateurs existants. Ils ont ainsi pu définir quatre types d'indicateurs :

- Essentiels : indicateurs permettant une évaluation pertinente ;
- Validants : indicateurs permettant d'appuyer, de soutenir les indicateurs essentiels ;
- Innovants : indicateurs peu utilisés, mais qui s'avèrent être pertinents dans le contexte de certains projets ; et
- Significatifs : indicateurs ayant une certaine valeur selon leurs résultats.

Orgut et al. [60] ont ainsi pu établir un lien entre l'utilisation des indicateurs essentiels et le succès du projet. Enfin, leur travail a mis en exergue également le rôle des indicateurs de diagnostic essentiels. Tandis que la majorité des recherches se concentrait seulement sur les indicateurs prédictifs, ils démontrent l'importance de leur rôle dans le contrôle de projet et leur contribution pour les chefs de projet afin d'identifier les problèmes de performances tôt permettant une mise en œuvre d'actions correctives en temps opportun.

Pellerin et Perrier [5] présentent une revue de littérature des techniques et méthodes existantes tant au niveau de la planification que du contrôle de projet. Cette revue recense 4 grandes catégories de problème relatif au contrôle de projet : l'évaluation des performances actuelles, la prédiction des performances futures, la planification des points de contrôle et la prise de décision au sujet d'actions correctives. Ils établissent également un état de l'art sur les différentes techniques et méthodes afin de répondre à ces problèmes.

Tereso et al. [61] et Acebes et al. [62] se sont intéressés aux liens entre la méthode EVM et la gestion des risques en proposant un cadre d'intégration de ces deux méthodes. Tereso et al. [61] indiquent que ces deux techniques partagent le même objectif : le succès du projet. Cependant, leur approche diffère. La gestion des risques veut anticiper des réponses possibles aux écarts par rapport aux objectifs et l'EVM est destinée à la surveillance de l'état des objectifs. L'intégration repose sur la méthode EVM, la stratification des risques et la méthode de gestion des risques. La principale caractéristique de ce modèle est la correction des indices de la valeur acquise introduits par la gestion des risques permettant ainsi une meilleure qualité des informations fournies. L'approche de Acebes et al. [62] est couplée à la simulation de Monte-Carlo. La simulation de Monte-Carlo

permet d'obtenir des informations sur le comportement attendu de l'exécution du projet puis ces données sont exploitées à l'aide de différentes méthodologies d'apprentissage statistique. L'approche permet de détecter des situations anormales par rapport à la définition du projet en tenant compte de la corrélation possible entre le temps et le coût. Toujours en lien avec la méthode EVM, Picornell et al. [63] se sont intéressés au développement d'une approche de cette méthode pour les projets étant conduits à coûts fixés en définissant de nouveaux indicateurs appropriés aux projets utilisant ce mode de fonctionnement.

Dans le contexte de l'industrie de la construction, Wang et al. [64] proposent un nouveau modèle pour améliorer la gestion de ce type de projet. Leur modèle se base sur la dynamique des systèmes permettant de prendre en compte de nombreux facteurs comme la supervision de la qualité, les travaux de reprise pendant l'exécution, les retards dans le calendrier, les actions de contrôle du projet, l'ajustement des objectifs, et surtout, les interactions entre eux. L'utilisation des dynamiques des systèmes permet ainsi une prise de décision plus éclairée en fournissant une perspective holistique des interactions complexes exerçant une influence sur la réussite du projet. Cela permet également aux gestionnaires d'anticiper les défis potentiels et à prendre des mesures de façon proactive pour y remédier. Cerezo-Narvàez et al. [65] proposent l'intégration d'une structure de répartition des coûts (*Cost Breakdown Structure*, CBS) en complément de la structure de découpage de projet (*Work Breakdown Structure*, WBS). Avec l'utilisation de CBSs, les planificateurs de projets pourraient développer des WBSs plus robustes avec une définition du projet plus précise et une meilleure anticipation des déviations éventuelles et ainsi améliorer la gestion de projet en général.

Enfin, afin de permettre aux gestionnaires de projet d'identifier le lien entre les différentes tâches et leur contribution au projet ou encore de connaître les raisons du statut du projet durant son exécution, Santos et al. [66] intègrent une couche d'explicabilité utilisant les valeurs de Shapley (SHAP, *SHapley Additive exPlanation*) à différents outils d'apprentissage machine couplés à la simulation de Monte-Carlo. Cette approche permet d'attribuer des contributions à chaque élément du projet participant à sa réalisation. Cette approche permet ainsi d'avoir des informations supplémentaires sur l'état du projet et se révèle utile dans le contexte incertain des projets.

## 2.4.2 Évaluation des performances du projet

Tel qu'expliqué à la section 2.3.2, on retrouve des travaux proposant des améliorations des méthodes d'évaluation des performances, soit par l'ajout de nouveaux indicateurs, soit par la modification de ceux déjà existants ou par l'adaptation/extension de certaines méthodes à des contextes particuliers ou nouveaux. C'est notamment le cas pour les projets dans l'industrie de production de logiciels, qui sont par leur nature difficiles à contrôler à cause du peu d'information disponible. En effet, Chang et al. [67] expliquent que les rapports de progression sont souvent des documents en langage naturel comprenant peu d'informations quantitatives. Les auteurs proposent donc un système d'intelligence artificielle permettant la surveillance et le contrôle de ce type de projet en utilisant des techniques de traitement du langage naturel. Ce système permet ainsi d'évaluer davantage la progression du projet de manière qualitative. Toujours dans le contexte du développement de logiciel, Chauhan et Rana [68] proposent une méthode de suivi utilisant la quantité d'effort (*Level of Effort*, LoE), exprimé en heures par personne, pour les activités ne produisant pas de livrables spécifiques ou de résultats mesurables. Cette méthode va permettre d'avoir accès à de nombreuses informations comme le pourcentage d'achèvement, l'écart d'effort et l'écart de coût. Cette nouvelle méthode permet d'augmenter le taux de succès des projets informatiques, car elle permet de la surveillance et le suivi des écarts ainsi que leur correction en cas de besoin. Dans le même esprit, Barhebwa-Mushamuka et Wagner [69] proposent la génération d'un jumeau numérique imitant l'exécution dynamique du projet. Cela permet de contrôler l'avancement du projet et de prévoir la quantité d'effort nécessaire à l'avenir. Enfin, Fehlmann et Kranich [70] proposent une approche à l'aide de graphique de type « *burn-up chart* » mis à jour continuellement grâce à une règle spécifique et une approche bayésienne. Cette méthode a été utilisée pour assurer le suivi de la performance des projets informatiques lors de la production de chars d'assaut allemands.

D'autres auteurs se sont intéressés au domaine de la construction afin d'en améliorer la mesure des performances. Love et al. [71] soulèvent le fait que beaucoup de travaux afin d'automatiser de manière précise l'évaluation de la progression des gros travaux ont été effectués, mais très peu sur les systèmes connectés tels que le système électrique. Ainsi, une solution utilisant un SIM (System Information Model) est proposée afin de développer un moyen de contrôle de projet basé sur les interactions homme-machine pour assurer le suivi de la construction des systèmes connectés. Kim et al. [72] proposent une amélioration d'un modèle présenté par Kim et Ballard [73] : la *Customer*

*Earned Value.* Le modèle présenté par Kim et Ballard permet de faire la distinction entre les travaux à valeur ajoutée et ceux à non-valeur ajoutée, distinction qui n'est pas faite avec la méthode EVM standard. Enfin, Mishakova et al. [74] ont proposé une approche combinée de la méthode EVM et du PERT (Program Evaluation and Review Technique) afin d'assurer, respectivement, le contrôle des coûts et du calendrier.

Dans un contexte plus général, Xue et al. [75] proposent un processus de surveillance des projets d'ingénierie avec des indicateurs de performance qui intègrent à la fois la perspective du chef de projet, mais aussi celle des ingénieurs système. Ainsi, trois niveaux d'indices de performance ont été définis, au niveau des processus et du projet, offrant des vues variées de l'avancement. La méthodologie favorise une prise de décision plus fiable, basée sur des données plus objectives. Cette approche coopérative minimise les risques, améliore la motivation des intervenants et offre une base pour ajuster les poids des indicateurs pour les différents projets. De leur côté, Colin et al. [76] ont proposé une approche pour prendre en compte la nature multivariée des projets mettant en place une analyse des composantes principales (ACP) sur une base de contrôle de projet simulé. Deux nouveaux indicateurs présentés sous forme de graphiques fournissent l'information sur l'état du projet.

Concernant l'ajout de nouveaux indices, Muñoz-Hernandez et al. [77] et Miguel et al. [78] se sont respectivement intéressés à l'ajout du suivi des objectifs et de la gestion de la qualité et des risques à la méthode EVM. Ainsi, la méthode EVO (Earned Value and Objectives) développée par Muñoz-Hernandez et al. [77] permet au gestionnaire de prendre en considération, en plus du coût et du calendrier, la définition du produit et ses spécificités dans sa prise de décision. Le modèle présenté par Miguel et al. [78] intègre la qualité et les risques en plus du coût et du calendrier et permet, avec les nouveaux indicateurs associés, de déterminer l'impact de la qualité sur le coût et le calendrier. La gestion de la qualité permet en effet de révéler des informations sur des coûts cachés, notamment ceux liés à la reprise de certaines tâches. Ce modèle permet aussi d'avoir des informations précises sur la qualité et les risques, autorisant une prise de décision plus efficace avec ces nouvelles informations. De leur côté, Ballesteros-Pérez et al. [79] proposent une comparaison des indicateurs de sensibilité des activités et présentent un nouvel indicateur de sensibilité *Criticality-Slack-Sensitivity* (CSS). La sensibilité d'une activité peut affecter le projet, plus une activité est sensible, plus elle est susceptible d'augmenter la variabilité de la durée ou simplement prolonger la durée du projet. Cette étude ne met pas en œuvre des actions correctives

en cas de besoin pour se référer seulement à l'efficacité de chaque métrique. Après la comparaison avec une utilisation ponctuelle en début de projet, le nouvel indicateur s'avère être la plus efficace, mais les auteurs indiquent que pour arriver à une optimalité, il faut utiliser ces indicateurs de manière itérative, tout au long du projet. Kerkhove et Vanhoucke [80] proposent un indicateur de contrôle utilisant les contrats d'incitation. L'indicateur proposé, *Earned Incentive Value* (EIV) se base sur les informations utilisées par la méthode de la valeur acquise, mais utilise comme base de comparaison l'écart dans l'accumulation des incitations plutôt que d'utiliser les performances de coût et de calendrier planifiées. Enfin, dans le contexte de changement climatique actuel, il devient important de faire attention à la production de gaz à effet de serre (GES). Ainsi, Abdi et al. [81] proposent l'ajout de l'émission des GES à l'évaluation des performances.

Enfin, on retrouve des travaux concernant simplement la modification des indices déjà existants. Dans une approche toujours déterministe de la méthode EVM, Ngo et al. [82] présentent une reformulation de la méthodologie à l'aide de fonction singulière (les fonctions singulières sont des expressions continues qui généralisent les expressions polynomiales régulières) afin d'obtenir une variante continue pour le suivi de projet de construction. Contrairement à la méthode initiale qui fonctionne de manière discrète, la variante proposée, à l'aide des fonctions singulières, permet un suivi continu et en temps réel de la performance du projet. Cette approche permet d'avoir une visibilité accrue sur la progression du projet, permettant au chef de projet d'agir plus rapidement en cas de besoin. Des approches non déterministes ont également été proposées par Hamzeh et Mousavi [83] et Mortaji et al. [84]. Leurs approches reposent sur l'utilisation de nombres flous permettant de prendre en compte la nature incertaine des projets. Hamzeh et Mouzavi [83] appliquent les nombres flous à la méthode EDM (*Earned Duration Method*), une variante de l'EVM permettant de contrôler les performances temporelles d'un projet avec des valeurs basées sur le temps et non les coûts. L'intégration de nombres flous permet d'obtenir des résultats proches de la réalité. Mortaji et al. [84] ont quant à eux développé la méthode DEVM (*Directed Earned Value Management*). Cette méthode permet au gestionnaire d'avoir des informations concernant le niveau et la direction de la progression du projet, ajoutant de nouvelles informations pour une meilleure prise de décisions.

### 2.4.3 Prévisions sur le futur du projet

La précision des prédictions est importante pour s'assurer que le projet va se terminer selon le délai et le budget planifié, notamment dès le début du projet pour mettre en place une gestion de projet proactive. Une approche bayésienne est ainsi proposée par Caron et al. [85] pour la formulation des estimations prenant en considération trois sources d'informations : l'opinion d'experts, des données historiques de projets passés et les données de performances du projet actuel.

D'autres approches pour améliorer la précision des prédictions durant le cycle de vie du projet ont également été proposées par Batselier et Vanhoucke [86, 87]. Leur première approche repose sur la création d'un nouvel indicateur quant à la régularité du projet. Cet indicateur permet de fournir des informations plus précises au chef de projet quant à la justesse des prévisions, que ce soit en termes de coût ou de calendrier. La deuxième proposition combine l'utilisation de la méthode EVM et l'approche de prévision par lissage exponentiel. Cette combinaison permet d'obtenir des prévisions précises tout au long du projet grâce à un seul paramètre de lissage qui peut être ajusté en fonction de l'état d'achèvement et de la santé du projet. Wauters et Vanhoucke [88] ont choisi de combiner la méthode de la valeur acquise avec une extension basée sur la méthode du plus proche voisin (K-Nearest Neighbour method). Une technique d'intelligence artificielle est ensuite employée sur cet ensemble réduit afin d'obtenir la prédition réelle du projet. Cette méthode permet d'obtenir des prévisions non seulement précises, mais également stables. Afin d'améliorer les prévisions, Mostafa et Hegazy [89] développent un modèle de réseaux bayésiens pour prédire le temps de réalisation d'un projet en fonction des événements impactant les activités en cours ou futures du projet.

Des méthodes ont également été développées pour la prévision en termes de calendrier, de coût ou les deux. Li et al [90] ont développé un outil pour évaluer la fiabilité du temps de réalisation d'un projet à l'aide de la théorie de la fiabilité. Toujours pour les prévisions sur le calendrier, Sackey et al. [91] proposent un nouvel outil pour la méthode EVM : *Duration Estimate at Completion* (DEAC). Cet outil utilise le temps réellement passé sur chaque activité, en unité temporelle, afin de fournir des prévisions sur le temps à l'achèvement. Des méthodes pour la prévision des coûts ont été proposées par Kim et Kwak [92]. Ils proposent un modèle de combinaison de prévisions des coûts permettant de sélectionner le meilleur modèle de prévision en fonction des caractéristiques et de l'avancement du projet afin d'améliorer la précision de ces prévisions.

D'autres auteurs se sont intéressés davantage au domaine de la construction, car ce secteur est considéré en retard en termes de performance en gestion de projet. Ainsi, Shehab et al. [93] proposent un cadre d'utilisation du Machine Learning avec le *Last Planner System* (LPS) afin de prédire les indicateurs de ce dernier. Nguyen et al. [94] s'intéressent plus particulièrement au pourcentage du plan complété (PPC) qui est un indicateur crucial pour le LPS. Pour cela, ses auteurs développent un cadre de modélisation à l'aide de séries temporelles pour sa prévision avec les PPC historiques et les raisons de non-complétion (RNC). Wang et Chen [95] présentent un modèle intégrant la technologie du Modèle d'Information du Bâtiment (Building Information Model, BIM) et des méthodes de Deep Learning afin de développer un modèle permettant de prédire la durée du projet, identifier le chemin critique et allouer de manière plus efficace les ressources.

#### **2.4.4 Déclenchement et mise en œuvre d'actions correctives**

Anderson et Shinn ont proposé en 2017, en collaboration avec le Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA et The Aerospace Corporation, un indicateur intitulé « *Percent Milestone Backlog* » [96]. Cet indicateur permet de calculer le pourcentage de retard par rapport à la planification. Pour son exploitation, elle est couplée avec une étude des données historiques qui ont permis de définir « une zone de normalité » pour l'évaluation de la performance du projet en cours. Les projets dont la note se situe en dehors de cette zone sont considérés à risque, offrant ainsi un outil de surveillance précieux pour les chefs de projet afin de détecter les situations hors de contrôle. De leur côté, Liang et al. [97] ont présenté un modèle hybride de gestion stochastique pour la méthode EDM et de Machine Learning pour les projets complexes avec un réseau de type GERT (*Graphical Evaluation Review Technique*). À la suite d'une simulation de Monte-Carlo pour obtenir des données relatives à l'état du projet, et en prenant en compte l'effet de synergie de plusieurs points de contrôle, un algorithme de surveillance est établi pour identifier les écarts et générer des signaux d'alerte en cas de besoin.

Une approche plus commune pour la génération de signaux d'alerte est la définition de seuils de tolérance à l'aide de graphique. Kim [98] et Bancescu [99] utilisent des valeurs issues de la méthode de la valeur acquise ou du calendrier acquis afin de définir leur seuil de tolérance. Kim [98] établit une méthode quantitative pour établir des seuils de contrôle dynamiques qui sont influencés par le pourcentage d'achèvement du projet en fonction du degré de réalisabilité des objectifs en termes

de temps et d'argent. Pour sa part, Bancescu [99] propose une combinaison entre l'EVM et le contrôle statistique de processus afin de mieux contrôler la progression d'un projet. Pour cela, il utilise l'indice SPI comme déclencheur pour une analyse détaillée des activités du plan de projet. Cela permet ainsi de prendre des mesures correctives ou d'exploiter des opportunités. Votto et al. [100] travaillent sur l'importance de la définition probabiliste de la largeur des limites de contrôle et son rôle dans la gestion de projet. Ensuite, Chen et al. [101] proposent une approche bayésienne pour le calcul des limites de tolérances en se basant sur les mesures de performance de la méthode de la valeur acquise. D'autres auteurs se sont également intéressés à l'ajout des ressources dans leur modèle de génération de signaux afin d'améliorer la fiabilité et l'efficacité dans le calcul des limites de tolérances [102, 103].

Finalement, Vaseghi et Vanhoucke [104] proposent une comparaison de méthodes de classement des activités et d'évaluation de la qualité des actions correctives durant la phase de contrôle de projet. Un nouveau concept, appelé ensemble d'actions, est utilisé pour déterminer les activités les plus sensibles et les plus susceptibles d'avoir un impact plus important sur l'objectif du projet.

#### **2.4.5 Les outils d'aide à la décision**

Avec l'évolution des nouvelles technologies et de l'intelligence artificielle (IA), de nouveaux outils voient le jour permettant de faciliter des tâches liées au contrôle de projet telles que la collecte et le traitement de données. Ces outils permettent ainsi d'aider le chef de projet à prendre les meilleures décisions possibles dans un délai raisonnable afin de garder le projet sous contrôle.

On retrouve beaucoup de ces nouveaux outils dans le domaine de la construction. En effet, la grande dimension des bâtiments et le grand nombre d'activités conséquent que peut avoir ce type de projet rendent la collecte de données très chronophage. Des solutions mettant en œuvre différentes technologies afin d'automatiser ces processus sont donc apparues. Garcia et al. [105] proposent une revue de littérature sur les tendances et les défis liés au contrôle de projet que suscité par l'utilisation de méthode d'intelligence artificielle. Cette revue examine également l'utilisation d'outils technologiques et de logiciels basés sur l'intelligence artificielle et l'apprentissage machine (Machine Learning).

D'autres auteurs proposent des revues de littératures sur l'utilisation des technologies pour l'automatisation de l'évaluation de la progression dans le domaine de la construction [106, 107]. Ces revues permettent d'avoir un état de l'art sur ce qu'il se fait actuellement, mais proposent

également des tendances de recherche pour venir compléter les manques actuels. Elles peuvent également servir de base de sélection, car elles identifient les contextes d'applications de chaque technologie d'automatisation. Gamil et al. [107] regroupent ces technologies d'acquisition et de traitement en trois catégories :

- Géospatial / Localisation : on retrouve ici les technologies des codes à barres, de l'UWB et des capteurs GIS et GPS servant à la localisation des équipements, du matériel ou encore des matières premières. On peut trouver également l'utilisation du RFID (*Radio Frequency Identification*) pour le calcul du temps de travail réel ;
- Imagerie digitale : cette catégorie regroupe la photogrammétrie, le scan laser et la vidéogrammétrie. Ces technologies sont souvent utilisées pour la capture de la progression d'avancement sur le site ; et
- La réalité augmentée : souvent couplée au BIM, elle permet de comparer le travail réalisé et le travail planifié.

Cependant, Mansouri-Asl et Hammad [108] expliquent que l'automatisation du calcul de la progression n'a pas encore atteint son plein potentiel bien qu'elle ait reçu beaucoup d'attention. Les auteurs proposent un cadre de travail à l'aide de BIM 5D et d'une méthodologie de suivi automatisée pour intégrer les mesures de progression dans les plans de base du projet. Avec l'utilisation de lot de travail et de courbes en S, le cadre vise à mesurer automatiquement les progrès, offrant ainsi une alternative plus efficace aux méthodes traditionnelles.

L'imagerie est une des méthodes les plus fréquemment utilisées pour la collecte de données sur site. Golparvar-Fard et al. [109] ont proposé une approche utilisant des photos quotidiennes du site couplé avec les modèles du BIM afin d'automatiser la reconnaissance de la progression physique. Les photos servent de base à la constitution de nuages de points puis la reconnaissance de la progression à l'aide de modèles probabilistes bayésiens est réalisée. L'approche bayésienne permet de reconnaître la progression en cas d'occlusion afin d'automatiser au maximum le suivi du progrès. De son côté, Mutis et al. [110] proposent une approche combinant l'utilisation de drones et le Machine Learning dans l'objectif de détecter automatiquement le progrès et jusqu'à six classes de ressources. Le cadre proposé ouvre davantage la voie pour passer des collectes et traitements manuels à des processus automatisés, voire complètement autonomes. Sans utilisation de technologies d'imagerie, Olatunji et Akanmu [111] proposent une approche pour développer une

plateforme bidirectionnelle à l'aide d'un système cyberphysique adaptatif (aCPS). Utilisant une plateforme avec un système RFID pour la localisation en temps réel, le système suit les processus de construction et les ressources dans des zones de travail spatialement cartographié. Les données sont ensuite intégrées dans un modèle BIM, alignant donc les statuts du projet avec le calendrier de manière interactive. On peut retrouver une approche similaire avec le travail présenté par Berawi et al. [112] qui propose l'utilisation de plateforme de l'« Internet of Things » (IoT). Cette plateforme aide à la collecte de données sur le terrain et à l'échange de ces dernières de façon optimale et efficace et permet ainsi aux utilisateurs d'avoir plus de temps pour leurs traitement et analyse et pour trouver des solutions. Enfin, Lee et al. [113] établissent une revue de littérature et une comparaison de différents classificateurs de sons et proposent un cadre d'application pour ces derniers afin de récolter les informations quant à l'avancement ou encore les performances des tâches transmis par le son. Cette recherche établit une base critique pour l'utilisation de classificateurs appropriés dans l'analyse des données sonores de construction.

Avec l'utilisation de plus en plus fréquente de capteur ou d'autres méthodes pour récolter de la donnée sur les sites de construction, la quantité de données a considérablement augmenté. Des auteurs se sont donc intéressés à des modèles de fusion de données pour transformer la donnée récoltée en informations utiles pour le chef de projet. Shahi et al. [114] proposent un cadre de fusion de données multidimensionnelles basé sur des flux de travail pour le suivi automatisé de l'avancement des activités de construction. La méthode combine des données volumétriques et de position avec les données de contrôle de projet en utilisant des algorithmes de fusion de données avancés. Le processus a été conçu pour minimiser les incohérences et les imprécisions présentes dans les données récoltées sur le chantier. Guven et Ergen [115] présentent également une approche automatisée de fusion de données pour surveiller la progression des activités de construction avec un suivi des équipements et matériaux à l'aide de capteurs. L'approche intègre des heuristiques spécifiques au domaine et vise à être rentable sans être intrusive en se concentrant uniquement sur les équipements clés. Enfin, Chen [116] étudie le développement d'un flux de travail efficace, rapide pour le traitement de l'information basé sur le modèle des bases de données volumineuses dans l'objectif d'atteindre l'ensemble du processus de suivi et contrôle de projet.

Quant aux projets de développement de logiciel, Marchwicka [117] propose un outil basé sur la méthode EVM et la simulation de Monte-Carlo pour la gestion des risques dans le développement de logiciels permettant une prise de décision proactive.

## 2.5 Revue critique de la littérature

Malgré les nombreux travaux que nous avons pu recenser dans la littérature concernant le suivi et le contrôle de projet ainsi que le nombre d'outils, méthodes et techniques présentés afin de réaliser cette tâche, aucun ne s'intéresse particulièrement au cas des projets de maintenance et des projets de réfection dans les chantiers navals.

Bien que la diversité des solutions proposées soit importante, aucune des solutions ne prend en considération le type de contraintes que nous pouvons retrouver dans le contexte des projets de réfection de navires. Comme expliqué au premier chapitre, ces projets sont soumis à d'importantes variabilités, tant bien à cause de la croissance du nombre d'activités à la suite des opérations d'inspection, mais également de décroissances à cause de la fenêtre de travail stricte qui est définie. Alors que les variabilités et la fenêtre de travail fixe viennent déjà complexifier la tâche de réordonnancement, la priorité de certaines opérations sur d'autres et la disponibilité des ressources viennent aggraver le problème. Ces variabilités rendent donc l'implantation de tous les modèles et méthodologies présentés difficiles.

De plus, il est très difficile de trouver dans la littérature des propositions pratiques de processus de suivi et de contrôle de projet, quel que soit le domaine d'application. Cela s'explique certainement par le fait que ces processus d'affaires font partie intégrante du savoir-faire des entreprises et que le partage d'une telle information risque de nuire à leur compétitivité au profit d'entreprise avec des processus moins performants. Cependant, des standards, principalement des guides de bonnes pratiques existent, mais restent relativement généraux et chaque entreprise doit s'adapter à son cas particulier.

Ainsi, il n'existe pas de méthode applicable sans modification au préalable permettant aux chefs de projet de mener des opérations de suivi, contrôle et réordonnancement de projet de réfection de navires. La littérature actuelle présente uniquement des solutions pour lesquelles le projet voit toutes les tâches initialement planifiées être réalisées. Or, dans notre cas, tous les travaux ne sont pas forcément réalisés à cause de la période de travail limitée et donc seulement les travaux ayant la priorité la plus importante doivent être accomplis. Une méthode de suivi et de contrôle de projet prenant en considération tous les facteurs et toutes les contraintes liées aux projets de réfection de navires est donc nécessaire pour améliorer le cadre de travail des différents acteurs impliqués.

## 2.6 Conclusion

Les projets de réfection de maintenance et de réfection de navire sont soumis à des contraintes et des caractéristiques uniques qui sont que rarement abordées dans la littérature scientifique. Bien que de nombreux outils et méthodes de suivi et contrôle de projet aient vu le jour au cours des dernières décennies avec des technologies toujours plus sophistiquées, peu d'entre eux sont adaptés aux défis que proposent ce type de projet, notamment au niveau de la variabilité du nombre d'activités, des contraintes temporelles strictes et de l'importance dans la priorisation des activités.

Cette revue a donc permis de mettre en lumière une lacune importante dans les approches actuelles de suivi et contrôle de projet, créant ainsi une opportunité de recherche pour concevoir des processus de suivi et de contrôle de projet adaptés aux exigences spécifiques des projets de maintenance et de réfection de navire. En poursuivant dans cette direction, de nouveaux processus mieux alignés avec les besoins des gestionnaires de projets dans le secteur naval pourraient voir le jour, contribuant à une gestion plus efficace et proactive pour ces projets complexes.

## CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Le chapitre précédent nous a donc permis de faire un état de l'art sur les outils, méthodes et technologies qui ont pu être développés au cours de ces dernières décennies. Cet état de l'art nous permettra par la suite de développer des solutions d'amélioration adaptées au contexte des projets de réfection de navire dans le cadre de ce projet de recherche.

Ce chapitre vise à préciser nos objectifs de recherche ainsi que la méthodologie de recherche retenue pour les atteindre.

### 3.1 Objectifs de recherche

Ce mémoire s'inscrit dans un programme de recherche sur la planification et le suivi de grands projets de maintenance engageant plusieurs acteurs. Il s'agit notamment de développer une méthode innovante de transformation des processus de suivi de projet pour les entreprises. Le chapitre précédent nous a donc permis de faire un état de l'art sur les outils, méthodes et technologies qui ont pu être développés au cours de ces dernières décennies. Cet état de l'art nous permettra ensuite d'identifier des solutions d'amélioration adaptées au contexte des projets de réfection de navire qui est le cas d'étude de ce projet de recherche. Comme expliqué dans l'introduction de ce mémoire, l'objectif principal de cette recherche est **d'améliorer les processus de suivi de projets complexes**. Cet objectif se décline en deux sous-objectifs présentés ci-dessous :

- **Sous-objectif 1** : Analyser les forces et les faiblesses dans les processus de suivi et contrôle de projet afin d'identifier les opportunités d'amélioration.
- **Sous-objectif 2** : Construire des processus améliorés de suivi et contrôle de projet adaptés au contexte des projets de réfection de navires.

L'atteinte de ces objectifs et l'application au cas d'étude de notre partenaire industriel lui offriront une suite de recommandations afin d'améliorer ses processus de suivi et contrôle de projet lui permettant ainsi de mieux gérer ses projets de réfection et rester compétitif dans ce secteur d'activité. La méthodologie mise en œuvre afin de parvenir à ces résultats est présentée ci-après.

### **3.2 Méthodologie de recherche**

Cette section présente la méthodologie employée afin d'atteindre les différents sous-objectifs définis dans la section précédente ainsi que l'objectif principal présenté lors de l'introduction. Quatre phases se distinguent pour l'atteinte de l'objectif :

- **Phase 1 :** Recenser les méthodes, outils et technologies permettant la réalisation des opérations de suivi et contrôle de projet et analyser leurs points forts et leurs limitations dans le cadre de leur application dans le secteur des chantiers maritimes pour le suivi et le contrôle des projets de réfection ;
- **Phase 2 :** Développer une grille d'évaluation de la maturité permettant d'analyser la maturité des processus de suivi et contrôle de projet en place au sein d'une entreprise permettant de mettre en évidence les forces et les faiblesses des processus et d'identifier les différentes opportunités d'améliorations ;
- **Phase 3 :** Appliquer la méthode d'évaluation de la maturité développée dans le point précédent afin de développer une stratégie d'amélioration pour le partenaire afin d'améliorer la maturité de leurs processus de suivi et contrôle de projet ; et
- **Phase 4 :** Développer les propositions d'amélioration à mettre en place chez le partenaire. Les propositions présentent les nouveaux outils, méthodes et technologies que le partenaire devra adopter ainsi que les processus modifiés permettant l'intégration de ces derniers.

#### **3.2.1 Analyse des outils, méthodes et technologies existantes**

Le Chapitre 2 a présenté une revue de littérature sur les différents outils, méthodes et technologies développés durant les dernières décennies afin de réaliser les opérations de suivi et contrôle de projet. Cette revue de littérature a permis de prendre connaissances de ce qu'il se fait dans différents secteurs d'activités ainsi que les méthodes et outils génériques développés, mais également d'identifier les lacunes de ces approches pour le secteur des chantiers maritimes et donc des possibles contributions pour cette recherche.

#### **3.2.2 Méthode d'évaluation de la maturité des processus d'affaires**

Pour l'amélioration ou la réingénierie des processus d'affaires, les entreprises peuvent faire appel à des méthodes de benchmarking afin d'évaluer les performances, les pratiques ou encore les résultats d'un processus en les comparant aux meilleures pratiques disponibles dans l'industrie. Le

benchmarking est une aide précieuse, il permet aux entreprises de constater l'état actuel de leurs opérations et d'évaluer l'état qu'elles pourraient atteindre.

En faisant l'examen des méthodes et des normes les plus performantes et pertinentes de l'industrie, ainsi que les tendances et les innovations de la littérature scientifique, les entreprises peuvent identifier des opportunités d'amélioration et développer de nouvelles stratégies dans le but d'être toujours plus efficaces et ainsi accroître leur compétitivité. Le benchmarking peut couvrir de nombreux aspects des processus d'affaires comme les coûts, les délais, la qualité, les pratiques de gestion ou bien les technologies employées.

Pour réaliser l'évaluation de la maturité des processus d'affaires des chantiers navals, nous avons divisé la méthodologie en trois étapes :

1. L'analyse des meilleures pratiques de suivi et contrôle de projet présentes dans la littérature scientifique ainsi que les normes ;
2. L'analyse des processus de suivi et contrôle de projet du partenaire industriel ; et
3. La confrontation entre les meilleures pratiques identifiées et les pratiques du partenaire.

Ces différentes étapes sont décrites dans les prochaines sous-sections.

### **3.2.2.1 Analyse des pratiques de suivi et de contrôle de projet présentes dans la littérature**

Pour réaliser l'analyse des meilleures pratiques de la littérature, nous allons dans un premier temps recenser toutes les bonnes pratiques avant de les raffiner et ne garder que celles pertinentes à notre cadre de recherche. Une recherche relative aux bonnes pratiques de suivi et contrôle de projet a donc était nécessaire. La bibliothèque de Polytechnique Montréal ainsi que les bases de données Compendex et Google Scholar ont été les principales sources de documentation et d'information.

Notre collecte d'information au sujet des meilleures pratiques repose sur les pratiques recommandées de l'AACE International, qui est le seul organisme à proposer une approche plutôt procédurale quant à la démarche à suivre pour réaliser les opérations de suivi et contrôle de projet [7], et sur des articles scientifiques tels que l'article de Olawale et Sun où les auteurs proposent une revue des pratiques de gestion de projet dans le domaine de la construction [118].

Toutes les pratiques identifiées ont ensuite été triées pour conserver uniquement celles concernant le suivi et le contrôle de projet et ayant du sens dans le contexte des projets du partenaire. Nous avons finalement regroupé les pratiques sélectionnées par similarité.

Les pratiques restantes ont ensuite été croisées avec le guide EIA-748-D de la National Defense Industrial Association (NDIA) [119] afin d'établir notre grille d'évaluation de la maturité.

### **3.2.2.2 Analyse des processus pour le « chantier naval partenaire »**

Dans le cadre de notre diagnostic, la cartographie du processus d'affaires est une étape essentielle afin d'identifier clairement les pratiques mises en œuvre par le partenaire. Pour réaliser efficacement ces cartographies, plusieurs étapes clés doivent être suivies.

Premièrement, il est important d'identifier correctement le processus à cartographier ainsi que les membres impliqués dans le processus. La collaboration avec ces parties permet d'obtenir une vision complète et précise du processus. À l'aide d'entrevues structurées, le processus est découpé en étapes en notant l'ordre et les relations de succession existantes entre elles ainsi que les différentes prises de décisions qui peuvent intervenir dans le processus.

Avec ces informations, des cartographies au format BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation 2.0) ont pu être réalisées. Ce formalisme offre une représentation claire des différentes activités, des évènements et des échanges existants entre chaque entité responsable. Cette modélisation aidera à l'identification des pratiques en place.

Une fois les cartographies réalisées, une étape importante de validation est réalisée avec le partenaire pour s'assurer de l'exactitude des informations retranscrites ainsi que de leur complétude.

### **3.2.2.3 Confrontation entre les critères de maturité identifiés et les pratiques actuelles du chantier maritime partenaire**

Une fois les meilleures pratiques identifiées et les processus d'affaires du chantier naval cartographiés, nous allons passer à la phase de confrontation pour l'évaluation de la maturité qui va nous permettre d'identifier les écarts ainsi que les opportunités de recherche et d'amélioration. Cette phase implique une étude détaillée des processus du partenaire pour identifier les pratiques

déjà en place ainsi que de mettre en lumière les forces et les faiblesses quant au suivi et au contrôle de projet.

Durant cette phase, les pratiques du partenaire sont comparées aux meilleures pratiques identifiées dans la littérature scientifique ainsi que par l'AACE International. Après l'identification des écarts, une analyse pourra être conduite afin de déterminer leurs origines et causes.

À la suite de l'analyse des écarts, des recommandations sont ensuite proposées afin d'améliorer les processus actuels du partenaire. La méthodologie pour la proposition d'un nouveau processus d'affaires est présentée à la sous-section suivante.

### **3.2.3 Méthode pour la proposition d'amélioration d'un processus d'affaires**

Dans la continuité de l'évaluation de la maturité et du travail d'amélioration et de réingénierie des processus d'affaires du partenaire, une étape d'amélioration des processus actuels va se mettre en place afin d'apporter des solutions aux opportunités d'améliorations identifiées.

#### **3.2.3.1 Stratégie pour l'amélioration des processus**

Ainsi, à l'aide de la cartographie initiale des processus d'affaires du partenaire ainsi que la liste des critères d'évaluation de maturité identifiés pour le suivi et le contrôle de projet, une amélioration en deux temps va être étudiée. Ces deux phases d'améliorations auront pour but d'étudier des pratiques de suivi et contrôle de projet déjà existant dans d'autres secteurs afin d'améliorer la maturité des processus du partenaire.

#### **3.2.3.2 Proposition d'amélioration à $T_1$**

La proposition d'amélioration à  $T_1$  constitue la première phase de l'amélioration. L'objectif de cette proposition est double, elle va permettre au partenaire d'améliorer la maturité de ses processus de suivi et contrôle de projet, mais aussi d'établir une base solide et complète pour la suite de l'amélioration de ses processus. Cette proposition d'amélioration doit être une méthode de base pour assurer les opérations de suivi et contrôle, dépourvue de toute optimisation et doit pouvoir être mise en place sur du court terme. En effet, cette proposition doit faire intervenir le minimum d'investissement, voire aucun, et modifier le moins possible les processus administratifs actuellement en place au sein de l'entreprise et éviter l'utilisation de nouvelles documentations.

### **3.2.3.3 Proposition d'amélioration à $T_2$**

La proposition d'amélioration à  $T_2$  correspond à une optimisation de la méthode développée pour la phase  $T_1$ . Nous pourrons retrouver une optimisation au niveau des processus, mais également au niveau technologique. L'intégration de nouvelles technologies va nous permettre de faciliter et accélérer de nombreuses activités liées au suivi et contrôle de projet. Contrairement à la proposition  $T_1$ , celle-ci a pour but d'être mise en place sur du long terme avec une segmentation et une priorisation des améliorations en fonction des besoins du partenaire.

### **3.2.3.4 Évaluation de la nouvelle maturité**

La nouvelle maturité sera calculée après chaque proposition d'amélioration. Nous pourrons ainsi voir comment les améliorations proposées vont agir sur la maturité des processus du partenaire et également suivre sa progression suivant les différentes étapes du projet.

## **3.3 Conclusion**

Ce chapitre a permis de présenter la méthodologie de recherche utilisée. L'accomplissement des phases décrites plus tôt dans le chapitre permettra d'atteindre les différents objectifs formulés à la suite de la revue de littérature élaborée au Chapitre 2. Le chapitre suivant s'attarde au développement de la grille d'évaluation de la maturité des processus du partenaire.

## **CHAPITRE 4 MATURITÉ DES PROCESSUS DE SUIVI ET CONTRÔLE DE PROJET**

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux résultats de la phase d'évaluation de la maturité des processus d'affaires de suivi et contrôle de projet du partenaire. L'identification des meilleures pratiques de suivi et contrôle de projet dans la littérature ainsi que celles présentées par l'AACE International sera conduite dans un premier temps. Ces bonnes pratiques seront ensuite croisées avec les critères d'implantation de la méthode EVM proposés par la NDIA pour construire notre grille d'évaluation de la maturité. Nous caractériserons ensuite les processus de suivi et contrôle de projet du partenaire afin de finalement évaluer la maturité de ces processus par la confrontation avec les meilleures pratiques de l'industrie. Nous prendrons en compte des spécificités et contraintes présentes dans le contexte des projets de réfection de navires et des chantiers maritimes.

### **4.1 Les bonnes pratiques de suivi et de contrôle de projet**

#### **4.1.1 Les pratiques recommandées de l'AACE International**

Pour établir la liste des meilleures pratiques, nous nous sommes basés sur les recommandations de l'AACE International. L'AACE International est une organisation professionnelle qui joue un rôle majeur dans le domaine de l'ingénierie des coûts et de la gestion de projet. Elle établit notamment des normes, des pratiques recommandées et fournit également des ressources pour les professionnels en gestion de projet. Les pratiques de l'AACE sont reconnues dans le monde industriel bien qu'elle ne soit pas un organisme de normalisation. Nous avons fait le choix de cette organisation, car contrairement à des standards comme le Project Management Body of Knowledge (PMBOK) ou PRINCE2, elle propose une approche et des recommandations opérationnelles, donc explicites.

Plus spécifiquement, nous nous sommes intéressés à la pratique recommandée « 60R-10 : développer le plan de contrôle de projet » [7] afin de définir de bonnes pratiques de suivi et contrôle de projet. Cette pratique recommandée (PR) s'intéresse au développement du plan de contrôle de projet en proposant un cadre pour élaborer et mettre en œuvre un plan de contrôle intégré, comprenant des processus, procédures et applications nécessaires pour la planification, la surveillance, l'exécution et le contrôle d'un projet. Cette PR sert de guide pour améliorer la

communication et l'efficacité des équipes de projet en s'alignant avec le cadre de gestion des coûts totaux (TCM – Total Cost Management) de l'AACE International.

À l'aide de la PR 60R-10, nous avons pu identifier 18 bonnes pratiques qui sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.1 - Bonnes pratiques selon la pratique recommandée 60R-10 [7]

#	<b>Bonnes pratiques selon la pratique recommandée 60R-10 de l'AACE International [7]</b>
<b>1</b>	Développer un plan de projet détaillé incluant les activités, les ressources, les délais et les coûts
<b>2</b>	Identifier la nature du projet à réaliser
<b>3</b>	Mettre en place un processus de gestion des risques pour identifier, évaluer et atténuer les risques
<b>4</b>	Créer une ligne de base des coûts, des délais, des ressources et des performances
<b>5</b>	Créer un plan d'approvisionnement pour les ressources
<b>6</b>	Définir des méthodologies de mesures de l'avancement des activités et de l'évaluation des performances
<b>7</b>	Collecter des données sur l'avancement du projet, y compris les coûts réels, les délais et les performances
<b>8</b>	Comparer les données réelles avec la ligne de base pour évaluer les écarts
<b>9</b>	Identifier les tendances et les anomalies qui pourraient affecter le succès du projet
<b>10</b>	Analyser les écarts entre les données réelles et la ligne de base
<b>11</b>	Identifier les causes des écarts et évaluer leur impact sur le projet
<b>12</b>	Prévoir les tendances futures et ajuster les plans en conséquence
<b>13</b>	Préparer des rapports de suivi réguliers pour les parties prenantes du projet
<b>14</b>	Communiquer efficacement les résultats de l'analyse des performances et les actions correctives proposées
<b>15</b>	Documenter tous les changements apportés au projet, y compris les changements de portée, de calendrier et de budget
<b>16</b>	Évaluer l'impact des changements sur la ligne de base et obtenir l'approbation des parties prenantes avant leur mise en œuvre
<b>17</b>	Intégrer les changements approuvés dans la planification et le suivi du projet
<b>18</b>	Enregistrer les données et rapports du projet pour les futurs projets

À ces 18 bonnes pratiques de l'AACE, nous ajouterons les pratiques recommandées colligées à partir de la littérature scientifique.

#### 4.1.2 Les bonnes pratiques issues de la littérature scientifique

Olawale et Sun [118] présentent plus de 60 bonnes pratiques pour la gestion de projets dans le domaine de la construction réparties sur 4 phases différentes (planification, suivi et contrôle, rapport, analyse). À chaque pratique est affecté un de trois niveaux d'importance : critique, importante, utile. Les bonnes pratiques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.2 - Listes des bonnes pratiques présentées par Olawale et Sun [118]

#	<b>Bonnes pratiques recommandées pour la planification selon Olawale et Sun [118]</b>
<b>Planification</b>	
<b>1</b>	Élaboration d'un programme de travaux pour l'estimation du temps de projet
<b>2</b>	Veiller à ce que le programme de travaux soit réaliste
<b>3</b>	Établissement de jalons tangibles au sein du programme élaboré

Tableau 4.2 - Listes des bonnes pratiques présentées par Olawale et Sun [118] (suite)

<b>Suivi et contrôle</b>	<b>4</b> Établissement d'un chemin critique clairement identifiable dans le programme (planification)
	<b>5</b> Connaissance de l'impact/relations entre le fait de ne pas terminer dans les délais et l'augmentation des coûts du projet
	<b>6</b> Implication du sous-traitant dès le début pour des conseils et des contributions lors de l'élaboration du programme
	<b>7</b> Adopter une approche holistique lors du développement du programme
	<b>8</b> Veiller à ce qu'il y ait un transfert adéquat de l'appel d'offres du mîtreur de l'appel d'offres (QS) au mîtreur du projet afin d'assurer la compréhension de la manière dont le travail est chiffré
	<b>9</b> Faire appel à un planificateur de projet ayant une compréhension du processus de construction
	<b>10</b> S'assurer que le budget des coûts est réaliste en tout temps
	<b>11</b> Utilisation de données historiques lors de l'élaboration d'un programme de travaux
	<b>12</b> Veiller à ce que tous les activités ou lots du projet aient leur coût attribué pour l'exécution des travaux
	<b>13</b> S'assurer que l'équipe de projet comprend le budget des coûts
	<b>14</b> Incorporer une certaine flexibilité dans le programme si possible
	<b>15</b> Élaboration détaillée du programme
	<b>16</b> Veiller à ce que le contrôle des coûts et du temps soit toujours intégré
	<b>17</b> Disposer d'un prix convenu avec le client qui sera utilisé pour les variations
	<b>18</b> Veiller à ce que le programme et l'estimation des coûts soient mis à jour à mesure que la conception évolue jusqu'à l'approbation de la conception
	<b>19</b> Veiller à ce que les processus de contrôle des coûts et du temps du projet soient cohérents dans toute l'entreprise
	<b>20</b> S'assurer qu'il y a suffisamment de temps entre l'acceptation de l'appel d'offres et le début sur site afin de planifier correctement les travaux
	<b>21</b> Établissement d'une structure au sein du processus de contrôle du projet alignant la structure de décomposition des coûts avec la structure de décomposition du travail
	<b>22</b> S'assurer que les membres de l'équipe de projet sont formés dans la gestion scientifique des coûts et du temps de projet
	<b>23</b> Avoir un programme cible séparé qui est plus ambitieux que le programme contractuel
	<b>24</b> Veiller à ce qu'il existe une stratégie d'approvisionnement pour l'achat de tous les lots du projet dès l'étape de l'appel d'offres
	<b>25</b> Élaboration de l'estimation des coûts/budget en utilisant des métriques quantifiables (par exemple, coût par mètre carré de briques posées)
	<b>26</b> Tester la viabilité du programme en utilisant un modèle de réalité virtuelle 4D (3D avec un programme de travaux)
	<b>27</b> Élaboration du programme en utilisant des métriques quantifiables (par exemple, nombre de briques posées par mètre carré et par jour)
	<b>28</b> Utilisation d'un contrat à prix maximum convenu lorsque cela est possible
	<b>29</b> S'assurer qu'il existe un régime de suivi régulier (par exemple, hebdomadaire/mensuel) intégré dans le projet
	<b>30</b> Surveiller en permanence l'avancement du projet par rapport au chemin critique
	<b>31</b> Surveiller constamment les changements de conception pour éviter toute escalade
	<b>32</b> Spécifier clairement quels seront les livrables du contrôle des coûts et du temps du projet afin de faciliter le suivi
	<b>33</b> Surveiller constamment par rapport aux jalons clés
	<b>34</b> Avoir une connaissance appropriée et s'accorder sur les implications en termes de temps et de coûts de toute variation, dans la mesure du possible, avant de procéder
	<b>35</b> S'assurer qu'il existe un manuel de contrôle des coûts et du temps du projet auquel l'équipe de surveillance sur site peut se référer en cas de doute sur le processus de contrôle du projet

Tableau 4.2 - Listes des bonnes pratiques présentées par Olawale et Sun [118] (suite et fin)

	<b>36</b> S'assurer que le personnel sur site est formé aux processus de surveillance du contrôle des coûts et du temps du projet
	<b>37</b> Mettre en place un système qui vérifie les coûts soumis par les sous-traitants par rapport au travail réellement effectué ou au paiement dû
	<b>38</b> Surveiller pour s'assurer que les travaux sont réalisés dans la limite allouée dans l'appel d'offres
	<b>39</b> Surveillance quotidienne/fréquente des coûts et du temps pour identifier préocemment les zones à risque
	<b>40</b> S'assurer que les personnes chargées de la surveillance depuis le bureau visitent régulièrement le site du projet
	<b>41</b> Veiller à ce qu'il y ait des réunions régulières de suivi des coûts et du temps du projet impliquant les planificateurs, les mètres et l'équipe de gestion sur site
	<b>42</b> S'assurer qu'il existe un système pour surveiller l'efficacité de la main-d'œuvre dans le cadre des processus de contrôle des coûts et du temps
	<b>43</b> Veiller à ce qu'il y ait un suivi régulier et indépendant du projet par une personne autre que le chef de chantier
	<b>44</b> Surveiller constamment les flux de trésorerie à court et moyen termes
	<b>45</b> Utiliser le flux de trésorerie comme premier outil de suivi
	<b>46</b> Surveiller le chemin critique du projet en utilisant des courbes en S
<b>Rapport</b>	<b>47</b> S'assurer que les informations sur l'état des coûts et du temps rapportées sont à jour
	<b>48</b> S'assurer que les rapports sont toujours honnêtes et véridiques
	<b>49</b> Rapport régulier de l'état des coûts et du temps du projet
	<b>50</b> Enregistrement précis des informations
	<b>51</b> Veiller à ce qu'il existe une relation ouverte et de confiance entre l'équipe de gestion sur site et l'équipe de bureau de projet pour garantir que les rapports du site sont honnêtes et précis
	<b>52</b> Présentation du rapport à l'aide d'outils quantitatifs (par exemple, graphiques, courbes et histogrammes)
	<b>53</b> Éviter l'utilisation de manipulations informatiques complexes pour les rapports
	<b>54</b> Incorporer des explications qualitatives dans les rapports en plus des graphiques et courbes quantitatifs, afin que les raisons derrière les résultats puissent être correctement comprises
	<b>55</b> Avoir un personnel indépendant au niveau de la direction supérieure pour évaluer les rapports afin de déterminer s'ils sont optimistes, factuels ou pessimistes
	<b>56</b> Prévoir le temps de finition et le coût final dans le cadre de l'activité d'analyse lors des contrôles de projet
<b>Analyse</b>	<b>57</b> S'assurer que les personnes sont enclines à fournir les informations en temps voulu, en particulier les informations sur les coûts, pour faciliter l'analyse
	<b>58</b> Utilisation de la comparaison entre le coût et la valeur lors de l'analyse pendant le contrôle des coûts et du temps du projet
	<b>59</b> S'assurer que les coûts et le temps sont intégrés lors de l'analyse
	<b>60</b> Analyser la performance en utilisant des courbes en S
	<b>61</b> Se concentrer sur l'efficacité de la main-d'œuvre lors de l'analyse dans le contrôle des coûts et du temps du projet
	<b>62</b> Modéliser les coûts et le temps lors de l'analyse en utilisant un modèle 5D pour visualiser comment la conception évolue (3D), comment le temps est dépensé (4D, 3D + temps) et comment les coûts évoluent (5D, 3D + temps et coûts)
	<b>63</b> Avoir un département ou une personne unique responsable à la fois du contrôle des coûts et du contrôle des délais (par exemple, un gestionnaire de contrôle de projet plutôt que d'avoir un département de planification et un département de gestion des coûts contrôlant chacun séparément les délais et les coûts).
	<b>64</b> Effectuer une analyse des tendances pour identifier les tendances dès le début
	<b>65</b> Évaluation du coût pour la période, la valeur et la valeur acquise, ainsi que le cumulatif jusqu'à présent lors de l'analyse de l'avancement du projet

Ces bonnes pratiques sont le résultat d'un sondage de 250 compagnies et 15 entrevues avec des gestionnaires de projet. Les auteurs ont ainsi pu collecter des données sur les problèmes identifiés dans la gestion de projets de construction et leur expérience de bonnes pratiques pour résoudre ces problèmes. Ensuite, le niveau d'importance des différentes bonnes pratiques a été défini après deux tours de la méthode Delphi avec un panel de huit experts en gestion de projet.

Prévalet [120] présente également de bonnes pratiques pour la gestion de projet et notamment pour certains points tels que la communication, la gestion des risques, le suivi de projet ou encore la modification de la planification initiale. Nous avons ainsi pu identifier 13 bonnes pratiques dans son livre pour venir compléter celles identifiées par Olawale et Sun [118] et la PR de l'AACE International [7]. Les bonnes pratiques selon Prévalet [120] sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.3 - Listes des bonnes pratiques présentées par Prévalet [120]

#	Bonnes pratiques selon Prévalet [120]
1	Allouer efficacement les ressources humaines, matérielles et financières nécessaires pour atteindre les objectifs du projet
2	Élaborer un plan de projet détaillé, y compris des tâches, des délais, des ressources, des budgets et des responsabilités
3	Identifier toutes les parties prenantes impliquées dans le projet et comprendre leurs attentes et leurs besoins
4	Identifier, évaluer et gérer les risques tout au long du projet pour minimiser les impacts négatifs sur les objectifs du projet
5	Utiliser des indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer et évaluer l'avancement du projet par rapport aux objectifs prévus
6	Suivre et contrôler les coûts du projet pour s'assurer qu'ils restent dans les limites du budget alloué
7	Fournir des rapports d'avancement réguliers aux parties prenantes du projet, en mettant en évidence les réalisations, les problèmes et les actions correctives
8	Établir des canaux de communication clairs et réguliers pour tenir toutes les parties prenantes informées de l'avancement du projet et des problèmes éventuels
9	Établir des procédures pour gérer les demandes de changement et évaluer leur impact sur le projet avant de les autoriser
10	Être capable de s'adapter aux changements imprévus en ajustant les plans et les priorités du projet si nécessaire
11	Effectuer une évaluation post-projet pour identifier les leçons apprises et améliorer les processus pour les projets futurs
12	Définir des méthodes de mesure de l'avancement pertinentes
13	Définir des dates pour les points d'avancement pour toutes les tâches

#### 4.1.3 Grille d'évaluation des processus de suivi et contrôle de projet

Au total, nous avons pu identifier 96 bonnes pratiques à l'aide de nos différentes sources. Un tri s'avère nécessaire, car toutes ces bonnes pratiques proviennent de trois listes différentes et peuvent contenir des doublons ou des pratiques similaires. Certaines pourraient également être non

pertinentes, car ne touchant pas au cadre du suivi et contrôle de projet. Afin de filtrer et unifier cette liste, nous avons procédé par étapes successives pour conserver dans un premier temps les pratiques considérées comme critiques ou importantes de la liste proposée par Olawale et Sun [118] afin de se concentrer sur les bonnes pratiques impactant grandement le suivi et le contrôle de projet afin de mener à la réussite de cette phase. Dans un deuxième temps, nous avons éliminé de notre liste toutes les pratiques n'ayant pas de rôle direct dans le suivi et contrôle de projet. Finalement, nous avons regroupé les pratiques similaires et proches afin d'éviter les doublons ou les redites dans notre liste. La figure ci-dessous présente le procédé de filtrage et d'unification de notre liste finale de bonnes pratiques ainsi le nombre de pratiques restantes à chaque étape.

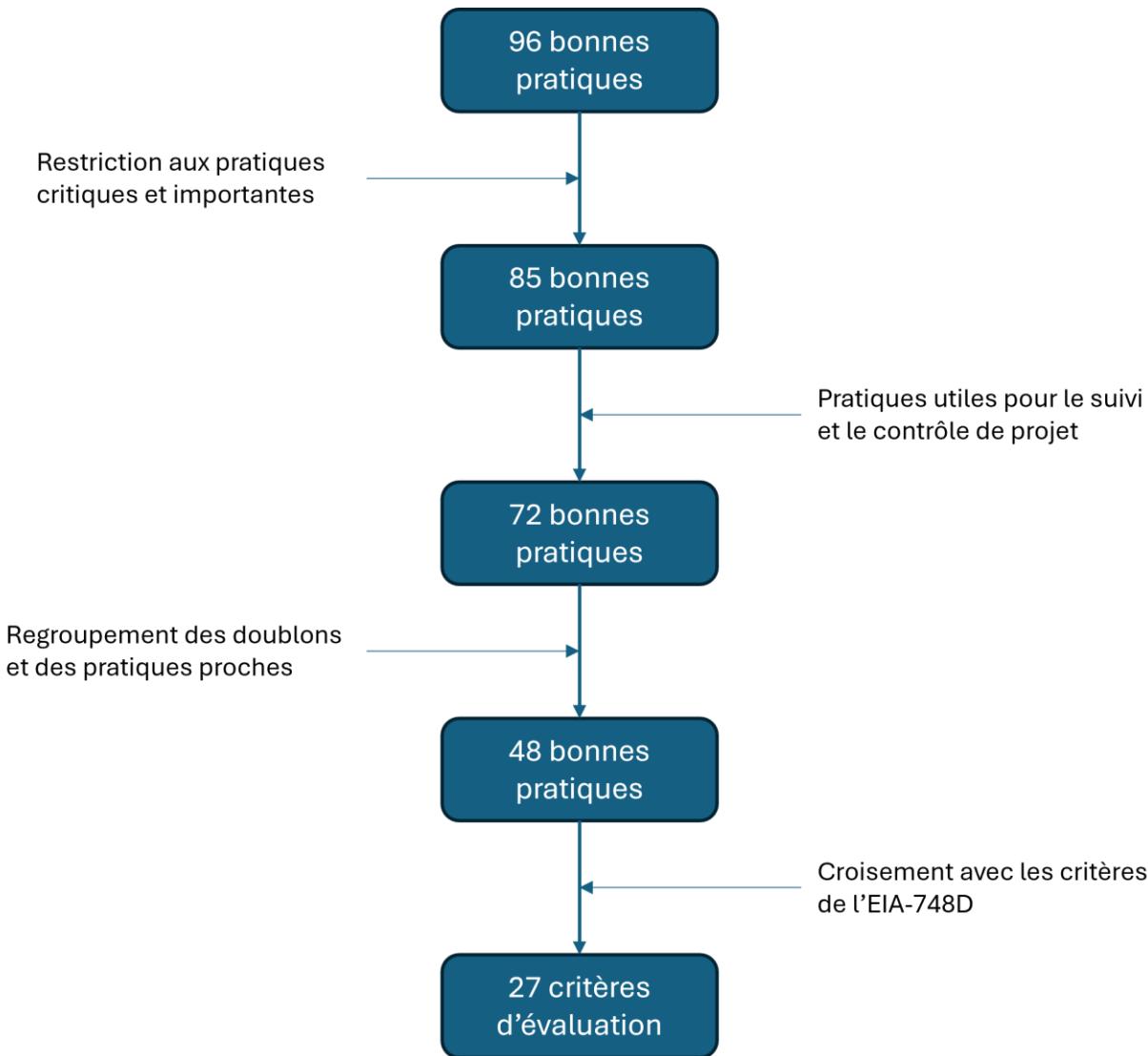


Figure 4-1 - Procédé de tri des bonnes pratiques identifiées

Les 48 bonnes pratiques restantes ont ensuite été croisées aux critères d'implantation de la méthode EVM de la NDIA, EIA-748D Earned Value Management Systems [119]. Ainsi, les critères propres à la méthode EVM ont été éliminés et les pratiques identifiées dans les trois documents scientifiques ont pu venir compléter la définition des critères restants. De cette manière, nous avons pu établir une liste de 27 critères d'évaluation de la maturité répartis selon les 5 catégories proposées par le guide de la NDIA :

- Organisation : 4 critères ;
- Planification, échéancier et budgétisation : 6 critères ;
- Contrôle des coûts : 1 critère ;

- Analyses et management des rapports : 13 critères ; et
- Révisions et maintenance des données : 3 critères.

La grille complète pour l'évaluation de la maturité des processus de suivi et contrôle de projet est présentée en annexe B.

## **4.2 Processus de suivi et de contrôle de projet dans un chantier naval**

### **4.2.1 Entrevue**

L'objectif des entrevues avec un planificateur et un responsable de maintenance est de réaliser la modélisation des processus d'affaires utilisés par le partenaire pour conduire les opérations de suivi et contrôle de projet lors d'un projet de maintenance court appelé Short Work Period (SWP).

Nous avons identifié trois types d'intervenants principaux dans le processus de suivi et contrôle de projet chez le partenaire :

- L'équipe interne de planification/gestion. Elle est composée des personnes suivantes : responsable de la maintenance du navire, coordonnateur de maintenance, coordonnateur de calendrier et l'équipe de planification qui s'assure du bon déroulement de la maintenance ;
- Les prestataires externes qui sont responsables de la réalisation des opérations de maintenance ; et
- Les membres d'équipage du navire qui s'assure de la bonne réalisation des travaux de maintenance exécutés par les prestataires.

Nous avons ainsi identifié deux phases principales dans le processus de suivi et contrôle de projet. La première phase correspond à la phase de planification initiale, qui débute environ 16 semaines avant le début de la période de maintenance et se termine deux semaines avant le début de la maintenance avec l'établissement des plans de référence. La deuxième phase correspond à la phase de suivi et de contrôle durant l'exécution du projet. Elle débute avec le début de premières activités et se termine avec la clôture du projet qui correspond au moment où toutes les tâches techniques et administratives prennent fin.

- La première phase regroupe donc des activités liées à la planification du projet et à l'établissement des plans de référence. Premièrement, les routines de maintenances préventives qui doivent être conduites sont identifiées par le planificateur pour ensuite préparer les documents d'appel d'offres et enfin soumettre ces appels d'offres aux éventuels

prestataires. Ces derniers préparent un dossier pour répondre à cet appel d'offres qu'ils soumettent ensuite à notre partenaire. Le partenaire choisi parmi les offres reçues, quel prestataire va conduire quelles activités de maintenance avant de les intégrer à sa planification. Une fois toutes les routines de maintenances préventives planifiées, le partenaire ajoute à cette planification toutes les opérations de maintenances correctives possibles.. Enfin, les plans de référence sont établis ; et

- Pour les activités de suivi et de contrôle, le partenaire transmet aux différents prestataires la planification de maintenance. Les prestataires exécutent ensuite les actions de maintenance qui leur sont attribuées puis indiquent aux membres d'équipage du navire que le travail a été réalisé. Un membre d'équipage inspecte alors le travail réalisé et donne son accord ou non sur l'accomplissement de ce dernier. Si la réalisation lui semble correcte, le membre d'équipage informe le coordonnateur de maintenance que le travail a été réalisé. Ensuite, le coordonnateur de maintenance valide le travail complété et remplit la documentation associée à ce travail avant de transmettre la documentation au responsable de la maintenance qui pourra à son tour compléter la documentation sur le travail avant de pouvoir fermer l'ordre de travail de la tâche de maintenance. En parallèle, le coordonnateur de maintenance met à jour le fichier du calendrier avec les travaux réalisés. Des réunions de suivi se tiennent toutes les semaines et l'après-midi précédent cette réunion hebdomadaire, l'équipe de gestion se réunit pour faire le point sur l'avancement de la maintenance du navire. Pour cela, l'équipe de gestion valide le pourcentage de tâches accomplies et prépare la réunion du lendemain avec ces informations. La réunion de suivi est ensuite conduite afin de faire un rapport sur l'état d'avancement de la maintenance du navire. Lors de cette réunion, les causes de non-complétions des activités concernées sont aussi abordées avec le client. En effet, le partenaire va rechercher avec le client l'origine de la non-complétion afin de savoir qui en est le responsable, s'il s'avère que c'est le partenaire qui est en cause, il encourre des pénalités. Ensuite, l'équipe de gestion étudie la priorité des activités qui n'ont pas pu être complétées afin de savoir si la réalisation de celles-ci est requise ou si elle peut être reportée. Si les activités ne doivent pas obligatoirement être conduites durant cette période, elles seront reportées à une prochaine période de maintenance, sinon les activités vont être replanifiées dans la même période de maintenance au risque de retarder la remise du navire au client.

Une fois que toutes les activités planifiées et obligatoires ont été réalisées et la documentation complétée, le navire peut être remis au client et le projet de maintenance est clos.

#### **4.2.2 Cartographie des processus au formalisme BPMN 2.0**

Afin d'offrir une meilleure compréhension des processus d'affaires utilisés par le partenaire pour assurer le suivi et le contrôle de projet, une modélisation au format BPMN 2.0 est développée à l'aide des informations obtenues durant les entrevues avec les intervenants décrites dans la sous-section précédente. La cartographie obtenue a ensuite été révisée et validée par les intervenants.

Le BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation) est un formalisme de modélisation graphique conçu pour représenter de manière standardisée les processus métier d'une organisation. Le formalisme BPMN 2.0 utilise des piscines (*pools*) et des couloirs (*lanes*) afin d'organiser et structurer les processus en fonction des différents acteurs et/ou départements impliqués (Figure 4-2). Une piscine représente généralement une entité ou un participant majeur, telle qu'une organisation ou un service externe. Les couloirs, quant à eux, segmentent la piscine en sous-unités, représentant différents rôles, départements ou équipes au sein de cette entité. Cette structuration visuelle aide à mettre en évidence les flux de travail et facilite la compréhension des rôles et des dépendances.

La notation BPMN 2.0 propose également des symboles spécifiques pour illustrer les éléments essentiels des processus, tels que les tâches, les événements, les passerelles et les flux de séquence, afin de créer une représentation visuelle des enchaînements d'activités et des interactions entre acteurs (Figure 4-3). Cette standardisation facilite non seulement la communication entre les parties prenantes, mais également l'automatisation et l'optimisation des processus en soutenant des analyses détaillées et la simulation de scénarios d'amélioration. Finalement, le BPMN 2.0 est un outil clé pour aligner la modélisation des processus métier avec les besoins d'une organisation en matière de transformation digitale et de gestion de la performance.

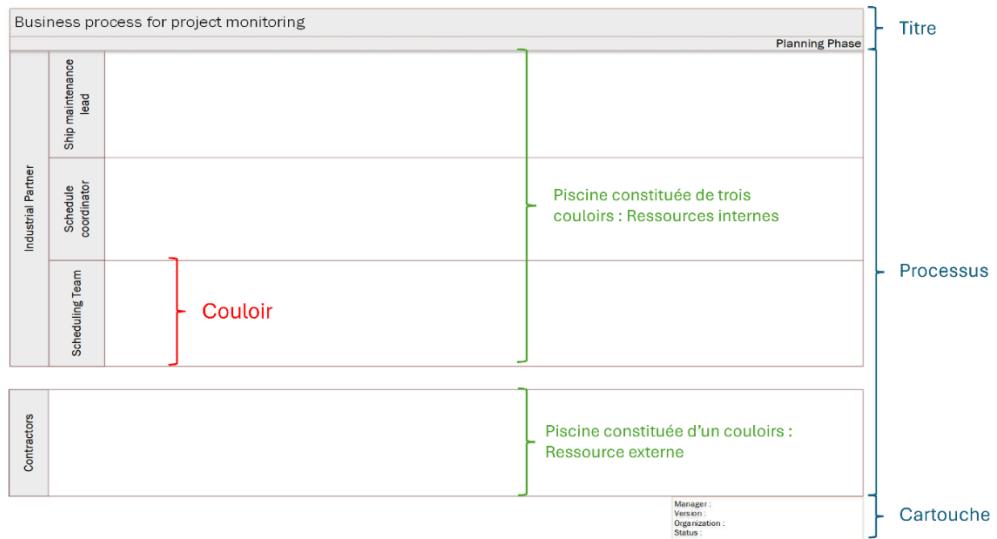


Figure 4-2 - Modèle de cartographie BPMN 2.0

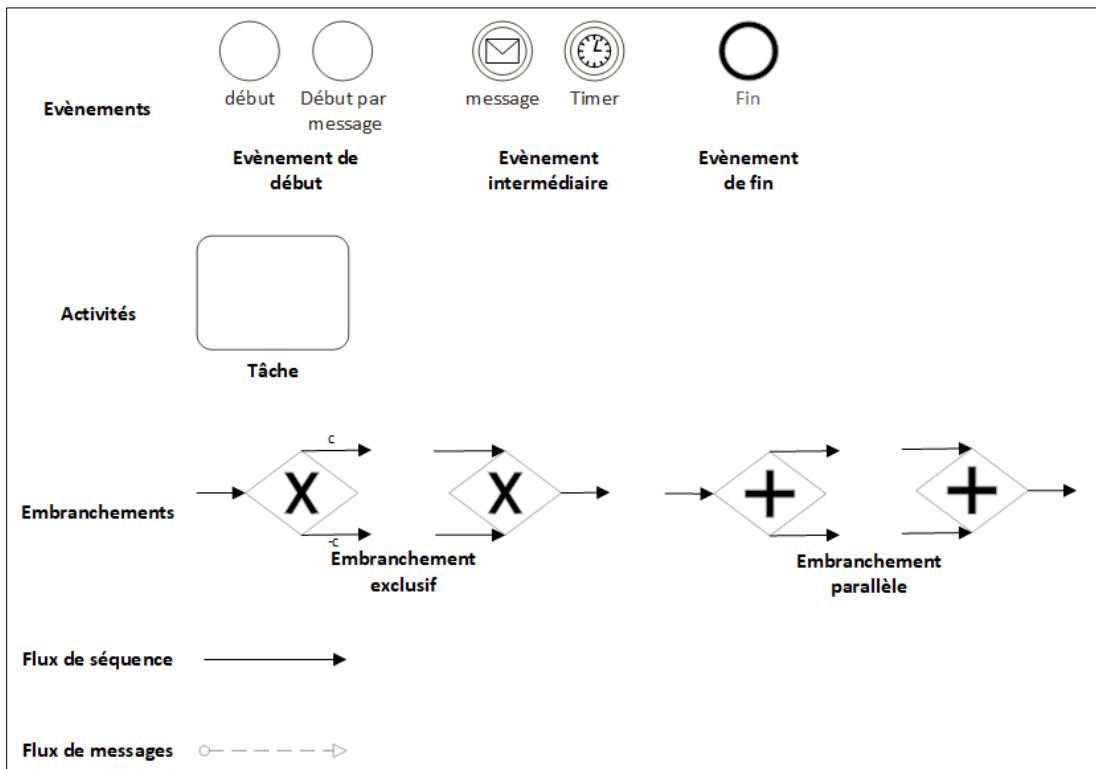


Figure 4-3 – Exemple de symboles utilisé dans les cartographies BPMN 2.0

La modélisation des processus de suivi et contrôle de projet du partenaire est disponible dans les Figure 4-4 pour la phase 1 et la Figure 4-5 pour la phase 2.

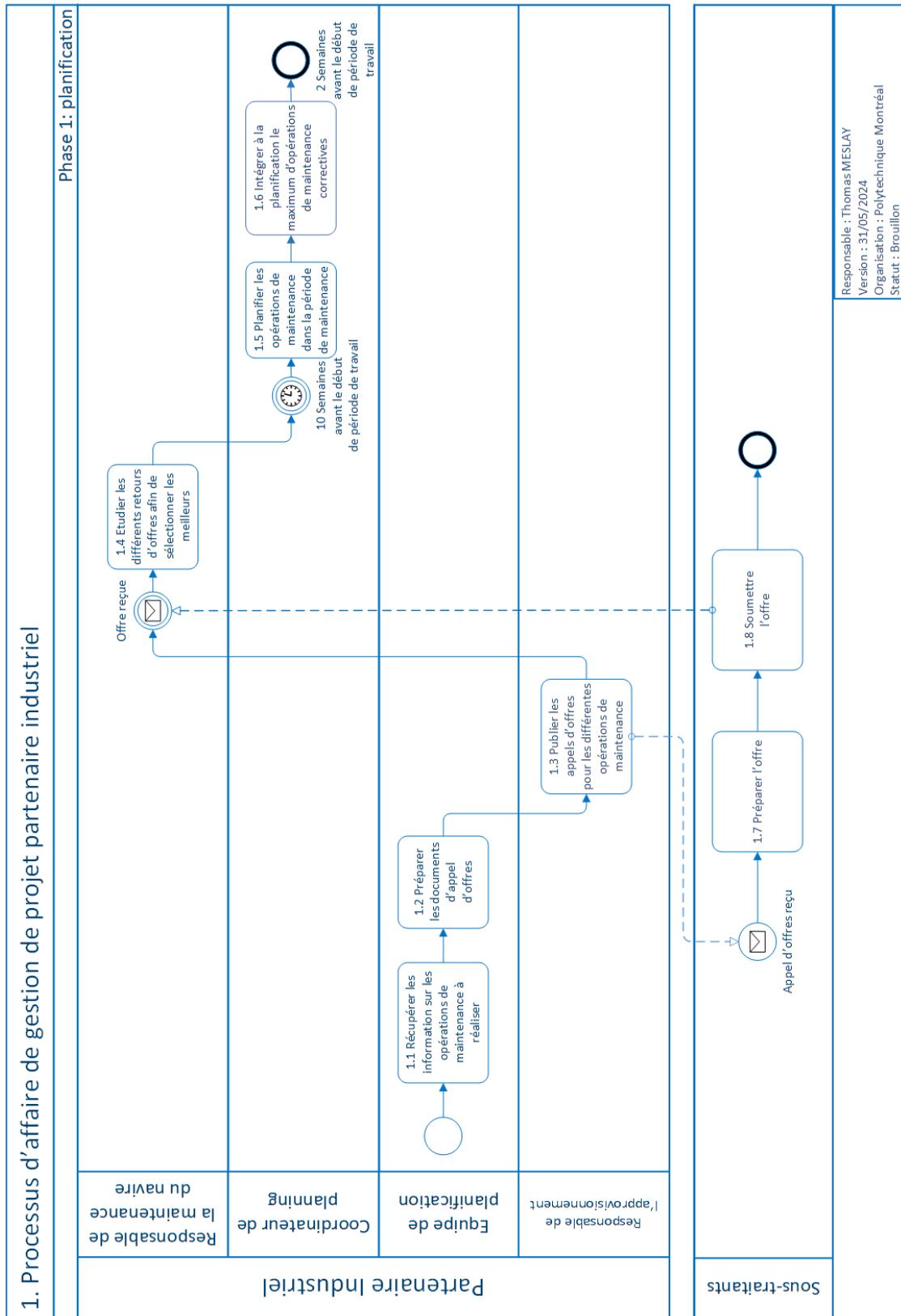


Figure 4-4 - Première phase du processus de suivi et contrôle du partenaire

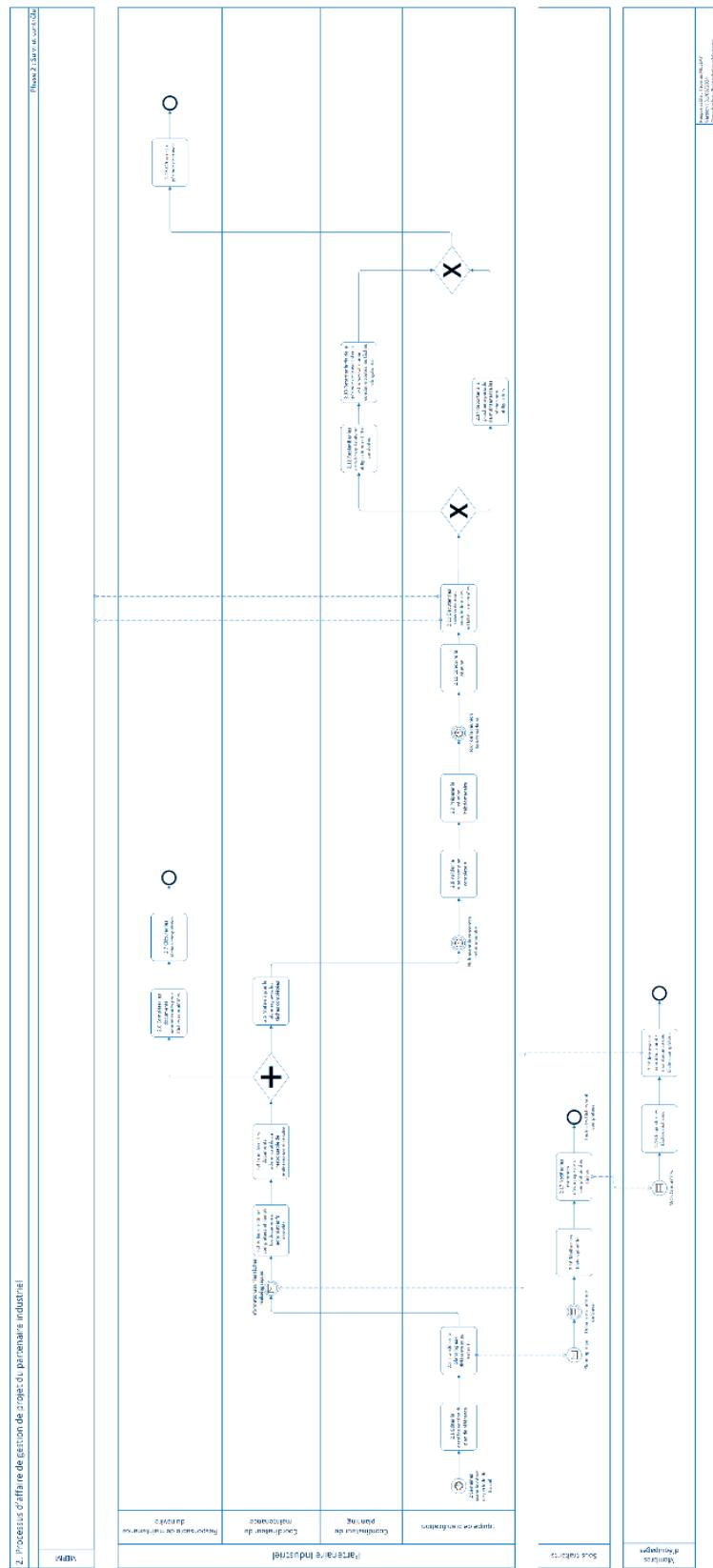


Figure 4-5 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle du partenaire

Comme expliqué lors de la section précédente, la modélisation se divise en deux cartographies qui représente les deux phases du processus de suivi et contrôle de projet du partenaire : la phase de planification et la phase de suivi et contrôle de projet. La planification est cruciale pour le suivi et le contrôle d'un projet, car elle définit les objectifs, les échéances et les ressources nécessaires, permettant ainsi de mesurer l'avancement et d'ajuster les actions pour respecter les délais et le budget [4].

Les cartographies permettent de visualiser rapidement et facilement les grandes étapes permettant la réalisation du suivi et du contrôle de projet ainsi que les différentes interactions entre toutes les parties prenantes.

### **4.3 Évaluation de la maturité**

#### **4.3.1 Résultats de l'évaluation de la maturité**

En confrontant les pratiques et les procédures actuellement en place chez le partenaire avec la grille d'évaluation de la maturité développée, nous avons pu évaluer la maturité des processus de suivi et contrôle de projet du partenaire. L'audit de ces processus est réalisé à l'aide d'un barème de notation allant d'un à cinq, attribué à chaque critère des catégories illustrées dans la Figure 4-6, avec leur code couleur correspondant. Ce barème de notation est couramment employé en ingénierie [121]. Les cinq niveaux utilisés sont les suivants [122]:

- Niveau 1 : Élément non réalisé ou exécuté de manière chaotique ;
- Niveau 2 : Élément réalisé uniquement sur des projets isolés, sans cohérences entre les différents projets ;
- Niveau 3 : Élément réalisé sur de nombreux projets, avec l'émergence de bonnes pratiques associées ;
- Niveau 4 : Élément standardisé à l'échelle de l'entreprise ; et
- Niveau 5 : Élément optimisé en amélioration continue.

Ainsi, à l'aide de notre grille d'évaluation et de notre barème, nous avons pu attribuer une note à chacun des critères afin d'établir le diagramme RADAR (Figure 4-7) montrant la maturité des processus du partenaire. L'évaluation complète est disponible en annexe D.

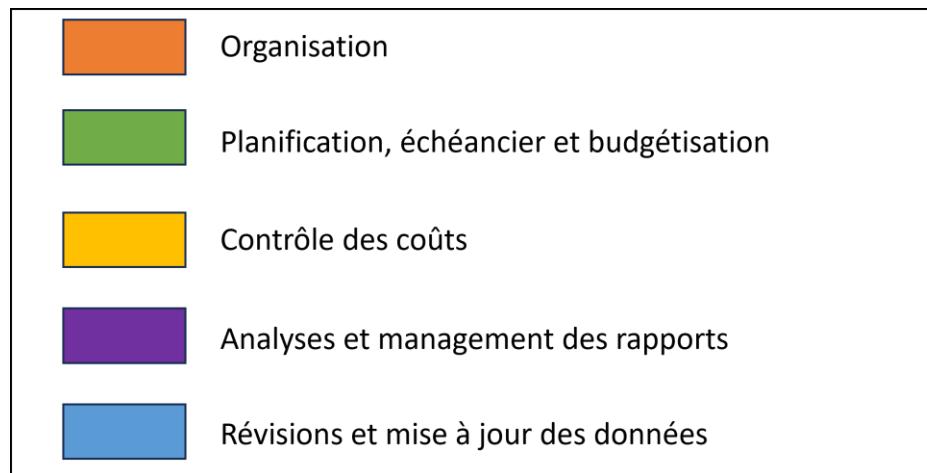


Figure 4-6 - Les catégories des critères d'évaluation de la maturité

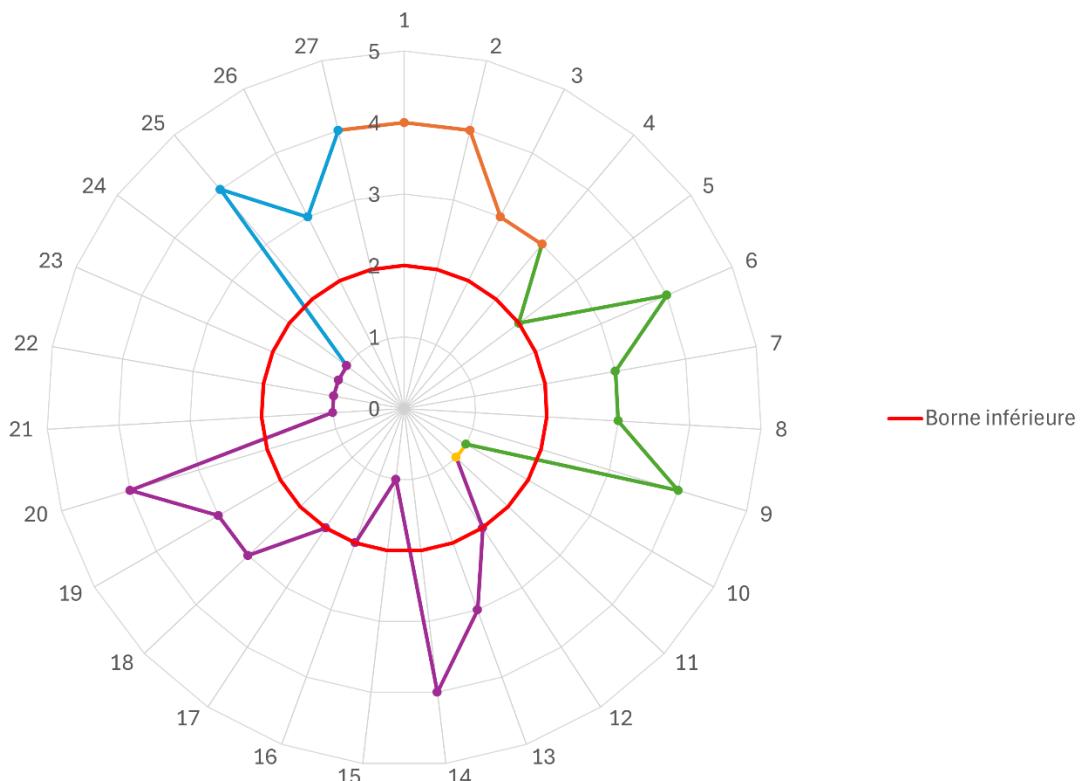


Figure 4-7 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à T0

La maturité globale des processus de suivi et contrôle de projet chez le partenaire a été établie à 2,63 en moyenne. Ce diagramme radar nous permet d'interpréter rapidement le résultat de notre évaluation. Nous pouvons observer une certaine disparité entre les différentes catégories, certaines

catégories dépassent la note de 3,5, comme pour *l'organisation ou la révision et la mise à jour des données* qui ont obtenu respectivement les notes de 3,5 et 3,67, tandis que d'autres dépassent difficilement la note de 2 comme pour *l'analyse et le management des rapports* avec la note de 2,15. Nous pouvons ainsi cibler les catégories présentant le plus d'opportunités d'amélioration.

Ce document permet d'établir un diagnostic initial des processus du partenaire et servira de référence pour la comparaison des futures maturités des différentes propositions d'améliorations. Cependant, il est important de souligner que l'objectif principal des diagrammes de maturité n'est pas tant l'évaluation du niveau de maturité lui-même, mais plutôt la compréhension des processus nécessaires à leur réalisation et la détermination d'opportunités d'amélioration.

### **4.3.2 Cahier des charges des propositions d'amélioration**

L'objectif principal de ces propositions est d'améliorer la maturité des processus du partenaire, permettant ainsi de réaliser ses opérations de suivi et de contrôle de manière plus efficace et plus efficiente avec des procédures simplifiées et accélérées.

Cependant, un certain nombre de facteurs est à prendre en considération durant le développement de nos propositions afin de s'adapter aux nombreuses contraintes et caractéristiques auxquelles est soumis ce type de projet. Ces projets sont soumis à de fortes incertitudes, en effet, il peut parfois s'écouler plusieurs mois, voire une année, entre les soumissions pour la réalisation du projet (devis, nature des opérations à réaliser, etc.) et son lancement. Ce qui peut conduire à des écarts notables dans l'état du navire entre la planification du projet et le début de sa réalisation comme nous l'expliquent Boudreault et al. et Bruce [123, 124]. Ces différences peuvent conduire à des modifications substantielles dans la cédule de base du projet dès les premières phases d'exécution. Malgré ces écarts, les délais de réalisation du projet doivent être tenus. En effet les projets de réfection des navires de la marine royale canadienne ont des durées strictement définies. La fenêtre de réalisation de chaque projet est planifiée entre deux dates non modifiables, aucun retard n'est admis [1, 123]. Cette contrainte de date rend difficile la réalisation complète des activités déjà planifiées, mais aussi l'ajout de nouvelles tâches résultant des inspections pouvant révéler des dégradations plus sévères que prévues. Une priorisation des activités de réfection est donc établie afin que les activités requises pour la prochaine mission du navire soient achevées avant les activités moins importantes. Pour ce faire, les chargés de projets doivent procéder à des arbitrages

et négociations pour décider de la réalisation partielle ou la non-réalisation de certaines activités [1, 125].

La consommation et l'utilisation des ressources sont également des éléments importants à prendre en compte lors de planification, mais aussi lors du réordonnancement de projet. En effet, la réalisation de certaines activités peut rendre inaccessibles certaines parties du navire (c.-à-d. Production de forte chaleur lors d'opération de soudure rendant les pièces adjacentes inaccessibles, test des radars émettant une forte quantité d'ondes rendant le pont du navire inaccessible, etc.) [1, 126]. De plus, la réalisation de certaines activités peut également nécessiter l'utilisation de ressources particulières, telles que des engins de levage, qui peuvent être rares et partagés avec d'autres projets en cours dans le chantier naval [1].

#### **4.4 Conclusion**

La phase d'évaluation de la maturité nous a fourni une évaluation exhaustive et comparative des pratiques de suivi et contrôle de projet chez le partenaire par rapport aux pratiques identifiées dans la littérature. Cette évaluation nous permet ainsi d'effectuer un premier diagnostic sur les pratiques du partenaire, d'en faire ressortir les points forts, mais également les différentes opportunités d'améliorations.

Grâce à ces premiers résultats, nous allons établir notre stratégie quant aux propositions d'améliorations. Une stratégie en deux temps, avec une première proposition d'amélioration à court terme et la deuxième à plus long terme, va être développée dans le chapitre suivant.

## **CHAPITRE 5 PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION DES PROCESSUS EXISTANTS**

Le chapitre précédent a révélé de nombreuses opportunités de recherches et d'améliorations dans les processus de planification et de contrôle des activités de réfection chez notre partenaire industriel. Ce chapitre présentera la stratégie d'amélioration adoptée ainsi que les deux phases d'implantation des améliorations avec pour but d'accroître le score de maturité des processus du partenaire.

### **5.1 Stratégie d'amélioration pour le partenaire**

Après l'étude des pratiques du partenaire et l'établissement de la maturité à  $T_0$  (l'existant), nous allons proposer une stratégie d'amélioration en deux temps à notre partenaire. Les deux temps de l'amélioration,  $T_1$  et  $T_2$ , représentent des stratégies à court et long termes.

La première stratégie,  $T_1$ , comme rappelé précédemment, est une stratégie à court terme et nécessitant peu de ressources ou d'efforts. La proposition à  $T_1$  vise à modifier les processus existants sans pour autant y apporter de modifications majeures, c'est-à-dire qu'on évite l'ajout de nouvelles ressources ou de nouvelles documentations afin de toujours respecter les procédures administratives du partenaire.

Cette stratégie doit pouvoir être implantée chez le partenaire dans un délai inférieur à 6 mois. Les nouveaux processus et donc la nouvelle méthode pour le suivi et le contrôle de projet doivent correspondre à une méthode de base dépourvue de toute optimisation.

La deuxième stratégie,  $T_2$ , correspond à une implantation optimisée de la stratégie  $T_1$ . Avec cette stratégie, nous cherchons à la fois une optimisation au niveau des processus, mais également au niveau des technologies employées pour la réalisation du suivi et contrôle de projet.

Cette optimisation permettrait au partenaire d'avoir une prise de décision décentralisée en temps réel à l'aide des technologies 4.0 qui pourront être déployées. L'implantation de cette stratégie est donc sur du moyen à long terme.

## 5.2 Propositions d'améliorations à $T_1$

### 5.2.1 Descriptions des améliorations à $T_1$

Tel qu'expliqué précédemment, l'objectif des propositions décrites dans cette section est de proposer au partenaire un processus permettant de réaliser les opérations de suivi et de contrôle qui servira de base pour les propositions à  $T_2$ . Pour cela, les propositions sont des méthodes de base.

L'objectif de cette partie est donc de décrire les propositions d'améliorations qui permettraient à notre partenaire de renforcer sa rigueur et son efficacité lors des processus de suivi et contrôle de projet et ainsi faciliter la gestion des projets. En prenant en compte les limites identifiées et les ressources disponibles, les propositions qui suivront visent à apporter des solutions adaptées, tout en évitant de nouveaux investissements et en minimisant les impacts sur les procédures administratives du partenaire.

Une première proposition d'amélioration serait la modification de la liste des ordres de maintenance à réaliser. En effet, le partenaire utilise actuellement une simple liste afin de suivre les ordres de maintenance réalisés ou à réaliser. Cette liste leur permet de calculer un indicateur, le *Percent Plan Complete* (PPC) qui est la proportion du nombre d'ordres réalisé à une date  $t$  par rapport au nombre d'ordres total planifié. Cet indicateur informe sur l'avancement du projet, mais n'indique pas si le projet va finir dans les délais ou non, et ne donne également pas d'information sur les ordres de maintenance qui ont pu causer un retard ou un dépassement du budget ni sur les raisons de cette déviation. La première proposition consisterait donc à ajouter la collecte de nouvelles données afin de calculer des indicateurs additionnels portant sur l'état du projet. Pour ce faire, la liste pourrait être mise sous forme de tableau et de nouvelles colonnes pourraient être utilisées afin de renseigner les informations lors de la planification des ordres de maintenance telles que leur coût planifié, la date planifiée de réalisation, mais également les informations lors de l'exécution du projet comme le budget réel et la date réelle de réalisation de l'ordre de maintenance. Ces colonnes permettraient également de transmettre des informations complémentaires si un écart survenait entre ce qui a été planifié et ce qui s'est réellement passé lors de l'exécution du projet comme les raisons de dépassement des coûts ou de retard. Une des colonnes permettrait aussi de joindre tout document permettant de compléter les informations des écarts.

Avec l'accès à ces nouvelles données, de nouveaux indicateurs peuvent être calculés tels que ceux utilisés dans la méthode EVM, un SPI au niveau du projet (1) et des CPI au niveau des ordres de

maintenance (2) et du projet (3), permettant d'avoir accès à des informations quant à l'état du projet comme les éventuels dépassements du budget ou les retards dans la réalisation des ordres de maintenance. Ces nouveaux indicateurs seraient définis par les équations :

$$SPI(t) = \frac{\text{nombre d'ordres réalisés à la date } t}{\text{nombre d'ordres planifiés à la date } t}, \quad (1)$$

où  $t$  est la date de calcul de l'indicateur.

$$CPI(a) = \frac{\text{dépense planifiée pour l'ordre de maintenance } a}{\text{dépense réelle pour de l'ordre de maintenance } a}, \quad (2)$$

où  $a$  est l'ordre de maintenance dont on souhaite connaître l'indicateur.

$$CPI(t) = \frac{\text{dépense planifiée à la date } t}{\text{dépense réelle à la date } t}, \quad (3)$$

où  $t$  est la date de calcul de l'indicateur.

Grâce à ces formules, nous allons pouvoir obtenir davantage d'informations sur l'état du projet. Ces indicateurs permettront d'identifier si le projet est en dépassement du budget ou s'il est en retard. En effet, si les indicateurs indiquent une valeur supérieure ou égale à 1, alors le projet est en bonne santé, cependant, si les valeurs indiquées sont inférieures à un, alors le projet peut être en péril, soit pour un dépassement des coûts, si  $CPI(t) < 1$ , ou en retard si  $SPI(t) < 1$ .

Le calcul de ces indicateurs requiert de suivre et d'enregistrer les coûts réels et la date réelle d'exécution des ordres de maintenance. Ce qui serait impossible sans tenir à jour la nouvelle liste d'ordres de maintenance, qui est l'objet de la deuxième proposition d'amélioration.

La définition d'une réserve de budget constitue une troisième proposition d'amélioration. En effet, les projets associés à la maintenance ou à la réfection de navire connaissent d'importantes variabilités avec par exemple l'apparition de nouvelles tâches à la suite d'opérations de diagnostic ou même durant les réparations. Une réserve de budget permet d'avoir une flexibilité financière face aux imprévus et aux risques en permettant de couvrir des dépassements de coûts liés aux aléas qui peuvent survenir dans ce type de projet, tels que les retards ou l'apparition de nouveaux ordres de maintenance durant l'exécution du projet. Cette réserve permet de réagir rapidement sans perturber les budgets planifiés pour les autres ordres de maintenance et maintenir le projet sur la bonne voie.

L'intégration d'une procédure de demande de changement d'ingénierie afin de prendre en considération l'ajout ou le retrait de certains ordres de maintenance lors de l'exécution du projet constitue une autre proposition d'amélioration. Par exemple, Fleurent [127] propose une procédure de demande de changement pour le secteur de la construction, cette procédure pourrait être adaptée au contexte des chantiers maritimes. La procédure commence par l'identification d'un changement, qui est ensuite documenté dans un formulaire envoyé par l'initiateur au chef de projet. Celui-ci soumet le formulaire à une évaluation préliminaire en réunion avec les chefs des différents départements, afin de déterminer la pertinence d'une étude plus approfondie. Ensuite, chaque chef de département évalue les impacts potentiels du changement dans son domaine et transmet les informations au chef de projet. Après la signature des responsables, une évaluation finale est réalisée pour valider l'impact sur le budget, l'échéancier et l'avancement du projet. Enfin, le contrôleur/planificateur de projet met à jour le système de gestion, en intégrant les modifications approuvées et en ajustant les ressources et le budget nécessaires.

Enfin, la dernière proposition d'amélioration serait l'utilisation d'un tableau de bord permettant de transmettre aux parties prenantes les informations relatives à l'avancement du projet de manière hebdomadaire ou même de manière quotidienne. L'utilisation d'un tableau de bord permet la centralisation des informations essentielles du projet et d'offrir une vue d'ensemble de l'état du projet en temps presque réel. Le tableau de bord va permettre le suivi des performances, des délais et des budgets, facilitant une prise de décision rapide et éclairée. Son utilisation favorise la transparence et simplifie la communication entre les parties prenantes, il aide à mieux comprendre l'avancement et à identifier les obstacles potentiels en permettant ainsi une gestion proactive et réactive grâce à sa capacité à anticiper les risques. Enfin, en servant de support pour l'évaluation des performances, le tableau de bord contribue à l'apprentissage continu et à l'amélioration des futurs projets.

Pour résumer, les propositions précédentes peuvent être divisées en neuf suggestions clés d'amélioration pour le partenaire :

- a. Ajouter des colonnes à la liste de maintenance pour y renseigner les valeurs de coûts planifiés et de date planifiée pour chacun des ordres de maintenance ;
- b. Ajouter des colonnes à la liste de maintenance pour y renseigner les valeurs de coûts réels et de date réelle pour chacun des ordres de maintenance ;

- c. Calculer de nouveaux indicateurs,  $CPI(t)$  et  $CPI(a)$ , permettant l'évaluation de la santé du projet en termes de coûts, respectivement au niveau du projet et au niveau des ordres de maintenance ;
- d. Définir un nouvel indicateur,  $SPI(t)$ , permettant l'évaluation de la santé du projet en termes de délai au niveau du projet ;
- e. Utiliser les nouveaux indicateurs et ceux déjà en place pour analyser les écarts entre ce qui a été planifié et ce qui se produit réellement et identifier les activités à l'origine des variances et ajouter d'une colonne à la liste de maintenance pour documenter les raisons causant les écarts et non-réalisations ;
- f. Enregistrer les coûts réels et les dates réelles d'exécution ;
- g. Définir une réserve de budget basée sur les expériences et projets passés pour anticiper les risques ;
- h. Intégrer une procédure de demande de changement d'ingénierie pour mettre à jour le plan de projet ; et
- i. Utiliser un tableau de bord pour suivre les informations importantes du projet telles que les indicateurs de performance ainsi que leur interprétation.

Avec l'application de ces propositions d'amélioration, le partenaire améliorera la maturité de ces processus de suivi et de contrôle de projet et les processus modifiés constitueront une base solide pour recevoir par la suite de nouvelles améliorations et des optimisations qui seront étudiées pour la proposition à  $T_2$ .

### **5.2.2 Modifications des processus du partenaire à $T_1$**

Avec ces propositions, nous avons pu apporter des modifications aux cartographies des processus du partenaire. Pour faciliter la lecture et permettre une meilleure compréhension des modifications qu'apportent les propositions d'amélioration, nous avons donc choisi d'utiliser le code couleur du formalisme GRMI 4.0 proposé par Mosser [128]. Cette codification permet de différencier les nouvelles activités du processus, celles modifiées ou encore celles réaffectées ou problématiques. Elle permet d'appréhender avec plus d'aisance les modifications apportées aux processus du partenaire. Les couleurs associées aux changements cités précédemment sont présentées dans la Figure 5-1 ci-dessous.

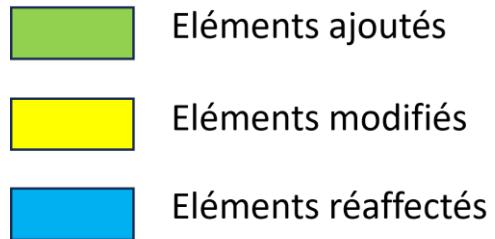


Figure 5-1 - Code couleur des activités du GRMI 4.0 [128]

Grâce à ce formalisme, les processus modifiés ont pu être développés et sont présentés Figure 5-2 pour la phase un et Figure 5-3 pour la phase deux.

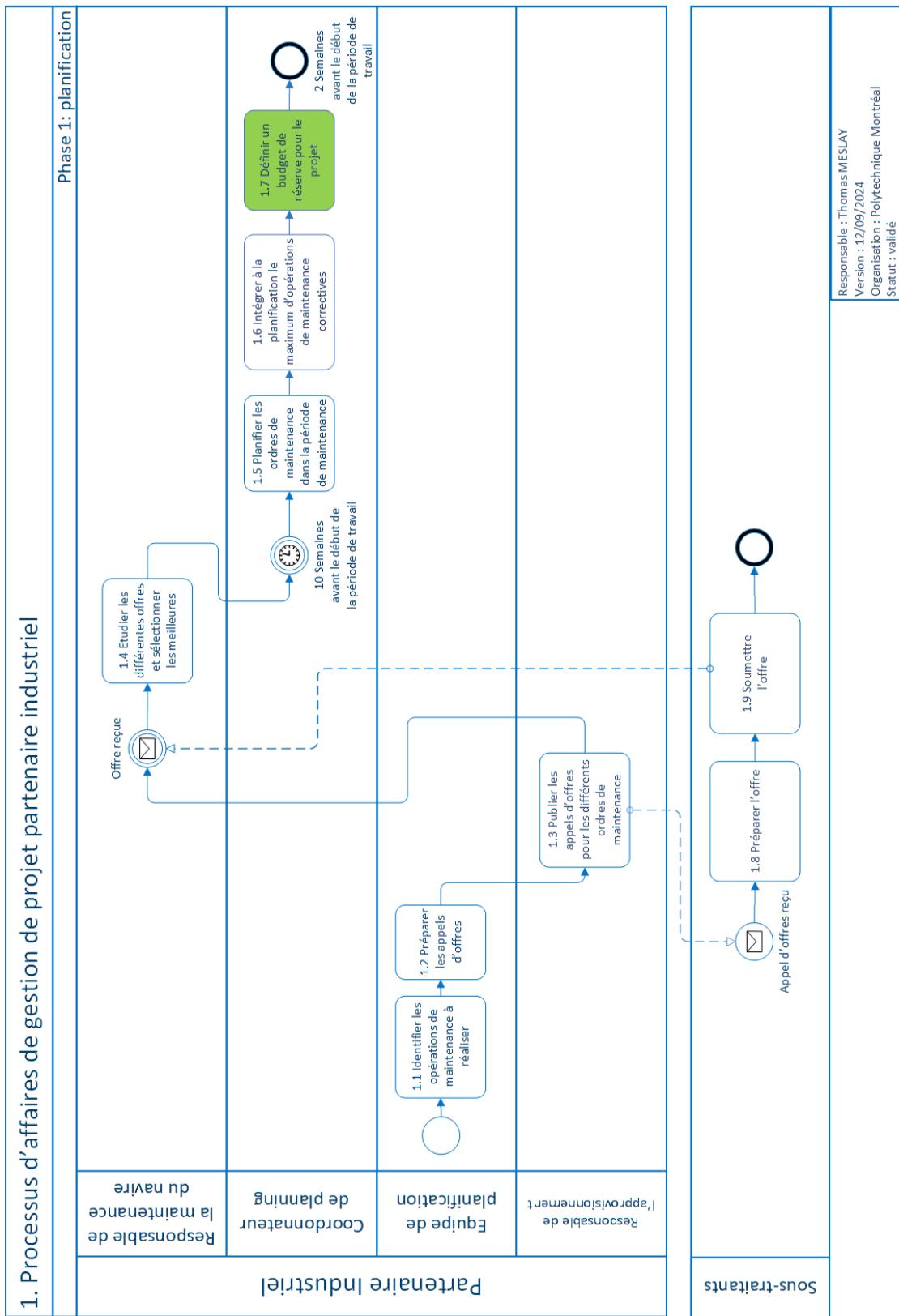


Figure 5-2 - Première phase du processus de suivi et contrôle modifié à  $T_1$  du partenaire

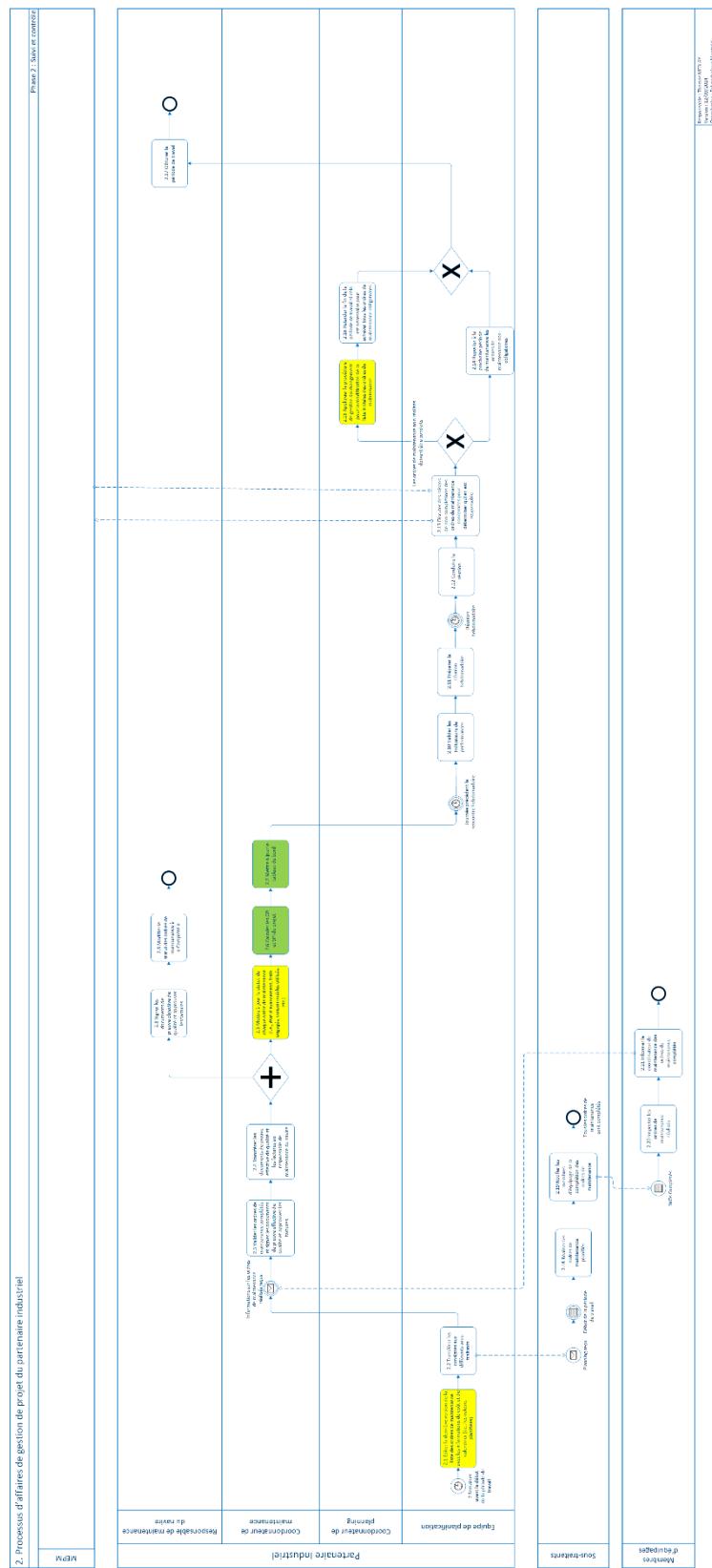


Figure 5-3 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle modifié à  $T_1$  du partenaire

Comme expliqué plus tôt, la codification couleur du GRMI 4.0 permet de rapidement interpréter les modifications apportées aux processus du partenaire. On constate que les modifications interviennent uniquement dans les couloirs des ressources du partenaire, ce qui est normal, car les autres parties interviennent principalement pour l'exécution des ordres de maintenances.

On peut observer l'ajout de trois nouvelles étapes dans les processus et la modification de trois autres. Ces modifications reflètent les propositions décrites dans la section précédente. La lecture de ces cartographies permet également d'identifier qu'aucun investissement dans de nouvelles ressources ou dans de nouvelles technologies n'est nécessaire, ce qui cohérent avec les orientations stratégiques du partenaire pour  $T_1$ .

### **5.2.3 Évaluation de la nouvelle maturité**

Les neuf suggestions d'amélioration qui constituent la proposition à  $T_1$  peuvent être regroupées suivant six catégories, chacune contenant une à plusieurs suggestions d'amélioration ayant des impacts sur plusieurs critères de maturité. Le code couleur associé aux différentes catégories et leurs impacts sur les différents critères sont présentés respectivement dans la Figure 5-4 et la Figure 5-5 ci-dessous :

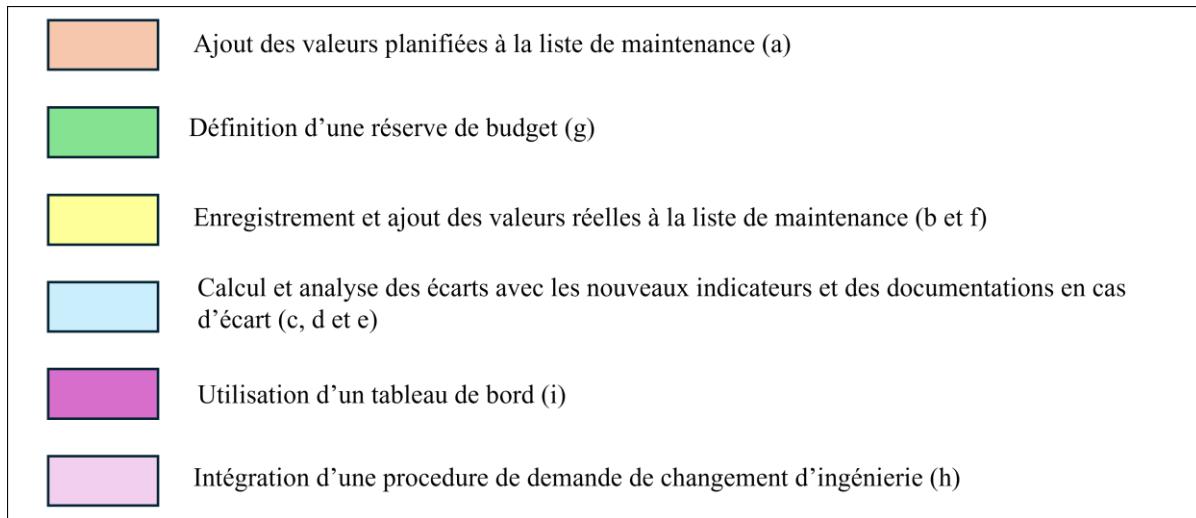


Figure 5-4 – Les six catégories d'amélioration pour la proposition  $T_1$

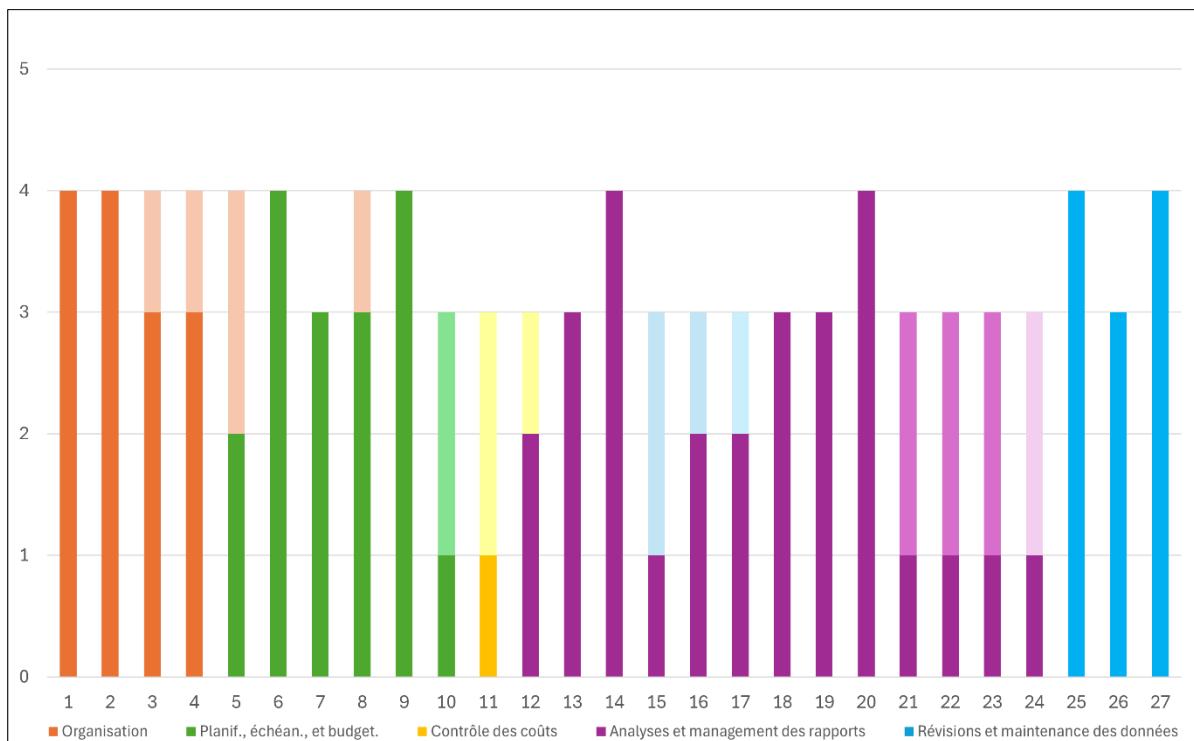


Figure 5-5 – Impact sur la maturité apporté par les propositions à  $T_1$

Grâce à la Figure 5-5, nous pouvons observer quels sont les impacts des améliorations sur les différents critères d'évaluation. Par exemple, l'amélioration consistant à ajouter les valeurs réelles de coûts et de dates à la liste de maintenance du partenaire permettrait un gain de 2 points pour le critère 11, passant sa note de 1 à 3, et de 1 point pour le critère 12, passant sa note de 2 à 3.

Comme expliqué plus tôt, l'objectif de la proposition à  $T_1$  est d'avoir des processus constituants une base solide pour la suite du projet et pouvant être mise en place à court terme. Pour cela, les nouveaux processus sont dépourvus d'optimisation et comportent uniquement des méthodes de base. Les nouvelles notes pour les critères de maturité sont de 3 ou 4 sur 5 uniquement, c'est-à-dire que de bonnes pratiques se dégagent et que les procédures commencent à être standardisées au niveau de l'entreprise.

Ainsi, si le partenaire souhaite appliquer l'ensemble des améliorations présentées dans la partie précédente, le partenaire pourrait voir la maturité de ses processus augmenter à 3.43 sur 5, soit une hausse de près de 0.8 point par rapport aux processus actuels. On peut notamment observer une amélioration de 1 point pour les pratiques de la catégorie *analyse et le management des rapports*.

Le nouveau profil RADAR obtenu est présenté dans la Figure 5-6 ci-dessous.

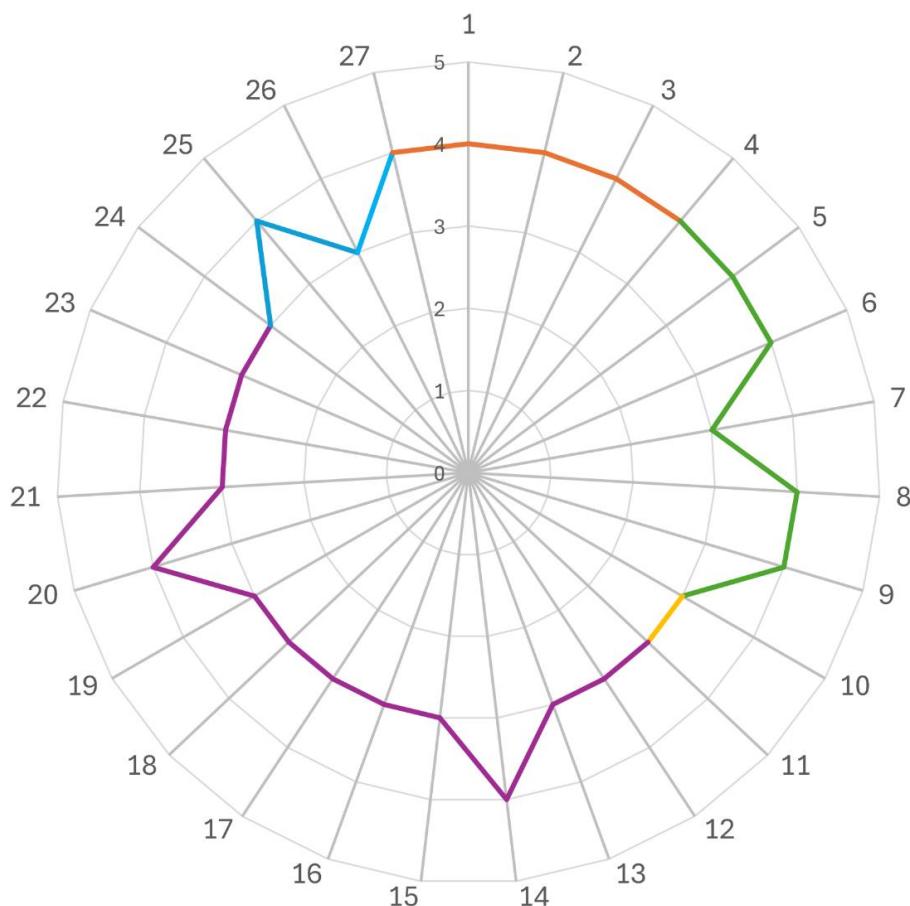


Figure 5-6 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à T1

La grille d'évaluation permettant la notation la maturité à  $T_1$  et présentant les différentes propositions d'amélioration associées à l'amélioration de la maturité des processus est présentée en annexe F.

### **5.3 Propositions d'améliorations à $T_2$**

L'objectif pour les propositions d'amélioration à  $T_2$  est de proposer au partenaire des processus améliorés de suivi et contrôle de projet. Ces propositions améliorées se servent de la proposition à  $T_1$  pour viser l'atteinte un suivi et contrôle de projet en temps quasi réel. Les améliorations proposées correspondent principalement à l'utilisation de technologies et de méthodes pour accélérer, voire automatiser certaines activités du processus de suivi et de contrôle.

#### **5.3.1 Descriptions des améliorations à $T_2$**

Cette section présente les nouvelles améliorations qui permettront au partenaire d'optimiser ses processus et atteindre une maturité plus élevée quant au suivi et contrôle de ses projets. Contrairement à la proposition à  $T_1$ , cette proposition sera établie sur du moyen ou long terme et nécessitera de nombreux investissements notamment dans de nouvelles technologies pour le traitement et le transfert de données de projet. Bien que cette proposition corresponde à une implantation finale sur du long terme, des étapes intermédiaires pourront être définies en fonction des priorités du partenaire.

La première amélioration suggérée est l'utilisation d'une structure de découpage de projet (SDP ; *Work Breakdown Structure*, WBS) et d'une structure de découpage des coûts (SDC ; *Cost Breakdown Structure*, CBS) comme le propose Cerezo-Narváez et al. [65]. Puisque la réussite d'un projet repose sur une gestion précise des coûts et des tâches, une WBS robuste est cruciale car elle permet une bonne segmentation du projet en plusieurs sous-tâches gérables plus facilement avec une attribution des responsabilités à chacune des tâches, et faciliter le suivi et le réordonnancement du projet. Enfin, la CBS permet une classification et une surveillance des coûts pour chaque tâche. La formulation d'une CBS implique la création d'une structure hiérarchique qui divise et classe les coûts d'un projet en catégories, sous-catégories, et éléments de coût détaillés. Pour ce faire, il est essentiel de définir plusieurs niveaux hiérarchiques, partant des catégories générales (par exemple, les matériaux, la main-d'œuvre, et les frais généraux) pour arriver aux sous-catégories spécifiques (comme l'acier pour les matériaux) et enfin aux détails individuels. Afin de faciliter l'intégration

avec la WBS et le suivi budgétaire, il est recommandé de développer un système de codification permettant d'identifier chaque catégorie et sous-catégorie de manière cohérente. Pour maximiser l'efficacité de la CBS, chaque élément de coût doit correspondre à un élément spécifique de la WBS. Cela permet de suivre les coûts associés à chaque tâche ou groupe de tâches, que ce soient les coûts directs ou indirects, ce qui facilite l'analyse budgétaire et le suivi de la performance du projet. Cette intégration CBS-WBS permet une amélioration dans le respect des objectifs de temps de coûts et de qualité, améliorant ainsi les chances de succès global du projet.

Les projets de maintenance de navires et de refit de navires sont souvent considérés comme des projets fonctionnant à coûts fixés. Ces projets ont une structure de prix prédéfinie, ce qui signifie que le coût/budget du projet est convenu à l'avance et ne change généralement pas. De ce fait, les projets à coûts fixes nécessitent une gestion rigoureuse et une planification minutieuse. Ainsi, notre seconde proposition d'amélioration consiste à l'intégration d'une méthode EVM adaptée à ce type de projet. La méthode EVM proposée par Picornell et al. [63] représente une avancée majeure pour le suivi des projets réalisés sous contrats à coûts fixés. Contrairement aux approches traditionnelles de l'EVM, cette version enrichie permet de prendre en compte les spécificités des contrats où les paiements dépendent des quantités réellement exécutées, en intégrant des indicateurs supplémentaires à ceux déjà établis par la méthode standard de l'EVM pour évaluer la production et la rentabilité. Les nouveaux indicateurs incluent la production planifiée (PP, *Planned Production*), la production réelle (AP, *Actual Production*), la rentabilité planifiée (PB, *Planned profitability*), la rentabilité réelle (AB, *Actual profitability*) et l'indice de performance de la production (PPI, *Production Performance Index*). PP et AP mesurent respectivement la production anticipée et réalisée en fonction des taux unitaires, tandis que PB et AB permettent de comparer la rentabilité prévue et effective, offrant une évaluation directe de la rentabilité d'un projet en cours. L'indicateur PPI, quant à lui, calcule le rapport entre AP et les coûts réels (AC, *Actual Cost*) pour détecter toute sous-performance en termes de production par rapport aux coûts, signalant un potentiel défaut de rentabilité. Ces indicateurs apportent une visibilité accrue non seulement sur les coûts, mais aussi sur la rentabilité et la performance de production, permettant ainsi une gestion proactive. Cette méthode améliore ainsi la capacité de prise de décision et assure une meilleure maîtrise des risques financiers associés aux variations de production, optimisant ainsi la performance globale des projets à coûts fixés.

L'intégration de l'analyse des risques à la méthode de gestion de la valeur acquise répond à la nécessité d'enrichir cette technique de contrôle en y ajoutant des dimensions critiques pour la qualité et la gestion des incertitudes et constitue une troisième amélioration. Traditionnellement, l'EVM se concentre sur le suivi des coûts et des délais par rapport à un plan de référence, mais elle manque de moyens pour anticiper l'impact des aléas et des risques de qualité sur les performances globales du projet. En s'appuyant sur les travaux de Miguel et al. [78], qui proposent une extension de l'EVM en intégrant des indicateurs de gestion de la qualité, des délais et des risques, ainsi que sur les recherches d'Acebes et al. [62], qui exploitent la simulation de Monte-Carlo et des techniques d'apprentissage statistique pour différencier les écarts dus aux variations normales des anomalies structurelles, cette approche vise à construire une méthode de contrôle plus complète et prédictive. En combinant ces perspectives, une nouvelle approche intégrée de l'EVM pourrait utiliser des simulations pour calculer les probabilités d'achèvement dans les limites de budget et de calendrier, tout en évaluant en temps réel si les écarts de performance sont attribuables aux fluctuations attendues ou à des facteurs externes nécessitant une intervention. Cette intégration permettrait de disposer de mesures précises, telles que des indices de performance de la qualité et des indicateurs de risque actualisés, qui montreraient l'impact potentiel des actions correctives sur la progression du projet. Ainsi, les gestionnaires de projet auraient une visibilité accrue sur les risques de dépassements et de retard, et pourraient prendre des décisions informées pour ajuster les ressources et les stratégies aux événements imprévus. L'EVM enrichie de cette analyse prédictive et diagnostic deviendrait un outil essentiel pour une gestion proactive, centrée sur la qualité et la résilience, garantissant ainsi une meilleure maîtrise des performances de projet et une satisfaction accrue des exigences des parties prenantes.

Comme indiqué précédemment, un nouvel indicateur concernant les risques peut être utilisé, mais d'autres éléments, tels que la qualité et l'atteinte des objectifs, peuvent être utilisés comme de nouveaux indicateurs [77, 78]. La définition de ces nouveaux indicateurs nous permet de construire notre quatrième proposition d'amélioration en offrant une approche enrichie de l'EVM en intégrant des dimensions supplémentaires au suivi de projet. Ces indicateurs permettent une interprétation plus précise et complète de la performance des projets. Dans un premier temps, la mise en place de l'indicateur Earned Value and Objectives (EVO) de Muñoz-Hernández et al. [77] vise à évaluer l'avancement en intégrant le suivi des objectifs, en pondérant leur criticité et en prenant en compte l'impact des phases initiales, où les déviations peuvent entraîner des conséquences significatives à

long terme. En parallèle, l'indicateur de qualité (Quality Performance Index) et les métriques de gestion de risques de Miguel et al. [78] permettent de quantifier l'impact des non-conformités en termes de coûts de révision et de délais, ainsi que les risques associés au non-respect des exigences de qualité. Ces nouveaux indicateurs servent des objectifs clés : optimiser l'allocation des ressources, prévoir les impacts des écarts, et prendre des décisions éclairées pour réduire les risques de dérapage. Ils permettent de détecter précocement les écarts de performance et de qualité, et d'agir en conséquence pour minimiser les coûts et délais additionnels liés aux risques identifiés. Ensemble, ces outils offrent aux gestionnaires de projet une vision plus complète et proactive, en liant la performance financière et temporelle du projet aux objectifs de qualité et aux risques, afin de garantir la réussite globale du projet.

L'utilisation de ces nouveaux indicateurs peut être couplée à l'IA et aux bases de données. En effet, l'utilisation combinée de l'EVM, l'IA et les bases de données offre une approche innovante pour définir des objectifs SMART (Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes et Temporellement définis). En exploitant les capacités analytiques de l'IA et la richesse des données historiques, il devient possible d'identifier des tendances et des modèles qui peuvent orienter la définition d'objectifs précis et réalistes. L'IA peut analyser les performances passées et les données en temps réel pour déterminer des cibles mesurables et réalistes. Cette approche permet également de prédire les obstacles potentiels et de proposer des ajustements afin de garantir que les objectifs fixés restent atteignables et pertinents dans un environnement en constante évolution. Finalement, l'association de l'IA et des bases de données dans le processus de définition des objectifs permet une personnalisation et une précision accrues, renforçant ainsi l'efficacité des stratégies mises en place pour atteindre les résultats souhaités.

La cinquième proposition d'amélioration repose sur l'utilisation de technologies de l'*Internet of Things* (IoT). L'intégration de technologies avancées pour le suivi et le contrôle des projets peut transformer la gestion traditionnelle en un processus plus efficace, précis et en temps réel. Comme le montrent Abudayyeh et al. [129] et Olatunji et Akanmu [111], l'utilisation d'Intranets et de systèmes cyberphysiques adaptatifs (aCPS) représente une avancée majeure pour la collecte et le partage d'informations critiques sur les chantiers. L'Intranet permet de centraliser et d'automatiser la saisie des données de coûts, facilitant l'accès aux rapports et la prise de décision rapide. En complément, le système aCPS, couplé à des technologies de suivi par radiofréquence (RFID) et à la modélisation des informations du bâtiment (BIM), offre un contrôle automatisé des ressources

et des processus en capturant en temps réel des données de localisation et de statut des activités. Cette combinaison de technologies réduit les erreurs humaines, optimise le suivi des coûts et favorise une meilleure coordination entre les équipes de projet, permettant ainsi de prévenir les retards et d'assurer une meilleure conformité budgétaire. Adopter ces solutions intégrées renforce donc la réactivité et la transparence dans la gestion de projet. En adaptant ces solutions aux projets de maintenance et de réfection de navire à l'aide de la modélisation des informations du navire (*Ship Information Model, SIM*), cette combinaison de technologies permet de répondre aux défis actuels de cette industrie en matière de performance et de précision.

La mise en place d'un tableau de bord connecté, constituant une proposition d'amélioration supplémentaire pour la gestion de projets, s'appuie sur les avantages démontrés par les systèmes de gestion visuelle de la méthode EVM et les plateformes IoT de suivi en temps réel, comme illustré dans les travaux de Chou et al. [58] et de Berawi et al. [112]. En intégrant un tableau de bord connecté, les gestionnaires de projet peuvent bénéficier d'une visualisation instantanée des indicateurs de performance essentiels, permettant un suivi des coûts et des délais avec une précision accrue. Le système proposé utilise une architecture web couplée à des technologies de détection en temps réel, comme les caméras de surveillance et les appareils intelligents (smartphones, tablettes), offrant ainsi une mise à jour continue des données et des alertes proactives. Cette solution, inspirée par la plateforme Chief-Screen 1.0 proposée par Berawi et al. [112], permet non seulement de réduire les risques de retard en optimisant la productivité, mais également d'améliorer la transparence et la coordination entre les parties prenantes en facilitant l'accès à des informations centralisées et fiables. Le tableau de bord connecté constitue donc une avancée stratégique pour différents secteurs d'activités, répondant aux besoins croissants d'automatisation et de digitalisation afin de maintenir les projets dans les limites des budgets et des échéanciers prévus.

Enfin, une dernière proposition d'amélioration repose sur la sauvegarde des données de projets pour apprendre et s'améliorer pour les projets futurs. L'article de Chen [116] souligne l'importance de la collecte, du stockage et de l'analyse des données pour améliorer la gestion des coûts des projets. Dans cette perspective, l'utilisation de bases de données dédiées à la sauvegarde des informations de projet présente un intérêt stratégique majeur. Ces bases de données permettent de conserver de manière structurée l'ensemble des données relatives aux projets, incluant les coûts de matériaux, les indicateurs de performance, et les délais de chaque phase. En centralisant ces informations, il devient possible de les exploiter lors des estimations de futurs projets, offrant ainsi

une référence historique précieuse pour ajuster les prévisions de coûts et de ressources. Grâce à cette approche, chaque nouveau projet bénéficie des leçons tirées des expériences antérieures, améliorant ainsi l'exactitude des prévisions, la rationalisation des dépenses, et la capacité à identifier les leviers d'optimisation dès les premières étapes. L'archivage des données de projets passés devient ainsi un atout clé pour renforcer l'efficacité des processus décisionnels et la compétitivité dans les différents secteurs d'activités.

Concernant les propositions faisant appel à de nouvelles technologies, une veille technologique permettrait de rester compétitif en restant informé sur les nouvelles technologies, les tendances du marché, les innovations, et les mouvements d'autres secteurs d'activités ou de la concurrence.

Pour résumer, les propositions précédentes peuvent être divisées en huit suggestions clés d'amélioration pour le partenaire, ces propositions sont présentées dans l'ordre croissant de difficulté d'implantation :

- a. Mettre en place une structure de découpage des coûts intégrée à la structure de découpage de projet ;
- b. Appliquer la méthode EVM à coûts fixés ;
- c. Définir de nouveaux indicateurs pour la gestion des objectifs, de la qualité et des risques ;
- d. Intégrer la gestion des risques à la méthode EVM pour la définition de réserve de management et de réserve de contingence ;
- e. Utiliser des bases de données pour sauvegarder les données de projets ;
- f. Utiliser l'IA et les bases de données d'historiques pour la définition d'objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, pertinents et temporellement définis (SMART) ;
- g. Utiliser les technologies de l'IoT pour la collecte et le partage des données de projet; et
- h. Créer un tableau de bord connecté permettant une mise à jour en temps quasi réel des informations de projets et en effectuant automatiquement les analyses EVM.

Avec l'application de ces propositions d'amélioration, le partenaire optimisera les processus de suivi et contrôle de projet établis à  $T_1$  et consolidera ainsi la maturité de ses processus.

### **5.3.2 Modifications des processus du partenaire à $T_2$**

Comme présenté dans la section 5.2.2, nous avons utilisé le formalisme GRMI 4.0 afin de développer les processus modifiés pour faciliter la compréhension des modifications apportées. De

plus, un nouveau couloir est utilisé, le couloir de technologies, qui permet de recenser toutes les activités de suivi et contrôle de projet réalisées par l'intermédiaire de technologies.

Donc, toujours avec le formalisme GRMI 4.0, les processus modifiés ont pu être développés et sont présentés Figure 5-7 pour la phase un et Figure 5-8 pour la phase deux.

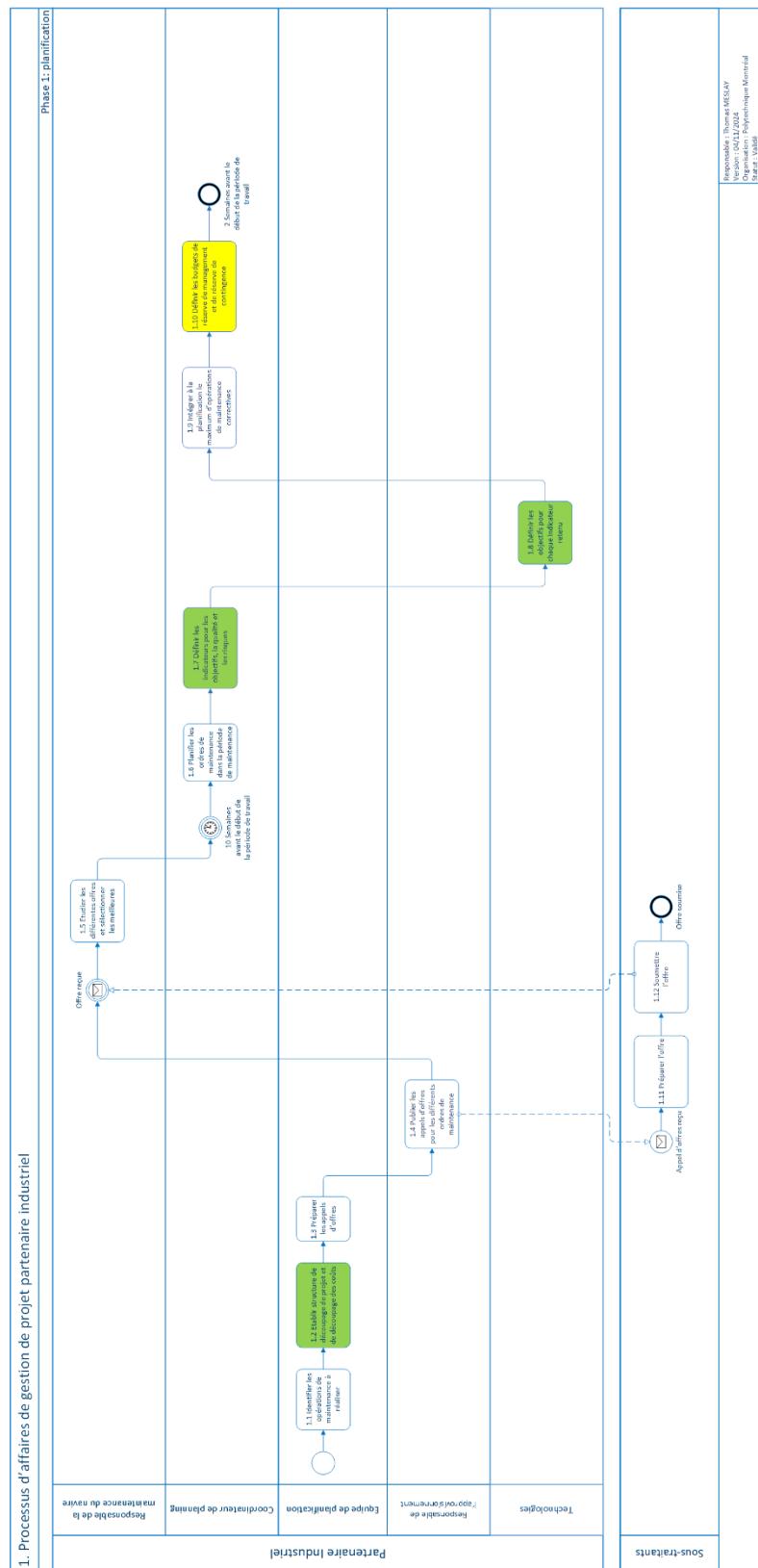


Figure 5-7 - Première phase du processus de suivi et contrôle modifié à  $T_2$  du partenaire

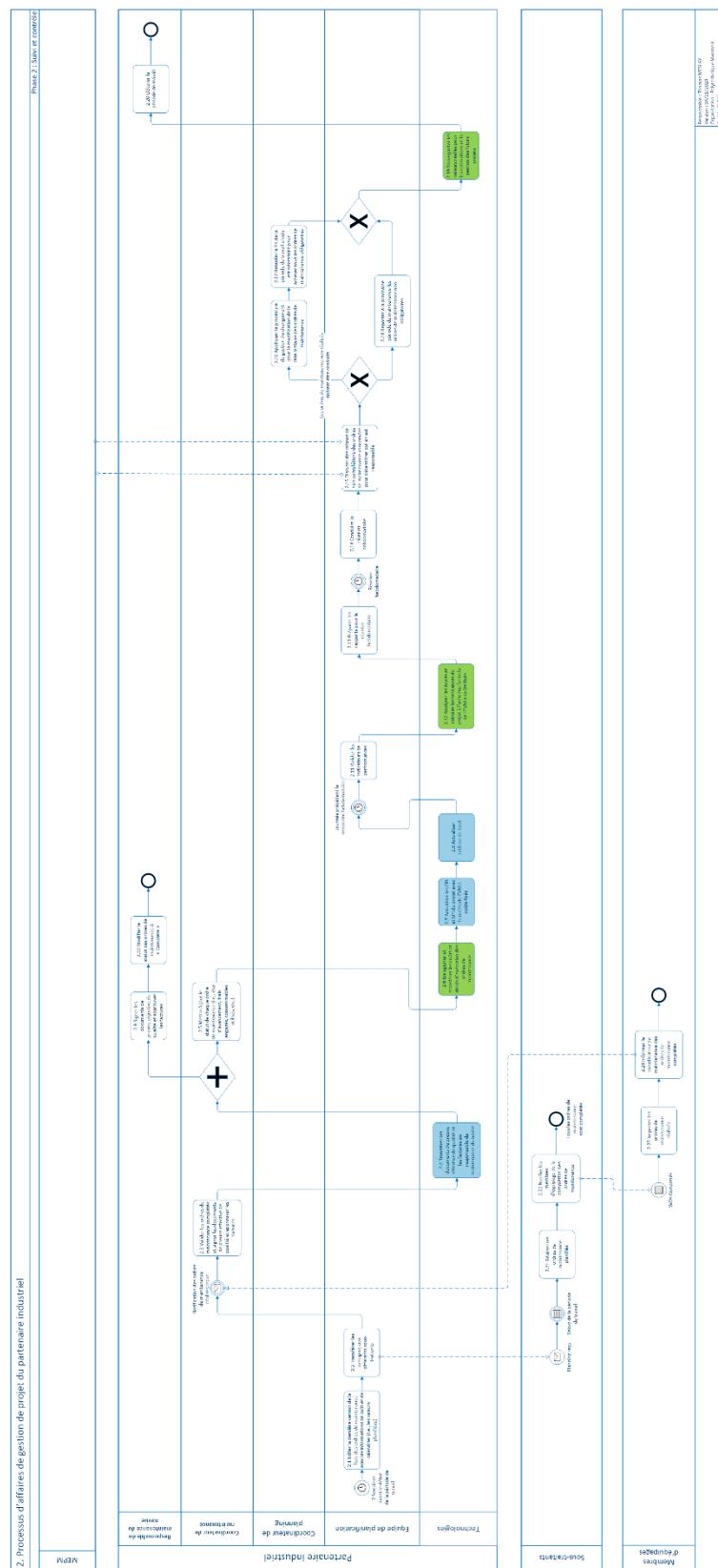


Figure 5-8 - Deuxième phase du processus de suivi et contrôle modifié à  $T_2$  du partenaire

De même que pour les propositions à  $T_1$ , la codification couleur du GRMI 4.0 [128] permet de rapidement interpréter les modifications apportées aux processus du partenaire pour la deuxième étape de propositions d'amélioration. On constate encore que les modifications interviennent uniquement dans les couloirs des ressources du partenaire.

Pour les processus modifiés à  $T_2$ , on observe cette fois-ci l'ajout de six nouvelles étapes, trois dans chaque phase, la modification d'une activité dans la deuxième phase ainsi que trois réaffectations. Contrairement à la stratégie à  $T_1$ , la stratégie  $T_2$  opte pour de nouveaux investissements notamment pour la mise en œuvre de nouvelles technologies, comme l'utilisation de l'IA ou de systèmes cyber-physiques, ce qui explique l'apparition du nouveau couloir « Technologies » dans la piscine représentant le partenaire.

### **5.3.3 Évaluation de la nouvelle maturité**

Les huit suggestions d'amélioration qui constituent la proposition à  $T_2$  peuvent être regroupées suivant sept catégories, chacune des catégories peuvent contenir une à plusieurs suggestions d'amélioration et ont impactent sur différents critères de maturité, permettant au partenaire d'améliorer la maturité de ses processus. Le code couleur associé aux différentes catégories et leurs impacts sur les différents critères sont présentés sur les figures ci-dessous :

	Utilisation de l'IA et des bases de données pour la quantification des objectifs (f)
	Intégration de la structure de découpage des coûts (a)
	Intégration de la gestion des risques à l'EVM (d)
	Utilisation des technologies de l'IoT pour la collecte et le partage des données (g)
	Application de la méthode EVM à coûts fixes et définition de nouveaux indicateurs de performances (b et c)
	Utilisation d'un tableau de bord connecté pour le traitement et le partage des informations (h)
	Utilisation de bases de données pour la sauvegarde des données de projet (e)

Figure 5-9 - Les six catégories d'amélioration pour la proposition  $T_2$

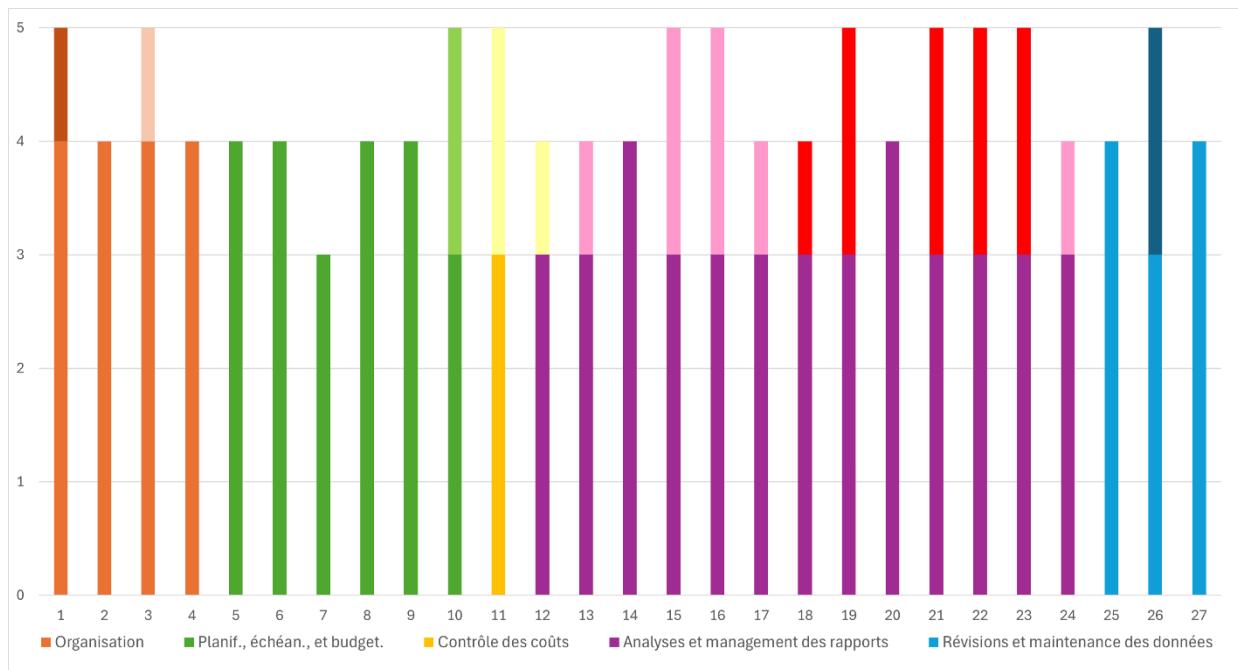


Figure 5-10 - Impact des propositions à  $T_2$  sur la maturité

Comme nous avons pu le définir plus tôt, l'objectif de la proposition à  $T_2$  est d'apporter une optimisation aux processus développés à  $T_1$ . Cette proposition  $T_2$  correspond à une stratégie sur

long terme avec de nombreux investissements et modifications des procédures du partenaire. Différentes stratégies intermédiaires pourront donc être établies par le partenaire en fonction de ses priorités en termes d'objectifs et permettant ainsi d'étaler les investissements dans le temps. La maturité des processus ne va donc pas passer de l'état  $T_1$  à l'état  $T_2$  directement mais par une multitude de maturités intermédiaires qui dépendront des priorités du partenaire.

Cependant, avec l'application de l'ensemble des améliorations proposées à  $T_2$ , le partenaire va pouvoir passer la maturité de ces processus de 3.43 à 4.37 sur 5, soit une hausse de près de 1 point par rapport aux processus à  $T_1$ . Grâce à l'ensemble des améliorations, chacune des catégories a désormais une maturité d'au moins 4, une nette amélioration par rapport à  $T_0$  où seulement deux catégories arrivaient à une maturité supérieure à 3. Cependant, ce gain ne va pas être immédiat, il va être acquis au fur et à mesure de l'implantation des différentes propositions d'amélioration. Après l'implantation des quatre premières propositions, qui constituent les améliorations les plus simples à planter, le gain de maturité sera de 0.4 point et pourra être acquis rapidement contrairement au 0,6 dernier point qui nécessitera le développement de solutions technologiques plus difficiles et plus longues à mettre en place.

Le nouveau profil RADAR obtenu est présenté dans la Figure 5-11 ci-dessous.

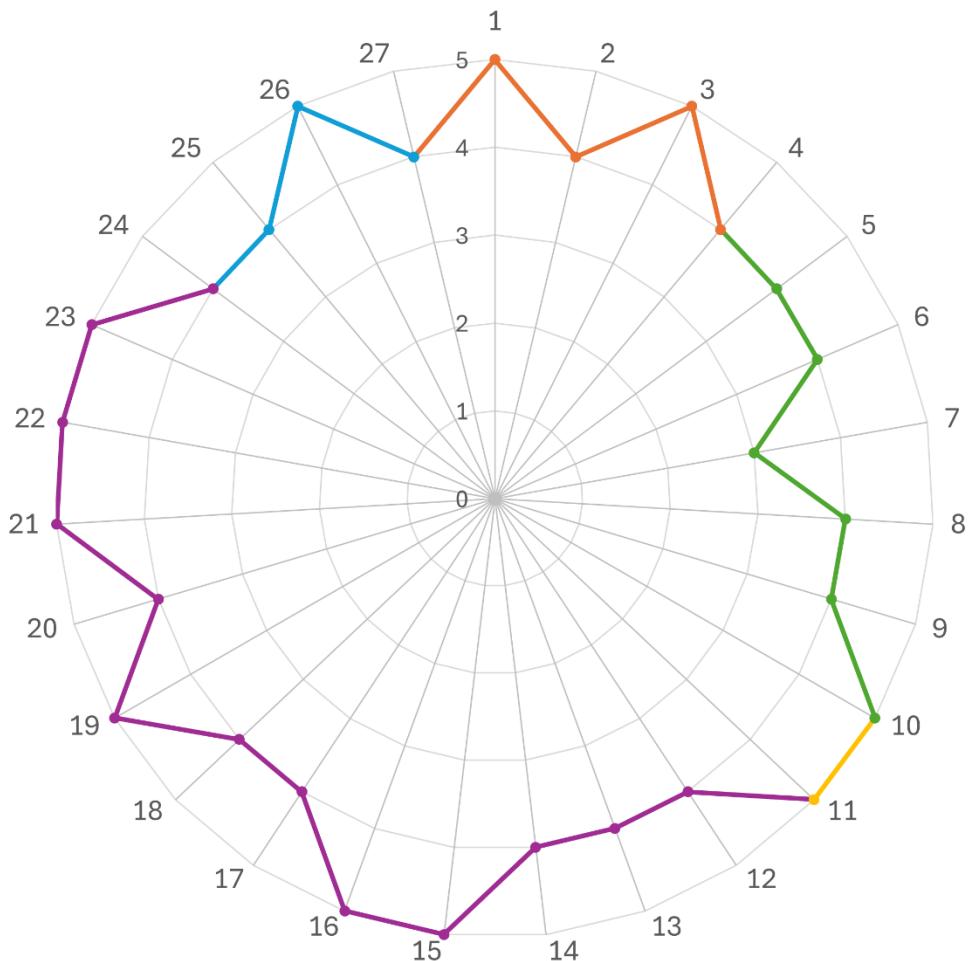


Figure 5-11 - Maturité des processus de suivi et contrôle de projet à  $T_2$

La grille d'évaluation permettant la notation la maturité à  $T_1$  et présentant les différentes propositions d'amélioration associées à l'amélioration de la maturité des processus est présentée en annexe H.

## 5.4 Conclusion

Pour conclure ce chapitre sur les propositions d'amélioration des processus d'affaires, nous avons identifié et développé des stratégies qui visent à renforcer la maturité des processus de suivi et de contrôle de projet pour notre partenaire. Ces propositions, organisées en deux phases distinctes,  $T_1$  et  $T_2$  permettent d'aborder à la fois des solutions à court terme, pour des gains rapides et établir une base solide de processus de suivi et contrôle de projet, et des optimisations à long terme, intégrant des technologies avancées. En mettant en œuvre ces recommandations, le partenaire non

seulement augmente sa capacité de gestion proactive, mais crée également une base solide pour des améliorations futures et rester compétitif.

L'évaluation des nouvelles maturités montre une progression significative vers un système de gestion des projets plus structuré, transparent et adaptable aux changements imprévus. En somme, ces initiatives représentent un pas décisif vers l'excellence opérationnelle, assurant une meilleure performance dans la gestion des projets et favorisant l'innovation continue pour répondre aux exigences croissantes du marché.

## CHAPITRE 6 DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce chapitre va nous permettre de récapituler les contributions scientifiques et pratiques de ce projet de recherche avant de discuter des limites et des potentiels nouveaux axes de recherche.

Premièrement, ce mémoire a permis de répondre à l'objectif principal de proposer une méthodologie d'évaluation et d'amélioration des processus de suivi et de contrôle de projets. Les travaux présentés contribuent à l'avancement des connaissances dans le domaine de la gestion de projet en mettant en lumière les enjeux de maturité des processus et en proposant des stratégies d'optimisation pour améliorer la capacité des entreprises à rester compétitifs face aux exigences de leurs clients.

Grâce à la revue de la littérature, nous avons identifié un manque de propositions pratiques pour la réalisation des opérations de suivi et de contrôle. De plus, une absence de méthodes et d'outils adaptés au contexte des chantiers navals a été mise en lumière. En analysant les pratiques existantes et leurs limitations spécifiques à ce secteur, cette recherche a établi des bases pour une gestion plus agile et mieux adaptée aux particularités des chantiers navals.

La méthodologie de recherche mise en œuvre dans le cadre de la réfection de navires a permis de réaliser ce projet en proposant des solutions d'amélioration des processus de suivi et contrôle de projet adaptées au secteur des chantiers maritimes. En s'appuyant sur une évaluation de la maturité basée sur les meilleures pratiques de la littérature, la méthode permet d'identifier les forces et faiblesses des processus actuels et de proposer des stratégies d'amélioration concrètes. Cette méthodologie apporte une approche pragmatique pour les chantiers navals afin d'avoir la capacité de s'adapter aux évolutions du marché et de soutenir l'innovation dans ce secteur exigeant. Cependant, la méthodologie mise en œuvre reste très générale et peut être facilement adaptée à d'autres secteurs d'activité.

Bien que les différents objectifs de ce mémoire soient respectés, les contributions de ce projet restent à nuancer, que ce soit sur un niveau théorique ou pratique :

- Les hypothèses et modèles avancés dans ce mémoire reposent sur les informations qui ont pu être récupérées lors d'entrevues avec deux planificateurs, ainsi certaines pratiques ont pu être omises et sont donc déjà en vigueur dans les processus du partenaire. De plus, les informations sur leurs pratiques de suivi et contrôle de projet que nous avons récoltées

interviennent lors de l'exécution de SWP, qui sont des petits projets de maintenance avec peu d'ordres de maintenance et d'assez courtes durées (3 semaines) et qui permettent la réalisation de maintenance préventive et corrective principalement, et non de projet de réfections qui sont des projets plus longs (au moins 6 mois) avec pour objectif la remise neuf et la remise à niveau de systèmes ;

- Les outils, méthodes et technologies proposés permettent une amélioration de la maturité des processus du partenaire, cependant, des tests de simulation sur des données historiques permettraient de confirmer la pertinence des propositions développées. De plus, ces tests permettraient de valider l'adaptabilité de ces nouvelles propositions aux procédures du partenaire ainsi qu'à leur interopérabilité ; et
- La durée du projet de recherche a fait que la définition des stratégies  $T_2$ ,  $T_3$  à  $T_n$  ont été définies dès  $T_0$ . Cependant, ces stratégies ne doivent pas obligatoirement être suivies scrupuleusement. En effet, pour une définition complète et optimale de la stratégie  $T_2$ , l'implantation de la stratégie  $T_1$  doit être complétée afin d'identifier les nouveaux besoins et contraintes qui pourraient apparaître et donc compromettre la stratégie  $T_2$  initiale. Bien que des ébauches ou que des objectifs soient définis assez tôt pour les toutes les stratégies, il est conseillé de fonctionner de manière itérative et attendre la stratégie  $T_i$  avant de proposer une définition complète de la stratégie  $T_{i+1}$ .

Les limitations identifiées amènent donc à l'exploration de nouvelles opportunités de recherche listées ci-après afin de venir compléter ce travail.

- Un modèle de simulation avec des données réelles ou fictives pourrait être développé afin d'évaluer quantitativement les gains en termes de rapidité d'exécution du processus, mais aussi d'analyser qualitativement les apports des différentes améliorations des processus modifiés ;
- La méthodologie développée pourrait être testée sur des projets de réfection avec des procédures de suivi et contrôle de projets plus longs avec davantage de parties prenantes, plus de ressources et un nombre plus important d'activités à réaliser ;
- Les nombreux outils et méthodes présentés pour les propositions d'amélioration sont issus d'autres secteurs d'activités ou sont des approches assez génériques pour le suivi et le contrôle de projet, il y a donc des adaptations plus ou moins importantes à entreprendre avant de pouvoir appliquer ces méthodes aux projets de réfection. Les adaptations

considérées dans ce mémoire sont plus théoriques que pratiques étant donné que la proposition  $T_0$  n'a pas encore été adoptée et mise en place. Une future extension sera d'améliorer les propositions  $T_2, T_3$  à  $T_n$  une fois que  $T_0$  sera adoptée ; et

- Les projets de maintenance et de réfection sont soumis à des contraintes et caractéristiques uniques, notamment concernant la plage d'exécution du projet qui est planifié longtemps en avance et qui ne peut être modifiée et les nombreux conflits de ressources avec d'autres activités du projet ou même d'autres projets. Ce projet s'est principalement intéressé aux phases de suivi et contrôle de projet, un travail complémentaire pourrait être de développé un outil ou une méthode permettant l'ordonnancement et le réordonnancement de projet optimisé au contexte des chantiers maritimes, car à l'heure actuelle, la majorité des conflits de ressources sont résolus manuellement [123].

En conclusion, ce mémoire contribue non seulement à l'amélioration des pratiques de suivi et de contrôle de projet dans un contexte maritime, mais pose également les bases d'un dialogue constructif sur la standardisation et l'adaptation des processus de gestion de projet dans les industries complexes. La voie est désormais ouverte pour une exploration plus approfondie des outils et techniques émergents dans ce domaine, en vue d'accompagner les entreprises dans leur transition vers une gestion de projet plus innovante et résiliente.

## RÉFÉRENCES

- [1] E. Bertrand, "Optimization of the naval surface ship resource-constrained project scheduling problem," Dalhousie University, 2021. [En ligne]. Disponible : <http://hdl.handle.net/10222/80547>
- [2] R. Pellerin, *Modèle d'ordonnancement dynamique de projets de réfection*: École Polytechnique de Montréal, 1997.
- [3] É. p. D. d. g. industriel et J.-C. Ouellet, *Évaluation et analyse par la simulation du projet de réfection Léopard A2 du ministère de la Défense nationale*: École polytechnique de Montréal, 1988.
- [4] H. Singh et P. S. Williams, "A guide to the project management body of knowledge: Pmbok (®) guide," communication présentée à Project Management Institute, 2021.
- [5] R. Pellerin et N. Perrier, "A review of methods, techniques, and tools for project planning and control," *International Journal of Production Research*, vol. 57, n° 7, p. 2160-2178, 2019. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2018.1524168>
- [6] L. L. Willems et M. Vanhoucke, "Classification of articles and journals on project control and earned value management," *International Journal of Project Management*, vol. 33, n° 7, p. 1610-1634, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.003>
- [7] H. L. Stephenson, "AACE International recommended practice 60R-10: Developing the project controls plan," communication présentée à 56th Annual Meeting of the Association for the Advancement of Cost Engineering 2012, AACE 2012, July 8, 2012 - July 11, 2012, San Antonio, TX, United states, 2012, p. 508-537.
- [8] Y. Olawale et M. Sun, "PCIM: Project control and inhibiting-factors management model," *Journal of Management in Engineering*, vol. 29, n° 1, p. 60-70, 2013.
- [9] T. Williams, "Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns," *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 52, n° 4, p. 497-508, 2005. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/TEM.2005.856572>
- [10] C. Besner et B. Hobbs, "The perceived value and potential contribution of project management practices to project success," *Project management journal*, vol. 37, n° 3, p. 37-48, 2006.
- [11] H. Hayes, "Using earned-value analysis to better manage projects," *Pharmaceutical Technology*, vol. 26, n° 2, p. 80-84, 2002.
- [12] D. M. Brandon Jr, "Implementing earned value easily and effectively," *Project management journal*, vol. 29, n° 2, p. 11-18, 1998.
- [13] Y. H. Kwak et F. T. Anbari, "Analyzing project management research: Perspectives from top management journals," *International Journal of Project Management*, vol. 27, n° 5, p. 435-446, 2009. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.08.004>

- [14] F. T. Anbari, "Earned value project management method and extensions," *IEEE Engineering Management Review*, vol. 32, n° 3, p. 97-110, 2004. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/EMR.2004.25113>
- [15] H. W. Lanford et T. M. McCann, "EFFECTIVE PLANNING AND CONTROL OF LARGE PROJECTS - USING WORK BREAKDOWN STRUCTURE," *Long Range Planning*, vol. 16, n° 2, p. 38-50, 1983. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1016/0024-6301\(83\)90054-7](http://dx.doi.org/10.1016/0024-6301(83)90054-7)
- [16] J. P. Paquin, J. Couillard et D. J. Ferrand, "Assessing and controlling the quality of a project end product: The earned quality method," *HPAC Heating, Piping, Air Conditioning*, vol. 72, n° 2, p. 88-97, 2000.
- [17] M. G. Battikha, "QUALICON: Computer-based system for construction quality management," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 128, n° 2, p. 164-173, 2002. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:2\(164\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:2(164))
- [18] F. Boukamp et B. Akinci, "Automated processing of construction specifications to support inspection and quality control," *Automation in Construction*, vol. 17, n° 1, p. 90-106, 2007. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2007.03.002>
- [19] J. Kim *et al.*, "Integrated CO<inf>2</inf>, cost, and schedule management system for building construction projects using the earned value management theory," *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, p. 275-285, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.031>
- [20] H. Khamooshi et H. Golafshani, "EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement," *International Journal of Project Management*, vol. 32, n° 6, p. 1019-1041, 2014. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.11.002>
- [21] R. D. H. Warburton, "A time-dependent earned value model for software projects," *International Journal of Project Management*, vol. 29, n° 8, p. 1082-1090, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.008>
- [22] J. L. Ponz-Tienda, E. Pellicer et V. Yepes, "Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects," *Journal of Zhejiang University: Science A*, vol. 13, n° 1, p. 56-68, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1631/jzus.A1100160>
- [23] S. T. H. Mortaji, M. Bagherpour et S. Noori, "Fuzzy earned value management using L-R fuzzy numbers," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 24, n° 2, p. 323-332, 2013. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.3233/IFS-2012-0556>
- [24] Z. Miskawi, "An S-curve equation for project control," *Construction Management and Economics*, vol. 7, n° 2, p. 115-124, 1989. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/01446198900000016>
- [25] D. F. Cioffi, "A tool for managing projects: An analytic parameterization of the S-curve," *International Journal of Project Management*, vol. 23, n° 3, p. 215-222, 2005. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.08.001>

- [26] L.-C. Chao et C.-F. Chien, "Estimating project S-curves using polynomial function and neural networks," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 135, n° 3, p. 169-177, 2009. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:3\(169\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:3(169))
- [27] L.-C. Chao et C.-F. Chien, "A Model for Updating Project S-curve by Using Neural Networks and Matching Progress," *Automation in Construction*, vol. 19, n° 1, p. 84-91, 2010. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.09.006>
- [28] A. P. Kaka, "The development of a benchmark model that uses historical data for monitoring the progress of current construction projects," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 6, n° 3, p. 256-266, 1999.
- [29] A. H. Boussabaine et T. Elhag, "Applying fuzzy techniques to cash flow analysis," *Construction Management and Economics*, vol. 17, n° 6, p. 745-755, 1999. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/014461999371088>
- [30] A. Maravas et J.-P. Pantouvakis, "Project cash flow analysis in the presence of uncertainty in activity duration and cost," *International Journal of Project Management*, vol. 30, n° 3, p. 374-384, 2012. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.08.005>
- [31] A. P. Kaka, "Towards more flexible and accurate cash flow forecasting," *Construction Management and Economics*, vol. 14, n° 1, p. 35-44, 1996. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/01446199600000005>
- [32] J. Zhang et S. E. Elmaghraby, "The relevance of the "alphorn of uncertainty" to the financial management of projects under uncertainty," *European Journal of Operational Research*, vol. 238, n° 1, p. 65-76, 2014. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.048>
- [33] M.-Y. Cheng, H.-C. Tsai et C.-L. Liu, "Artificial intelligence approaches to achieve strategic control over project cash flows," *Automation in Construction*, vol. 18, n° 4, p. 386-393, 2009. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.005>
- [34] M.-Y. Cheng et A. F. V. Roy, "Evolutionary fuzzy decision model for cash flow prediction using time-dependent support vector machines," *International Journal of Project Management*, vol. 29, n° 1, p. 56-65, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.01.004>
- [35] L. Moslemi Naeni et A. Salehipour, "Evaluating fuzzy earned value indices and estimates by applying alpha cuts," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, n° 7, p. 8193-8198, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.165>
- [36] L. M. Naeni, S. Shadrokh et A. Salehipour, "A fuzzy approach for the earned value management," *International Journal of Project Management*, vol. 29, n° 6, p. 764-772, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.012>
- [37] S. M. Swartz, "Managerial perceptions of project stability," *Project management journal*, vol. 39, n° 4, p. 17-32, 2008.

- [38] M. Wauters et M. Vanhoucke, "Study of the stability of earned value management forecasting," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 141, n° 4, 2015. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000947](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000947)
- [39] H. L. Chen, "Improving forecasting accuracy of project earned value metrics: Linear modeling approach," *Journal of Management in Engineering*, vol. 30, n° 2, p. 135-145, 2014. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000187](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000187)
- [40] J. S. Russell, E. J. Jaselskis et S. P. Lawrence, "Continuous assessment of project performance," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 123, n° 1, p. 64-71, 1997.
- [41] K. M. Nassar, H. G. Gunnarsson et M. Y. Hegab, "Using Weibull analysis for evaluation of cost and schedule performance," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, n° 12, p. 1257-1262, 2005. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:12\(1257\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:12(1257))
- [42] D. F. Cioffi, "Completing projects according to plans: An earned-value improvement index," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 57, n° 3, p. 290-295, 2006. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602007>
- [43] C.-T. Chen et S.-F. Huang, "Applying fuzzy method for measuring criticality in project network," *Information Sciences*, vol. 177, n° 12, p. 2448-2458, 2007. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2007.01.035>
- [44] C.-H. Ko et M.-Y. Cheng, "Dynamic prediction of project success using artificial intelligence," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, n° 4, p. 316-324, 2007. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:4\(316\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:4(316))
- [45] M.-Y. Cheng, Y.-W. Wu et C.-F. Wu, "Project success prediction using an evolutionary support vector machine inference model," *Automation in Construction*, vol. 19, n° 3, p. 302-307, 2010. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.003>
- [46] M. de Falco et R. Macchiaroli, "Timing of control activities in project planning," *International Journal of Project Management*, vol. 16, n° 1, p. 51-58, 1998. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863\(97\)00012-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0263-7863(97)00012-4)
- [47] T. Raz et E. Erel, "Optimal timing of project control points," *European Journal of Operational Research*, vol. 127, n° 2, p. 252-261, 2000. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00492-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00492-0)
- [48] N. Sabeghi *et al.*, "Determining the timing of project control points using a facility location model and simulation," *Computers and Operations Research*, vol. 61, p. 69-80, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2015.03.006>
- [49] J. Colin et M. Vanhoucke, "Setting tolerance limits for statistical project control using earned value management," *Omega*, vol. 49, p. 107-22, 12/ 2014. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2014.06.001>
- [50] G. A. Barraza et R. A. Bueno, "Probabilistic control of project performance using control limit curves," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, n° 12, p.

- 957-965, 2007. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:12\(957\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:12(957))
- [51] M. Golparvar-Fard *et al.*, "Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 23, n° 6, p. 391-404, 2009. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2009\)23:6\(391\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2009)23:6(391))
- [52] M. Golparvar-Fard *et al.*, "Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques," *Automation in Construction*, vol. 20, n° 8, p. 1143-1155, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.016>
- [53] Y. Turkan *et al.*, "Toward automated earned value tracking using 3D imaging tools," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n° 4, p. 423-433, 2013. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000629](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000629)
- [54] R. Navon, "Automated project performance control of construction projects," communication présentée à 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction: The Future Site, 2005, p. 467-476. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2004.09.006>
- [55] S. El-Omari et O. Moselhi, "Data acquisition from construction sites for tracking purposes," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 16, n° 5, p. 490-503, 2009. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1108/09699980910988384>
- [56] S. El-Omari et O. Moselhi, "Integrating automated data acquisition technologies for progress reporting of construction projects," communication présentée à, 2011, p. 699-705. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.12.001>
- [57] R. Sacks *et al.*, "Feasibility of automated monitoring of lifting equipment in support of project control," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, n° 5, p. 604-614, 2005. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:5\(604\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:5(604))
- [58] J.-S. Chou *et al.*, "Visualized EVM system for assessing project performance," *Automation in Construction*, vol. 19, n° 5, p. 596-607, 2010. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.006>
- [59] E. Elbeltagi et M. Dawood, "Integrated visualized time control system for repetitive construction projects," *Automation in Construction*, vol. 20, n° 7, p. 940-953, 2011. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2011.03.012>
- [60] R. E. Orgut *et al.*, "Metrics That Matter: Core Predictive and Diagnostic Metrics for Improved Project Controls and Analytics," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, n° 11, 2018. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001538](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001538)
- [61] A. Tereso, P. Ribeiro et M. Cardoso, "Integration between EVM and risk management: Proposal of an automated framework," communication présentée à 5th World Conference on Information Systems and Technologies, WorldCIST, April 11, 2017 - April 13, 2017, Porto Santo Island, Madeira, Portugal, 2017, p. 31-40. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-56538-5\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-56538-5_4)

- [62] F. Acebes *et al.*, "Stochastic earned value analysis using Monte Carlo simulation and statistical learning techniques," *International Journal of Project Management*, vol. 33, n° 7, p. 1597-1609, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.012>
- [63] M. Picornell *et al.*, "Implementation of earned value management in unit-price payment contracts," *Journal of Management in Engineering*, vol. 33, n° 3, p. 06016001, 2017.
- [64] Y. Wang, Y. Li et P. Guo, "Modelling construction project management based on system dynamics," *Metallurgical and Mining Industry*, vol. 7, n° 9, p. 1062-1067, 2015.
- [65] A. Cerezo-Narváez *et al.*, "Integration of cost and work breakdown structures in the management of construction projects," *Applied sciences*, vol. 10, n° 4, p. 1386, 2020.
- [66] J. I. Santos *et al.*, "Explainable machine learning for project management control," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 180, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2023.109261>
- [67] Y.-C. Chang, C.-W. Shih et W.-L. Hsu, "Entailment-Based Intelligent System for Software Project Monitoring and Control," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, n° 1, p. 216-227, 2018. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/JSYST.2016.2563463>
- [68] B. D. Chauhan et A. Rana, "Software projects tracking-evolving a new method for software project tracking," *Journal of Software Engineering*, vol. 10, n° 1, p. 78-88, 2016. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.3923/jse.2016.78.88>
- [69] F. Barhebwa-Mushamuka et S. Wagner, "Multi-Partners Digital Project Twin: A Tool for Project Monitoring," communication présentée à 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control, MIM 2022, June 22, 2022 - June 24, 2022, Nantes, France, 2022, p. 383-388. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.423>
- [70] T. M. Fehlmann et E. Kranich, "A new approach for continuously monitoring project deadlines in software development," communication présentée à 27th International Workshop on Software Measurement and 12th International Conference on Software Process and Product Measurement, IWSM Mensura 2017, October 25, 2017 - October 27, 2017, Gothenburg, Sweden, 2017, p. 161-169. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1145/3143434.3143439>
- [71] P. E. D. Love, J. Zhou et J. Matthews, "Project controls for electrical, instrumentation and control systems: Enabling role of digital system information modelling," *Automation in Construction*, vol. 103, p. 202-212, 2019. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.010>
- [72] T. Kim, Y.-W. Kim et H. Cho, "Customer Earned Value: Performance Indicator from Flow and Value Generation View," *Journal of Management in Engineering*, vol. 32, n° 1, 2016. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000377](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000377)
- [73] Y.-W. Kim et G. Ballard, "Earned value method and customer earned value," *Journal of Construction Research*, vol. 3, n° 01, p. 55-66, 2002.

- [74] A. V. Mishakova *et al.*, "Program evaluation and review technique as the tool for time control," *Magazine of Civil Engineering*, vol. 72, n° 4, p. 12-19, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.72.2>
- [75] R. Xue *et al.*, "Toward an Improved Monitoring of Engineering Projects," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 50, n° 10, p. 3541-3553, 2020. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.2018.2884196>
- [76] J. Colin *et al.*, "A multivariate approach for top-down project control using earned value management," *Decision Support Systems*, vol. 79, p. 65-76, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2015.08.002>
- [77] J. I. Munoz-Hernandez, J. R. Otegi-Olaso et J. Rubio-Gomez, "Analytical model implementing objectives in EVM for advanced project control," : Springer International Publishing, 2015, p. 143-163.
- [78] A. Miguel, W. Madria et R. Polancos, "Project Management Model: Integrating Earned Schedule, Quality, and Risk in Earned Value Management," communication présentée à 6th IEEE International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2019, April 12, 2019 - April 15, 2019, Tokyo, Japan, 2019, p. 622-628. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/IEA.2019.8714979>
- [79] P. Ballesteros-Perez *et al.*, "Performance comparison of activity sensitivity metrics in schedule risk analysis," *Automation in Construction*, vol. 106, 2019. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102906>
- [80] L. P. Kerkhove et M. Vanhoucke, "Extensions of earned value management: Using the earned incentive metric to improve signal quality," *International Journal of Project Management*, vol. 35, n° 2, p. 148-168, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.10.014>
- [81] A. Abdi, S. Taghipour et H. Khamooshi, "A model to control environmental performance of project execution process based on greenhouse gas emissions using earned value management," *International Journal of Project Management*, vol. 36, n° 3, p. 397-413, 2018. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.12.003>
- [82] K. A. Ngo, G. Lucko et P. Ballesteros-Perez, "Continuous earned value management with singularity functions for comprehensive project performance tracking and forecasting," *Automation in Construction*, vol. 143, 2022. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104583>
- [83] A. M. Hamzeh et S. M. Mousavi, "A New Fuzzy Approach for Project Time Assessment under Uncertain Conditions," communication présentée à 15th Iran International Industrial Engineering Conference, IIIEC 2019, January 23, 2019 - January 24, 2019, Yazd, Iran, 2019, p. 76-80. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/IIIEC.2019.8720733>
- [84] H. Mortaji Seyed Taha, "Directed earned value management based on ordered fuzzy numbers," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 40, n° 5, p. 10183-10196, 2021.
- [85] F. Caron, F. Ruggeri et B. Pierini, "A Bayesian approach to improving estimate to complete," *International Journal of Project Management*, vol. 34, n° 8, p. 1687-1702, 2016. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.09.007>

- [86] J. Batselier et M. Vanhoucke, "Project regularity: Development and evaluation of a new project characteristic," *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol. 26, n° 1, p. 100-120, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1007/s11518-016-5312-6>
- [87] J. Batselier et M. Vanhoucke, "Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting," *International Journal of Project Management*, vol. 35, n° 1, p. 28-43, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.10.003>
- [88] M. Wauters et M. Vanhoucke, "A Nearest Neighbour extension to project duration forecasting with Artificial Intelligence," *European Journal of Operational Research*, vol. 259, n° 3, p. 1097-1111, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.018>
- [89] K. Mostafa et T. Hegazy, "Potential of Bayesian networks for forecasting the ripple effect of progress events," communication présentée à 2019 Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference, CSCE 2019, June 12, 2019 - June 15, 2019, Laval, QC, Canada, 2019.
- [90] C.-Q. Li, G. Zhang et S. M. Hosseini, "A fast and accurate method to predict reliability of project completion time," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, n° 1, p. 37-46, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2014.953570>
- [91] S. Sackey, D.-E. Lee et B.-S. Kim, "Duration Estimate at Completion: Improving Earned Value Management Forecasting Accuracy," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 24, n° 3, p. 693-702, 2020. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1007/s12205-020-0407-5>
- [92] B.-C. Kim et Y. H. Kwak, "Improving the accuracy and operational predictability of project cost forecasts: an adaptive combination approach," *Production Planning and Control*, vol. 29, n° 9, p. 743-760, 2018. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2018.1467511>
- [93] L. Shehab *et al.*, "Machine Learning Framework to Predict Last Planner System Performance Metrics," communication présentée à Construction Research Congress 2022: Project Management and Delivery, Controls, and Design and Materials, CRC 2022, March 9, 2022 - March 12, 2022, Arlington, VA, United states, 2022, p. 292-301. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483978.031>
- [94] T. Q. Nguyen, J. K.-W. Yeoh et N. Angelia, "Predicting Percent Plan Complete through Time Series Analysis," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 149, n° 6, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12867>
- [95] F. Wang et L. Chen, "The Control of Civil Engineering Projects Based on Deep Learning and Building Information Modeling," *Information Resources Management Journal*, vol. 36, n° 1, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.4018/IRMJ.329250>
- [96] T. P. Anderson et S. A. Shinn, "Early warning look ahead metrics: The percent milestone backlog metric," communication présentée à 2017 IEEE Aerospace Conference, AERO 2017, March 4, 2017 - March 11, 2017, Big Sky, MT, United states, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1109/AERO.2017.7943955>

- [97] A. Liang, L. Tao et H. Lei, "Combined machine-learning and EDM to monitor and predict a complex project with a GERT-type network: A multi-point perspective," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 180, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2023.109256>
- [98] B.-C. Kim, "Dynamic control thresholds for consistent earned value analysis and reliable early warning," *Journal of Management in Engineering*, vol. 31, n° 5, 2015. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000309](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000309)
- [99] M. Bancescu, "Controlling Project Schedule Progress, Using Control Charts," *Cybernetics and Systems*, vol. 47, n° 7, p. 602-615, 2016. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/01969722.2016.1211883>
- [100] R. Votto, L. Lee Ho et F. Bersaneti, "Earned Duration Management Control Charts: Role of Control Limit Width Definition for Construction Project Duration Monitoring," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 147, n° 9, 2021. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002135](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002135)
- [101] Z. Chen *et al.*, "A Bayesian approach to set the tolerance limits for a statistical project control method," *International Journal of Production Research*, vol. 58, n° 10, p. 3150-3163, 2020. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2019.1630766>
- [102] A. Martens et M. Vanhoucke, "The integration of constrained resources into top-down project control," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 110, p. 277-288, 2017. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.020>
- [103] J. Song, A. Martens et M. Vanhoucke, "Using Earned Value Management and Schedule Risk Analysis with resource constraints for project control," *European Journal of Operational Research*, vol. 297, n° 2, p. 451-466, 2022. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.036>
- [104] F. Vaseghi et M. Vanhoucke, "A comparison of activity ranking methods for taking corrective actions during project control," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 183, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2023.109505>
- [105] J. A. L. Garcia *et al.*, "Project control and computational intelligence: Trends and challenges," *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 10, n° 1, p. 320-335, 2017.
- [106] V. K. Reja, M. S. Pradeep et K. Varghese, "A Systematic Classification and Evaluation of Automated Progress Monitoring Technologies in Construction," communication présentée à 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2022, July 13, 2022 - July 15, 2022, Bogota, Colombia, 2022, p. 120-127.
- [107] Y. Gamil, H. Alhajlah et M. A. Kassem, "Automated Project Progress Monitoring in Construction Projects: A Review of Current Applications and Trends," communication présentée à 2nd International Conference on Emerging Technologies and Intelligent Systems, ICETIS 2022, September 2, 2022 - September 3, 2022, Virtual, Online, 2023, p. 274-293. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-25274-7\\_23](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-25274-7_23)
- [108] N. Mansouri Asl et A. Hammad, "A Framework to Enhance Utilization of Automated Progress Measurements in Construction Projects," communication présentée à Construction Research Congress 2022: Computer Applications, Automation, and Data

- Analytics, CRC 2022, March 9, 2022 - March 12, 2022, Arlington, VA, United states, 2022, p. 651-660. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483961.068>
- [109] M. Golparvar-Fard, F. Pena-Mora et S. Savarese, "Automated progress monitoring using unordered daily construction photographs and IFC-based building information models," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, n° 1, 2015. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000205](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205)
- [110] I. Mutis, V. A. Joshi et A. Singh, "Object Detectors for Construction Resources Using Unmanned Aerial Vehicles," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, vol. 26, n° 4, 2021. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000598](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000598)
- [111] O. A. Olatunji et A. A. Akanmu, "An adaptive cyber-physical system's approach to construction progress monitoring and control," : American Society of Civil Engineers (ASCE), 2015, p. 195-221.
- [112] M. A. Berawi, A. Sunardi et M. Ichsan, "Chief-screen 1.0 as the internet of things platform in project monitoring & controlling to improve project schedule performance," communication présentée à 5th Information Systems International Conference, ISICO 2019, July 23, 2019 - July 24, 2019, Surabaya, Indonesia, 2019, p. 1249-1257. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.239>
- [113] Y.-C. Lee, M. Scarpiniti et A. Uncini, "Advanced Sound Classifiers and Performance Analyses for Accurate Audio-Based Construction Project Monitoring," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, n° 5, 2020. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000911](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000911)
- [114] A. Shahi *et al.*, "Data Fusion Process Management for Automated Construction Progress Estimation," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, n° 6, 2015. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000436](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000436)
- [115] G. Guven et E. Ergen, "A rule-based methodology for automated progress monitoring of construction activities: A case for masonry work," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 24, p. 188-208, 2019.
- [116] S. Chen, "Construction Project Cost Management and Control System Based on Big Data," *Mobile Information Systems*, vol. 2022, 2022. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1155/2022/7908649>
- [117] E. Marchwicka, "A technique for supporting decision process of global software project monitoring and rescheduling based on risk analysis," *Journal of Decision Systems*, p. 1-15, 2020. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1080/12460125.2020.1790825>
- [118] Y. Olawale et M. Sun, "Construction project control in the UK: Current practice, existing problems and recommendations for future improvement," *International Journal of Project Management*, vol. 33, n° 3, p. 623-637, 2015. [En ligne]. Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.003>
- [119] N. D. I. Association, "Earned value management systems EIA-748-D intent guide," *Recuperado de https://www.ndia.org/-/media/sites/ndia/divisions/ipmd/division-guides-and-resources/ndia\_ipmd\_intent\_guide\_ver\_d\_aug2018.ashx*, 2018.

- [120] M. Prévalet, *Planification de projet*: Gereso, formation, conseil, édition, 2023.
- [121] A. Joseph et P. Lukas, "Earned value analysis—Why it doesn't work," *Proc., AACE Int. Transactions, EVM*, vol. 1, 2008.
- [122] Q. Panquet, *Méthode d'implantation du pilotage de projet par la valeur acquise en entreprise*: Ecole Polytechnique, Montreal (Canada), 2020.
- [123] R. Boudreault *et al.*, "A Constraint Programming Approach to Ship Refit Project Scheduling," communication présentée à 28th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming (CP 2022), 2022.
- [124] G. Bruce, "Improved estimating as a basis for shiprepair project control," communication présentée à International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011, September 20, 2011 - September 22, 2011, Trieste, Italy, 2011, p. 165-171.
- [125] D. S. GEORGE CHRYSSOLOURIS, N. PAPAKOSTAS et D. MOURTZIS, "An integrated software framework for synchronising internal business functions of a ship-repair yard."
- [126] R. Galmard, *Cadre généralisé de planification tactique de projets de remise à niveau de navires*: Ecole Polytechnique, Montreal (Canada), 2021.
- [127] M. Fleurent, "Amélioration du processus de gestion des demandes de changement d'ingénierie dans le domaine de la construction," École Polytechnique de Montréal, 2013.
- [128] J. Mosser, *Cartographie 4.0 pour la transformation numérique des processus*: Ecole Polytechnique, Montreal (Canada), 2020.
- [129] O. Abudayyeh *et al.*, "An intranet-based cost control system," *Advances in Engineering Software*, vol. 32, n° 2, p. 87-94, / 2001. [En ligne]. Disponible : [http://dx.doi.org/10.1016/S0965-9978\(00\)00094-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-9978(00)00094-6)

## ANNEXE A CLASSIFICATION DE WILLEMS ET VANHOUCKE [6]

Tableau A.1 – Classification utilisée dans l'article de Willem et Vanhoucke [6]

Classes	Sous-Classes	Sigles	Descriptions
Problème de recherche (P)	Phase préparatoire (Prep)	WBSdet	Détail du WBS
		WBSind	Indépendance des lots de travail
		WBStd	Approche descendante ou ascendante
		Netw	Relations de précédence dans le réseau
		PVchang	Changements dans le plan de référence
		PVcash	Solde de trésorerie négatif
		Client	Interaction client-contractant
		TCint	Intégration temps-coût
		TCfocus	Focus temps et coûts
		Tcrel	Relation temps-coût
Exécution de projet (Exe)	Exécution de projet (Exe)	CP	Points de contrôle
		EVMissue	Problème d'implantation de l'EVM
		Data	Collecte de données chronophage
		Future	Manque de précision sur performances futures
		ACCfor	Précision des prévisions
		Stabil	Instabilité des prévisions
		ACClearly	Prévisions initiales imprécises
		Det	Nature déterministe de l'EVM
		OOC	Détection des performances hors de contrôle
		Action	Prises de décision des actions correctives
Projets multiples (Multi)	Projets multiples (Multi)	Res	Allocation des ressources
		Flow	Flux d'informations inefficace
		IT	Problèmes liés à l'IT
		PMeff	Efficacité des outils de gestion
		PMapp	Problèmes d'implantation
		Know	Création de bases de connaissances
		Learn	Apprentissage inter-projets
		Auto	Cadre de suivi automatisé
		Visual	Processus de contrôle visuel
Contribution (C)	Général (Gen)	Gen	Contrôle général des projets
	Performance (Perf)	Measur	Mesures et systèmes de contrôle
		Index	Améliorations des indices de base
	Prévision (For)	Cash	Prévisions des flux de trésorerie
		Cost	Prévisions des coûts
		Time	Prévisions des délais

Tableau A.1 – Classification utilisée dans l'article de Willems et Vanhoucke [6] (suite)

Contribution (C)	Prévision (For)	Acc	Précision des prévisions
		Succ	Prédiction du succès du projets
	Déclencheur d'action (Trigger)	CP	Points de contrôle
		EW	Alertes précoces
		Action	Procédures d'action
Observation (Obs)	Outils (Tool)	Tool	Outils d'aide à la décision
		Lit	Revue de littérature
		Case	Études de cas
		Man	Enquêtes de gestion
Méthodologie (M)	EVM	EVM	EVM traditionnel
		Context	Adaptation à un contexte spécifique
		IndexD	Nouveaux indices déterministes
		IndexP	Nouveaux indices probabilistes
		EVMmisc	Autres approches liées à l'EVM
	Statistiques (Stat)	Stat	Statistiques traditionnelles
		CurveD	Ajustement de courbes déterministes
		CurveP	Ajustement de courbes probabilistes
		Chart	Graphiques de contrôle statistiques et limites de tolérance
		Bayes	Statistiques bayésiennes et filtre de Kalman
Intelligence artificielle (AI)		NN	Réseaux de neurones
		SVM	Machines à vecteurs de support
		KBS	Systèmes de bases de données
		Sim	Simulation
	Informatique (Comp)	ISA	Système d'information et automatisation
Divers (MISC)	Divers (MISC)	MISC	Divers
		Det	Déterministe
Analyse (An)		Stoch	Stochastique
		Fuz	Flou
		NA	Non applicable
Validation (V)	Historique (His)	HisS	Petit (2-100 projets)
		HisL	Grand (>100 projets)
	Simulée (Sim)	SimS	Petit (2-100 projets)
		SimL	Grand (>100 projets)
Qualitative (Qual)	One	Exemple unique	
	Que	Enquête ou questionnaire	
	NA	NA	Non applicable

Tableau A.1 – Classification utilisée dans l'article de Willems et Vanhoucke [6] (suite et fin)

Application (Ap)	Constr	Industrie de la construction
	ITS	Développement de logiciel
	Prod	Production
	Multi	Multi-projets
	HT	High-Tech et Ingénierie
	MISC	Divers
Secteur public (Pub)	Trans	Transport
	Gov	Gouvernement
Général (Gen)	Gen	Général / Non spécifié

## ANNEXE B CRITERES D'EVALUATION DE LA MATURITE

Tableau B.1 – Tableau des critères d'évaluation de la maturité des processus

Catégories EIA-748	#	Nouveaux critères pour l'évaluation de la maturité	Description EIA-748
Organisation	1	Définir des objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, pertinents et temporellement définis (SMART)	Définir les éléments de travail autorisés pour le projet. Une structure de découpage de projet (WBS), adaptée pour un contrôle interne efficace, est couramment utilisée dans ce processus.
	2	Veiller à ce que les processus de contrôle des coûts et du temps du projet soient cohérents dans toute l'entreprise	Assurer l'intégration des processus de planification, de programmation, de budgétisation, d'autorisation du travail et d'accumulation des coûts de l'entreprise, ainsi qu'avec la structure de découpage du travail du programme et la structure organisationnelle du programme, le cas échéant.
	3	Veiller à ce que le contrôle des coûts et du temps soit toujours intégré dès la planification du projet	Assurer l'intégration de la structure de découpage du travail du programme et de la structure organisationnelle du programme de manière à permettre la mesure de la performance des coûts et du calendrier par éléments de l'une ou des deux structures selon les besoins.
	4	S'assurer que les coûts et le temps sont intégrés lors de l'analyse	
Planification, échéancier et budgétisation	5	Établir un chemin critique clairement identifiable dans le programme (planning)	Planifier le travail autorisé de manière à décrire la séquence des tâches et à identifier les interdépendances significatives nécessaires pour répondre aux exigences du programme.
	6	Obtenir l'approbation des parties prenantes pour la ligne de base du projet	
	7	Spécifier clairement quels seront les livrables du contrôle des coûts et du temps du projet afin de faciliter le suivi	Identifier les produits physiques, les jalons, les objectifs de performance technique ou d'autres indicateurs qui seront utilisés pour mesurer les progrès.
	8	Élaborer un plan de projet détaillé, y compris des tâches, des délais, des ressources, des budgets et des responsabilités pour atteindre les objectifs du projet	Établir et maintenir une base de référence budgétaire étalée dans le temps, au niveau des comptes de contrôle, contre laquelle la performance du programme peut être mesurée. Les budgets initiaux établis pour la mesure de la performance seront basés soit sur les objectifs de gestion internes, soit sur le coût cible négocié avec le client externe, y compris les estimations pour les travaux autorisés, mais non définis. Le budget pour les efforts à long terme peut être conservé dans des comptes de niveau supérieur jusqu'au moment approprié pour l'allocation au niveau des comptes de contrôle. Pour les contrats gouvernementaux, si une base de référence au-dessus du seuil est utilisée à des fins de reporting de la performance, une notification préalable doit être fournie au client.
Contrôle des coûts	9	Veiller à ce que toutes les activités ou lots du projet aient leur coût attribué pour l'exécution des travaux	Établir des budgets pour le travail autorisé en identifiant les éléments de coût significatifs (main-d'œuvre, matériaux, etc.) selon les besoins pour la gestion interne et le contrôle des sous-traitants.
	10	Identifier, évaluer et gérer les risques tout au long du projet pour minimiser les impacts négatifs sur les objectifs du projet et développer des stratégies d'atténuation	Identifier les réserves de gestion et les budgets non distribués.
	11	Suivre et contrôler les coûts du projet pour s'assurer qu'ils restent dans les limites du budget alloué	Enregistrer les coûts directs de manière cohérente avec les budgets dans un système formel contrôlé par les livres de comptes généraux.

Tableau B.1 – Tableau des critères d'évaluation de la maturité des processus de suivi de projet (suite et fin)

Analyses et management des rapports	<p>12 Collecter des données sur l'avancement du projet, y compris les coûts réels, les délais et les performances</p> <p>13 Utiliser des indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer et évaluer l'avancement du projet par rapport aux objectifs prévus</p> <p>14 S'assurer qu'il existe un système pour surveiller l'efficacité de la main-d'œuvre dans le cadre des processus de contrôle des coûts et du temps</p> <p>15 Utiliser la comparaison entre le coût et la valeur lors de l'analyse pendant le contrôle des coûts et du temps du projet</p> <p>16 Analyser les écarts entre les données réelles et la ligne de base</p>	<p>Au moins sur une base mensuelle, générer les informations suivantes au niveau des comptes de contrôle et à d'autres niveaux, si nécessaire, pour le contrôle de gestion en utilisant les données de coût réelles provenant de, ou réconciliées avec, le système comptable :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Comparaison entre le montant du budget prévu et le montant du budget gagné pour le travail accompli. Cette comparaison fournit la variance de calendrier.</li> <li>2) Comparaison entre le montant du budget gagné et les coûts directs réels (appliqués le cas échéant) pour le même travail. Cette comparaison fournit la variance de coût.</li> </ol>
Révisions et maintenance des données	<p>17 Identifier les causes des écarts et évaluer leur impact sur le projet</p> <p>18 S'assurer que les rapports sont toujours honnêtes et véridiques et de la transparence et la clarté dans la communication des informations sur le projet</p> <p>19 Fournir des rapports d'avancement réguliers aux parties prenantes du projet, en mettant en évidence les réalisations, les problèmes et les actions correctives</p> <p>20 Veiller à ce qu'il existe une relation ouverte et de confiance entre l'équipe de gestion sur site et l'équipe de bureau pour garantir que les rapports du site sont honnêtes et précis</p> <p>21 Éviter l'utilisation de manipulations informatiques complexes pour le reporting</p> <p>22 Présenter le rapport à l'aide d'outils quantitatifs (par exemple, graphiques, courbes et histogrammes)</p> <p>23 Incorporer des explications qualitatives dans les rapports en plus des graphiques et courbes quantitatifs, afin que les raisons derrière les résultats puissent être correctement comprises</p> <p>24 Prévoir les tendances futures et ajuster les plans en conséquence</p>	<p>Identifier, au moins mensuellement, les différences significatives entre la performance du calendrier prévue et réelle ainsi que la performance des coûts prévus et réels, et fournir les raisons des écarts avec les détails nécessaires pour la gestion du programme.</p> <p>Résumer les éléments de données et les écarts associés à travers l'organisation du programme et/ou la structure de découpage de projet pour soutenir les besoins de gestion et tout reporting client spécifié dans le contrat.</p> <p>Mettre en œuvre les actions managériales prises à la suite des informations sur la valeur acquise.</p> <p>Incorporer les changements autorisés de manière opportune, en enregistrant les effets de ces changements dans les budgets et les calendriers. Dans les efforts dirigés avant la négociation d'un changement, baser ces révisions sur le montant estimé et budgété pour les organisations du programme.</p> <p>Documenter les changements apportés à la base de référence de la mesure de performance.</p>

## ANNEXE C EVALUATION DE LA MATURITE A $T_0$

Tableau C.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_0$

Catégories EIA-748	#	Nouveaux critères pour l'évaluation de la maturité	T0	Limite inférieure	Commentaire
Organisation	1	Définir des objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, pertinents et temporellement définis (SMART)	4	2	Objectifs spécifiés à l'aide de la prochaine mission du navire
	2	Veiller à ce que les processus de contrôle des coûts et du temps du projet soient cohérents dans toute l'entreprise	4	2	Le suivi interne est appliqué de manière uniforme pour la plupart des aspects. Les périodes de travail sont définies à un niveau supérieur.
	3	Veiller à ce que le contrôle des coûts et du temps soit toujours intégré dès la planification du projet	3	2	KPIs pour les coûts et sur comment la WP est dans les temps, mais pas de réel suivi du temps au niveau des activités
	4	S'assurer que les coûts et le temps sont intégrés lors de l'analyse	3	2	Utilisation de KPIs pour le budget et les performances des équipes, mais pas pour le calendrier
Planification, échéancier et budgétisation	5	Établir un chemin critique (CC) clairement identifiable dans le programme (planning)	2	2	Définition d'une liste de tâches, mais pas de durée réelle associée à chacune des tâches, donc pas possible de définir le CC
	6	Obtenir l'approbation des parties prenantes pour la ligne de base du projet	4	2	Approbation avec la signature des appels d'offres
	7	Spécifier clairement quels seront les livrables du contrôle des coûts et du temps du projet afin de faciliter le suivi	3	2	Pendant la phase de démarrage du contrat, les indicateurs de performance clés (KPI) sont flexibles et peuvent être modifiés si chaque partenaire est d'accord. En ce qui concerne les livrables dans la prestation de services, il est défini que 90 % à 100 % de la maintenance préventive (PM) doit être réalisée à temps avec un minimum défini de disponibilité du navire.
	8	Élaborer un plan de projet détaillé, y compris des tâches, des délais, des ressources, des budgets et des responsabilités pour atteindre les objectifs du projet	3	2	Michael planifie les routines de maintenance et Howard est impliqué pour la planification des ressources et pour l'allocation du budget. Budget du projet établi avec les contrats des partenaires externes. Cependant, pas de planification réelle en termes de temps et de calendrier.

Tableau C.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_0$  (suite)

Planification, échéancier et budgétisation	9	Veiller à ce que toutes les activités ou lots du projet aient leur coût attribué pour l'exécution des travaux	4	2	Définition établie à l'aide de la signature des appels d'offres
	10	Identifier, évaluer et gérer les risques tout au long du projet pour minimiser les impacts négatifs sur les objectifs du projet et développer des stratégies d'atténuation	1	2	Thales ne définit pas officiellement de risques, mais ils sont tout de même présentés au Gouvernement Canadien (bien que cela ne soit pas actuellement un processus formel de gestion des risques).
Contrôle des coûts	11	Suivre et contrôler les coûts du projet pour s'assurer qu'ils restent dans les limites du budget alloué	1	2	Attribution d'un budget par navire pour les opérations de maintenance, mais pas de réel suivi des coûts par rapport au budget, comparaison à la fin du projet entre le montant budgétaire et le montant réel
	12	Collecter des données sur l'avancement du projet, y compris les coûts réels, les délais et les performances	2	2	Utilisation de KPIs pour l'efficacité, le PPC ou encore les coûts
	13	Utiliser des indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer et évaluer l'avancement du projet par rapport aux objectifs prévus	3	2	Utilisation de KPIs pour l'efficacité, le PPC ou encore les coûts
Analyses et management des rapports	14	S'assurer qu'il existe un système pour surveiller l'efficacité de la main-d'œuvre dans le cadre des processus de contrôle des coûts et du temps	4	2	Utilisation d'un KPI pour l'efficacité de la main d'œuvre
	15	Utiliser la comparaison entre le coût et la valeur lors de l'analyse pendant le contrôle des coûts et du temps du projet	1	2	Non utilisation de la méthode EVM ou de méthode similaire
	16	Analyser les écarts entre les données réelles et la ligne de base	2	2	Comparaison entre les tâches planifiées et celles réalisées, mais sous forme de liste, difficile d'identifier un écart dans la planification
	17	Identifier les causes des écarts et évaluer leur impact sur le projet	2	2	Identification des causes des écarts, de non-complétiions des activités concernées pour déterminer qui est responsable, les "problem reports" permettent également de déterminer les raisons de variation dans le budget
	18	S'assurer que les rapports sont toujours honnêtes et véridiques et de la transparence et la clarté dans la communication des informations sur le projet	3	2	Réunion entre SML, MC et SC avant les réunions de suivi pour s'assurer de la justesse et exactitude des informations de suivi, mais pas d'information sur les délais
	19	Fournir des rapports d'avancement réguliers aux parties prenantes du projet, en mettant en évidence les réalisations, les problèmes et les actions correctives	3	2	Réunion hebdomadaire avec les partenaires avec rapports sur l'avancement, la sécurité et le planning pour la semaine suivante

Tableau C.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_0$  (suite et fin)

Analyses et management des rapports	20	Veiller à ce qu'il existe une relation ouverte et de confiance entre l'équipe de gestion sur site et l'équipe de bureau pour garantir que les rapports du site sont honnêtes et précis	4	2	
	21	Éviter l'utilisation de manipulations informatiques complexes pour le reporting	1	2	Utilisation de capture d'écran de Microsoft Project pour le reporting
	22	Présenter le rapport à l'aide d'outils quantitatifs (par exemple, graphiques, courbes et histogrammes)	1	2	Utilisation de capture d'écran de Microsoft Project pour le reporting
	23	Incorporer des explications qualitatives dans les rapports en plus des graphiques et courbes quantitatifs, afin que les raisons derrière les résultats puissent être correctement comprises	1	2	Utilisation de capture d'écran de Microsoft Project pour le reporting
	24	Prévoir les tendances futures et ajuster les plans en conséquence	1	2	Dans le cadre des SWP, les périodes sont très courtes, difficiles d'avoir des prévisions fiables pour le futur du projet et concernant les modifications du plan, on adapte plutôt la liste de tâches initiale pour quelle ressemble davantage à la réalité
Revisions et maintenance des données	25	Établir des procédures pour gérer les demandes de changement et évaluer leur impact sur le projet avant de les autoriser	4	2	Procédure de "Problem report" en cas de détection de nouveaux problèmes et donc de changement dans la nature de l'activité
	26	Avoir une connaissance appropriée et s'accorder sur les implications en termes de temps et de coûts de toute variation, dans la mesure du possible, avant de procéder	3	2	Les informations sont accessibles pour le SML en tout temps
	27	Documenter tous les changements apportés au projet, y compris les changements de scope, de calendrier et de budget	4	2	Procédure de "Problem report" en cas de détection de nouveaux problèmes et donc de changement dans la nature de l'activité

## ANNEXE D GRILLE D'EVALUATION ET PROPOSITION D'AMELIORATION A T<sub>1</sub>

Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à T<sub>1</sub> et suggestions d'amélioration

Catégories EIA-748	#	Nouveaux critères pour l'évaluation de la maturité	T0	T1	Proposition d'amélioration	Objectif de l'amélioration	Activité impactée	Type d'impact
Organisation	1	Définir des objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, pertinents et temporellement définis (SMART)	4	4	X	X	X	X
	2	Veiller à ce que les processus de contrôle des coûts et du temps du projet soient cohérents dans toute l'entreprise	4	4	X	X	X	X
	3	Veiller à ce que le contrôle des coûts et du temps soit toujours intégré dès la planification du projet	3	4				2.1 Éditer la dernière version de la liste des ordres de maintenance avec les informations de coût et de calendrier (c.-à-d., les valeurs planifiées)
	4	S'assurer que les coûts et le temps sont intégrés lors de l'analyse	3	4	Modifier la liste des activités de maintenance en y ajoutant le coût et la date planifié pour chacune des activités	Cette liste permettrait d'avoir une base pour effectuer des analyses types EVM avec des ratios pour le SPI et le CPI et aussi avoir de potentielles informations sur leur valeur		Modification
Planification, échéancier et budgétisation	5	Établir un chemin critique clairement identifiable dans le programme (planning)	2	4	Modifier la liste des activités de maintenance en y ajoutant le coût et la date planifié pour chacune des activités	Cette liste permettrait d'avoir une base pour effectuer des analyses types EVM avec des ratios pour le SPI et le CPI et aussi avoir de potentielles informations sur leur valeur		Modification
	6	Obtenir l'approbation des parties prenantes pour la ligne de base du projet	4	4	X	X	X	X

Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_1$  et suggestions d'amélioration (suite)

Planification, échéancier et budgétisation	7	Spécifier clairement quels seront les livrables du contrôle des coûts et du temps du projet afin de faciliter le suivi	3 3	X	X	X	X
	8	Élaborer un plan de projet détaillé, y compris des tâches, des délais, des ressources, des budgets et des responsabilités pour atteindre les objectifs du projet	3 4	Modifier la liste des activités de maintenance en y ajoutant le coût et la date planifié pour chacune des activités	Cette liste permettrait d'avoir une base pour effectuer des analyses types EVM avec des ratios pour le SPI et le CPI et aussi avoir de potentielles informations sur leur valeur	2.1 Éditer la dernière version de la liste des ordres de maintenance avec les informations de coût et de calendrier (c.-à-d., les valeurs planifiées)	Modification
	9	Veiller à ce que toutes les activités ou lots du projet aient leur coût attribué pour l'exécution des travaux	4 4	X	X	X	X
	10	Identifier, évaluer et gérer les risques tout au long du projet pour minimiser les impacts négatifs sur les objectifs du projet et développer des stratégies d'atténuation	1 3	Définir une réserve de budget pour le projet à l'aide des expériences et des projets passés afin de prévenir l'apparition d'évènements imprévus ou des risques identifiés	Permet en cas de besoin de pallier les imprévus durant le cycle de vie du projet	1.7 Définir des réserves de budget afin d'anticiper les risques	Ajout
	11	Suivre et contrôler les coûts du projet pour s'assurer qu'ils restent dans les limites du budget alloué	1 3	Enregistrer le coût réel de l'activité à l'aide de la "nouvelle" liste des activités de maintenance	Permet un suivi des coûts du projet et le calcul du CPI au niveau de la tâche, mais aussi du projet avec la somme des coûts des différentes tâches de maintenance. Permet également de garder une trace pour l'estimation des prochaines périodes de maintenance	2.5 Mettre à jour le statut de chaque ordre de maintenance (c.-à-d., état d'avancement, frais engagés, consommables utilisés, etc.)	Modification
Contrôle des coûts							

Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_1$  et suggestions d'amélioration (suite)

Analyses et management des rapports	12	Collecter des données sur l'avancement du projet, y compris les coûts réels, les délais et les performances	2    3	Enregistrer la date réelle d'exécutions des activités de maintenance à l'aide de la "nouvelle" liste des activités de maintenance	Permet un suivi du calendrier de projet et le calcul du SPI au niveau des périodes du projet. Permet également de garder une trace pour l'estimation des prochaines périodes de maintenance	2.5 Mettre à jour le statut de chaque ordre de maintenance (c.-à-d., état d'avancement, frais engagés, consommables utilisés, etc.)	
	13	Utiliser des indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer et évaluer l'avancement du projet par rapport aux objectifs prévus	3    3	X	X	X	X
	14	S'assurer qu'il existe un système pour surveiller l'efficacité de la main-d'œuvre dans le cadre des processus de contrôle des coûts et du temps	4    4	X	X	X	X
	15	Utiliser la comparaison entre le coût et la valeur lors de l'analyse pendant le contrôle des coûts et du temps du projet	1    3	Définir de nouveaux indicateurs CPI ou SPI avec l'utilisation d'un rapport entre le nombre de tâches réalisées sur le nombre de tâches planifiées pour le calcul de la valeur du SPI et le budget planifié et le budget réel à la date pour le calcul du CPI	Permet d'avoir rapidement un aperçu sur la santé du projet, si les délais et les coûts seront respecté	2.6 Calculer les CPI et SPI du projet	Ajout
	16	Analyser les écarts entre les données réelles et la ligne de base	2    3	Utiliser les nouveaux indicateurs SPI et CPI ainsi que les indicateurs de performances déjà existants pour identifier les activités à l'origine des écarts	Les indicateurs permettront d'avoir un rapide aperçu sur les performances de projet ainsi que de repérer les activités responsables de retard, dépassement des coûts		
	17	Identifier les causes des écarts et évaluer leur impact sur le projet	2    3	Intégrer une colonne à la nouvelle liste des activités de maintenance afin d'y renseigner les raisons de non-complétiion, de retard ou de dépassements du budget pour les activités concernées	Permet d'identifier rapidement quelles tâches sont à l'origine des éventuels retards ou surcoûts et va également permettre d'alimenter les discussions lors des réunions pour comprendre l'avancement, les performances du projets	2.5 Mettre à jour le statut de chaque ordre de maintenance (c.-à-d., état d'avancement, frais engagés, consommables utilisés, etc.)	Modification

Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_1$  et suggestions d'amélioration (suite)

Analyses et management des rapports	18	S'assurer que les rapports sont toujours honnêtes et véridiques et de la transparence et la clarté dans la communication des informations sur le projet	3 3	X	X	X	X
	19	Fournir des rapports d'avancement réguliers aux parties prenantes du projet, en mettant en évidence les réalisations, les problèmes et les actions correctives	3 3	X	X	X	X
	20	Veiller à ce qu'il existe une relation ouverte et de confiance entre l'équipe de gestion sur site et l'équipe de bureau pour garantir que les rapports du site sont honnêtes et précis	4 4	X	X	X	X
	21	Éviter l'utilisation de manipulations informatiques complexes pour le reporting	1 3				
	22	Présenter le rapport à l'aide d'outils quantitatifs (par exemple, graphiques, courbes et histogrammes)	1 3	Utiliser un tableau de bord quotidien/hebdomadaire avec les informations de suivi importantes telles que les indicateurs de performances ainsi qu'une analyse de ces derniers	Permet de fournir une information aussi bien quantitative que qualitative aux parties prenantes du projet	2.7 Mettre à jour le tableau de bord	Ajout
	23	Incorporer des explications qualitatives dans les rapports en plus des graphiques et courbes quantitatifs, afin que les raisons derrière les résultats puissent être correctement comprises	1 3				
	24	Prévoir les tendances futures et ajuster les plans en conséquence	1 3	Intégrer le processus de gestion des demandes de changement d'ingénierie (Exemple : Fleurent 2013) pour ajuster le plan de projet	Permet la gestion de l'ajout de nouvelle activité au sein du projet avec la détection de nouveau problème lors des opérations de démontage et/ou de diagnostic	2.15 Appliquer la procédure de gestion du changement pour la modification de la liste initiales des ordres de maintenance	Modification

Tableau D.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_1$  et suggestions d'amélioration (suite et fin)

Révisions et maintenance des données	25	Établir des procédures pour gérer les demandes de changement et évaluer leur impact sur le projet avant de les autoriser	4    4	X		X	X	X
	26	Avoir une connaissance appropriée et s'accorder sur les implications en termes de temps et de coûts de toute variation, dans la mesure du possible, avant de procéder	3    3	X		X	X	X
	27	Documenter tous les changements apportés au projet, y compris les changements de scope, de calendrier et de budget	4    4	X		X	X	X

## ANNEXE E GRILLE D'EVALUATION ET PROPOSITION D'AMELIORATION A T<sub>2</sub>

Tableau E.1 – Évaluation de la maturité des processus à T<sub>2</sub> et suggestions d'amélioration

Catégories EIA-748	#	Nouveaux critères pour l'évaluation de la maturité	T2	Proposition d'amélioration	Référence	Objectif de l'amélioration	Activité impactée	Type d'impact
Organisation	1	Définir des objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, pertinents et temporellement définis (SMART)	5	Quantifier les valeurs à l'aide d'outils d'intelligence artificielle et des bases de données avec les historiques de projets		Permet une évaluation rapide des objectifs avec le traitement par IA et des historiques de projets.	1.8 Définir les objectifs pour chaque indicateur retenu	Technologie
	2	Veiller à ce que les processus de contrôle des coûts et du temps du projet soient cohérents dans toute l'entreprise	4	X	X	X	X	
	3	Veiller à ce que le contrôle des coûts et du temps soit toujours intégré dès la planification du projet	5	Mettre en place la structure de découpage de projet (WBS) et de structure de découpage des coûts (CBS)	Cerezo-Narváez et al 2020	L'utilisation du WBS et du CBS va permettre d'intégrer la gestion des coûts et du planning dès la phase de planification du projet et faciliter les étapes de planification et de budgétisation	1.2 Etablir structure de découpage de projet et de découpage des coûts	Ajout
	4	S'assurer que les coûts et le temps sont intégrés lors de l'analyse	4	X	X	X	X	X
Planification, échéancier et budgétisation	5	Établir un chemin critique clairement identifiable dans le programme (planning)	4	X	X	X	X	X
	6	Obtenir l'approbation des parties prenantes pour la ligne de base du projet	4	X	X	X	X	X
	7	Spécifier clairement quels seront les livrables du contrôle des coûts et du temps du projet afin de faciliter le suivi	3	X	X	X		
	8	Élaborer un plan de projet détaillé, y compris des tâches, des délais, des ressources, des budgets et des responsabilités pour atteindre les objectifs du projet	4	X	X	X	X	X

Tableau E.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_2$  et suggestions d'amélioration (suite)

Planification, échéancier et budgétisation	9	Veiller à ce que toutes les activités ou lots du projet aient leur coût attribué pour l'exécution des travaux	4	X	X	X	X	X
	10	Identifier, évaluer et gérer les risques tout au long du projet pour minimiser les impacts négatifs sur les objectifs du projet et développer des stratégies d'atténuation	5	Intégrer la gestion des risques avec la méthode EVM, cette intégration va permettre la mise en place de réserves de contingence et de réserves de management ainsi que la gestion des coûts associés aux reworks	Acebes et al 2015 ; Miguel et al 2019	L'identification des risques et des différents types permettra une meilleure anticipation et définitions des différents budgets pour les gérer	1.10 Définir les budgets de réserve de management et de réserve de contingence	Modification
Contrôle des coûts	11	Suivre et contrôler les coûts du projet pour s'assurer qu'ils restent dans les limites du budget alloué	5	Utiliser une interface web ainsi que la mise en place de système cyberphysique pour la communication et le traitement des données réelles de coût	Abudeyyah et al 2001, Olatunji et Akamnu 2015	Avec ces technologies, les coûts réels pourront être transmis directement au système pour être traités. Ces données pourront également être transmises et enregistrées	2.6 Enregistrer et transférer les coûts et délais d'exécution des ordres de maintenance	Technologie
	12	Collecter des données sur l'avancement du projet, y compris les coûts réels, les délais et les performances	4	Utiliser des systèmes connectés et des interfaces web comme des tablettes et applications afin de rentrer et transférer toutes les données réelles des activités	Olatunji et Akamnu 2015	L'utilisation de ce type de technologie va permettre d'accélérer le traitement des différents contrats en réduisant les temps d'attentes pour la signature des documents administratifs grâce à la numérisation de ces derniers	2.6 Enregistrer et transférer les coûts et délais d'exécution des ordres de maintenance	Technologie
Analyses et management des rapports	13	Utiliser des indicateurs clés de performance (KPI) pour mesurer et évaluer l'avancement du projet par rapport aux objectifs prévus	4	Intégrer les objectifs de projet, la qualité ainsi que les risques par rapport aux activités de maintenance défini comme nouveaux indicateurs de performance (Exemple : nouvelle indicateur pour les objectifs par rapport aux prochaines missions du navire)	Muñoz-hernandez et al 2015 ; Miguel et al 2019	Avec ces nouveaux indicateurs, différents aspects du projet pourront être suivis et contrôlés tout au long de la réalisation du projet et ainsi avoir un aperçu rapide sur l'état d'avancement du projet	1.7 Définir les indicateurs pour les objectifs, la qualité et les risques	Ajout
	14	S'assurer qu'il existe un système pour surveiller l'efficacité de la main-d'œuvre dans le cadre des processus de contrôle des coûts et du temps	4	X	X	X	X	X

Tableau E.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_2$  et suggestions d'amélioration (suite)

Analyses et management des rapports	15	Utiliser la comparaison entre le coût et la valeur lors des analyses pendant le contrôle des coûts et du temps du projet	5	Utiliser l'approche EVM à coût fixe et de ses indicateurs de performances associés	Picornell et al 2016	L'approche EVM à coût fixe propose de nouveaux indicateurs de performances qui, une fois analyser, permettront de traduire des informations sur la santé du projet		Réaffectation
	16	Analyser les écarts entre les données réelles et la ligne de base	5	Utiliser les nouveaux indices de performances pour la comparaison entre la valeur planifiée et la valeur réelle des différentes composantes de performance principales du projet	Muñoz-hernandez et al 2015 ; Miguel et al 2019	Avec l'analyse des nouveaux indicateurs, une interprétation sur la santé du projet peut être réalisé	2.7 Actualiser les CPI et SPI du projet avec la méthode EVM à coûts fixés	Réaffectation
	17	Identifier les causes des écarts et évaluer leur impact sur le projet	4	Utiliser les indicateurs de performances et les raisons de non-réalisation, de retard ou de dépassement de coûts pour expliquer les écarts	Muñoz-hernandez et al 2015 ; Miguel et al 2019	Le croisement des informations entre les valeurs des indicateurs de performance et la documentation en cas d'écarts va permettre d'analyser rapidement la cause et les impacts potentiels des écarts	2.12 Analyser les écarts et calculer les tendances du projet à l'aide des formules de l'EVM à coûts fixés	Modification
	18	S'assurer que les rapports sont toujours honnêtes et véridiques et de la transparence et la clarté dans la communication des informations sur le projet	4	Créer une interface web pour avoir un tableau de bord permettant d'effectuer les analyses EVM automatiquement afin de déterminer les performances du projet	Chou et al 2010, Berawi et al 2019	L'utilisation d'un tableau de bord permet d'améliorer la transparence avec les parties prenantes et une centralisation des informations. Ces informations sont donc facilement accessibles à partir de tablettes, smartphones grâce à cette centralisation des informations	Réaffectation de l'activité 2.8	Technologie
	19	Fournir des rapports d'avancement réguliers aux parties prenantes du projet, en mettant en évidence les réalisations, les problèmes et les actions correctives	5					
	20	Veiller à ce qu'il existe une relation ouverte et de confiance entre l'équipe de gestion sur site et l'équipe de bureau pour garantir que les rapports du site sont honnêtes et précis	4	X	X	X	X	X
	21	Éviter l'utilisation de manipulations informatiques complexes pour le reporting	5	Créer une interface web pour avoir un tableau de bord permettant d'effectuer les analyses EVM automatiquement afin de déterminer les performances du projet	Chou et al 2010, Berawi et al 2019	L'interface Web pourrait être accessible facilement et en tout temps à l'aide d'écrans répartis sur le site du projet et une automatisation de du calculs pour les graphiques pour être réalisé tous les soirs avec les nouvelles informations produites chaque jours	Réaffectation de l'activité 2.8	Technologie
	22	Présenter le rapport à l'aide d'outils quantitatifs (par exemple, graphiques, courbes et histogrammes)	5					

Tableau E.1 – Évaluation de la maturité des processus à  $T_2$  et suggestions d'amélioration (suite et fin)

Analyses et management des rapports	23	Incorporer des explications qualitatives dans les rapports en plus des graphiques et courbes quantitatifs, afin que les raisons derrière les résultats puissent être correctement comprises	5	Créer une interface web pour avoir un tableau de bord permettant d'effectuer les analyses EVM automatiquement afin de déterminer les performances du projet	Chou et al 2010, Berawi et al 2019	L'interface WEB permettrait un accès en tout temps et lieux aux informations du projet. Des informations quantitatives et qualitatives pourraient également être intégrer pour faciliter la compréhension des figure présentées.	Réaffection de l'activité 2.8	Technologie
	24	Prévoir les tendances futures et ajuster les plans en conséquence	4	Utiliser les formules de prévision de l'approche EVM à coût fixe associés	Picornell et al 2016	L'approche EVM à coût fixe propose de nouveaux indicateurs de performances qui, une fois analyser, permettront de traduire des tendances sur le futur du projet	2.12 Calculer les tendances pour le futur du projet à l'aide des formules de l'EVM à coûts fixés	Ajout
Révisions et maintenance des données	25	Établir des procédures pour gérer les demandes de changement et évaluer leur impact sur le projet avant de les autoriser	4	X	X	X	X	X
	26	Avoir une connaissance appropriée et s'accorder sur les implications en termes de temps et de coûts de toute variation, dans la mesure du possible, avant de procéder	5	Utiliser une base de données pour garder en mémoire l'impact en termes de coûts et de délais sur le projet des changements qui sont déjà apparu pour alimenter les futures demandes de changement	Chen 2022	La sauvegarde des données de coûts et de délais réelles du projet permettra de faciliter les futures estimations et le traitement des nouvelles demandes de changement en se basant ainsi sur les expériences passées	2.19 Sauvegarder les valeurs réelles pour les estimations et la gestion des futurs projets	Technologie
	27	Documenter tous les changements apportés au projet, y compris les changements de scope, de calendrier et de budget	4	X	X	X	X	X